Www.iepnu.com

فهرست مطالب

پیشگفتار	**هفت**
فصل اول مقدمه‌ای بر کیفیت	**۱**
۱–۱ مفهوم کیفیت و بهبود کیفیت	۲
۱–۲ تاریخچهٔ اجمالی از کنترل و بهبود کیفیت	۹
۱–۳ روش‌های آماری کنترل و بهبود کیفیت	۱۳
۱–۴ کیفیت و بهره‌وری	۱۷
۱–۵ هزینه‌های کیفیت	۱۹
۱–۶ جنبه‌های حقوقی کیفیت	۲۴
۱–۷ اجرای بهبود کیفیت	۲۶
تمرین‌ها	۲۸
فصل دوم جنبه‌های مدیریتی کیفیت	**۲۹**
۲–۱ مقدمه	۳۰
۲–۲ تاریخچهٔ فلسفهٔ کیفیت	۳۲
۲–۳ مدیریت کیفیت جامع	۳۹
۲–۴ سیستم‌ها و استانداردهای کیفیت	۴۰
۲–۵ شش سیگما	۴۵
۲–۶ فراتر از شش سیگما – طراحی برای شش سیگما و رویکرد ناب	۵۰
۲–۷ فرآیند DMAIC	۵۴
تمرین ها	۷۱

Www.iepnu.com

فصل سوم ابزارها و روش‌های کنترل و بهبود کیفی ۷۳

۳-۱ مقدمه ۷۵

۳-۲ علل تصادفی و بادلیل تغییرپذیری کیفیت ۷۵

۳-۳ نمودار کنترل ۷۷

۳-۴ بقیهٔ هفت ابزار عالی ۸۴

۳-۵ اجرای SPC در چارچوب یک برنامهٔ بهبود کیفیت ۹۰

۳-۶ یک کاربرد SPC ۹۱

۳-۷ کاربردهای کنترل فرآیند آماری و ابزارهای بهبود کیفیت ... ۹۸

تمرین‌ها ۱۰۸

فصل چهارم استنباط آماری در مورد کیفیت محصول و فرآیند ۱۰۹

۴-۱ توضیح در مورد تغییرات ۱۱۱

۴-۲ توزیع‌های احتمال ۱۲۰

۴-۳ توزیع نرمال ۱۲۴

۴-۴ استنباط آماری ۱۳۲

۴-۵ استنباط آماری برای یک نمونه ۱۳۳

۴-۶ استنباط آماری برای دو نمونه ۱۳۸

تمرین‌ها ۱۵۶

فصل پنجم نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر ۱۶۳

۵-۱ مقدمه ۱۶۴

۵-۲ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R ۱۷۶

۵-۳ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S ۱۸۳

۵-۴ نمودار کنترل شوهارت برای اندازه‌گیری‌های انفرادی ۱۸۸

۵-۵ خلاصه‌ای از رویه‌های مربوط به نمودارهای ... ۱۹۱

۵-۶ کاربرد مثال‌هایی از نمودارهای کنترل... ۱۹۲

۵-۷ نمودارهای کنترل جمع تجمعی ۱۹۴

۵-۸ نمودارهای کنترل میانگین متحرک موزون نمایی ۱۹۹

۵-۹ استفاده از نمودار کنترل برای تحلیل قابلیت فرآیند ۲۰۳

تمرین‌ها ۲۲۳

فصل ششم نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های وصفی ۲۳۱

۶-۱ مقدمه ۲۳۳

۶-۲ نمودارهای کنترل برای نسبت اقلام نامنطبق ۲۳۳

۶-۳ نمودارهای کنترل برای عدم انطباق‌ها ۲۴۵

۶-۴ انتخاب بین نمودارهای کنترل وصفی و متغیر ۲۵۳

Www.iepnu.com

۶–۵ خطوط راهنما برای اجرای نمودارهای کنترل ۲۵۶
تمرین ها ۲۷۰

فصل هفتم روش‌های نمونه‌گیری پذیرش انباشته به انباشته ۲۷۹
۷–۱ مسالهٔ نمونه‌گیری پذیرش ۲۸۱
۷–۲ طرح‌های یک بار نمونه‌گیری برای وصفی‌ها ۲۸۷
۷–۳ طرح‌های دو بار نمونه‌گیری، چند بار نمونه‌گیری و نمونه گیری پی‌درپی ۲۹۳
۷–۴ استاندارد نظامی 105E (ANSI /ASQC Z1.4, ISO 2859) ۳۰۷
۷–۵ طرح‌های نمونه‌گیری داج – رومیگ ۳۱۶
۷–۶ استاندار نظامی414 (ANSI /ASQC Z1.9) ۳۲۱
۷–۷ نمونه‌گیری زنجیره‌ای ۳۲۸
۷–۸ نمونه‌گیری پیوسته ۳۳۰
۷–۹ طرح‌های نمونه‌گیری انباشته گذر ۳۳۵
تمرین‌ها ۳۳۹
مراجع ۳۴۳

Www.iepnu.com

Www.iepnu.com

پیشگفتار

انگیزه

مدیریت، کنترل و بهبود کیفیت یک فعالیت بحرانی در سازمان‌های کسب و کاری مدرن می‌باشد. کیفیت به‌طور مستقیم به بهره‌وری، رقابت‌پذیری، رضایت مشتری، رشد کسب و کار، حذف اتلافات، و دیگر فعالیت‌هایی که ارزش افزوده نیستند، و کل فرآیند کسب و کار متصل است. بازدهی و زمان سیکل، به همان اندازه که در یک کارخانهٔ تولید نیمه‌هادی مهم است در اتاق اورژانس بیمارستان نیز اهمیت دارد. ایرادها و نقص‌های فنی تنها در کارخانه‌ها رخ نمی‌دهند، بلکه در کسب و کارهای تراکنشی و خدماتی همچون بانک‌ها، شرکت‌های بیمه و بیمارستان‌ها نیز پدیدار می‌شوند. حتی دولت نیز علاقهٔ خاصی به بهبود کیفیت خدماتی در عملیاتی همچون صدور گواهینامهٔ رانندگی دارد. نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا سال‌هاست که برنامهٔ بهبود کیفیت وسیعی را رهبری می‌کند.

رویکرد

این کتاب یک رویکرد سازمان‌یافته برای بهبود، کنترل و مدیریت کیفیت ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه مشکلات کیفیتی به‌طور معمول حاصل نوسانات کنترل نشده در مشخصاتی از محصولات و خدمات می‌باشند که برای مشتریان بسیار بحرانی هستند، ابزار آماری و روش‌های تحلیل دیگر نقص بسیار مهمی را در حل این‌گونه مسائل ایفا می‌نمایند. البته، این حرفه‌ها نیاز به اجرای مناسب در یک چارچوب مدیریتی دارند که موفقیت را تضمین نماید. این کتاب هم بر ساختار مدیریتی و ابزار آماری و تحلیلی تمرکز دارد. رویکرد ما برای سازمان‌دهی و ارائهٔ این مطالب بر اساس سال‌ها تدریس، تحقیق و تجربه‌های عملیاتی حرفه‌ای در دامنهٔ وسیعی از صنایع و کسب و کارها بوده است.

مخاطب مورد هدف

این کتاب در سطحی مقدماتی تألیف شده و برای مطالعهٔ آن نیاز به پیش‌زمینه‌های خیلی قوی ریاضیاتی و آماری نمی‌باشد. هر فردی با دانش آماری مقدماتی (و غیر حساب دیفرانسیلی) می‌تواند این کتاب را

Www.iepnu.com

مورد مطالعه قرار دهد. این کتاب به‌عنوان یک مرجع علمی برای دورهٔ مقدماتی بهبود کیفیت که هدف آن آشنایی دانشجویان با دامنهٔ حرفه‌های مورد نیاز برای بهبود و کنترل موفق کیفیت می‌باشد، مناسب است. این کتاب برای دانشجویان برنامه‌های فناوری، یا دانشگاه‌ها و دانشجویان کارشناسی رشته‌های حوزهٔ مدیریت کسب و کار مفید واقع خواهد شد.

ویژگی‌های خاص

- **یک رویکرد سازمان‌دهی شده برای مدیریت، کنترل و بهبود کیفیت؛** که بر هر دو ابزار تحلیلی و آماری، و همچنین ساختار مدیریتی مورد نیاز بری اجرای موثر این حرفه‌ها تمرکز دارد.
- **ارائهٔ ساده:** شرح هر مبحث به‌طور موثر به همراه معادلاتی ساده و جبری. مثال‌ها و راه‌حل کامل تشریحی آنها به دانشجویانی که تازگی با مبحث آشنا شده‌اند کمک می‌کند. اگرچه سطح این کتاب، برای برنامه‌های درسی دوره‌های کسب و کار و فناوری دانشجویان قابل استفاده است، برای مطرح شدن در سطح مهندسی نیز به اندازه کافی سخت می‌باشد.
- **موارد مطالعاتی کوچک** که در ابتدای هر فصل ارائه می‌شوند در علاقهٔ دانشجو به تفهیم اهمیت و ارزش ابزار و حرفه‌های بهبود کیفیت کمک می‌کند.
- **اجراهای نرم‌افزاری:** هر دو نرم‌افزار Minitab و SPC XL در طی کتاب استفاده شده‌اند تا کاربری نرم‌افزارهای مدرن در اجرای رویکردهای آماری بهبود و کنترل کیفیت را نمایش دهند. نمونه‌های خروجی، و راهنمایی‌های برای استفاده از نرم‌افزارها نیز فراهم شده‌اند.
- **مثال‌ها و تمرین‌ها** دامنهٔ وسیعی از کاربردها را نمایش می‌دهند، و در سطحی متنوع ارائه شده‌اند تا اجازه دهند دانشجو در سطحی که برای وی مناسب می‌باشد آغاز به کار با مسائل کند و مهارت‌های خود را در مسائل بعدی ارتقا دهد.
- **لحن محاوره‌ای** به کار برده شده در نگارش کتاب برای دانشجویان جذاب می‌باشد.
- **پوشش مطالب با عمق مناسب:** موضوع مدیریت و کنترل کیفیت با عمق مناسبی پوشش داده شده است.
- **شش سیگما و DMAIC:** این کتاب رویکرد شش سیگما و فرآیند تعریف، اندازه‌گیری، تحلیل، بهبود و کنترل را برای بهبود کیفیت با جزئیات شرح می‌دهد.
- **آزمایشات طراحی شده:** این کتاب ارزش آزمایشات طراحی شده را به‌عنوان یک ابزار بهبود کیفیت نمایش می‌دهد.
- به **اجرا در محل کار** نیز اشاره شده است.

موضوعات و سازمان‌دهی فصل‌ها

فصل ۱ و ۲ فلسفه و ابزار پایه‌ای مدیریت کیفیت را ارائه می‌کنند. در این کتاب، ما ابعاد متنوعی از کیفیت را مورد بحث قرار داده، و ارتباطات مهم بین نوسانات و کیفیت، بهره‌وری و کیفیت، و کیفیت و هزینه را گوشزد می‌کنیم. همچنین منظر قانونی کیفیت و مسئولیت را مورد بحث قرار داده و فلسفهٔ دمینگ، جوران، و فیگنبام را معرفی کرده، به همراه ارزش‌های سیستم‌ها و استانداردهای کیفیتی و جایزهٔ

Www.iepnu.com

کیفیتی Malcolm Baldrige National Quality Award را مورد بحث قرار می‌دهیم؛ شش سیگما و فرآیند تعریف، اندازه‌گیری، تحلیل، بهبود و کنترل (DMAIC) نیز با جزئیات ارائه می‌شوند. ما باور داریم که DMAIC، صرف‌نظر از درگیری سازمان با شش سیگما، یک راهکار عالی برای اجرا و مدیریت بهبود کیفیت در یک سازمان می‌باشد.

فصل سوم مقدمه‌ای بر ابزار و حرفه‌های بهبود و کنترل کیفیت می‌باشد. ابزار مهمی که در این فصل پوشش داده شده‌اند عبارتند از نمودارهای پارتو، تحلیل علت و معلولی، نمودارهای پراکندگی، نمودارهای تمرکز نقص، روش‌های جمع‌آوری داده، مفاهیم پایه‌ای، نمودارهای کنترل و تشریح آزمایش طراحی یافته. این ابزار به ما کمک می‌کنند تا منابع نوسان را تشخیص داده و حذف کنیم. همچنین بهبود کیفیت در کسب و کارهای تراکنشی و خدماتی مورد بحث قرار گرفته‌اند.

فصل چهارم مروری از پیش‌زمینه‌های آماری و خلاصه‌ای مناسب از روش‌های آماری مفید در بهبود و کنترل کیفیت ارائه می‌دهد. این فصل شامل روش‌های داده‌ای عددی و نموداری، توزیع‌های احتمالی کلیدی و استنباط‌های آماری پایه‌ای می‌باشد. برای درک بهتر مطالب این فصل و فصل‌های بعد از آن، مناسب است از کامپیوتر برای انجام برخی تحلیل‌ها استفاده گردد. ما از هر دو نرم‌افزار Minitab و SPC XL استفاده می‌کنیم تا نشان دهیم چگونه نرم‌افزارهای مدرن این روش‌ها را اجرا می‌کنند.

نرم‌افزار Minitab یک نرم‌افزار آماری است که در دامنهٔ وسیعی از مسائل آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاید این نرم‌افزار مهم‌ترین نرم‌افزاری باشد که برای بهبود و کنترل کیفیت استفاده می‌شود. نسخهٔ دانشجویی Minitab عملکرد محدودی داشته و توانایی DOE را شامل نمی‌شود. اگر نیاز به توانایی‌های DOE دارید، باید نسخه نرم‌افزار را با عملکرد کامل آن با دورهٔ ۳۰ روزه در وب‌سایت www.minitab.com دانلود نموده و یا نسخه کامل آن را خریداری نمایید. SPC XL و DOE PRO عملکردهای اضافی هستند که توسط نرم‌افزار Microsoft Excel فراهم می‌شوند و توسط SigmaZone.com و Air Academy Associates توسعه داده شده‌اند.

فصل پنجم ارائه کامل‌تری از نمودارهای کنترل را برای داده‌های اندازه‌محور (داده‌هایی که در یک مقیاس عددی مورد بررسی هستند) فراهم می‌کند. نمودارهای $\bar{x}$ و R با جزئیات کامل بررسی شده‌اند و مثال‌هایی ارائه شده‌اند تا نشان دهند چگونه باید این نمودارها را رسم نمود. نمودارهای کنترل نه تنها به‌عنوان یک حرفهٔ نظارت، بلکه برای فراهم‌سازی اطلاعات شناختی در مورد اینکه چگونه نوسانات یک فرآیند را کاهش دهیم، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در نتیجه ما تنوع‌های متعددی از نمودار کنترل پایه‌ای را مورد بحث قرار می‌دهیم که شامل نمودارهای $\bar{X}$ و S، و نمودارهای کنترل CUSUM و EWMA می‌شوند. همچنین قابلیت فرآیند نیز بحث خواهد شد.

فصل ششم با تمرکز بر نمودارهای کنترل برای مشخصه‌ها (مشخصه‌های کیفیتی که به صورت تصمیمات اجرا/عدم اجرا بیان می‌شوند) به ادامهٔ بحث نمودارهای کنترل می‌پردازد. نمودارهای محصولاتی که عدم مطابقت (نقص) دارند، و نقص‌ها به ازای هر واحد نیز بحث و شرح داده شده‌اند. استفاده از نرم‌فزار کامپیوتر برای ساخت و عملیات این نمودارها نیز مشمول توضیحات این فصل هستند.

Www.iepnu.com

فصل هفتم حرفه‌هایی برای نمونه‌برداری پذیرش دانه دانه ارائه می‌دهد. روش‌هایی برای طراحی برنامه‌های نمونه‌برداری ارائه شده‌اند تا عملکرد آماری مطلوب کسب گردد. این فصل همچنین توضیحاتی را در خصوص استفاده از برنامه‌های نمونه‌برداری استاندارد، شامل MIL STD 105E، برنامه‌های Dodge-Romig و MIL STD 414، فراهم می‌کند. حرفه‌ها، برنامه‌های نمونه‌برداری پیوسته، نمونه‌برداری زنجیره‌ای و برنامه‌های خاص بسیار مفید دیگری نیز ارائه می‌شوند.

آزمایشات طراحی یافته موضوع اصلی فصل هشتم می‌باشند. این فصل، از منظر روش‌شناسی، شاید مهمترین فصل این کتاب باشد، زیرا آزمایشات طراحی یافته عموماً به‌عنوان قدرتمندترین ابزار بهبود کیفیت شناخته می‌شوند. آزمایشات طراحی یافته به عملگران این فرصت را می‌دهند تا تغییرات هدفمندی را در متغیرهای یک سیستم معرفی نمایند تا بتوانند به این موضوع پی ببرند که کدام متغیر اثر مهم‌تری را ایجاد نموده و چه سطوحی از این متغیرها باید به کار گرفته شوند تا عملکرد بهینه حاصل شود. آزمایشات طراحی یافته به یک اندازه در توسعه محصولات جدید اهمیت دارند. این فصل تحلیل واریانس، طراحی فاکتوریلی، سیستم 2^k فاکتوریل، فاکتوریل‌های کسری، و روش‌ها و طراحی‌های پاسخ به سطح (RSM) را بحث و تحلیل کرده است. این فصل نشان می‌دهد که چگونه آزمایشات طراحی یافته می‌توانند برای استوار نمودن محصول و فرآیند نسبت به منابع خارجی نوسانات همانند عوامل محیطی (مثلاً عوامل صدا) و منابع داخلی نوسانات استفاده شوند.

فصل نهم مفاهیم پایه‌ای ضریب اطمینان را معرفی نموده، و توضیح می‌دهد که چگونه این مفاهیم در طراحی محصولات جدید و بهبود محصولات موجود استفاده می‌شوند. اطمینان‌پذیری، به‌عنوان یکی از ابعاد کلیدی کیفیت، ضرورتاً کیفیت در طی زمان می‌باشد. این فصل تعاریف پایه‌ای اطمینان‌پذیری شامل توزیع‌های شکست و مفهوم نرخ شکست را مورد بحث قرار می‌دهد. توزیع‌های نمایی، نرمال و ویبول به‌عنوان مدل‌هایی برای عمر خدمت یک سیستم معرفی شده‌اند. مفاهیم در دسترس بودن و نگهداشت‌پذیری نیز بحث شده‌اند.

وب‌سایت

وب‌سایت این کتاب www.wiley.com/college/montgomery بوده و دارای منابع زیر می‌باشد:

برای دانشجویان و مدرسین:

مجموعه‌های داده‌ای: مجموعه داده‌های تمامی مثال‌ها و تمرین‌ها در متن کتاب.

صرف برای مدرسین:

راهنمای حل برای مدرسین: راه‌حل‌های کامل برای تمامی مسائل کتاب.

مجموعه عکس: عکس‌های استفاده شده در تمامی متن در قالب فرمت الکترونیکی، جهت تسهیل طراحی فایل‌های ارائه در کلاس اسلایدهای ارائه: اسلایدهای ارائه‌ای که توسط نویسنده‌ها توسعه داده شده‌اند، و مدرسین می‌توانند آن‌ها را برای مطابقت با کلاس خود ویرایش نمایند.

Www.iepnu.com

مطالب مربوط به مدرسین این کتاب تنها در وب‌سایت کتاب وجود داشته و رمزدار می‌باشد. برای ایجاد یک پروفایل کاربری در این خصوص به وب‌سایت www.wiley.com/college/montgomery مراجعه نمایید.

نرم‌افزار کامپیوتری

SPC XL و DOE PRO (عملکردهای اضافی در Microsoft Excel) و Minitab به هدف اینکه استفاده از نرم‌افزارهای مدرن را در خلاصه‌سازی داده‌ها نمایش دهند به کار برده شده‌اند.

SPC XL و DOE PRO

عملکردهای اضافی Excel توسط SigmaZone.com و Air Academy Associates برای تحلیل آماری و طراحی آزمایشات توسعه داده شده‌اند. دسترسی به این عملکردها در نسخه‌ای محدود به زمان و برای اهداف آموزشی موجود می‌باشد.

نسخه دانشجویی Minitab

توجه: نسخه دانشجویی نرم‌افزار Minitab دارای عملکرد محدود می‌باشد و قابلیت DOE را در برندارد. اگر نیاز به قابلیت DOE می‌باشد، باید نسخهٔ نرم‌افزار با عملکرد کامل با دورهٔ ۳۰ روزه از وب‌سایت نرم‌افزار با آدرس www.minitab.com دانلود گردد و یا نسخه کامل آن بدون محدودیت زمانی از وب‌سایت e-academy.com خریداری شود.

تقدیر

ما از بسیاری از همکاران و مدرسین که در توسعه این متن یاری نمودند تشکر می‌نماییم. بازخوردها و پیشنهادات بسیار ارزشمندی از افراد زیر کمک به بهبود این متن کرده است:

Mohamed Aboul-Seoud, Rensselaer Polytechnic Institute
Stanely F. Bullington, Mississippi State University
Geoff Foster, North Carolina A & T State University
Scott Metlen, University of Idaho
Quinton J. Nottingham, Pamplin College of Business
Rama Shankar, Illinois Institute of Technology and Daley College
Carrie Steinlicht, South Dakota State University
Mathew P. Stephens, Purdue University

داگلاس سی. مونت گومری
چریل ال. جنینگز
میشل ای. پفاند

Www.iepnu.com

Www.iepnu.com

فصل اول مقدمه‌ای بر کیفیت

آیا واقعاً یک اونس پیشگیری، معادل یک پوند درمان است؟

فیلیپ کرازبی[1] در سال ۱۹۸۰ کتابی را تحت عنوان "کیفیت رایگان است" تالیف کرد. این کتاب ادعای اینکه تولید کالاهای با کیفیت، مستلزم هزینهٔ بیشتری است را به چالش کشید و استدلال کرد که هزینهٔ تولید محصول بی‌کیفیت به مراتب بیشتر است.

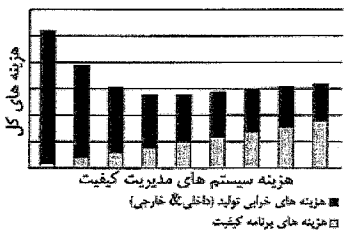
نمودار روبه‌رو نکتهٔ بالا را نشان می‌دهد. محصولات تولید شده توسط سازمان‌هایی که در زمینهٔ برنامه‌های مدیریت کیفیت سرمایه‌گذاری نمی‌کنند غالباً از کیفیت پایین‌تری برخوردار است. در نتیجه، هزینه‌های شکست محصول در این سازمان‌ها زیاد است. این هزینه‌ها ممکن است هزینه‌های داخلی (نظیر هزینهٔ بازرسی ۱۰۰٪ محصول دوباره‌کاری شده باشد) یا هزینه‌های خارجی (نظیر هزینه‌های گارانتی تعمیر، ادعاهای مسولیت در قبال محصول، یا فراخوان محصول باشد).

در حقیقت، سازمان‌هایی که در برنامه‌های مدیریت کیفیت سرمایه‌گذاری می‌کنند هزینه‌ای را برای حفظ این برنامه‌ها (هزینه‌های برنامهٔ سیستم کیفیت، بازرسی‌ها، بازنگری‌های طراحی، آموزش و تحصیل) پرداخت می‌کنند. با این وجود، این سازمان‌ها به دلیل سرمایه‌گذاری اولیه در زمینهٔ کیفیت، هزینه‌های بسیار کمی را در رابطه با کاستی‌ها یا نقص خدمت تجربه می‌کنند. همان‌گونه که در نمودار نشان داده شده است، هزینه‌های نقص خدمت برای سازمان‌هایی که در زمینهٔ سیستم‌های مدیریت استوار سرمایه‌گذاری می‌کنند به‌سرعت کاهش می‌یابد.

بنابراین، بدیهی است در سازمان‌هایی که هزینه‌های نقص خدمت بسیار پایین است، یک اونس پیشگیری واقعاً معادل یک پوند درمان است.

رئوس مطالب فصل

۱-۱ مفهوم کیفیت و بهبود کیفیت
۱-۲ تاریخچهٔ اجمالی از کنترل و بهبود کیفیت
۱-۳ روش‌های آماری کنترل و بهبود کیفیت
۱-۴ کیفیت و بهره‌وری
۱-۵ هزینه‌های کیفیت
۱-۶ جنبه‌های حقوقی کیفیت
۱-۷ اجرای بهبود کیفیت



1. Philip B. Crosby

Www.iepnu.com

مرور کلی فصل و اهداف یادگیری

این کتاب دربارهٔ کاربرد روش‌های آماری و سایر فنون حل مسأله بحث می‌کند که از آن‌ها می‌توان برای بهبود کیفیت محصولات و خدمات استفاده کرد. این محصولات شامل کالاهای تولیدی از قبیل خودرو، رایانه، پوشاک و همچنین خدماتی نظیر تولید و توزیع انرژی الکتریکی، حمل‌ونقل عمومی، بانکداری، خرده‌فروشی، و مراقبت‌های بهداشتی می‌شود. روش‌های بهبود کیفیت را می‌توان در بخش‌های مختلف یک شرکت یا سازمان شامل بخش‌های تولید، تکوین فرآیند، طراحی فنی، مالی و حسابداری، بازاریابی، توزیع و تدارکات، خدمات بعد از فروش استفاده کرد. در این کتاب، ابزارهای فنی مورد نیاز برای دستیابی به بهبود کیفیت در این سازمان‌ها ارائه می‌شود.

در این فصل با تعاریف اولیهٔ کیفیت، بهبود کیفیت و واژه‌های مهندسی کیفیت آشنا می‌شوید. همچنین تاریخچهٔ توسعهٔ روش‌شناسی یا متدولوژی بهبود کیفیت و ابزارهای ضروری آماری برای استفاده در عمل به اختصار بحث خواهد شد. همچنین برخی از جنبه‌های مدیریتی و اجرایی مورد نیاز برای اجرای بهبود کیفیت نیز مرور خواهد شد.

پس از مطالعهٔ دقیق این فصل باید بتوانید موارد زیر را انجام دهید:

۱. کیفیت و بهبود کیفیت را تعریف و در مورد آن‌ها بحث کنید.
۲. ابعاد مختلف کیفیت را تشریح کنید.
۳. در مورد تکامل روش‌های نوین بهبود کیفیت بحث کنید.
۴. نقش تغییرپذیری و روش‌های آماری در کنترل و بهبود کیفیت را توضیح دهید.
۵. ارتباط بین کیفیت و بهره‌وری و ارتباط بین کیفیت و هزینه را توضیح دهید.
۶. مسئولیت در قبال محصول را تشریح کنید.

کیفیت

۱-۱ تعریف مدیریت کیفیت و بهبود کیفیت

کیفیت را می‌توان به روش‌های مختلف تعریف کرد. اغلب مردم فقط یک درک مفهومی از کیفیت و یا به‌عبارت دیگر درکی از یک یا چند ویژگی خاص در یک محصول یا خدمت دارند. گرچه این درک مفهومی، یک نقطه شروع مفیدی است ولی تعریف دقیق و مفیدی از آن مورد نیاز است.

کیفیت به یکی از مهمترین عوامل تصمیم‌گیری مشتری در انتخاب بین محصولات و خدمات موجود تبدیل شده است. این نگرش، فارغ از این‌که مصرف‌کننده یک شخص، یک سازمان صنعتی، یک خرده‌فروش، یک بانک، یک مؤسسه مالی و یا حتی یک برنامهٔ نظامی باشد فراتر رفته و در جامعه تقریباً فراگیر شده است. بنابراین، درک و بهبود کیفیت به‌عنوان عوامل کلیدی موفقیت و رشد کسب‌وکار، یک مزیت رقابتی محسوب می‌شود. بازگشت سرمایهٔ قابل‌توجهی را باید در مورد کیفیت بهبود یافته و همچنین به‌کارگیری موفقیت‌آمیز کیفیت به‌عنوان بخشی از راهبرد کلان کسب‌وکار انتظار داشت. در این بخش، تعاریف عملیاتی کیفیت و

Www.iepnu.com

بهبود کیفیت ارائه خواهد شد. ما موضوع را با ارائه توضیحات مختصری در مورد ابعاد گوناگون کیفیت و برخی از واژگان بنیادی آغاز می‌کنیم.

۱-۱-۱ ابعاد کیفیت

کیفیت یک محصول را می‌توان به روش‌های مختلف توصیف و ارزیابی کرد. تفکیک ابعاد گوناگون کیفیت امری بسیار ضروری است. گاروین[1] توضیح بسیار خوبی در مورد مؤلفه‌ها و یا ابعاد هشت‌گانه کیفیت ارائه می‌کند. نکات اصلی مرتبط با این ابعاد در زیر ارائه شده است:

۱- **عملکرد**[2] (آیا محصول قادر است کار موردنظر را انجام دهد؟)	مشتریان بالقوه، معمولاً یک محصول را از منظر کارکردهای مختلف و چگونگی عملکرد هر یک از این کارکردها مورد ارزیابی قرار می‌دهند. به‌عنوان مثال، یک نرم‌افزار صفحه گسترده را می‌توان به منظور پی بردن به عملیاتی که قادر به انجام آن است ارزیابی کرد. با انجام این ارزیابی ممکن است مشخص شود که نرم‌افزار موردنظر از لحاظ سرعت اجرا به مراتب بر سایر نرم‌افزارهای مشابه برتری داشته باشد.
۲- **قابلیت اطمینان**[3] (هر چند وقت یک بار محصول خراب می‌شود؟)	محصولات پیچیده نظیر اغلب لوازم خانگی، خودروها، یا هواپیماها در طول مدت عمرشان نیاز به تعمیر خواهند داشت. به‌عنوان مثال، باید انتظار داشت که یک خودرو در بعضی مواقع نیاز به تعمیر دارد ولی اگر یک خودرو به‌طور مستمر نیاز به تعمیر داشته باشد آن‌گاه می‌گوییم که آن خودرو غیرقابل اطمینان است. در صنعت خودروسازی دیدگاه مشتری در مورد کیفیت به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر این بُعد کیفیت قرار دارد.
۳- **قابلیت دوام**[4] (چه مدت محصول دوام می‌آورد؟)	قابلیت دوام، طول عمر مفید یک محصول محسوب می‌شود. بدیهی است مصرف‌کنندگان محصولاتی را می‌خواهند که طی یک مدت زمان نسبتاً طولانی، عملکرد رضایت‌بخشی از خود نشان دهند. به‌عنوان مثال، صنایع خودرو و لوازم خانگی جزء صنایعی هستند که این بُعد کیفیت برای اغلب مشتریان آن، مهم تلقی می شود.
۴- **قابلیت تعمیرپذیری**[5] (به چه سهولتی می‌توان محصول را تعمیر کرد؟)	در اغلب صنایع دیدگاه مشتری نسبت به کیفیت مستقیماً تحت تأثیر سرعت و هزینهٔ انجام تعمیر یا فعالیت‌های نگهداری از محصول قرار دارد. به‌عنوان مثال، مجدداً می‌توان به صنایع خودروسازی و لوازم خانگی و همچنین بخش خدمات اشاره کرد (چه مدت طول کشید تا یک بانک پولی را که اشتباهاً به حساب شخصی دیگری واریز کرده به حساب شخص موردنظر واریز کند؟)
۵- **زیبایی**[6] (محصول چگونه به نظر می‌رسد؟)	این بُعد کیفیت وضع ظاهری محصول را با در نظر گرفتن عواملی نظیر شکل، رنگ، مدل، شیوهٔ بسته‌بندی، مشخصه‌های لامسه‌ای و خواص مشابه دیگر توصیف می‌کند. به‌عنوان مثال، شرکت‌های نوشابه‌سازی به منظور برتر جلوه دادن محصول خود نسبت به رقبا و شناسایی آسان آن توسط مشتری سعی می‌کنند تا محصول خود را به بهترین روش بسته‌بندی کنند.
۶- **ویژگی‌ها**[7] (محصول چه کارهایی انجام می‌دهد؟)	مشتریان معمولاً محصولاتی که دارای ویژگی‌های گوناگون هستند و از این لحاظ بر محصولات رقبا برتری دارند را محصولات با کیفیت محسوب می‌کنند. به‌عنوان مثال، یک بسته نرم‌افزاری صفحه گسترده که دارای قابلیت انجام تحلیل‌های آماری است ممکن است بر نرم‌افزارهای مشابه که فاقد این ویژگی هستند ترجیح داده شود.

1. garvin
2. performance
3. reliability
4. durability
5. serviceability
6. aesthetics
7. features

Www.iepnu.com

۷- کیفیت درک شده (محصول یا شرکت از چه شهرتی برخوردار است؟)	در اغلب موارد، مشتری با اتکا به شهرت سازمان از لحاظ کیفیت محصولات آن، محصولی را خریداری می‌کند. این شهرت مستقیماً تحت تأثیر خرابی‌های قابل رؤیت محصول یا فراخوان آن برای انجام تعمیری (یا تعمیرات) اساسی توسط تولیدکننده و چگونگی برخورد با مشتری در زمان گزارش یک مشکل کیفی قرار می‌گیرد. کیفیت درک‌شده، حسن نیت و خرید مجدد محصول به وسیله مشتری با یکدیگر ارتباط تنگاتنگی دارند. به‌عنوان مثال، اگر شخصی برای انجام کارهای تجاری خود از خط هوایی خاصی استفاده می‌کند و پرواز تقریباً همیشه طبق برنامه انجام گرفته و هیچ‌گاه وسایل او صدمه ندیده باشد آن‌گاه این شخص ترجیح می‌دهد که همیشه از این خط هوایی استفاده کند.
۸- انطباق با استانداردها (آیا محصول دقیقاً همان‌گونه که موردنظر طراح بوده شده است؟)	ما معمولاً محصولی را با کیفیت می‌شناسیم که با خواسته‌های از قبل تعیین شده برای آن مطابقت داشته باشد. به‌عنوان مثال، کاپوت یک خودرو جدید با چه میزان انطباق بر روی خودرو تولید شده مونتاژ می‌شود؟ آیا سطح آن دقیقاً برابر با سطح گلگیرها است؟ آیا فاصله بین کاپوت خودرو و بدنه در همه جا یکسان است؟ قطعات تولید شده‌ای که دقیقاً با خواسته‌های طراح مطابقت ندارند و به‌عنوان بخشی از یک محصول پیچیده استفاده می‌شوند می‌توانند مشکلات کیفی عدیده‌ای را ایجاد کنند. یک خودرو از چند هزار قطعهٔ مختلف ساخته می‌شود. اگر هر یک از این قطعات کمی بزرگ یا کوچک باشد آن‌گاه اغلب قطعات آن‌گونه که باید در محل خود قرار گیرند، مونتاژ نمی‌شوند و این می‌تواند باعث شود که خودرو (یا زیر سیستم‌های اصلی آن) به‌طور نامناسب و نامنطبق با نظر طراح عمل کند.
۹- پاسخگویی (چه مدت طول کشید تا ارایه دهندهٔ خدمت به درخواست شما برای خدمت پاسخ دهد؟)	میزان علاقه یا تمایل آنها برای کمک به شما چگونه بود؟ به چه سرعتی به درخواست شما رسیدگی شد؟

گرچه این ابعاد برای تشریح اغلب کسب و کارها و شرایط صنعتی مختلف کفایت می‌کند ولی برای بخش خدمات می‌توان چند بُعد دیگر به این فهرست افزود.

۱۰- حرفه‌ای بودن (سطح دانش و مهارت ارایه دهندهٔ خدمت چگونه است؟)	این بُعد کیفیت خدمت به میزان مهارت و دانش ارایه دهندهٔ خدمت اشاره دارد و به صلاحیت سازمان برای تامین خدمات درخواست شده مربوط می‌شود.
۱۱- متوجه بودن (چه میزان ارایه دهندهٔ خدمت به نیازهای شما توجه و دقت دارد؟)	به‌طور کلی مشتریان علاقمند به مراقبت و توجه شخصی ارایه دهندگان خدمت دارند. مشتریان می‌خواهند احساس کنند که نیازها و نگرانی‌های آنها مهم است و به آنها توجه می‌شود.

کیفیت یعنی شایستگی برای استفاده

با توجه به مطالب فوق، نتیجه می‌گیریم که کیفیت یک مقولهٔ چند بُعدی است. بنابراین، پاسخ دادن به سؤالاتی نظیر "کیفیت چیست؟" یا "بهبود کیفیت چیست؟" کار ساده‌ای نیست. تعریف سنتی کیفیت بر این اساس که محصولات یا خدمات باید نیازهای مصرف‌کنندهٔ آن‌ها را تأمین کند ارائه می‌شود.

به‌طور کلی شایستگی برای استفاده دارای دو جنبه است که عبارتند از: کیفیت طراحی و کیفیت انطباق. کلیهٔ محصولات یا خدمات در درجه‌بندی‌ها یا سطوح مختلفی از کیفیت تولید می‌شوند. این اختلاف در درجه‌بندی‌ها یا سطوح کیفیت عمداً به‌وجود آمده و حاصل کیفیت طراحی است. به‌عنوان مثال، هدف اصلی کلیهٔ خودروها، حمل‌ونقل ایمن مصرف‌کنندگان است. با این حال، خودروها از نظر اندازه، تجهیزات، شکل ظاهری و عملکرد متفاوت هستند. این تفاوت‌ها ناشی از اختلاف‌های طراحی است که به‌طور آگاهانه در خودروهای گوناگون لحاظ شده

Www.iepnu.com

است. این اختلاف‌های طراحی، مواردی از قبیل انواع مواد به‌کار برده شده در ساخت، تلرانس‌های قطعات، قابلیت اطمینان حاصل از تکوین موتور و نیروی محرکه، تجهیزات و یا وسایل اضافی دیگر را شامل می‌شود.

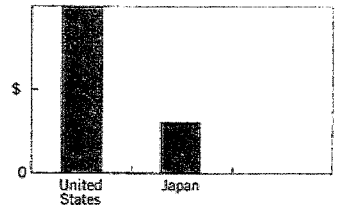
کیفیت انطباق یعنی این‌که محصول به چه میزان با تلرانس‌ها و مشخصات طراحی انطباق دارد. کیفیت انطباق تابعی از عامل‌های مختلفی است که از میان آن‌ها می‌توان به نوع فرآیند تولید، نحوهٔ آموزش و نظارت بر نیروی کار، روش‌های کنترل فرآیند، آزمون، فعالیت‌های بازرسی، میزان پیروی از رویه‌ها و انگیزهٔ نیروی‌کار جهت دستیابی به کیفیت اشاره کرد.

متأسفانه این تعریف بیشتر با جنبهٔ کیفیت انطباق مرتبط است تا طراحی. بخشی از این مشکل، به فقدان آموزش‌های لازم در متدولوژی مهندسی کیفیت که به مهندسان و طراحان آموزش داده می‌شود بر می‌گردد. این کار منجر به تمرکز کمتر بر مشتری و تمرکز بیشتر بر رویکرد کیفیت مبتنی بر "انطباق با مشخصات" می‌شود حتی اگر محصول طبق استاندارد، تولیدشده باشد و از نظر مشتری نیز از "شایستگی برای استفاده" برخوردار باشد. متأسفانه این باور هنوز وجود دارد که کیفیت مسأله‌ای است که می‌توان منحصراً به آن در تولید پاسخ داد و یا تنها راه بهبود کیفیت "آبکاری محصول با طلا" است.

کیفیت با پراکندگی رابطهٔ معکوس دارد.

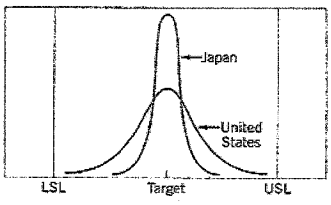
ما تعریف نوین کیفیت که در ارایه شده است را ترجیح می‌دهیم:

باید توجه داشت که این تعریف حاکی از این واقعیت است که تغییرپذیری در مشخصات مهم یک محصول با افزایش کیفیت کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۱ هزینه‌های گارانتی برای سیستم انتقال نیرو

به‌عنوان مثالی از اثربخشی عملیاتی این تعریف، چندین سال قبل یکی از شرکت‌های خودروسازی ایالات متحدهٔ امریکا یک مطالعهٔ مقایسه‌ای بین سیستم انتقال نیروی محرکه که در یک کارخانهٔ داخلی تولید شده بود و سیستم دیگری که توسط یک تأمین‌کنندهٔ ژاپنی عرضه شده بود انجام داد. تحلیل‌های انجام شده بر روی ادعاهای گارانتی و هزینه‌های تعمیرات، حاکی از یک اختلاف فاحش بین دو فرآیند تولید و هزینه‌های به مراتب کمتر سیستم ژاپنی بود (شکل ۱-۱ ملاحظه شود). به منظور مطالعه و شناسایی علت این اختلاف در هزینه و عملکرد، شرکت اقدام به تهیهٔ نمونه‌هایی از دو سیستم انتقال کرد و پس از باز کردن آن‌ها چندین مشخصهٔ کیفی بحرانی را اندازه‌گیری نمود.



شکل ۱-۲ توزیع ابعاد بحرانی سیستم‌های انتقال نیرو

شکل ۱-۲ نتایج این مطالعه را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که توزیع هر دو ابعاد بحرانی در مرکز مقدار هدف واقع شده است. با این وجود، توزیع مشخصه‌های بحرانی سیستم انتقال نیرو که در ایالات متحده تولید شده‌اند حدوداً ۷۵ درصد پهنای مشخصه‌ها را به خود تخصیص می‌دهند و این بدین معنا است که تعداد خیلی کمی محصول نامنطبق تولید می‌شود. در واقع، براساس نگرش حاکم در شرکت، محصولات تولیدشده از سطح کیفیت بسیار خوبی برخوردار بودند. این در حالی است که مشخصه‌های بحرانی سیستم تولیدشده در ژاپن فقط ۲۵ درصد پهنای مشخصه را به خود اختصاص می‌دادند. در نتیجه، پراکندگی در مشخصه‌های کیفی بحرانی سیستم‌های انتقال نیرو که در ژاپن تولید شده بود به مراتب نسبت به سیستم‌های تولیدشده در ایالات متحده کمتر بود.

این یافتهٔ بسیار مهمی بود. جک ولش[1]، مدیرعامل اسبق شرکت جنرال الکتریک به این نتیجه رسیده بود که مشتری، میانگین فرآیند شما را نمی‌بیند مقدار (هدف در شکل ۱-۲) تنها چیزی که او می‌بیند، پراکندگی در اطراف هدف است که شما آن را حذف نکرده‌اید. تقریباً در تمام موارد، این تغییرپذیری، تأثیر قابل توجهی بر مشتری دارد.

1. Jack Welch

Www.iepnu.com

در اینجا دو سؤال مشخص مطرح است: چرا ژاپنی‌ها این کار را می‌کردند؟ و چگونه آن‌ها این کار را می‌کردند؟ این دو سؤال را می‌توان با مراجعه به شکل ۱-۱ به راحتی پاسخ داد. کاهش پراکندگی مستقیماً منجر به کاهش هزینه شده است (ژاپنی‌ها به‌طور کامل نکته‌ای که توسط ولش مطرح شده بود را درک کرده بودند.) از طرف دیگر، در سیستم‌های انتقال نیرو که توسط ژاپنی‌ها تولید شده بود، دنده راحت‌تر جابه‌جا می‌شد، سروصدا بسیار کمتر بود و به‌طور کلی مشتری آن را محصولی با کیفیت‌تر از محصول داخلی می‌دید. تعمیرات و ادعاهای گارانتی کمتر، یعنی دوباره کاری کمتر و کاهش اتلاف در سرمایه، زمان و تلاش. بنابراین، کیفیت واقعاً با پراکندگی رابطهٔ معکوس دارد. به علاوه، آن را می‌توان خیلی دقیق‌تر به زبانی که هر کسی (مخصوصاً مدیران و مدیران ارشد) قادر است آن را درک کند. چگونه ژاپنی‌ها این کار را می کردند؟ پاسخ به این سؤال در استفادهٔ نظام‌مند و اثربخش از روش‌های توصیف‌شده در این کتاب نهفته است که منجر به تعریف زیر از بهبود کیفیت می‌شود:

غالباً پراکندگی بیش از حد در عمکرد فرآیند منجر به اتلاف می‌شود. به‌عنوان مثال، سرمایه، زمان و تلاش مرتبط با تعمیرات ارائه شده در شکل ۱-۱ را در نظر گیرید. بنابراین، تعریف جایگزین مفیدتری برای بهبود کیفیت می‌تواند کاهش اتلاف باشد. این تعریف در صنایع خدماتی که اغلب موارد به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند (نظیر ابعاد بحرانی سیستم انتقال نیرو در شکل ۱-۲) می‌تواند مناسب‌تر باشد. در صنایع خدماتی، یک مشکل کیفی ممکن است یک خطا یا اشتباه تعریف شود که اصلاح آن نیاز به تلاش و هزینه دارد. با بهبود فرآیند خدمت می‌توان از این تلاش‌ها و هزینه‌های بیهوده اجتناب کرد.

بهبود کیفیت یعنی کاهش پراکندگی در فرآیندها و محصولات.

حال چند واژهٔ کیفیت که در این کتاب کاربرد دارد ارائه می‌شود.

۱-۱-۲ واژگان کیفیت[1]

هر محصول از عناصری تشکیل شده است که به‌طور مشترک که استفاده‌کننده یا مصرف‌کننده از آن به‌عنوان کیفیت نام می‌برد را، توصیف می‌کنند. این پارامترها را غالباً **مشخصه‌های کیفی**[2] می‌نامند. در بعضی مواقع از آن‌ها به‌عنوان **مشخصه‌های بحرانی** برای کیفیت[3] نام برده می‌شود. مشخصه‌های کیفی ممکن است چندین نوع باشد.

۱- **فیزیکی:** طول، وزن، ولتاژ، گران‌روی

۲- **حسی:** مزه، شکل ظاهری، رنگ

۳- **مختصات زمانی:** قابلیت اطمینان، دوام، تعمیرپذیری

در بعضی از خدمات، مشخصهٔ بحرانی برای کیفیت می‌تواند میزان رضایت مشتری از یک یا چند خدمت دریافت شده باشد. باید توجه داشت که مشخصه‌های کیفی مختلف می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به ابعاد کیفیت که در بخش قبل بحث شد مرتبط باشد.

مهندسی کیفیت مجموعه‌ای از فعالیت‌های عملیاتی، مدیریتی و مهندسی است که یک شرکت با هدف کسب اطمینان از این‌که مشخصه‌های کیفی یک محصول در سطوح اسمی موردنظر خود قرار دارند و پراکندگی در اطراف سطوح موردنظر از حداقل میزان ممکن برخوردار است مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌هایی که در این کتاب توضیح داده می‌شود، پایه و اساس

1.quality engineering
2. quality characteristics
3. Critical to quality - CTQ

Www.iepnu.com

روشی را تشکیل می‌دهد که توسط مهندسان و سایر کارشناسان جهت دستیابی به اهداف موردنظر استفاده می‌شود.

نقش آمار

برای اغلب سازمان‌ها، عرضهٔ محصولاتی با مشخصه‌های کیفی یکسان یا سطوحی که دقیقاً با انتظارات مشتری انطباق داشته باشد امری دشوار و پرهزینه است. پراکندگی را می‌توان به‌عنوان یکی از علل اصلی عدم یکسان بودن محصولات نام برد. در هر محصول مقداری پراکندگی وجود دارد و در نتیجه هیچ دو محصولی با یکدیگر کاملاً یکسان نیستند. به‌عنوان مثال، ضخامت تیغه‌ها در موتورهای جت حتی در یک موتور نیز کاملاً یکسان نیست. ضخامت تیغه بین موتورها نیز متفاوت است. اگر این تغییرپذیری در ضخامت تیغه‌ها کم باشد آن‌گاه ممکن است تأثیری بر روی مشتری نداشته باشد ولی اگر تغییرپذیری زیاد باشد آن‌گاه ممکن است محصول از دید مشتری غیرقابل قبول باشد. منشاء این پراکندگی می‌تواند اختلاف در مواد، اختلاف در عملکرد ابزار تولید و اختلاف در نحوهٔ انجام کار توسط اپرتورها باشد. این طرز فکر منجر به تعریف قبلی بهبود کیفیت شد.

از آنجایی که پراکندگی می‌تواند فقط برحسب واژه‌های آماری توصیف شود لذا **روش‌های آماری** نقش مهمی در فعالیت‌های بهبود کیفیت ایفا می‌کند، در کاربرد روش‌های آماری در مهندسی کیفیت غالباً مشخصه‌های کیفی به‌صورت **داده‌های وصفی** یا **متغیر**، دسته‌بندی می‌شوند. داده‌های متغیر معمولاً اندازه‌گیری‌های پیوسته‌ای نظیر طول، ولتاژ و گران‌روی را شامل می‌شوند. از طرف دیگر، داده‌های وصفی معمولاً داده‌های گسسته‌ای هستند که غالباً به‌صورت شمارشی مطرح می‌شوند. به‌عنوان مثال، می‌توان به تعداد درخواست‌های وام که فرآیند آن‌ها به دلیل عدم وجود اطلاعات مورد نیاز با مشکل مواجه شده است یا تعداد بیماران اورژانسی که وارد بیمارستان شده‌اند ولی باید بیش از ۳۰ دقیقه جهت دریافت خدمات پزشکی منتظر بمانند اشاره کرد. ما ابزارهای مهندسی کیفیت که اساس آن‌ها بر اصول آماری پایه‌گذاری شده است را برای تحلیل هر دو نوع داده شرح خواهیم داد.

مشخصه‌های فنی

مشخصه‌های کیفی غالباً در مقایسه با **مشخصه‌های فنی** مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در یک محصول تولیدی، ابعاد موردنظر برای مشخصه‌های کیفی قطعات و زیرمونتاژها که محصول را تشکیل می‌دهند و همچنین مقادیر موردنظر برای مشخصه‌های کیفی محصول نهایی را می‌توان به‌عنوان مشخصه‌های فنی نام برد. به‌عنوان مثال، قطر شافت[1] به‌کار برده شده در سیستم انتقال نیروی خودرو نمی‌تواند بیش از حد بزرگ یا کوچک باشد چرا که یا در یاتاقان جا نمی‌گیرد و یا باعث لقی، لرزش و خرابی زود هنگام خواهد شد. در بخش خدمات، مشخصه های فنی معمولاً برحسب حداکثر زمان تا انجام یک سفارش یا ارائه یک خدمت خاص تعریف می‌شود. در بعضی مواقع از این زمان به‌عنوان **زمان سیکل**[2] نامبرده می‌شود.

در بخش خدمات، زمان سیکل کمیت اندازه‌گیری مهمی است.

کمیت اندازه‌گیری شدهٔ متناظر با مقدار ایده‌آل یک مشخصهٔ کیفی را **مقدار اسمی**[3] یا **هدف**[4] آن مشخصه می‌نامند. این مقادیر هدف معمولاً دارای حدودی هستند و قاعدتاً این حدود باید به اندازهٔ کافی به مقدار هدف نزدیک باشند تا تأثیر نامطلوبی بر کارکرد یا عملکرد ایجاد نشود. بیشترین مقدار مجاز یک مشخصهٔ کیفی، **حد مشخصه بالا**[5] و کمترین مقدار مجاز یک

بسیاری از جنبه‌های کیفیت محصول از طریق طراحی مشخص می‌کند.

1. shaft
2. cycle time
3. nominal
4. target
5. Upper specification limit - USL

Www.iepnu.com

مشخصه کیفی **حد مشخصه پایین**[1] نامیده می‌شود. برخی از مشخصه های کیفی دارای حد یک‌طرفه هستند. به‌عنوان مثال، مقاومت فشاری قطعه‌ای که در سپر خودرو استفاده می‌شود دارای یک مقدار هدف و یک حد مشخصهٔ پایین ولی فاقد حد مشخصهٔ بالا است.

حدود مشخصات معمولاً حاصل فرآیند طراحی یک محصول است. به‌طور معمول، مهندسان طراح با در نظر گرفتنِ اصول علوم مهندسی، یک محصول را طراحی می‌کنند و غالباً مقادیر هدف پارامترهای بحرانی طرح نیز توسط طراح تعیین می‌شود. سپس نمونهٔ آزمایشی تهیه و بر روی آن آزمایش انجام می‌شود. این آزمایش معمولاً به‌صورت غیرساختاری و بدون استفاده از رویه‌های طراحی آزمایش و دانش فرآیندهای تولیدی که قطعات محصول یا محصول نهایی را تولید می‌کنند انجام می‌شود. با این وجود، از طریق این رویهٔ کلی، حدود مشخصه‌ها معمولاً توسط مهندس طراح تعیین می‌شود. سپس محصول نهایی مجوز تولید را دریافت می‌کند. این روش طراحی اصطلاحاً رویکرد طراحی از **پشت دیوار**[2] نامیده می‌شود.

مشکلات کیفی محصول معمولاً زمانی‌که رویکرد طراحی از پشت دیوار استفاده می‌شود زیاد است. در این رویکرد، حدود مشخصه‌ها غالباً بدون در نظر گرفتن پراکندگی ذاتی موجود در مواد، فرآیندها و سایر بخش‌های سیستم که منجر به تولید قطعات یا **محصولات نامنطبق**[3] می‌شود تعیین می‌گردد. محصولات نامنطبق به محصولاتی گفته می‌شود که یک یا چند مشخصهٔ آن با حدود مشخصه‌های موردنظر انطباق نداشته باشد. وجود یک شکست خاص را یک **عدم انطباق**[4] می‌نامند. یک محصول نامنطبق لزوماً برای استفاده نامناسب نیست. به‌عنوان مثال، یک مادهٔ پاک‌کننده ممکن است درصد مواد فعال آن کمتر از حد مشخصه پایین باشد ولی اگر مشتری مقدار بیشتری از آن را استفاده کند آن‌گاه ممکن است این محصول از دید او قابل قبول باشد. یک محصول زمانی **معیوب**[5] شناخته می‌شود که دارای یک یا چند **عیب** یا **نقص**[6] باشد. این نقص‌ها، عدم انطباق‌های بسیار جدی بوده‌اند که استفاده ایمن یا اثربخش از آن را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار داده‌اند. بدیهی است که عدم اقدام مقتضی توسط سازمان برای بهبود فرآیندهای تولید این نقص‌ها می‌تواند منجر به تولید عدم انطباق‌ها یا نقص‌های موردنظر شود.

طی ۲۵ سال گذشته، فرآیند طراحی از پشت دیوار موضوعی قابل توجه برای بسیاری از افراد بوده است. سیستم‌های طراحی با رایانه یا تولید با رایانه[7] توانسته‌اند کمک شایانی به خودکار کردن فرآیند طراحی و ترجمهٔ اثربخش مشخصه‌های کیفی به فرآیندها و فعالیت‌های تولید کنند. طراحی برای قابلیت تولید و مونتاژ با هدف مقابله با مشکل ذاتی رویکرد طراحی از پشت دیوار ایجاد شده است و امروزه آشنایی با این مباحث بخشی از آموزش‌های رسمی مهندسان را تشکیل می‌دهد. علت، اخیراً بر استفاده از رویکرد تیمی با حضور کارشناسان تولید، کیفیت و سایر افراد ذیربط در مراحل اولیهٔ فرآیند تکوین محصول تأکید شده است.

---

1. Lower specification limit - LSL
2. over-the-wall design
3. nonconforming products
4. nonconformity
5. defective
6. defect
7. Computer aided design / computer aided manufacturing - CAD / CAM

Www.iepnu.com

به علاوه، استفادهٔ اثربخش از متدولوژی بهبود کیفیت ارائه شده در این کتاب، در کلیهٔ سطوح فرآیند تجاری‌سازی فن‌آوری و تحقق محصول شامل طراحی، تکوین، تولید، توزیع و خدمات پس از فروش، نقش کلیدی و مؤثری در بهبود کیفیت ایفا می‌کند.

۱-۲ تاریخچهٔ اجمالی کنترل و بهبود کیفیت.

کیفیت تقریباً همیشه بخش لاینفک کلیه محصولات و خدمات بوده است. با این‌حال، آگاهی ما در مورد اهمیت آن و معرفی روش‌های رسمی کنترل و بهبود کیفیت طی زمان و به‌صورت تکاملی شکل گرفته است. جدول ۱-۱ زمان‌نمای بعضی از مهمترین فعالیت‌های کیفیت را در این فرآیند تکاملی نشان می‌دهد. بعضی از این وقایع به اختصار توضیح داده خواهند شد.

توسعهٔ قطعات استاندارد شده و قابل تعویض با یکدیگر یکی از ایده‌های کلیدی در تولید محصولات مشابه و در نتیجه کاهش پراکندگی بود. فردریک تیلور[1] بعضی از اصول مدیریت علمی را قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی یعنی زمانی‌که صنایع تولید انبوه شروع به توسعه کرد، معرفی نمود. تیلور اولین کسی بود که کار را به وظایف مختلف تقسیم نمود تا محصول راحت‌تر تولید و مونتاژ شود. فعالیت‌های او سبب شد تا بهره‌وری به میزان قابل توجهی بهبود یابد. همچنین به دلیل استفاده از روش‌های تولید و مونتاژ استانداردشده، سطح کیفیت محصولات تولید شده نیز ارتقاء پیدا کرد. در کنار استاندارد شدن روش‌های کار، موضوع استانداردهای کار مطرح شد (یک زمان استاندارد، برای به اتمام رساندن کار یا تعداد خاصی محصول که باید در طول یک زمان معین تولید شوند). فرانک و لیلین گیلبرت[2] به همراه افراد دیگر این موضوع را به به مطالعهٔ طراحی حرکت و کار تعمیم دادند. گرچه اغلب این فعالیت‌ها اثر مثبتی بر بهره‌وری داشتند ولی غالباً سبب می‌شدند تا اهمیت چندانی به جنبهٔ کیفیت کار داده نشود. به علاوه، پیروی بیش از حد از استانداردهای کاری ریسک عدم استفاده از نوآوری و بهبود مستمر که امروزه یک جنبهٔ حیاتی کلیهٔ فعالیت‌های کاری محسوب می‌شود را افزایش می‌دهد.

روش‌های آماری و کاربرد آن‌ها در تولید و تضمین کیفیت از تاریخچهٔ نسبتاً قدیمی برخوردار است. در سال ۱۹۲۴ والتر شوهارت[3] از آزمایشگاه‌های تلفن بل، اساس نمودار کنترل آماری را پایه‌گذاری کرد. به‌طور کلی این مقطع به‌عنوان نقطهٔ آغاز کنترل کیفیت آماری شناخته می‌شود. در اواخر دهه ۱۹۲۰ هارولد داج[4] و هَری رومیگ[5] که هر دو در آزمایشگاههای تلفن بل بل مشغول به کار بودند روش‌های نمونه‌گیری پذیرش آماری را به جای بازرسی صد در صد معرفی کردند. در اواسط دهه ۱۹۳۰ فنون کنترل کیفیت آماری به‌طور نسبتاً وسیعی در شرکت وسترن الکتریک که شاخه تولیدی سیستم بل بود به کار گرفته شد و این در حالی بود که ارزش و اهمیت کنترل کیفیت آماری هنوز برای صنایع مشخص نشده بود.

در زمان جنگ جهانی دوم مفاهیم کنترل کیفیت آماری در صنایع تولیدی مختلف پذیرفته

1. Ferderick W. Taylor
2. Frank and Lillian Gilbreth
3. Walter A. Shewhart
4. Harold F. Dodge
5. Harry G. Roming

Www.iepnu.com

جدول ۱- ۱

خط زمان نمای روش‌های کیفیت	
۱۹۰۰-۱۷۰۰	کیفیت تقریباً همیشه به وسیله سعی و تلاش یک صنعت‌گر نمایان می‌شود.
۱۸۷۵	فردریک تیلور اصول مدیریت کیفیت را به منظور تفکیک یک کار به وظایف کوچک‌تر که انجام آن‌ها آسان‌تر بود ارائه کرد. این اولین گام در راستای طراحی و توسعه محصولات و فرآیندهای پیچیده به شمار می‌آید. بعدها افرادی چون گیلبرت و گانت در این فعالیت‌ها سهیم شدند و تأکید اصلی را بر بهره‌وری بنا نهادند.
۱۹۰۰-۱۹۳۰	هنری فورد[1] خط مونتاژ اصلاح اغلب روش‌های کار برای بهبود بهره‌وری و کیفیت - فورد مفاهیم خطاناپذیری مونتاژ، خود بررسی و بازرسی حین تولید را توسعه داد.
۱۹۰۱	اولین آزمایشگاه استانداردها در انگلیس تأسیس شد.
۱۹۰۷-۱۹۰۸	AT&T بازرسی و آزمایش نظام‌مند محصولات و مواد را آغاز می‌کند. دبلیو اس‌گاست[2] ۱۹۰۸ (که با عنوان دانشجو خود را معرفی کرد) براساس نتایج حاصل از فعالیت‌های کنترل کیفیت خود در شرکت نوشابه سازی گینس[3]، توزیع t را معرفی کرد.
۱۹۱۵-۱۱۹۱	WWI - دولت انگلیس یک برنامه گواهی تأمین‌کنندگان را آغاز می‌کند.
۱۹۱۹	انجمن بازرسی فنی[4] ۱۱۹۱- ۱۹۱۵ (TIA) در انگلیس تشکیل شد. این اتحادیه بعدها به انستیتوی تضمین کیفیت[5] تغییر نام یافت.
۱۹۲۰	آزمایشگاه‌های بل AT & T بخش کیفیت را تشکیل داد و بر کیفیت، بازرسی و آزمایش و قابلیت اطمینان محصولات تأکید کرد. بی بی دادینگ[6] در شرکت جنرال الکتریک انگلیس از روش‌های آماری به منظور کنترل کیفیت لامپ‌های الکتریکی استفاده کرد.
۱۹۲۳-۱۹۲۲	آر ای فیشر[7] یک سری از مقالات اساسی درمورد طراحی آزمایش‌ها و کاربرد آن‌ها در علوم کشاورزی منتشر کرد.
۱۹۲۴	دبلیو ای شوهارت اصول نمودارهای کنترل را در گزارش فنی آزمایشگاه بل معرفی نمود.
۱۹۲۸	روش نمونه‌گیری برای پذیرش به وسیله اچ اف داج و اچ جی رومیگ در آزمایشگاه‌های بل ارائه و بهبود داده شد.
۱۹۳۱	دبلیو ای شوهارت مقاله‌ای تحت عنوان "کنترل اقتصادی کیفیت محصولات تولیدشده" که کاربرد روش‌های آماری در تولید و همچنین نمودارهای کنترل را نشان می‌داد منتشر کرد.
۱۹۳۲	دبلیو ای شوهارت در مورد کاربرد روش‌های آماری در تولید و نمودارهای کنترل در دانشگاه لندن سخنرانی کرد.
۱۹۳۳-۱۹۳۲	صنایع چوب و نساجی انگلیس و صنایع شیمیایی آلمان از طراحی آزمایش‌ها برای توسعه محصول / فرآیند استفاده کردند.
۱۹۳۳	انجمن آمار سلطنتی، بخش تحقیقات صنعتی و کشاورزی را تشکیل داد.
۱۹۳۸	دبلیو ای دمینگ از شوهارت به منظور برگزاری سمینارهایی در مورد نمودارهای کنترل در دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی وزارت کشاورزی امریکا دعوت کرد.
۱۹۴۰	وزارت جنگ امریکا راهنمایی در مورد استفاده از نمودارهای کنترل برای تحلیل داده‌های فرآیند منتشر کرد.
۱۹۴۳-۱۹۴۰	آزمایشگاه‌های بل اولین سری از طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش را به منظور استفاده در نیروی زمینی امریکا تدوین کرد.

1. Henry Ford
2. W.S. Gosset
3. Guinness
4. Technical inspection association
5. Institute of quality assurance
6. B. P. Dudding
7. R. A. Fisher

Www.iepnu.com

۱۹۴۲	در انگلیس، وزارت خدمات مشاوره‌ای در زمینهٔ روش‌های آماری و کنترل کیفیت تشکیل شد.
۱۹۴۶-۱۹۴۲	کلاس‌های آموزشی در زمینهٔ کنترل کیفیت آماری برای صنایع ارائه و بیش از ۱۵ انجمن کیفیت در امریکای شمالی تشکیل شد.
۱۹۴۴	ماهنامه کنترل کیفیت صنعتی[1] انتشار یافت.
۱۹۴۶	انجمن کنترل کیفیت امریکا[2] با ملحق شدن انجمن‌های قبلی به یکدیگر شکل می‌گیرد. دمینگ از طرف بخش خدمات علمی و اقتصادی وزارت جنگ امریکا به منظور کمک به نیروهای اشغالگر برای بازسازی صنایع ژاپن به آنجا دعوت شد.
۱۹۴۶	سازمان استانداردهای بین‌المللی تشکیل شد. اتحادیه مهندسان و دانشمندان ژاپن[3] تشکیل شد.
۱۹۴۹-۱۹۴۶	دمینگ به منظور ارائه سمینارهایی در زمینه کنترل کیفیت آماری برای صنایع ژاپن دعوت شد.
۱۹۴۸	پروفسور گنیچی تگوچی[4] مطالعات خود را در مورد کاربرد طراحی آزمایش‌ها آغاز کرد.
۱۹۵۰	دمینگ آموزش مدیران صنایع ژاپن را شروع کرد و روش‌های کنترل کیفیت آماری را در مقیاس کلان در ژاپن تدریس کرد.
۱۹۵۰	پروفسور ایشیکاوا[5] نمودار علت و معلول را معرفی کرد.
۱۹۵۰	کتاب‌هایی در زمینه کنترل کیفیت آماری به وسیلهٔ اسوجین گرانت[6] و ای ج دانکن[7] تالیف شد.
۱۹۵۱	دکتر ای وی فیگنبام اولین کتاب خود را تحت عنوان "کنترل کیفیت جامع" منتشر کرد.
۱۹۵۱	JUSE جایزهٔ دمینگ را به پاس قدردانی از زحمات دمینگ در زمینه‌های کنترل کیفیت و روش‌های کیفیت نامه‌گذاری کرد.
۱۹۵۱	جی ایی پی باکس[8] و ک بی ویلسون[9] تحقیقات بنیادی خود را در زمینه‌های طراحی آزمایش‌ها و روش‌های رویهٔ سطح پاسخ برای بهینه کردن فرآیند با ارائه کاربرد موردی در صنایع شیمیایی منتشر کردند. بعد از آن، کاربردهای طراحی آزمایش‌ها در صنایع شیمیایی رشد قابل توجهی کرد.
۱۹۵۴	دکتر جوزف ام جوران برای ارائه سخنرانی‌هایی در زمینه مدیریت کیفیت به ژاپن دعوت شد. آمار دان انگلیسی ای اس پیج[10] نمودار کنترل جمع تجمعی (CUSUM) را معرفی کرد.
۱۹۵۷	دستنامهٔ کنترل کیفیت ج ام جوران و اف ام گرایانا منتشر شد.
۱۹۵۹	تکنومتریکس (ژورنال آماری برای علوم مهندسی، شیمیایی و فیزیکی) با سردبیری خ استوارت هانتر منتشر شد.
۱۹۵۹	اس رابرتس[11] نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی (EWMA) را معرفی کرد. برنامهٔ فضاپیماهای با سرنشین امریکا صنایع را در صورت نیاز به‌وجود محصولات قابل اطمینان آگاه ساخت. رشته مهندسی قابلیت اطمینان از این نقطه شروع شد.
۱۹۶۰	باکس و هانتر مقالات بنیادی خود را در مورد طرح‌های عاملی 2^{k-p} منتشر کردند. مفهوم دوایر کنترل کیفیت به وسیله ایشیکاوا در ژاپن معرفی شد.
۱۹۶۱	شورای ملی کیفیت و بهره‌وری به‌عنوان بخشی از شورای بهره‌وری تشکیل شد.
دهه ۱۹۶۰	دروس کنترل کیفیت به‌طورگسترده در رشته‌های مهندسی صنایع دانشگاه‌ها تدریس می‌شد. برنامه‌های نقص صفر (ZD) در صنایع امریکا معرفی شد.
۱۹۶۹	چاپ ماهنامهٔ کنترل کیفیت صنعتی متوقف و به جای آن ماهنامه پیشرفت کیفیت و نشریهٔ تکنولوژی کیفیت با سر دبیری دکتر لوید اس نلسون[12] منتشر شد.

1. Industrial quality control
2. American society for quality control
3. Japanese union of scientists and engineers
4. Ginichi Taguchi
5. K. Ishikawa
6. Eugene Grant
7. A. J. Duncan
8. G. E. P. Box
9. K. B. Wilson
10. E. S. Page
11. S. Roberts
12. Lloyd S. Nelson

Www.iepnu.com

دهۀ ۱۹۷۰	در انگلیس، NCOP و انستیتوی تضمین کیفیت ادغام و اتحادیه کیفیت انگلیس تشکیل شد.
۱۹۷۵ –۱۹۷۸	کتاب‌هایی در زمینه طراحی آزمایش‌ها با کاربردهایی در علوم و مهندسی منتشر می‌شود. در امریکای شمالی نسبت به دوایر کیفیت علاقه ایجاد و این‌کار منجر به حرکت مدیریت کیفیت (TQM) شد.
دهۀ ۱۹۸۰	روش‌های طراحی آزمایش‌ها در صنایع متعددی از جمله الکترونیک، هوا فضا، نیمه‌هادی و صنایع خودروسازی معرفی و پذیرفته شد. دستاوردهای دکتر تگوچی در زمینۀ طراحی آزمایش‌ها برای اولین بار در امریکا معرفی شد.
۱۹۸۴	انجمن آمار امریکا[1] کمیتۀ کیفیت و بهره‌وری را پایه‌گذاری کرد. این کمیته بعداً یک بخش کاملی از ASA شد. نشریۀ بین‌المللی مهندسی کیفیت و قابلیت اطمینان منتشر شد.
۱۹۸۶	باکین و سایرین از راپن و به کاربرد زیاد طراحی آزمایش‌ها و سایر روش‌های آماری توجه می‌کردند.
۱۹۸۷	ISO اولین استاندارد سیستم کیفیت را منتشر کرد.
۱۹۸۸	جایزه ملی کیفیت ملکوم بالدریج در کنگره امریکا پایه‌گذاری شد. بنیاد اروپایی مدیریت کیفیت[2] ایجاد شد. این سازمان بر جایزۀ کیفیت اروپا نظارت داشت.
۱۹۸۹	نشریۀ مهندسی کیفیت منتشر شد.
دهۀ ۱۹۹۰	علاقه نسبت به اخذ گواهینامه ISO ۹۰۰۰ در صنایع امریکا افزایش یافت. تعداد متقاضیان جایزه بالدریج به‌طور مستمر افزایش یافت. اغلب ایالت‌های امریکا جوایز کیفی براساس معیارهای بالدریج ارائه کردند.
۱۹۹۵	دروس آماری با تمرکز بر روش‌های پایه برای ویژگی شناسی و بهبود فرآیند در اغلب رشته‌های فنی در مقطع کارشناسی الزامی شد.
۱۹۹۷	رویکرد شش سیگما موتورولا[3] به سایر صنایع نیز راه پیدا کرد.
۱۹۹۸	جامعۀ کنترل کیفیت امریکا (ASQC) به جامعۀ کیفیت امریکا (ASQ)[4] تغییر نام یافت.
دهۀ ۲۰۰۰	استاندارد ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ منتشر شد. مدیریت زنجیرۀ تأمین و کیفیت تأمین‌کننده، عامل‌های کلیدی در موفقیت کسب‌وکار محسوب شد. فعالیت‌های بهبود کیفیت از صنایع مرسوم فراتر رفته و به بخش‌های دیگری نظیر خدمات مالی، مراقبت‌های بهداشتی، بیمه و انرژی گسترش یافت.

و به‌کار گرفته شد. تجارب این دوره باعث شد تا به اهمیت فنون آماری در کنترل کیفیت محصولات پی‌برده شود. جامعۀ کنترل کیفیت امریکا[5] (جامعۀ کیفیت امریکا) در سال ۱۹۴۶ پایه‌گذاری شد. این سازمان استفاده از فنون بهبود کیفیت را برای هرگونه محصول یا خدمت پیشنهاد کرد. از جمله دیگر فعالیت‌های این سازمان می‌توان به برگزاری کنفرانس‌ها، چاپ نشریات فنی و برگزاری دوره‌های آموزشی متعدد در زمینۀ تضمین کیفیت اشاره کرد. دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ شاهد پیدایش مهندسی قابلیت اطمینان و معرفی چندین کتاب درسی مهم در زمینۀ کنترل کیفیت آماری بود. در این دوران دیدگاهی که کیفیت را به‌عنوان یک روش مدیریت سازمان می‌شناخت در حال شکل‌گیری بود.

در دهه‌های ۱۹۵۰ برای اولین بار در امریکا از طراحی آزمایش‌ها به منظور بهبود محصول و فرآیند استفاده شد. اولین کاربرد این روش در صنایع شیمیایی بود. میزان استفاده از این روش در ابتدا تا اواخر دهۀ ۱۹۷۰ و اوایل دهۀ ۱۹۸۰ زمانی‌که شرکت‌های غربی متوجه شدند که

1. American statistical association . ASA
2. European foundation for quality management . EFQM
3. Motorola
4. American society for quality - ASQ
5. American society for quality control

Www.iepnu.com

شرکت‌های ژاپنی طراحی آزمایش‌ها را از دهۀ ۱۹۶۰ به‌طور نظام‌مند برای بهبود فرآیند، تکوین فرآیندهای جدید، ارزیابی محصولات طراحی‌شده جدید، بهبود قابلیت اطمینان و عملکرد محصولات و انتخاب قطعات و تلرانس‌های سیستم استفاده می‌کردند بسیار کم بود. این موضوع باعث شد تا علاقه نسبت به آزمایش‌های طراحی‌شده آماری افزایش یابد و در نتیجه کمک کرد تا فعالیت‌های زیادی در راستای معرفی این روش در سازمان‌های مهندسی و توسعه‌ای در صنعت و رشته‌های مهندسی در دانشگاه‌ها آغاز شود.

اهمیت روشهای آماری

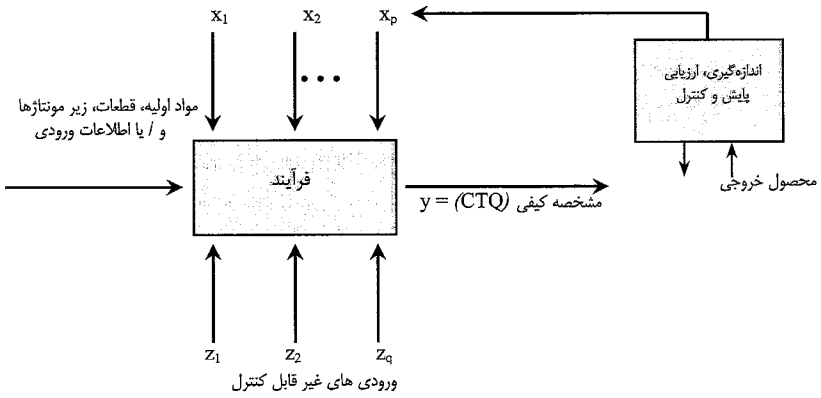
از سال ۱۹۸۰ تا به امروز، رشد قابل ملاحظه‌ای در میزان استفاده از روش‌های آماری در سازمان‌های مختلف در ایالات متحدۀ امریکا با هدف بهبود کیفیت و عملکرد کسب‌وکار مشاهده می‌شود. بخشی از انگیزه این کار، ضرر و زیان‌های گسترده‌ای بوده که از دهۀ ۱۹۷۰ توسط اغلب شرکت‌های داخلی تجربه شده بود. به‌عنوان مثال، صنعت خودروسازی در این دوره به دلیل حضور رقبای خارجی تقریباً به مرز ورشکستگی رسید. یک شرکت خودروسازی داخلی در سال ۱۹۸۰، زیان‌های عملیاتی خود را تقریباً یک میلیون دلار در ساعت برآورد کرد. توجه و استفاده از روش‌های آماری نقش مهمی را در ظهور مجدد صنعت امریکا ایفا کرد. سیستم‌های مدیریتی متعددی نیز به‌عنوان چارچوبی برای اجرای بهبود کیفیت معرفی شدند. این کتاب مقدمه‌ای است در مورد ابزارهای فنی و مفاهیم مدیریتی که اساس و بنیاد کنترل و بهبود کیفیت نوین را تشکیل می‌دهد.

۱-۳ روش‌های آماری کنترل و بهبود کیفیت

کیفیت فرایند آماری، طراحی آزمایش‌ها، نمونه‌گیری پذیرش.

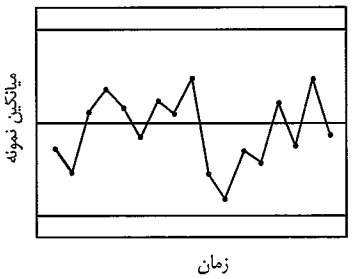
در این کتاب اصول و روش‌های مهندسی و آماری ارائه می‌شود که استفاده از آن‌ها در فعالیت‌های تضمین کیفیت مفید خواهد بود. به‌طور خاص، در این کتاب به سه زمینۀ **کنترل فرآیند آماری، طراحی آزمایش‌ها و نمونه‌گیری پذیرش** توجه خاص شده است. علاوه بر این روش‌ها، ابزارهای آماری دیگری نیز وجود دارد که برای تحلیل مشکلات کیفی و بهبود عملکرد فرآیندهای تولید مفید خواهد بود. نقش بعضی از این ابزار در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. در این شکل، فرآیند تولید به‌صورت یک سیستم در نظر گرفته شده که شامل یک سری ورودی و خروجی است. در یک فرآیند تولید، عامل‌های ورودی قابل کنترل $x_1, x_2, \ldots, x_p$ متغیرهایی از فرآیند نظیر درجه حرارت، فشار، سرعت تغذیه سیستم و عامل‌های ورودی غیر قابل کنترل یا سخت کنترل $p_1, p_2, \ldots, p_p$ متغیرهایی نظیر عامل‌های محیطی یا کیفیت مواد خام تأمین‌شده توسط تأمین‌کننده هستند. فرآیند تولید، این ورودی‌ها، قطعات و زیرمونتاژها را به محصول نهایی تبدیل می‌کند که دارای چندین مشخصۀ کیفی است. این مدل را می‌توان همچنین برای توصیف **فرآیندهای تولیدی و خدماتی** استفاده کرد. به‌عنوان مثال، فرآیند ارزیابی وام‌های خودرو در یک مؤسسه را در نظر گیرید. ورودی‌ها عبارتند از درخواست وام که شامل اطلاعات و سابقۀ مالی مشتری، نوع خودرو و میزان وام درخواستی است. متغیرهای قابل کنترل عبارتند از نوع آموزشی که کارشناس وام خواهد داشت، شرایط و قوانین بانک برای این‌گونه وام‌ها و تعداد کارشناسان وام که در هر دورۀ زمانی مشغول به‌کار هستند. متغیرهای غیرقابل کنترل عبارتند از نرخ بهره، میزان سرمایۀ موجود برای این‌گونه وام‌ها در هر دورۀ زمانی و تعداد درخواست‌های وام که در هر دوره نیاز به ارزیابی دارد. مشخصه‌های کیفی خروجی شامل تأیید وام، تعداد وام‌های تأییدشده که توسط درخواست‌کننده پذیرفته شده است و سیکل زمانی و یا به‌عبارت دیگر طول مدت زمانی که مشتری منتظر تصمیم‌گیری در مورد درخواست وام خود می‌ماند می‌شود. در بخش خدمات، سیکل زمانی غالباً یک مشخصۀ بحرانی بسیار مهم برای کیفیت است محسوب می‌شود.

Www.iepnu.com



شکل ۱-۳ ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیند تولید.

نمودار کنترل یکی از ابزارهای اصلی **کنترل فرآیندهای آماری**[1] است. یک نمودار کنترل در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. در این نمودار، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های انتخاب شده از فرآیند، بر حسب زمان (یا شماره نمونه) رسم می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است، این نمودار شامل خط مرکز[2]، حد کنترل بالا[3] و حد کنترل پایین[4] است. خط مرکز، مکان واقع شدن مشاهدات در صورت عدم وجود منابع غیرعادی تغییرپذیری را نشان می‌دهد. حدود کنترل براساس اصول آماری ساده‌ای که در فصل‌های بعد توضیح داده خواهد شد محاسبه می‌شود. به‌طور کلی، نمودارهای کنترل در مورد متغیرهای خروجی یک سیستم به کار برده می‌شود. با این وجود، این نمودارها را می‌توان در صورت نیاز برای متغیرهای ورودی نیز استفاده کرد.



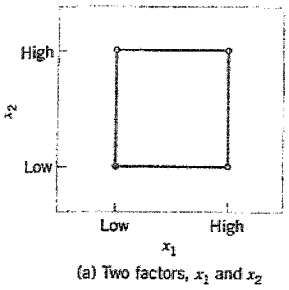
شکل ۱-۴ ساختار یک نمودار کنترل.

نمودار کنترل روش پایش بسیار مفیدی برای یک فرآیند محسوب می‌شود. در صورت وجود منابع غیر عادی تغییرپذیری، میانگین نمونه (به‌عنوان مثال) خارج از حدود کنترل رسم می‌شود. این بدین‌معنا است که فرآیند نیاز به بررسی و انجام اقدام اصلاحی با هدف حذف منابع غیرعادی تغییرپذیری دارد. استفادهٔ نظام‌مند و هدفمند از یک نمودار کنترل می‌تواند روش ایده‌آلی برای کاهش تغییرپذیری باشد.

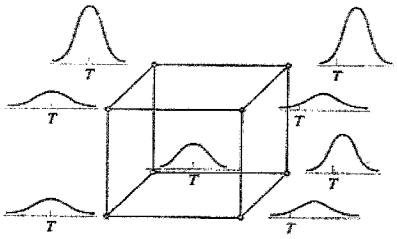
یک **آزمایش طراحی‌شده** می‌تواند نقش بسیار ارزشمندی را در شناسایی متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر مشخصه‌های کیفی موردنظر در یک فرآیند ایفا کند. روش طراحی آزمایش‌ها[5]، رویکردی است که از آن طریق می‌توان به‌طور سیستماتیک عامل‌های ورودی قابل کنترل در یک فرآیند را تغییر داد و تأثیر آن‌ها بر پارامترهای محصول خروجی را ارزیابی کرد. آزمایش‌هایی که به‌طور آماری طراحی می‌شوند تأثیر به سزایی بر کاهش تغییرپذیری مشخصه‌های کیفی و تعیین سطوح بهینهٔ متغیرهای قابل کنترلی دارد که منجر به بهینه‌سازی عملکرد فرآیند می‌شوند. غالباً استفاده از رویکرد طراحی آزمایش‌ها می‌تواند دستاوردهای قابل توجهی در عملکرد فرآیند و کیفیت محصول ایجاد کند.

1. Statistical process control - SPC
2. Center line - CL
3.Upper control limit - UCL
4. Lower control limit - LCL
5. Design of experiments - DOE

Www.iepnu.com



(a) Two factors, x_1 and x_2


(b) Three factors, x_1, x_2, and x_3

شکل ۱–۵ طرح‌های عاملی برای فرآیند شکل ۱–۳.

طرح‌های عاملی

طرح‌های عاملی، یکی از انواع بسیار مهم آزمایش‌های طراحی شده است که در این آزمایش‌ها با تغییر همزمان عامل‌ها، امکان ارزیابی کلیهٔ ترکیب‌های ممکن حاصل از سطوح عامل‌ها فراهم می‌شود. در شکل ۱–۵، دو طرح عاملی ممکن برای فرآیند ارائه‌شده در شکل ۱–۳ برای $p = ۲$ و $p = ۳$ عامل قابل کنترل نشان داده شده است. در شکل ۱–۵الف، عامل‌ها دارای دو سطح کم و زیاد هستند و چهار ترکیب حاصل از این آزمایش عاملی در گوشه‌های یک مربع نشان داده شده است. در شکل ۱–۵ب، سه عامل دو سطحی وجود دارد و هشت ترکیب حاصل از این آزمایش گوشه‌های یک مکعب را تشکیل می‌دهند. توزیع‌های نشان داده شده در گوشه‌های این مکعب، عملکرد فرآیند را برای هر یک از ترکیب‌های ممکن از عامل‌های قابل کنترل $x_۳$، $x_۲$ ، $x_۱$ نشان می‌دهد. بدیهی است که برخی از ترکیب‌های سطوح این عامل‌ها نتایج بهتری را به همراه خواهد داشت. به‌عنوان مثال، افزایش $x_۱$ از سطح کم به سطح زیاد می‌تواند باعث افزایش سطح متوسط خروجی فرآیند و جابه‌جایی میانگین به مقداری متفاوت از مقدار هدف[1] یا T شود. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد اگر فرآیند در شرایط سطوح زیاد $x_۲$ و $x_۳$ (صفحهٔ پشت مکعب) عمل کند آن‌گاه تغییرپذیری به میزان قابل توجه‌ای کاهش خواهد یافت.

طرحی آزمایشها یک تکنیک قبل از تولید انبوه است.

آزمایش‌های طراحی‌شده یکی از اصلی‌ترین ابزارهای کنترل کیفیت **قبل از تولید انبوه**[2] محسوب می‌شود چرا که به جای استفاده از روش‌های کنترل کیفیت **حین تولید**[3] از این آزمایش‌ها در حین فعالیت‌های تکوین و مراحل اولیه تولید استفاده می‌شود. آزمایش‌های طراحی‌شده نقش به سزایی در کاهش تغییرپذیری ایفا می‌کنند.

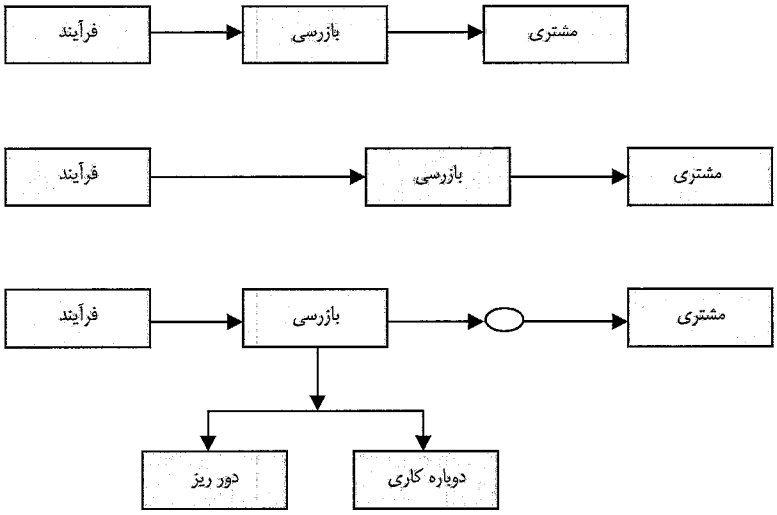
طراحی آزمایشها مدلی از فرایند را ارائه می‌کند.

پس از شناسایی فهرستی از متغیرهای مهم تأثیرگذار بر خروجی فرآیند نیاز است تا رابطهٔ بین متغیرهای ورودی مهم و مشخصه‌های کیفی خروجی مدل‌سازی شود. روش‌های آماری مفید برای تهیهٔ چنین مدل‌هایی شامل تحلیل رگرسیون و تحلیل سری‌های زمانی است. توضیحات کامل در مورد آزمایش‌های طراحی‌شده، تحلیل رگرسیون و مدل‌سازی سری‌های زمانی در مراجع (۱۹۸)، (۲۰۳) و (۲۶) ارائه شده است.

پس از شناسایی متغیرهای مهم و تعیین ارتباط بین متغیرهای مهم و خروجی فرآیند می‌توان از روش کنترل فرآیند آماری برای پایش فرآیند استفاده کرد. ابزارهایی نظیر نمودارهای کنترل را می‌توان برای پایش خروجی فرآیند و شناسایی زمان ایجاد تغییر در متغیرهای ورودی به منظور تحت کنترل درآوردن فرآیند استفاده کرد. روش‌هایی که ورودی‌های تأثیرگذار بر فرآیند را به

1. Target
2.Off- line quality control
3. On-line quality control

Www.iepnu.com



شکل ۱-۶ انواع مختلف نمونه‌گیری پذیرش

خروجی‌های آن مرتبط می‌سازند می‌توانند ما را در تعیین ماهیت و مقدار تنظیمات مورد نیاز یاری دهند. در اغلب فرآیندها با درک ماهیت پویای ارتباطهای بین متغیرهای ورودی و خروجی این مکان فراهم می‌شود تا بتوان با انجام تنظیمات منظم فرآیند، مقادیر آتی مشخصه‌های محصول را تقریباً به مقادیر اسمی خود نزدیک کرد. تنظیمات منظم فرآیند را اصطلاحاً **کنترل مهندسی**[1]، **کنترل خودکار**[2] یا **کنترل بازخورد**[3] می‌نامند.

روش‌های نمونه‌گیری پذیرش[4]، بخش سوم کنترل و بهبود کیفیت را تشکیل می‌دهند. این موضوع ارتباط تنگاتنگی با بازرسی و آزمون محصول دارد که یکی از جنبه‌های کنترل کیفیت محسوب می‌شود و تاریخچهٔ آن به سال‌های بسیار قبل از توسعهٔ روش‌های آماری بهبود کیفیت باز می‌گردد. نمونه‌گیری پذیرش که به‌عنوان بازرسی و دسته‌بندی محصولات نمونه که به‌طور تصادفی از یک انباشتهٔ بزرگ‌تر انتخاب و در نهایت منجر به تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد آن می‌شود معمولاً در دو مرحلهٔ مواد یا قطعات ورودی و تولید نهایی استفاده می‌شود.

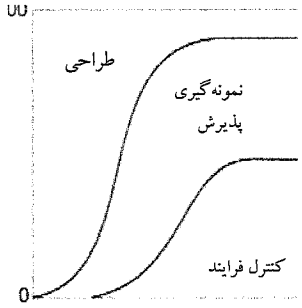
چندین حالت مختلف نمونه‌گیری پذیرش در شکل ۱-۶ نشان داده شده است. در شکل ۱-۶ الف، بازرسی دقیقاً بعد از تولید و قبل از ارسال محصول برای مشتری استفاده شده است. این نوع بازرسی معمولاً **بازرسی خروجی**[5] نامیده می‌شود. شکل ۱-۶ب، **بازرسی ورودی**[6] و یا حالتی را نشان می‌دهد که انباشته‌ها در محل دریافت محصول نمونه‌گیری می‌شود. تصمیمات مختلفی که می‌توان در مورد یک انباشته گرفت در شکل ۱-۶ج نشان داده شده است. انباشته‌های نمونه‌گیری شده، پذیرش یا رد و اقلام رد شده معمولاً دوباره‌کاری یا بازیافت و یا ممکن است دوباره‌کاری یا با محصولات سالم جایگزین شود. مورد آخر را معمولاً **بازرسی اصلاحی**[7] می‌نامند.

1. engineering control
2. automatic control
3. feedback control
4. acceptance sampling
5. Outgoing inspection
6. Incoming inspection
7. Rectifying inspection

Www.iepnu.com

سیستم‌های نوین تضمین کیفیت معمولاً تأکید کمتری بر نمونه‌گیری پذیرش و تأکید بیشتری بر کنترل کیفیت آماری و آزمایش‌های طراحی شده دارند. نمونه‌گیری پذیرش غالباً تأکید بر جنبهٔ انطباق با مشخصات کیفی دارد و بازخوردی در مورد فرآیندهای تولید و طراحی که منجر به بهبود کیفیت می‌شود فراهم نمی‌سازد.

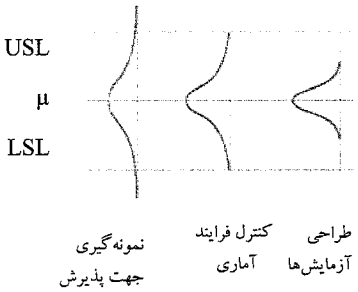
شکل ۱-۷ مراحل تکامل استفاده از این روش‌ها در اغلب سازمان‌ها را نشان می‌دهد. درکمترین سطح بلوغ، مدیریت ممکن است به‌طور کامل در مورد موضوعات کیفیت آگاهی نداشته باشد و بنابراین هیچ‌گونه فعالیت برنامه‌ریزی شدهٔ مؤثری در رابطه با بهبود کیفیت انجام نخواهد شد و غالباً از روش‌های نمونه‌گیری پذیرش و بازرسی قطعات و مواد ورودی استفاده می‌شود. با افزایش بلوغ سازمان، فعالیت‌های بازرسی افزایش می‌یابد. استفاده از روش‌های نمونه‌گیری آنقدر ادامه می‌یابد تا تشخیص داده شود که دیگر نمی‌توان از طریق بازرسی یا آزمون، کیفیت محصول را افزایش داد.



شکل ۱-۷ مراحل استفاده از روش‌های مهندسی کیفیت.

در آن مرحله است که سازمان فعالیت‌های خود را متوجه بهبود فرآیند می‌سازد. کنترل فرآیند آماری و طراحی آزمایش‌ها اثر زیادی بر فعالیت‌های طراحی محصول، تولید و توسعه فرآیند دارند. ارائه نظام‌مند این روش‌ها معمولاً باعث خواهد شد تا کیفیت، هزینه و بهره‌وری در سازمان بهبود یابد. در بالاترین سطح تکامل، شرکت‌ها از روش‌های طراحی آزمایش‌ها و کنترل فرآیند آماری به میزان نسبتاً زیادی و از روش‌های نمونه‌گیری پذیرش به میزان نسبتاً کمی استفاده می‌کنند.

هدف اصلی مهندسان کیفیت، کاهش نظام‌مند تغییرپذیری مشخصه‌های کیفی کلیدی محصول است. شکل ۱-۸ مراحل مختلف این کاهش نظام‌مند را در طول زمان نشان می‌دهد. در مراحل اولیه موقعی که فقط نمونه‌گیری پذیرش استفاده می‌شود درصد زیادی از محصولات با استانداردهای مورد نیاز انطباق نخواهد داشت. با به‌کارگیری کنترل فرآیند آماری، فرآیند یک حالت ثبات به خود می‌گیرد و تغییرپذیری آن کاهش می‌یابد. هر چند این کافی نیست که محصولات تولیدشده فقط با خواسته‌های موردنظر انطباق داشته باشند، ولی با کاهش بیشتر تغییرپذیری نه تنها می‌توان هزینه کیفیت را کاهش داد بلکه می‌توان سازمان را از یک موقعیت رقابتی بهتری برخوردار نمود.



شکل ۱-۸ کاربرد روش‌های مهندسی کیفیت و کاهش نظام‌مند تغییرپذیری فرآیند.

۱-۴ رابطهٔ بین بهبود کیفیت و بهره‌وری

امروزه تولید محصولات با کیفیت بالا در محیط‌های صنعتی‌نوین کار ساده‌ای نیست. مشکل و مسألهٔ عمده تکامل سریع فن‌آوری است. در ۲۰ سال اخیر تحولات زیادی در فن‌آوری صنایع گوناگونی نظیر الکترونیک، متالوژی، سرامیک، مواد مرکب و علوم شیمیایی و دارویی ایجاد شده است. این تحولات باعث پیدایش محصولات و خدمات جدیدی شده است. به‌عنوان مثال، در زمینهٔ الکترونیک، پیدایش مدارهای مجتمع، انقلابی در طراحی و ساخت رایانه‌ها و سایر محصولات الکترونیکی پدید آورد. فن‌آوری مدارهای مجتمع اولیه با فن‌آوری مدارهای مجتمع چگال، فن‌آوری مدارهای مجتمع خیلی چگال و تحولات متناظری که در زمینهٔ طراحی و تولید نیمه هادی حاصل شده است جایگزین شد. زمانی که پیشرفت‌های فن‌آوری به‌طور سریع روی

Www.iepnu.com

می‌دهد و با همان سرعت نیز فن‌آوری‌های نوین برای سبقت گرفتن از رقبا استفاده می‌شود، مشکلات ساخت محصولاتی که باید از سطح مناسبی از کیفیت طراحی و انطباق برخوردار باشند به‌سرعت افزایش می‌یابد.

در اغلب موارد توجه کافی نسبت به کیفیت، بهره‌وری، کارآیی و اقتصادی بودن تولید معطوف نمی‌شود. بدیهی است استفاده از یک روش بهبود کیفیت مؤثر باعث افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه می‌شود. به‌عنوان مثال، یک قطعهٔ مکانیکی که در دستگاه کپی کاربرد دارد را در نظر گیرید. این قطعه به وسیله یک فرآیند ماشین‌کاری به میزان تقریبی ۱۰۰ عدد در روز ساخته می‌شود. به دلایل مختلف، فرآیند در سطح عبور مستقیم حدوداً ۷۵ درصد قرار دارد. به‌عبارت دیگر، ۷۵ درصد از خروجی فرآیند با مشخصات فنی انطباق دارد و حدوداً ۲۵ درصد از خروجی فرآیند فاقد انطباق لازم است. حدود ۶۰ درصد قطعات فاقد مشخصات فنی را می‌توان به وسیله دوباره‌کاری به قطعات قابل مصرف تبدیل کرد و قطعات باقیمانده باید دور ریخته شوند. هزینهٔ تولید هر قطعه در این مرحله از فرآیند حدود ۲۰ دلار است. برای قطعاتی که به وسیلهٔ فرآیند دوباره‌کاری به قطعات قابل مصرف تبدیل می‌شوند یک هزینه اضافی ۴ دلاری نیز منظور می‌شود. بنابراین، هزینهٔ ساخت هر یک از قطعات تولیدشدهٔ خوب (برحسب دلار) برابر خواهد بود با:

$$\text{هزینه/ قطعه خوب} = \frac{۲۰(۱۰۰)+۴(۱۵)}{۹۰} = \$\,۲۲/۸۹$$

باید توجه داشت که بازده این مرحله از فرآیند بعد از انجام دوباره‌کاری، تعداد۹۰ قطعهٔ خوب و سالم در روز است.

با انجام یک مطالعه مهندسی بر روی این فرآیند مشخص می‌شود که منبع اصلی ایجاد اشکال، عدم استفادهٔ کافی از روش‌های کنترل فرآیند است. با استفاده از یک روش کنترل فرآیند آماری میزان محصولات فاقد مشخصات فنی از ۲۵ درصد به ۵ درصد کاهش می‌یابد. از این ۵ درصد حدود ۶۰ درصد دوباره کاری و حدود ۴۰ درصد دور ریخته می‌شوند. بعد از استفاده از برنامه کنترل فرآیند، هزینه تولید هر قطعه خوب (برحسب دلار) برابر خواهد بود با:

$$\text{هزینه/ قطعه خوب} = \frac{۲۰(۱۰۰)+۴(۳)}{۹۰} = \$\,۲۰/۵۳$$

توجه به این نکته ضروری است که با استفاده از کنترل فرآیند آماری هزینه‌های تولید تقریباً ۱۰/۳ درصد کاهش می‌یابد. به علاوه، بهره‌وری نیز تقریباً ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و یا به‌عبارت دیگر میزان تولید از ۹۰ قطعهٔ سالم در روز به ۹۸ قطعهٔ خوب در روز افزایش پیدا می‌کند. با انجام این کار، ظرفیت تولید بدون هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری اضافی، افزایش نیروی کار و یا هزینه‌های سربار افزایش یافته است. تلاش جهت بهبود این فرایند با استفاده از روش‌های دیگر نظیر تولید به موقع و تولید ناب تا زمانی‌که پراکندگی کاهش نیافته باشد نمی‌تواند از اثربخشی لازم برخوردار باشد.

Www.iepnu.com

۱-۵ هزینه‌های کیفیت

هزینـه‌هـای کیفیـت ابزارهـای کنترل مالی مهمی هستند

کنترل‌های مالی بخش مهمی از مدیریت کسب‌وکار محسوب می‌شود. این کنترل‌های مالی به‌صورت مقایسه بین هزینه‌های واقعی و هزینه‌های پیش‌بینی شده در بودجه همراه با تحلیل‌ها و اقدامات مورد نیاز در خصوص تفاوت‌های بین این دو هزینه انجام می‌شود. این کنترل‌های مالی را معمولاً برای ارزیابی عملکرد بخش یا کارکردی از سازمان استفاده می‌کنند. برای سالیان متمادی، هیچ‌گونه سعی و تلاش مستقیمی برای اندازه‌گیری ارزیابی کارکرد کیفیت وجود نداشت. امروزه اغلب سازمان‌ها به‌طور رسمی هزینه‌های کیفیت را ارزیابی می‌کنند. دلایل مختلفی برای در نظر گرفتن این‌گونه هزینه‌ها وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره‌کرد:

- افزایش هزینه‌های کیفیت با پیشرفت فن‌آوری و افزایش پیچیدگی محصولات تولید شده
- افزایش آگاهی و شناخت در مورد هزینه‌های چرخهٔ عمر محصول نظیر نگهداری و تعمیرات، لوازم یدکی و هزینه‌های ناشی از خرابی محصول در حین استفاده
- مهندسان و مدیران کیفیت می‌توانند به‌طور اثربخش هزینه‌های کیفیت را به زبان قابل درک برای مدیریت (پول) تبدیل و به آن‌ها انتقال دهند

در نتیجه هزینه‌های کیفیت به‌عنوان ابزار کنترل مالی در خدمت مدیریت برای شناسایی فرصت‌های بهبود برای کاهش هزینه‌های کیفیت قرار گرفت.

به‌طورکلی، هزینه‌های مرتبط با تولید، شناسایی، تعمیر و یا اجتناب از تولید محصولات فاقد انطباق را هزینه‌های کیفیت می‌نامند. اغلب سازمان‌های تولیدی و خدماتی معمولاً هزینه‌های کیفیت را به چهار گروه تقسیم می‌کنند. هزینه‌های پیشگیری، هزینه‌های ارزیابی، هزینه‌های شکست‌های داخلی و هزینه‌های شکست‌های خارجی. این چهار گروه هزینه در جدول ۱-۲ ارائه شده است. حال هر یک از این گروه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

جدول ۱-۲

هزینه‌های کیفیت	
هزینه‌های پیشگیری	هزینه‌های شکست داخلی
طرح‌ریزی و مهندسی کیفیت	دورریز
بازنگری محصولات جدید	دوباره‌کاری
طراحی، محاسبه و ...	زمان از دست رفته
کنترل فرآیند	تحلیل شکست
...	...
آموزش	بازده از دست رفته
جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کیفیت	مرجوعات، کسر و ...
هزینه‌های ارزیابی	هزینه‌های شکست خارجی
بازرسی و آزمایش مواد ورودی	رسیدگی به شکایات
بازرسی و آزمایش صول	محصـــول/ مـــواد مرجوعی
مواد، خدمات و ...	هزینه‌های گارانتی
حفظ درستی دستگاه‌های آزمایش	هزینه‌های مسئوولیت در قبال محصول
	هزینه‌های غیرمستقیم

هزینه‌های پیشگیری. هزینه‌های پیشگیری شامل آن دسته از هزینه‌های مراحل طراحی و تولید است که با هدف پیشگیری از تولید محصولات نامنطبق صرف می‌شود. به‌طورکلی، هزینه‌های پیشگیری هزینه‌هایی است که برای تولید محصول/ خدمت در بار اول صرف شده است. هزینه‌های اصلی این گروه عبارتند از:

طرح‌ریزی و مهندسی کیفیت	هزینه‌های مربوط به تهیهٔ طرح جامع کیفیت، طرح بازرسی، طرح قابلیت اطمینان، سیستم داده‌ها و کلیهٔ طرح‌ها و فعالیت‌های ویژهٔ کارکرد تضمین کیفیت از قبیل تهیهٔ نظام‌نامه‌ها و رویه‌هایی که به وسیلهٔ آن‌ها طرح کیفیت اطلاع‌رسانی می‌شود و همچنین هزینه‌های ممیزی سیستم را هزینه‌های طرح‌ریزی و مهندسی کیفیت می‌نامند.
بازنگری محصولات جدید	هزینه‌های تهیهٔ پیشنهاد مناقصه، ارزیابی طراحی‌های جدید از منظر کیفیت، آماده‌سازی آزمایش‌ها برای ارزیابی عملکرد محصولات جدید و سایر فعالیت‌های مرتبط با کیفیت طی مراحل تکوین و آماده‌سازی محصولات یا طراحی‌های جدید را هزینه‌های بازنگری محصول جدید می‌نامند.

Www.iepnu.com

طراحی محصول/فرآیند	هزینه‌های ایجادشده در مرحلهٔ طراحی محصول یا انتخاب فرآیندهای تولید که انتظار می‌رود کیفیت محصول را بهبود بخشند را هزینه‌های طراحی محصول/ فرآیند می‌نامند. به‌عنوان مثال، ممکن است یک سازمان به منظور افزایش قابلیت اطمینان محصول خود و افزایش زمان متوسط بین شکست‌ها، یک قطعه را بیش از یک بار در یک مدار استفاده کند. همچنین ممکن است تصمیم گرفته شود که به جای استفاده از فرآیند الف از فرآیند ب استفاده شود چراکه فرآیند الف می‌تواند محصولاتی با تلرانس کمتری تولید کند و این خود به کاهش مشکلات تولید و مونتاژ کمک خواهد کرد. این ارزیابی‌ها ممکن است شامل فرآیندهای تأمین‌کننده نیز شود که در این صورت هزینه‌هایی به غیر از هزینهٔ ارزیابی پیشنهادات متاقصه به‌عنوان هزینه‌های پیشگیری مطرح می‌شود.
کنترل فرآیند	هزینه‌های استفاده از روش‌های کنترل فرآیند نظیر نمودارهای کنترل که فرآیند تولید را به منظور کاهش میزان تغییرات و ایجاد کیفیت کنترل می‌کند را هزینه‌های کنترل فرآیند می‌نامند.
آزمایش نهایی	هزینهٔ آزمایش محصول قبل از حمل از کارخانه که باعث خواهد شد تا از میزان خرابی‌های زودرس در حین استفاده کاسته شود را هزینهٔ آزمایش نهائی می‌نامند.
آموزش	هزینهٔ توسعه، آماده‌سازی، اجرا، و حفظ برنامه‌های آموزش رسمی کیفیت، هزینهٔ آموزش نامیده می‌شود.
جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کیفیت	هزینهٔ استقرار سیستم داده‌های کیفیت به منظور جمع‌آوری داده‌های مربوط به عملکرد فرآیند و محصول و همچنین هزینهٔ تحلیل این داده‌ها یا هدف شناسایی مشکلات بالقوه را می‌توان هزینه‌های جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها نامید. این هزینه همچنین شامل فعالیت‌های مرتبط با خلاصه کردن و نشر اطلاعات کیفیت برای مدیریت می‌شود.

هزینه‌های ارزیابی. هزینه‌های ارزیابی آن دسته از هزینه‌هایی هستند که به دلیل اندازه‌گیری، ارزیابی یا ممیزی محصولات، قطعات و مواد خریداری شده یا کسب اطمینان از انطباق آن‌ها با استانداردهای از قبل تعیین‌شده ایجاد می‌شود. به‌عبارت دیگر، این هزینه‌ها به دلیل تعیین وضعیت کیفی محصول و به منظور کسب اطمینان از انطباق مشخصه‌های موردنظر ایجاد می‌شود. هزینه‌های اصلی این گروه عبارتند از:

بازرسی و آزمایش مواد ورودی	هزینه‌های مربوط به بازرسی و آزمایش کلیهٔ مواد تأمین شده به وسیلهٔ فروشنده را هزینه‌های بازرسی و آزمایش مواد ورودی می‌نامند. همچنین این هزینه‌ها شامل انجام بازرسی و آزمایش مواد دریافتی، بازرسی، آزمایش و ارزیابی در محل تسهیلات تأمین‌کننده و ممیزی‌های دوره‌ای سیستم تضمین کیفیت او می‌شود. تأمین‌کننده می‌تواند شامل تأمین‌کنندگان داخلی نیز باشد.
بازرسی و آزمایش محصول	هزینه ارزیابی میزان انطباق محصول در مراحل مختلف تولید از قبیل آزمایش نهایی، بسته‌بندی و حمل و همچنین انجام هرگونه آزمایش و بازرسی در محل تولیدکننده قبل از تحویل محصول به مشتری را هزینه بازرسی و آزمایش محصول می‌نامند. همچنین این هزینه شامل آزمایش طول عمر و دوام محصول، آزمایش زیست محیطی و آزمایش قابلیت اطمینان می‌شود.
مواد و خدمات مصرف شده	هزینه‌های مربوط به مواد و محصولات مصرف شده در آزمایش‌های مخرب یا آزمایش‌های قابلیت اطمینان را هزینه‌های مواد و خدمات مصرف شده می‌نامند.
حفظ درستی دستگاه‌های آزمایش	هزینه برقراری سیستمی که دستگاه‌های اندازه‌گیری را همیشه در وضعیت کالیبره حفظ می‌کند را هزینهٔ درستی دستگاه‌های آزمایش می‌نامند.

هزینه‌های شکست داخلی. هزینه‌های شکست داخلی زمانی ایجاد می‌شود که محصولات،

Www.iepnu.com

قطعات، مواد و خدمات ارائه‌شده نتواند الزامات کیفی موردنظر را برآورده سازد و این شکست قبل از تحویل محصول به مشتری شناسایی می‌شود. اگر محصول فاقد نقص می‌بود هیچ یک این هزینه‌ها به‌وجود نمی‌آمد. زیرگروه‌های اصلی این هزینه‌ها عبارتند از:

دورریز	هزینه خالص صرف شده برای کارگر، مواد و هزینه‌های بالاسری ناشی از محصول معیوب که تعمیر یا استفاده از آن‌ها از لحاظ اقتصادی دیگر مقرون به صرفه نیست را هزینه دور ریز می‌نامند.
دوباره‌کاری	هزینه‌های مرتبط با اصلاح محصولات نامنطبق و تبدیل آن‌ها به محصولات منطبق با مشخصه‌های موردنظر را هزینه‌های دوباره‌کاری می‌نامند. در بعضی از فرآیندهای تولید، هزینه‌های دوباره‌کاری شامل هزینه‌های عملیات یا مراحل اضافی فرآیند تولید می‌شود که با هدف برای رفع نقص‌های مزمن یا نقص‌های موردی در محصول ایجاد شده‌اند.
آزمایش مجدد	هزینه بازرسی و آزمایش مجدد محصولات دوباره‌کاری یا اصلاح شده را هزینه آزمایش مجدد می‌نامند.
تحلیل شکست	هزینه‌های مرتبط با تعیین دلایل ایجاد شکست در محصول را هزینه‌های تحلیل شکست می‌نامند.
توقف خط	هزینهٔ توقف خط تولید به دلیل عدم انطباق با الزامات را هزینه توقف خط می‌نامند. توقف در خط تولید ممکن است به علت استفاده از محصول اولیه نامنطبق ارائه شده توسط تأمین‌کننده که در مرحله بازرسی مواد ورودی شناسایی نشده است به‌وجود آید.
بازده از دست رفته	هزینهٔ بازده کمتر از حد عادی فرآیند به دلیل عدم استفاده از روش‌های کنترلی بهبود یافته (به‌عنوان مثال، میزان نوشابه سر ریز شده از شیشه‌های نوشابه به علت وجود تغییرات زیاد در دستگاه پرکن)، هزینه بازده از دست رفته نامیده می‌شود.
مرغوبیت کمتر/ خارج از تلرانس	تفاوت قیمت فروش عادی و قیمت فروش محصول نامنطبق با الزامات مشتری باعث ایجاد این هزینه می‌شود. مرغوبیت کمتر، یک امر عادی در صنایع نساجی، پوشاک و الکترونیک است. مشکل اصلی این محصولات آن است که فروش آن‌ها سودی که از فروش محصولات منطبق با مشخصات حاصل می‌شود را به همراه نخواهند داشت.

هزینه‌های شکست خارجی. هزینه‌های شکست خارجی زمانی به‌وجود می‌آید که محصول تحویل شده به مشتری عملکرد رضایت‌بخشی نداشته باشد. اگر محصول با الزامات انطباق داشته باشد آن‌گاه هیچ یک از این هزینه‌ها به‌وجود نمی‌آید. هزینه‌های اصلی این گروه عبارتند از:

رسیدگی به شکایات	کلیه هزینه‌های بررسی و تنظیم شکایات قابل توجیه مربوط به محصولات نامنطبق را هزینه‌های رسیدگی به شکایات می‌نامند.
محصول/ مواد مرجوعی	کلیه هزینه‌های دریافت، جابه‌جائی و جایگزینی محصول یا مواد برگشتی نامنطبق را هزینه محصول یا مواد مرجوعی می‌نامند.
هزینه‌های گارانتی	کلیهٔ هزینه‌ها مربوط به ارایهٔ خدمت به مشتری طی دورهٔ گارانتی را هزینهٔ گارانتی می‌نامند.
هزینه مسئولیت در قبال محصول	این هزینه‌ها یا غرامت‌های به دلیل دعوی حقوقی ناشی از مسئولیت در قبال محصول ایجاد می‌شود.
هزینه‌های غیرمستقیم	علاوه بر هزینه‌های عملیاتی مستقیم ناشی از شکست‌های خارجی، هزینه‌های سنگین دیگری نیز وجود دارد که به دلیل عدم رضایت مشتری نسبت به سطح کیفیت محصول تحویل داده شده ایجاد می‌شود. هزینه‌های غیرمستقیم می‌تواند شامل هزینهٔ سلب اطمینان مشتری از شرکت و یا به‌عبارت دیگر از بین رفتن شهرت، از دست دادن کسب‌وکار و کاهش سهم بازار به دلیل عدم ارائه محصولات یا خدمات منطبق با انتظارات مشتری شود.

Www.iepnu.com

تحلیل و استفاده از هزینه‌های کیفیت. هزینه‌های کیفیت چه مقدار است؟ پاسخ به این سؤال در نوع سازمان و میزان موفقیت آن‌ها در فعالیت‌های بهبود کیفیت نهفته است. در بعضی از سازمان‌ها، هزینه‌های کیفیت حدود ۴ یا ۵ درصد فروش است. در حالی‌که در بعضی سازمان‌ها این عدد به ۳۵ الی ۴۰ درصد فروش می‌رسد. بدیهی است هزینه‌های کیفیت، برای یک تولیدکننده رایانه با فن‌آوری پیشرفته، با هزینه‌های کیفیت مربوط به یک صنعت خدماتی نظیر فروشگاه یا هتل خیلی تفاوت خواهد داشت. گرچه در اغلب سازمان‌ها هزینه‌های کیفیت بیشتر از حد معمول است ولی مدیریت باید سعی کند که با تلاش مستمر، انجام ارزیابی‌های مورد نیاز و تحلیل اطلاعات، این‌گونه هزینه‌ها را کاهش دهد.

سودمندی هزینه‌های کیفیت در **اثر اهرمی**[1] آن نهفته است. به‌عبارت دیگر، هزینه‌های صرف شده در مراحل پیشگیری و ارزیابی باعث می‌شود که هزینه‌های ایجاد شده در مراحل شکست داخلی و خارجی که معمولاً بیشتر از هزینه‌های اولیه است کاهش یابد. به‌عنوان مثال، به ازای هر یک دلار هزینه شده در مرحلهٔ پیشگیری این امکان وجود دارد که ۱۰ یا ۱۰۰ دلار یا حتی بیشتر از هزینه‌های شکست داخلی و خارجی کم شود.

هدف اصلی تحلیل هزینه‌های کیفیت کاهش هزینه‌ها از طریق شناسایی فرصت‌های بهبود است. این کار معمولاً به وسیله **تحلیل پارتو**[2] انجام می‌شود. تحلیل پارتو معمولاً بر اساس شناسایی هزینه‌های کیفیت در قالب دسته‌بندی نوع محصول یا حتی نوع نقص یا عدم انطباق انجام می‌شود. به‌عنوان مثال، فهرست هزینه‌های کیفیت درج شده در جدول ۳-۱ که مربوط به نقص‌ها یا عدم انطباق‌های قطعات الکترونیکی استفاده شده در صفحات مدارهای چاپ شده است را درنظر گیرید. در این جدول، بیشترین هزینه به لحیم‌کاری ناکافی مربوط می‌شود. لحیم کاری ناکافی ۴۲ درصد از کل نقص‌ها و ۵۲ درصد از کل هزینه‌های مربوط به دوباره‌کاری و دور ریز این صفحات را به خود اختصاص داده است. اگر فرآیند لحیم کاری را بتوان بهبود داد آن‌گاه درصد زیادی از هزینه‌های کیفیت کاهش می‌یابد.

جدول ۱-۳

اطلاعات ماهانهٔ مربوط به هزینه‌های کیفیت مونتاژ صفحات مدارهای چاپ شده

نوع نقص	درصد کل نقص	هزینه‌های دوباره کاری و دور ریز
لحیم‌کاری ناکافی	٪۴۲	۲۷.۵۰۰.۰۰ (٪۵۲)
قطعات نا هم سطح	٪۲۱	۱۲.۰۰۰.۰۰
قطعات معیوب	٪۱۵	۸.۰۰۰.۰۰
قطعات نصب شده	٪۱۰	۵.۱۰۰.۰۰
اتصالات لحیم سرد	٪۷	۵.۰۰۰.۰۰
سایر موارد	٪۵	۴.۶۰۰.۰۰
مجموع	٪۱۰۰	۷۲.۲۰۰.۰۰ دلار

تحلیل پارتو هزینه‌های کیفیت

چه مقدار کاهش در هزینه‌های کیفیت امکان‌پذیر است؟ در حالی که هزینه‌های کیفیت را می‌توان در اغلب سازمان‌ها به مقدار زیادی کاهش داد ولی نباید انتظار داشت که بتوان این هزینه‌ها را به صفر رسانید. البته قبل از اینکه بتوان به این سطح از هزینه دست یافت، هزینه‌های پیشگیری و ارزیابی به میزانی بیش از میزان کاهش هزینه‌ها افزایش می‌یابد. با این وجود، توجه به هزینه‌های کیفیت در کنار تلاش‌های کاهش پراکندگی این امکان را فراهم می‌سازد که بتوان هزینه‌های کیفیت را به شرط این‌که هیچ‌گونه فعالیت قبلی در این راستا صورت نگرفته باشد به میزان ۵۰ الی ۶۰ درصد کاهش داد. همچنین این کاهش هزینه از اصل پارتو پیروی می‌کند و یا به‌عبارت دیگر بیشترین کاهش هزینه از طریق تعداد کمی از مشکلات که بیشترین درصد هزینه‌های کیفیت را به خود اختصاص داده‌اند محقق می‌شود. به منظور تحلیل هزینه‌های کیفیت و فرموله کردن طرح‌هایی جهت کاهش هزینه‌های کیفیت باید به نقش پیشگیری و ارزیابی توجه خاصی شود. اغلب سازمان‌ها بودجه مدیریت کیفیت خود را بیشتر به ارزیابی اختصاص می‌دهند تا پیشگیری. این یک اشتباه بسیار متداول سازمان‌ها است چرا که هزینه‌های ارزیابی غالباً شامل هزینه‌های درنظر گرفته شدهٔ خط تولید می‌شود. از طرف دیگر، ممکن است همیشه بودجهٔ

1.leveray effect
2 .pareto analysis

Www.iepnu.com

خاصی به فعالیت‌های پیشگیری تخصص نیابد. شاید این یک امر عادی باشد که در آغاز برنامهٔ هزینه کیفیت، هزینه‌های ارزیابی حدود هشت الی ده برابر هزینه‌های پیشگیری باشد. با احتمال زیاد می‌توان گفت که این یک نسبت غیرعادی است، چرا که بازده هر دلاری که برای پیشگیری هزینه می‌شود به مراتب بیشتر از بازدهی خواهد بود که از هر دلار صرف شده برای ارزیابی حاصل می‌شود.

تهیهٔ اطلاعات هزینهٔ کیفیت

تهیهٔ ارقام مربوط به هزینه‌های کیفیت همیشه کار ساده‌ای نیست. این بدان علت است که سوابق حسابرسی سازمان به‌طور مستقیم کلیهٔ گروه‌های مربوط به هزینه‌های کیفیت را شامل نمی‌شود. بنابراین، شاید این وظیفهٔ نسبتاً مشکلی باشد که بتوان اطلاعات دقیقی برای هر هزینه را از طریق این مدارک به دست آورد. سیستم حسابرسی سازمان را می‌توان به منظور کسب اطلاعاتی در مورد حساب‌های معمول سازمان نظیر آزمایش و ارزیابی محصول استفاده کرد. به علاوه، اغلب سازمان‌ها اطلاعات جامعی در مورد هزینه‌های شکست و گروه‌های مختلف آن نگهداری می‌کنند. اطلاعات مربوط به آن دسته از هزینه‌هایی که به‌طور دقیق برای آن‌ها سرفصل یا پرونده‌ای وجود ندارد باید برآورد شود و یا با ایجاد سیستم نظارتی در طول دوره‌ای که این مطالعات انجام می‌گیرد جمع‌آوری شود.

گزارش هزینه‌های کیفیت معمولاً به‌صورتی ارائه می‌شود که به راحتی توسط مدیریت قابل ارزیابی باشد. مدیران ترجیح می‌دهند که هزینه‌های کیفیت به‌صورت شاخص برای آن‌ها گزارش شود تا مقایسهٔ هزینهٔ کیفیت با هزینهٔ فرصت دستیابی به کیفیت به راحتی امکان‌پذیر باشد. بنابراین، معمولاً این شاخص‌ها به‌صورت نسبت گزارش می‌شوند که صورت کسر را هزینهٔ کیفیت و مخرج آن را برآورد فعالیتی نظیر ۱- ساعات کار تولید، ۲- هزینهٔ نیروی کار تولید، ۳- هزینهٔ فرآیندهای مختلف، ۴- هزینهٔ تولید ۵- درآمد حاصل از فروش و یا ۶- تعداد محصولات، تشکیل می‌دهد.

مدیریت ارشد ممکن است نیاز به استانداردی داشته باشد که ارقام مربوط به هزینه‌های کیفیت را با آن مقایسه کند. شاید این کاری بس دشوار باشد که بخواهیم معیارهای مطلق یا کاملی تهیه کنیم یا این‌که حتی ایده‌ای در مورد هزینه‌های کیفیت صنعت مشابهی جمع‌آوری کنیم. بنابراین، یک روش مناسب آن است که عملکرد فعلی را با عملکرد قبل مقایسه کنیم تا این‌که برآوردی در مورد اثرات برنامه‌های هزینه کیفیت به‌دست آوریم. انجام این‌گونه مقایسه‌ها و مشاهدهٔ اختلاف‌های ناشی از عملکردها می‌تواند به‌عنوان معیاری برای مقایسهٔ شرایط فعلی کیفیت با استانداردهای موردنظر و در صورت نیاز، جلب توجه مدیران به این مشکلات استفاده شود. بدیهی است که اینگونه فعالیت‌ها لزوماً به تنهایی بهبود کیفیت را تضمین نخواهند کرد.

عدم مؤفقیت در تحلیل هزینه‌های کیفیت

مباحث فوق ما را به سمت این نکتهٔ جالب هدایت می‌کند که بعضی از تلاش‌های مرتبط با جمع‌آوری و تحلیل هزینه‌های کیفیت ناموفق خواهد بود. به‌عبارت دیگر، بعضی از سازمان‌ها تحلیل هزینه‌های کیفیت را آغاز ولی بعد از مدتی به دلیل عدم موفقیت آن را رها می‌کنند. دلایل متفاوتی برای عدم موفقیت برنامه‌های هزینه کیفیت وجود دارد. یکی از دلایل عمده آن استفاده نکردن از اطلاعات مربوط به هزینه کیفیت و به کار نگرفتن آن‌ها به‌عنوان مکانیزمی برای فراهم کردن شرایط بهبود کیفیت است. اگر اطلاعات مربوط به هزینهٔ کیفیت فقط جمع‌آوری شود و از آن‌ها برای اخذ تصمیمات آگاهانه برای شناسایی منابع ایجاد اشکال و روش‌های بهبود کیفیت استفاده نشود آن‌گاه این‌گونه برنامه‌ها نمی‌تواند به‌طور کامل موفقیت‌آمیز باشد.

دلیل دیگری که جمع‌آوری هزینه‌های کیفیت را با شکست مواجه می‌سازد آن است که

Www.iepnu.com

مدیران بیش از حد خود را سرگرم بهبود ارقام مربوط به هزینه می‌کنند. باید توجه داشت که تأکید بیش از حد در مورد هزینه‌های کیفیت و مطرح کردن آن‌ها به‌عنوان بخشی از سیستم حسابرسی و نادیده گرفتن آن‌ها به‌عنوان ابزار کنترل مدیریتی یک اشتباه محض است. این طرز تفکر و نگرش باعث خواهد شد که زمان موردنیاز برای تهیهٔ داده‌های هزینه و تحلیل آن‌ها و همچنین شناسایی فرصت‌های بهبود کیفیت به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. هرچه زمان تهیه و تحلیل این‌گونه داده‌ها افزایش یابد مدیریت صبر خود را از دست خواهد داد و نسبت به اثربخشی چنین فعالیت‌هایی دلسرد خواهد شد. باید توجه داشت که هر برنامه‌ای که از دید مدیریت به جایی نرسد مطمئناً متوقف خواهد شد.

نکتهٔ آخر در مورد عدم موفقیت برنامهٔ هزینه‌های کیفیت، برآورد نادرست مدیریت از عمق تعهد نسبت به پیشگیری مورد نیاز است. نویسندهٔ کتاب فرصت‌های متعددی را برای بررسی هزینه‌های کیفیت در شرکت‌های مختلف داشته است. هزینه‌های پیشگیری برای شرکت‌هایی که از برنامه‌های هزینه کیفیت مؤثری برخوردار نیستند به ندرت بیش از ۱ یا ۲ درصد درآمد آن‌ها است.

در حالی‌که این میزان باید بین ۵ تا ۶ درصد تغییر کند و این مقدار اضافی باید صرف روش‌های فنی بهبود کیفیت شود و نه استقرار برنامه‌هایی نظیر نقص صفر، مدیریت کیفیت جامع و یا سایر فعالیت‌های مشابه. اگر مدیریت دراین راستا به‌طور جدی تلاش کند می‌توان انتظار داشت که هزینه‌های کیفیت به میزان قابل توجهی کاهش یابد. بدیهی است که صرفه جویی حاصل از برنامه‌های هزینه‌های کیفیت معمولاً بعد از یک یا دو سال و در بعضی از شرکت‌ها حتی در زمانی طولانی‌تری مشاهده خواهد شد.

۱-۶ جنبه‌های حقوقی کیفیت

مشتری‌گرایی و مسئولیت در قبال محصول از دلایل اصلی توجه به امر تضمین کیفیت به‌عنوان یکی از راهبردهای مهم کسب‌وکار است. بخشی از دلایل روی آوردن به مشتری‌گرایی به شکست‌های زیاد محصولات بر می‌گردد. شکست‌های قابل رؤیت در زمان استفاده اغلب این سؤال را در ذهن ایجاد می‌کند که آیا محصولات امروز به خوبی محصولات قبلی است؟ و آیا تولیدکنندگان واقعاً علاقه‌ای نسبت به کیفیت دارند؟ پاسخ هر دو سؤال مثبت است. تولیدکنندگان همیشه به‌طور جدی نسبت به شکست‌های میدانی محصولات به دلیل هزینه‌های شکست خارجی زیاد و از دست دادن موقعیت رقابتی نگران بوده‌اند. بنابراین، اغلب تولیدکنندگان محصولات خود را در راستای کاهش شکست‌های میدانی بهبود و اصلاح کرده‌اند. به‌عنوان مثال، لاستیک اتومبیل‌های امروزی چیزی حدود ۱۰ برابر لاستیک‌های مشابه قبلی کار می‌کنند و فن‌آوری نیمه‌هادی‌ها و مدارهای مجتمع میزان خرابی دستگاه‌های الکترونیکی را که قبلاً با لامپ‌های الکترونی کار می‌کردند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داده است. به‌طورکلی، محصولات امروز بهتر و کامل‌تر از محصولات سال‌های گذشته است. عدم رضایت مصرف‌کننده و احساس کلی از این‌که محصولات امروز دارای عملکرد ضعیف‌تری نسبت به محصولات مشابه قبلی خود هستند از جای دیگر سرچشمه می‌گیرد. یکی از دلایل آن تعداد زیاد محصولات است. به‌عنوان مثال، اگر میزان شکست یک نوع محصول در زمان استفاده حدود یک درصد باشد و اگر

Www.iepnu.com

در سال تعداد ۵۰,۰۰۰ از این محصول تولید شود آن‌گاه باید تعداد ۵۰۰ محصول نامنطبق در سال را انتظار داشت. حال اگر میزان تولید ۵۰,۰۰۰ واحد در سال باشد آن‌گاه باید انتظار داشت که به‌طور سالانه ۵,۰۰۰ محصول با شکست مواجه شود. تعداد ۵,۰۰۰ محصول با شکست مواجه شده یعنی ۵,۰۰۰ مصرف‌کننده ناراضی یا به‌عبارت دیگر ۱۰ درصد مصرف‌کنندگان میزان تولید قبلی. با افزایش میزان تولید میزان مسئولیت تولیدکننده در قبال محصول نیز افزایش می‌یابد. حتی اگر میزان شکست‌ها کاهش یابد و میزان تولید با سرعتی بیش از نرخ کاهش شکست افزایش یابد در این صورت نیز تعداد مصرف کنندگان ناراضی افزایش خواهد یافت.

یکی دیگر از جنبه‌های این مشکل آن است که صبر و حوصلهٔ مصرف‌کننده نسبت به نقص‌های جزیی و مشکلات مربوط به زیبایی محصول به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است. بنابراین، نقص‌ها، مشکلات ظاهری و همچنین مشکلات دیگر که قبلاً برای مصرف‌کننده قابل تحمل و پذیرش بود حالا دیگر با عدم رضایت و شکایت او مواجه می‌شود. نهایتاً به دلیل موقعیت رقابتی بازار، بعضی از تولیدکنندگان به منظور حفظ موقعیت خود مجبور می‌شوند که قبل از بررسی و آزمایش طرح‌های جدید آن‌ها را روانهٔ بازار کنند. این تصمیم‌گیری عجولانه در مورد طرح‌هایی که هنوز به‌طور کامل بررسی نشده‌اند یکی از دلایل عمدهٔ ایجاد مشکلات کیفی برای محصولات جدید است. به هر حال این مشکلات طراحی اصلاح می‌شوند ولی میزان شکست‌های زیاد محصولات در اذهان مشتریان باقی می‌ماند و باعث خواهد شد تا این ذهنیت ایجاد شود که محصولات امروزی از سطح کیفیت پایین‌تری نسبت به محصولات مشابه قبلی برخوردار هستند.

مسئولیت در قبال محصول یک امر و اصل مهم اجتماعی، اقتصادی و بازاریابی محسوب می‌شود. الزام و تعهد قانونی تولیدکنندگان و فروشندگان نسبت به جبران خسارات ناشی از تولیدات معیوب یا فاقد استانداردهای لازم، یک پدیده جدید نیست. موضوع مسئولیت در قبال محصول سالیان طولانی است که در صنعت رایج است ولی اخیراً دچار تغییراتی شده است. اولین مورد جدی در مورد مسئولیت در قابل محصول در سال ۱۹۱۶ در دادگاه استیناف نیویورک مطرح شد. دادگاه یک خودروساز را مقصر شناخت و او را مجبور به انجام تعهدات قانونی خود در قبال فروش محصول فاقد استانداردهای لازم به یک خریدار نمود. این رأی با توجه به شرایط انعقاد قرارداد بین خریدار و شخص ثالث (نمایندگی خودرو) صادر گردید. قانون همیشه معتقد است که تولیدکنندگان یا فروشندگان معمولاً با سهل‌انگاری یا بی دقتی در محصولی که طراحی یا تولید کرده‌اند و یا حتی روشی که آن را تولید کرده‌اند باعث ایجاد مسئولیت برای خود می‌شوند. در سال‌های اخیر دادگاه‌ها قانون سختی را تحت عنوان قانون مسئولیت اکید[1] وضع کرده‌اند. دو اصل، بیانگر سختی این قانون است. اصل اول بیانگر این حقیقت است که هم تولیدکننده و هم فروشنده مسئولیت شدیدی در قبال فرآورده فاقد کیفیت مطلوب دارند. با تولید یک محصول، تولیدکننده و فروشنده باید کلیه مسئولیت‌های مربوط به استفاده از آن را بپذیرند. این تعهد نه تنها شامل عملکرد محصول است بلکه باید جنبه‌های زیست محیطی، ایمنی و غیره را نیز شامل شود.

1. Strict liability

Www.iepnu.com

اصل دوم مربوط به تبلیغ و ارتقاء محصول است. طبق قانون مسئولیت اکید، کلیه اظهارات و بیانیه‌های تبلیغاتی باید همراه با داده‌های موثق کیفیت و یا گواهی معتبر شرکت باشد تا بتوان آن‌ها را به منظور مقایسه (نظیر صنعت خودرو) استفاده کرد.

این دو اصل قانون مسئولیت اکید شرایط مشکلی را برای تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و فروشندگان فراهم می‌سازد تا آن‌ها مجبور شوند اطلاعات واقعی نسبتاً خوبی در مورد عملکرد و ایمنی محصولات خود ارائه کنند. این اطلاعات نه تنها باید شامل کیفیت محصول ارائه شده باشد بلکه باید قابلیت اطمینان، عمر محصول، ضررهای جانبی یا زیست محیطی و جوانب ایمنی آن را نیز در بر گیرد. یک برنامه مناسب تضمین کیفیت می‌تواند مدیریت را در زمان نیاز به یک چنین اطلاعاتی یاری دهد.

۱-۷ استقرار مدیریت کیفیت

در بخش‌های قبل در مورد فلسفهٔ بهبود کیفیت، ارتباط بین کیفیت و بهره‌وری و پیچیدگی‌های اقتصادی و قانونی بحث شد. این موارد می‌تواند جزء جنبه‌های مدیریت کیفیت یک سازمان محسوب شود. جنبه‌های دیگری از مدیریت کیفیت نیز وجود دارد که مستلزم توجه مدیریت است.

مدیریت باید توجه داشته باشد که کیفیت با توجه به هشت بعد تشریح شدهٔ آن یک مقولهٔ چند بُعدی است. به منظور سهولت بیشتر، ابعاد کیفیت مجدداً در جدول ۱-۴ ارائه شده است.

جدول ۱-۴

ابعاد هشت‌گانه کیفیت
۱- عملکرد
۲- قابلیت اطمینان
۳- قابلیت دوام
۴- قابلیت تعمیرپذیری
۵- زیبایی
۶- ویژگی‌ها
۷- کیفیت درک شده
۸- انطباق با استانداردها

یک بخش مهم از **مدیریت راهبردی کیفیت**[1] در هر سازمان توجه کردن مدیریت به این ابعاد و انتخاب ابعادی است که کسب‌وکار در آن راستا باید رقابت کند. بدیهی است که رقابت با سازمان‌هایی که به‌طور موفقیت‌آمیزی به این بخش از راهبرد دست یافته‌اند کار بسیار دشواری است.

به‌عنوان مثال، بازار ویدئو که در اختیار شرکت‌های ژاپنی بود را در نظر گیرید. ژاپنی‌ها ویدئو را اختراع نکردند. اولین سری این محصول برای استفاده در منزل در اروپا و امریکای شمالی طراحی و تولید شد. با این وجود، سری اولیهٔ آن از قابلیت اطمینان کمی و از نقص‌های زیادی برخوردار بود. زمانی که ژاپنی‌ها وارد این بازار شدند تصمیم گرفتند در زمینهٔ ابعاد قابلیت اطمینان و انطباق با استانداردها (عدم وجود نقص) رقابت کنند. این راهبرد سبب شد تا آن‌ها به‌سرعت در این بازار نفوذ کنند. در سال‌های بعد، آن‌ها ابعاد کیفیت دیگری نظیر ویژگی‌ها، عملکرد بهتر، قابلیت تعمیرپذیری آسان تر، زیبایی بیشتر و غیره را مورد توجه قراردادند. آن‌ها از کیفیت به‌عنوان وسیله‌ای برای بالا بردن دیوار رقابت استفاده‌کردند به‌گونه‌ای که دیگر ورود رقبای جدید به این بازار تقریباً غیر ممکن بود.

مدیریت باید چنین تفکرهای راهبردی نسبت به کیفیت داشته باشد. لزومی ندارد که کیفیت در تمام جنبه‌ها ایده‌آل باشد ولی مدیریت باید بر نحوهٔ مناسب ابعادی از کیفیت که سازمان می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیز در آن زمینه‌ها رقابت کند را **انتخاب و توسعه** دهد. بدیهی است که این ابعاد همان ابعادی هستند که رقبا آن‌ها را فراموش کرده یا نادیده گرفته‌اند. صنعت خودروسازی امریکا به میزان شدیدی تحت تأثیر رقبای خارجی خود که از این راهبرد به نحوه احسن استفاده کردند قرار گرفت.

تأمین کنندگان نقش مهمی در کیفیت محصول ایفا می‌کنند.

نقش کلیدی **تأمین‌کنندگان** نباید در مدیریت کیفیت نادیده گرفته شود. درحقیقت، انتخاب

1. strategic management of qualoty

Www.iepnu.com

تأمین‌کننده و **مدیریت زنجیرهٔ تأمین** را می‌توان جزء جنبه‌های کلیدی موفقیت مدیریت کیفیت در صنایعی نظیر خودروسازی، هوافضا و الکترونیک که درصد قابل توجهی از قطعات محصول نهایی توسط تأمین‌کنندگان متعددی تولید می‌شود در نظر گرفت. اغلب شرکت‌ها برنامه‌های مشخصی را در زمینهٔ بهبود کیفیت تأمین‌کننده به‌عنوان بخشی از تلاش‌های انجام شده در راستای بهبود کیفیت **درون سازمانی** به مرحلهٔ اجرا در آورده‌اند. انتخاب تأمین‌کنندگان براساس **کیفیت، برنامهٔ** تحویل و هزینه به جای فقط هزینه، یک تصمیم راهبردی مدیریت محسوب می‌شود که می‌تواند بر عملکرد رقابتی بلندمدت سازمان تأثیر داشته باشد.

همچنین برای مدیریت ضروری است که بهبود کیفیت را به‌عنوان یک برنامه جامع به گونه‌ای که هر بخش سازمان به‌طور فعالانه در آن مشارکت داشته باشد درنظر گیرد. جلب مشارکت کلیهٔ بخش‌های سازمان در این حرکت، مسئولیت و چالش مدیریت ارشد است. نقش واحد تضمین کیفیت در این تلاش چیست؟ مسئولیت واحد تضمین کیفیت همکاری با مدیریت در تأمین تضمین کیفیت محصولات سازمان است. به‌طور خاص، واحد تضمین کیفیت یک انبار فن‌آوری است که شامل مهارت‌ها و منابع ضروری برای تولید محصولات با کیفیت و قابل رقابت در بازار می‌شود. همچنین واحد تضمین کیفیت، مسئولیت ارزیابی و استفاده از اقدامات هزینه کیفیت برای شناسایی فرصت‌های بهبود در سیستم و انعکاس این فرصت‌ها به مدیریت‌های ردهٔ بالاتر سازمان را بر عهده دارد. باید توجه داشت که **کیفیت، مسئولیت واحد کیفیت** نیست. بدیهی است که واحد تضمین کیفیت، محصول را طراحی، تولید، توزیع و تعمیر نمی‌کند. بنابراین، مسئولیت کیفیت در کل سازمان توزیع می‌شود.

مدیریت کیفیت باید طرح‌ریزی کیفیت، تضمین کیفیت، و کنترل و بهبود کیفیت را شامل شود.

همان‌گونه که اشاره شد مسؤلیت کیفیت بر عهدهٔ کلیهٔ بخش‌های سازمان است. با این حال، این خطر وجود دارد که اگر فلسفهٔ این که "کیفیت وظیفه هر فردی است" را بپذیریم آن‌گاه کیفیت وظیفهٔ هیچ کسی نخواهد بود. بنابراین، طرح‌ریزی و تحلیل کیفیت ضروری است. از آنجایی‌که فعالیت‌های بهبود کیفیت بسیار گسترده است لذا اقدامات اثربخش و موفقیت‌آمیز نیاز به تعهد مدیریت دارد. این تعهد شامل تأکید بر اهمیت و ضرورت کیفیت، شناسایی وظایف بخش‌های مختلف سازمان درخصوص کیفیت و مسئولیت مدیران و کارکنان نسبت به کیفیت می‌شود.

در نهایت مدیریت راهبردی کیفیت در یک سازمان باید هر سه مؤلفهٔ را شامل شود. از طرف دیگر، کلیهٔ افراد سازمان باید با ابزارهای بنیادی مدیریت کیفیت آشنا شوند. در بین ابزارها، آشنایی و استفاده از مفاهیم آماری پایه که اساس‌کنترل فرآیند را تشکیل می‌دهد ضروری است. همچنین ضروری است که کلیه افراد سازمان از مدیریت ارشد تا کارکنان عملیاتی با روش‌های آماری پایه و تأثیر به‌کارگیری آن‌ها در ساخت، طراحی فنی، تکوین و به‌طورکلی بخش‌های مختلف سازمان آشنا شوند. برخی از افراد نیاز است که از سطح مهارت بیشتری برخوردار باشند. به‌عنوان مثال، مهندسان و مدیران واحد تضمین کیفیت معمولاً در بخش‌هایی نظیر کنترل فرآیند، مهندسی قابلیت اطمینان، طراحی آزمایش‌ها یا تحلیل داده‌های مهندسی مهارت بیشتری دارند. با این وجود، توجه به این فلسفه که روش‌های آماری زبان محاورهٔ مشکلات است می‌تواند مدیریت را در تخصیص سریع منابع و ارائه راه حل‌هایی برای حل مشکل موجود یاری دهد. از آنجایی‌که متدولوژی شش سیگما اغلب عناصر مورد نیاز برای موفقیت را دارد لذا می‌توان از آن به‌عنوان یک چارچوب بسیار اثربخش برای استقرار بهبود کیفیت استفاده کرد.

Www.iepnu.com

واژه‌ها و مفاهیم مهم

ابعاد کیفیت	کنترل و بهبود کیفیت	مشخصه‌های کیفی
بحرانی برای کیفیت	طرح ریزی کیفیت	مهندسی کیفیت
تضمین کیفیت	کیفیت انطباق	نمونه‌گیری پذیرش
تغییرپذیری	کیفیت طراحی	هزینه‌های ارزیابی
حدود مشخصات	محصول یا خدمت نامنطبق	هزینه‌های پیشگیری
شایستگی برای استفاده	مسولیت در قبال محصول	هزینه‌های شکست داخلی و خارجی

تمرین‌ها

۱-۱ چرا تعریف کیفیت کار دشواری است؟

۱-۲ ابعاد کیفیت را به اختصار توضیح دهید. آیا این کار درک شما را نسبت به کیفیت بهبود می‌دهد؟

۱-۳ یک محصول یا خدمت را در نظر گیرید و توضیح دهید که ابعاد هشت‌گانهٔ کیفیت چگونه بر پذیرش کلی آن توسط مشتری تأثیر می‌گذارد.

۱-۴ آیا تفاوتی بین کیفیت محصول تولید شده و کیفیت یک خدمت وجود دارد؟ مثال‌های مشخصی در این خصوص ارائه کنید.

۱-۵ آیا درک طبیعت چند بُعدی کیفیت می‌تواند به بهبود طراحی محصول یا خدمت بهتر منجر شود؟

۱-۶ مشتریان داخلی یک کسب و کار کدامند؟ چرا آن‌ها از منظر کیفیت، مهم محسوب می‌شوند؟

۱-۷ سه روش برای کنترل و بهبود کیفیت نام ببرید.

۱-۸ منظور از هزینهٔ کیفیت چیست؟

۱-۹ آیا هزینه‌های شکست داخلی از هزینه‌های شکست خارجی مهم‌تر است؟

۱-۱۰ منظور از "کیفیت مسئولیت واحد تضمین کیفیت است" چیست؟

۱-۱۱ اغلب ادبیات مرتبط با موضوع مدیریت کیفیت بیانگر این نکته است که بدون رهبری مدیریت ارشد، بهبود کیفیت محقق نمی‌شود. آیا با این جمله موافق هستید؟ چرا؟

۱-۱۲ ضرورت استفاده از تغییرپذیری در اطراف میانگین یا مقدار اسمی به‌عنوان شاخص کیفیت را توضیح دهید.

۱-۱۳ فرض کنید فرصت بهبود در یک بیمارستان برای شما فراهم شده است. چه بخش‌هایی از بیمارستان را برای فرصت‌های بهبود در نظر می‌گیرید؟ چه سنجه‌هایی را برای ارزیابی کیفیت استفاده می‌کنید؟

۱-۱۴ فرض کنید فرصت بهبود کیفیت خدمت در فرآیند تقاضا و تایید کارت اعتباری و تایید آن برای شما فراهم شده است. چه مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت را شناسایی می‌کنید؟ چگونه این سیستم را بهبود می‌دهید؟

۱-۱۵ چگونه کیفیت در سازمان‌های زیر تعریف می‌شود؟

الف- مرکز درمانی

ب- فروشگاه بزرگ

ج- فروشگاه مواد غذایی

د- دانشکدهٔ یک دانشگاه

Www.iepnu.com

فصل دوم جنبه‌های مدیریتی کیفیت

شش سیگما و صرفه‌جویی چند میلیون دلاری در شرکت قطعات نیمه‌هادی نشنال

رئوس مطالب فصل

۲-۱ مقدمه
۲-۲ تاریخچهٔ فلسفهٔ کیفیت
۲-۳ مدیریت کیفیت جامع
۲-۴ سیستم‌ها و استانداردهای کیفیت
۲-۵ شش سیگما
۲-۶ فراتر از شش سیگما – طراحی برای شش سیگما و رویکرد ناب
۲-۷ فرآیند DMAIC

احداث یک کارخانهٔ ساخت پولک‌های سیلیکونی بسیار پُر هزینه است. از آنجایی‌که تولید پولک‌های سیلیکونی شامل انجام بیش از ۲۰۰ مرحله فعالیت به‌وسیلهٔ ۷۵ دستگاه است لذا ایجاد چنین تسهیلاتی می‌تواند بیش از ۱ میلیارد دلار هزینه در بر داشته باشد. با این وجود باید توجه داشت که به غیر از هزینهٔ اولیهٔ بسیار بالای احداث کارخانه، فرآیند تولید قطعات نیمه هادی نیز بسیار پُر هزینه است. شرکت قطعات نیمه هادی نشنال به خوبی از وجود این هزینه‌ها آگاه است.

شرکت قطعات نیمه‌هادی نشنال از سابقهٔ بسیار خوبی در زمینهٔ تولید محصول با کیفیت با کمتر از ۱۰ معیوب در میلیون برخوردار است. با این وجود و همچنین آگاهی از هزینه‌های بسیار بالای تولید، شرکت نشنال تصمیم گرفته است که تعداد معیوب‌ها در میلیون فرآیند خود را کاهش دهد. هدف برنامه‌های شش سیگمای این شرکت کاهش هزینه‌های تولید و بهبود فرآیندهای تولید تعریف شده است.

شرکت نشنال یک تیم شش سیگما با شش عضو که طی یک دورهٔ نه ماهه، محصول و مشخصات جریان فرآیند، تأمین مواد اولیه، ساده سازی فرآیند و سایر تغییرات طراحی را بازنگری می‌کرد، تشکیل داد. تیم با استفاده از نقشهٔ راه متشکل از مراحل تعریف[1]، اندازه‌گیری[2]، تحلیل[3]، بهبود[4] و کنترل[5] (DMAIC) توانست نتایج موفقیت آمیزی را به‌دست آورد. در بین نتایج کلیدی

1. define
2. measure
3. analyze
4. improve
5. control

Www.iepnu.com

حاصل می‌توان به کاهش ۵۰ درصدی ضایعات اتصالات قالب (die patch) و کاهش ۴۰ درصدی متوسط هزینه به ازای هر واحد یک قطعهٔ بحرانی (قاب راهنماleadframe-) اشاره کرد.

با توجه به نتایج موفقیت‌آمیز حاصل، شرکت تولید قطعات نیمه‌هادی نشنال تصمیم گرفت ۳۰ پروژهٔ شش سیگمای دیگر را اجرا کند که نتیجهٔ این‌کار یک صرفه‌جویی ۱۰ میلیون دلاری برای این شرکت بود. حال برای شرکت نشنال دیگر محرز شده بود که شش سیگما قادر است توانایی حل مسأله افراد را افزایش دهد و یک مسیر منطقی برای اتخاذ تصمیمات راهبردی کلیدی فراهم سازد.

مرور فصل و اهداف یادگیری

بدیهی است استفاده از ابزارهای فنی منجر به کنترل و بهبود کیفیت می‌شود. اگر این ابزارها در یک چارچوب مدیریتی بهبود و متمرکز بر محصول، فرآیند و سیستم به‌کار گرفته شود اثربخشی آنها افزایش می‌یابد. چندین فلسفهٔ مدیریتی و راهبردی برای تحقق این امر توسعه داده شده است. در این فصل، این ابزارهای مدیریتی و نحوهٔ یکپارچه سازی و قرار گرفتن آنها در کنار هم تشریح می‌شود. رویکرد پروژه به پروژهٔ کنترل و بهبود کیفیت با تأکید بر متدلوژی DMAIC (تعریف، اندازه‌گیری، تحلیل، بهبود و کنترل) که معمولاً در ساختار شش سیگما از آن استفاده می‌شود نیز تشریح می‌گردد. گرچه DMAIC روشی بسیار عالی برای مدیریت پروژه و کنترل و بهبود کسب و کار محسوب می‌شود ولی الزامی برای اینکه فقط از آن در ساختار شش سیگما استفاده شود وجود ندارد. چندین مثال در مورد پروژه‌های بهبود نیز ارائه خواهد شد.

پس از مطالعهٔ دقیق این فصل باید قادر به انجام بتوانید موارد زیر باشید:

۱- فلسفه‌های مدیریت کیفیت دمینگ را تشریح کنید.

۲- مدیریت کیفیت جامع، شش سیگما، جایزهٔ ملی کیفیت ملکولم بالدریج و سیستم‌ها و استانداردها را توضیح دهید.

۳- ضرورت و اهمیت انتخاب پروژه‌های خوب برای فعالیت‌های بهبود را درک کنید.

۴- مراحل پنجگانهٔ DMAIC را توضیح دهید.

۵- بدانید چه موقع از DMAIC استفاده کنید و چه موقع از آن استفاده نکنید.

مدیریت کیفیت
طرح‌ریزی کیفیت
تضمین کیفیت
کنترل و کیفیت بهبود

۲-۱ مقدمه

رویکردهای متعددی نظیر کنترل فرآیند آماری، طراحی آزمایش‌ها و مدل سازی و تحلیل قابلیت اطمینان برای استفاده در فعالیت‌های کنترل و بهبود کیفیت وجود دارد. با این وجود و به منظور استفادهٔ اثر بخش از این روش‌ها نیاز است تا آن‌ها در قالب بخشی از سیستم مدیریتی که بر بهبود کیفیت تمرکز دارد اجرا شود. سیستم مدیریت یک سازمان باید به‌گونه‌ای سازمان‌دهی شده باشد تا فلسفهٔ بهبود کیفیت را هدایت و جاری‌سازی آن در کلیه بخش‌های سازمان را تضمین کند. مدیریت اثربخش کیفیت شامل اجرای موفقیت‌آمیز این سه فعالیت است: **طرح‌ریزی کیفیت**[1]، **تضمین کیفیت**[2] و **کنترل و بهبود کیفیت**[3].

ابعاد کیفیت
- عملکرد
- قابلیت اطمینان
- ماندگاری
- قابلیت استفاده
- زیبایی‌شناسی
- ویژگی‌ها
- کیفیت درک شده
- پیروی از استاندارد

طرح‌ریزی کیفیت یک فعالیت راهبردی است و همانند طرح تکوین محصول، طرح مالی، طرح بازاریابی و سایر طرح‌های استفاده از منابع انسانی، در موفقیت بلندمدت سازمان نقش

1. quality planning
2. quality assurance
3. quality control and improvement

Www.iepnu.com

حیاتی ایفا می‌کنند. سازمان بدون یک طرح کیفی راهبردی، زمان، سرمایه و تلاش بسیار زیادی را صرف اصلاح یا رفع اشکالات طراحی، نقص‌های تولید، شکست‌های عملکردی و رسیدگی به شکایات مشتری می‌کند. طرح‌ریزی کیفیت شامل شناسایی مشتریان (مشتریان برون‌سازمانی و مشتریان درون سازمانی) و شناسایی نیازهای آن‌ها می‌شود که در بعضی مواقع اصطلاحاً از این فعالیت‌ها به‌عنوان گوش دادن به صدای مشتری[1] نام برده می‌شود. سپس محصولات و خدماتی که فراتر از انتظارات مشتری عمل می‌کنند را باید طراحی و آماده کرد. هشت بُعد کیفیت که در بخش ۱-۱-۱ تشریح شد، بخش مهمی از نحوهٔ تحقق این محصولات و خدمات را تشکیل می‌دهد. برنامه‌ریزی برای بهبود کیفیت براساس یک چارچوب نظام‌مند و مشخص نیز بخش مهمی از این فرآیند محسوب می‌شود.

تضمین کیفیت شامل مجموعه‌ای از فعالیت است که از آن طریق اطمینان حاصل می‌شود که سطح کیفیت محصول یا خدمت به نحو مناسبی حفظ و موضوعات کیفی مربوط به تأمین‌کننده و مشتری نیز به نحو مناسب رسیدگی می‌شود. مستندسازی سیستم کیفیت شامل چهار مؤلفهٔ خط مشی، رویه‌ها، دستورالعمل‌های کاری و مشخصه‌ها و سوابق می‌شود. به‌طورکلی، خط مشی به این که چه کاری باید انجام شود و چرایی آن می‌پردازد در حالی‌که رویه‌ها بر روش‌ها و کارکنانی که خط‌مشی را اجرا می‌کنند تمرکز دارد. دستورالعمل‌های کاری و مشخصه‌ها معمولاً محصول، واحد، ابزار یا تجهیزگرا است. سوابق، روشی برای مستندسازی خط‌مشی، رویه‌ها و دستورالعمل‌های کاری جاری هستند. همچنین از سوابق به منظور تعیین مراحل دقیق تولید یک محصول یا دسته‌ای از محصولات خاص استفاده می‌شود. سوابق، نقش حیاتی در تأمین داده‌های مرتبط با شکایات مشتری، اقدامات اصلاحی و در صورت نیاز فراخوان محصول ایفا می‌کند. تهیه، نگهداری و کنترل سوابق از جمله اقدامات اساسی تضمین کیفیت محسوب می‌شود. اطمینان از وجود آخرین تغییرات طراحی و مهندسی در مشخصه‌ها و دستورالعمل‌های کاری را می‌توان به‌عنوان مثالی از کنترل سوابق عنوان کرد. به‌عبارت دیگر، هدف یک فعالیت تضمین کیفیت آن است که "بگوییم چه کاری قرار است انجام دهیم و انجام کاری است که بیان کرده‌ایم."

کنترل و بهبود کیفیت مجموعه‌ای از فعالیت‌ها را در بر می‌گیرد که از آن طریق اطمینان حاصل می‌شود که محصولات و خدمات انتظارات مورد نیاز را پوشش و به‌طور مستمر آن‌ها را بهبود می‌دهد. از آنجایی‌که تغییرپذیری غالباً منبع اصلی کیفیت نامطلوب محسوب می‌شود لذا روش‌های آماری شامل کنترل فرآیند آماری و آزمایش‌های طراحی‌شده به‌عنوان ابزارهای اصلی کنترل و بهبود کیفیت در نظر گرفته می‌شوند. بهبود کیفیت غالباً به‌صورت پروژه به پروژه و توسط کارکنان آموزش‌دیده و آشنا با روش‌های آماری و در قالب کار تیمی انجام می‌شود. پروژه‌ها باید براساس میزان تأثیری که بر اهداف کیفی کسب‌وکار دارند در فرآیند طرح‌ریزی انتخاب شوند. روش‌های ارائه‌شده در این کتاب نقش مهمی در موفقیت اقدامات کنترل و بهبود کیفیت ایفا می‌کند.

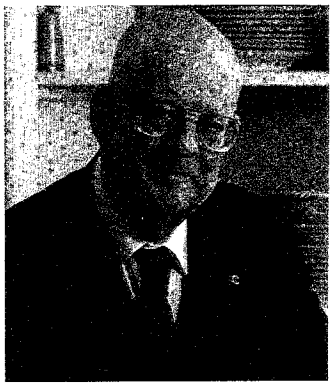
در بخش بعد، عناصر کلیدی مدیریت کیفیت به‌طور اجمالی مرور خواهد شد. برخی از فلسفه‌های مهم کیفیت نظیر سیستم‌ها و استانداردهای کیفیت، ارتباط بین کیفیت و بهره‌وری و کیفیت و هزینه، پیچیدگی‌های اقتصادی و حقوقی کیفیت و برخی از جنبه‌های اجرایی نیز تشریح خواهد شد. همچنین در مورد سه اصل طرح‌ریزی کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل و بهبود کیفیت نیز بحث خواهد شد.

1. voice of customer - VOC

Www.iepnu.com

۲-۲ تاریخچهٔ فلسفهٔ کیفیت

صاحب‌نظران متعددی به توسعهٔ روش‌های بهبود کیفیت کمک کرده‌اند. با این وجود، از نظر فلسفهٔ اجرا و مدیریت می‌توان به سه تن از این رهبران شاخص یعنی دبلیو ایی دمینگ[1]، جی ام جوران[2] و ای وی فیگنبام[3] اشاره کرد. حال به تشریح رویکردها و فلسفهٔ مدیریت کیفیت هر یک از این سه نفر می‌پردازیم.



دبلیو ادواردز دمینگ (۱۹۹۳-۱۹۰۰)

دبلیو ادواردز دمینگ در رشته‌های مهندسی و فیزیک در دانشگاه وایومنیگ[4] و دانشگاه یل[5] تحصیل کرد. او در وسترن الکتریک[6] مشغول به کار شد و تحت‌تأثیر فعالیت‌های والتر ای شوهارت پایه‌گذار نمودار کنترل، قرار گرفت. دمینگ پس از ترک وسترن الکتریک، در سازمان‌های مختلف دولتی نظیر وزارت کشاورزی و مرکز آمار امریکا مشغول به کار شد. در دوران جنگ جهانی دوم، دمینگ برای وزارت جنگ و مرکز آمار امریکا کار می‌کرد. بعد از جنگ، دمینگ برای یک سرشماری به ژاپن فرستاده شد. در این هنگام، اتحادیهٔ دانشمندان و مهندسان ژاپن[7] از او برای ایراد سخنرانی دعوت به عمل آورد. او به‌عنوان مشاور در صنایع مختلف ژاپن فعالیت کرد و مدیریت ارشد این سازمان‌ها را در خصوص توان روش‌های آماری و اهمیت کیفیت به‌عنوان یک ابزار رقابتی متقاعد ساخت. این تعهد و استفاده از روش‌های آماری نقش کلیدی در توسعهٔ صنعت و اقتصاد ژاپن ایفا نمود. اتحادیهٔ دانشمندان و مهندسان ژاپن جایزهٔ دمینگ را در زمینهٔ بهبود کیفیت به پاس قدردانی از زحمات او پایه‌گذاری کرد. دمینگ تا زمان فوتش در سال ۱۹۹۴ مشاور و سخنرانی فعال بود. او نقش به سزایی در بهبود کیفیت در عرصه جهانی ایفا کرد. او به شدت اعتقاد داشت که مسئولیت کیفیت بر عهده مدیریت است چرا که اغلب فرصت‌های بهبود کیفیت مستلزم اقدامات مدیریتی است و تعداد کمی از این فرصت‌ها از طریق انجام اقدامات توسط نیروی کار یا سطوح کاری پایین محقق می‌شود. دمینگ منتقد شدید روش‌های مدیریت امریکایی بود. او به سیستم مبتنی بر دانش برای مدیریت و بهبود کیفیت متقاعد بود که محور اصلی آن را روش‌های آماری کاهش پراکندگی تشکیل می‌داد. زمانی که از او در مورد اینکه چه چیزی باید به مدیریت گفته شود سوال می‌شد او چنین می‌گفت "من به آنها می‌گویم تغییرپذیری را کاهش دهند".

فلسفه دمینگ چارچوب مهمی را برای اجرای برنامه‌های بهبود کیفیت و بهره‌وری فراهم کرد. این فلسفه در قالب ۱۴ نکته برای مدیریت خلاصه شده است. ۱۴ نکته دمینگ به اختصار در زیر توضیح داده می‌شود:

۱- یک هدف مستمر و متمرکز بر بهبود محصول و خدمات ایجاد کنید.	دمینگ نسبت به تفکر کوتاه مدت مدیریت امریکایی که بر نتایج دوره‌ای کسب‌وکار تأکید داشت و از راهبردهایی که بر اهداف بلند مدت سازمان متمرکز نبود به شدت انتقاد می‌کرد. مدیریت باید به‌طور مستمر در جهت بهبود طراحی و عملکرد محصول تلاش کند. این کار باید سرمایه‌گذاری در حوزه‌های تحقیق، توسعه و نوآوری که باعث ایجاد عایدی بلند مدتی برای سازمان خواهد شد را شامل شود.

1. W. Edwards Deming
2. Joseph M. Juran
3. Armand V. Feigenbaum
4. university of wyoming
5. Yale university
6. Western Electric
7. Japanese union of scientists and engineers - JUSE

Www.iepnu.com

۲- فلسفه جدید قرار داشتن در یک دوره اقتصادی متفاوت را بپذیرید.	مهارت‌های ناکافی، محصولات معیوب و خدمات بد را رد کنید. هزینهٔ تولید یک محصول معیوب و یک محصول سالم یکسان و در بعضی مواقع حتی بیشتر است. هزینهٔ دورریز، دوباره‌کاری و زیان‌های ناشی از محصولات معیوب باعث وارد شدن ضربه مهلکی به منابع سازمان می‌شود.
۳- به منظور "کنترل" کیفیت از بازرسی انبوه اجتناب کنید.	بازرسی تنها کاری که می‌تواند انجام دهد جداسازی محصولات معیوب از سالم است و در این مرحله دیگر بسیار دیر شده است چرا که سازمان هزینهٔ تولید محصولات معیوب را پرداخت کرده است. بازرسی معمولاً بسیار دیر در فرآیند رخ می‌دهد. بازرسی هزینه‌زا و غالباً فاقد اثربخشی لازم است. کیفیت از طریق بازرسی محقق نمی‌شود بلکه حاصل تلاش‌های پیشگیری از تولید محصولات معیوب و تمرکز بر بهبود فرآیندها است.
۴- قراردادهای خود را با تأمین‌کنندگان فقط براساس قیمت تنظیم نکنید بلکه جنبهٔ کیفیت را نیز در نظر گیرید.	قیمت فقط زمانی می‌تواند معیار معقولی برای محصول تولیدکننده باشد که همراه با آن معیار کیفیت نیز در نظر گرفته شود. به‌عبارت دیگر، هزینهٔ کل محصول باید در نظر گرفته شود و نه فقط قیمت خرید آن. زمانی‌که کیفیت در محاسبات لحاظ شود آن‌گاه دیگر پایین‌ترین قیمت همیشه توسط ارزان‌ترین تأمین‌کننده ارائه نخواهد شد. ارجحیت باید به تأمین‌کنندگانی داده شود که از روش‌های جدید بهبود کیفیت در کسب‌وکار خود استفاده می‌کنند و می‌توانند کنترل و قابلیت فرآیند خود را به نمایش گذارند. عدم ارتباط مناسب با تأمین‌کننده زیان بار است. ایجاد ارتباط مؤثر و بلندمدت بسیار اهمیت دارد.
۵- بر بهبود کیفیت تأکید کنید.	به‌طور مستمر تلاش کنید تا سیستم تولید و خدمت را بهبود دهید. نیروی کار را در این فعالیت‌ها مشارکت دهید و از روش‌های آماری مخصوصاً ابزارهای حل مسأله آماری که در این کتاب مطرح می‌شود استفاده کنید.
۶- روش‌های نوین آموزش را به کار گیرید و در راستای آموزشهای حین کار برای نیروی کار سرمایه‌گذاری کنید.	کلیه افراد باید در جنبه‌های فنی کار خود و همچنین روش‌های نوین بهبود کیفیت و بهره‌وری آموزش بینند. آموزش باید کلیه کارکنان را در استفادهٔ روزانه از این روش‌ها تشویق کند. غالباً کارکنان در مورد استفاده از نتایج آموزش‌ها در کارخود تشویق نمی‌شوند و مدیریت نیز بر این باور است که کارکنان نیازی به آموزش‌های حین‌کار ندارند و یا بر این باور است که آن‌ها خود باید این روش‌ها را فرا گرفته و در عمل استفاده کنند.
۷- رهبری را بهبود و از روش‌های جدید نظارت استفاده کنید.	نظارت نباید فقط شامل تحت نظر گرفتن کارکنان باشد بلکه باید بر نگرش یاری دادن به کارکنان برای بهبود سیستمی که در آن مشغول به کار هستند تمرکز داشته باشد. هدف اصلی نظارت باید بهبود سیستم کاری و محصول باشد.
۸- ترس را از بین ببرید.	اغلب کارگران از سؤال کردن، مشکلات را گزارش کردن و بیان موانع موجود بر سر راه کیفیت و تولید اثربخش هراس دارند. در اغلب سازمان‌ها، ضررهای اقتصادی ناشی از ترس و نگرانی قابل توجه است و فقط مدیریت می‌تواند این ترس و نگرانی را از بین ببرد.
۹- موانع بین بخش‌های کاری سازمان را حذف کنید.	انجام کار تیمی در بین بخش‌های مختلف سازمان برای تحقق بهبود اثربخش کیفیت و بهره‌وری ضروری است.
۱۰- اهداف عملکردی، شعارها و اهداف عددی در نظر گرفته شده برای نیروی کار را حذف کنید.	هدفی نظیر نقص صفر[1] بدون داشتن طرحی برای دست یافتن به این هدف بی‌فایده است. در واقع، این شعارها و برنامه‌ها معمولاً معکوس عمل می‌کنند. در راستای بهبود سیستم و ارائه اطلاعات مربوط به آن تلاش کنید.
۱۱- سهمیه‌های عددی و استانداردهای کاری را حذف کنید.	تجارب گذشته بیانگر این واقعیت است که سهمیه‌های عددی و استانداردهای کاری معمولاً بدون توجه به کیفیت تعیین شده است. استانداردهای کاری غالباً نشانه‌هایی از از عدم توانایی مدیریت در درک فرآیند کاری و ایجاد یک سیستم مدیریت اثربخش متمرکز بر بهبود فرآیند است.

1. zero defects

Www.iepnu.com

۱۲- موانعی که باعث دل‌سردی کارکنان در انجام کار خویش می‌شوند را حذف کنید.	مدیریت باید به پیشنهادات، نظرات و شکایات کارکنان گوش فرا دهد. شخصی که کار را انجام می‌دهد بیشتر از هرکس دیگری کار را می‌شناسد و معمولاً ایده‌های ارزشمندی درباره افزایش اثربخشی آن دارد. نیروی کار سهم به سزایی در کسب‌وکار دارد و نباید او را به‌عنوان فرد مخالفی در مذاکرات در نظر گرفت.
۱۳- یک برنامه مستمر آموزشی برای کلیه کارکنان برقرار کنید.	نکتهٔ ۶ به آموزش‌های حین کار اشاره دارد. در این قسمت دمینگ به آموزش‌های دانشگاهی و کلان‌تر اشاره دارد. به‌طور کلی، آموزش‌های دانشگاهی ارزشمند است زیرا این آموزش‌ها بستر لازم برای بهبود خلاقیت و نوآوری را فراهم می‌سازد. آموزش‌های دانشگاهی زمینه را برای شراکت کلیهٔ افراد در کسب و کار و به‌طور کلی فرآیند بهبود کیفیت فراهم می‌سازد.
۱۴- ساختاری برای مدیریت طراحی‌کنید تا به‌طور جدی از ۱۳ نکته فوق حمایت کند.	این ساختار باید در رأس سازمان شکل گیرد. این ساختار باید آموزش‌های بلندمدت و حین کار را به‌طور همزمان شامل شود و از آن‌ها در راستای سرعت بخشیدن و تحقق نتایج بهبود استفاده کند. همه افراد سازمان باید درک کنند که بهبود مستمر، یک هدف مشترک است.

همان‌طور که ۱۴ نکته دمینگ را مطالعه می‌کنیم متوجه تأکید شدید او بر **تغییر سازمانی** می‌شویم. همچنین نقش مدیریت در هدایت این فرآیند تغییر مشهود است. با این وجود، چه چیزی باید تغییرکند و چگونه این فرآیند تغییر باید آغاز شود؟ به‌عنوان مثال، اگر بخواهیم بازده یک فرآیند تولید قطعات نیمه هادی را بهبود دهیم چه باید بکنیم؟ در چنین شرایطی است که روش‌های آماری می‌تواند نقش مهمی را ایفا کند. به منظور بهبود فرآیند تولید قطعات نیمه‌هادی باید تعیین کنیم که کدامیک از عامل‌های قابل کنترل، در تولید قطعات معیوب مؤثر است. به منظور پاسخ به این سؤال باید داده‌هایی از فرآیند جمع‌آوری و واکنش سیستم نسبت به تغییر متغیرهای موجود در این فرآیند را مطالعه کنیم. سپس اقدامات بهبود را می‌توان طراحی و اجرا کرد. روش‌های آماری نظیر طراحی آزمایش‌ها و نمودارهای کنترل می‌تواند نقش مؤثری در این فعالیت‌ها داشته باشد.

دمینگ غالباً در مورد **هفت بیماری مهلک مدیریت**[1] که در جدول ۲-۱ ارائه شده است، می‌نوشت و صحبت می‌کرد. او اعتقاد داشت که هر یک از این بیماری‌ها مانعی بر سر راه اجرای اثربخش فلسفه او بود.

جدول ۱.۲

هفت بیماری مهلک مدیریتی از دیدگاه دیمینگ	
۱- عدم استمرار هدف	عدم استمرار هدف، به اولین نکته از ۱۴ نکته دمینگ بر می‌گردد. بهبود مستمر محصولات، فرآیندها و خدمات، به ذینفعان سازمان (کارکنان، مدیران، سرمایه‌گذاران، تأمین‌کنندگان) این اطمینان را می‌دهد که سود سهام و افزایش ارزش کسب‌وکار ادامه خواهد داشت.
۲- تأکید بر منافع کوتاه‌مدت	دومین بیماری، تأکید بیش از حد به منافع کوتاه‌مدت، ممکن است باعث شود تا اعداد و ارقام خوب به نظر رسند ولی اگر این کار با کاهش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، حذف آموزش کارکنان و عدم جاری‌سازی فعالیت‌های بهبود کیفیت همراه باشد آن‌گاه زیان‌های غیر قابل جبران بلند مدتی در انتظار سازمان خواهد بود.
۳- ارزیابی عملکرد، تعیین رتبه شایستگی و بازنگری سالانه عملکرد	دمینگ معتقد بود که ارزیابی عملکرد باعث تشویق عملکرد کوتاه‌مدت، ایجاد رقابت و نگرانی، و دل-سردی در انجام کار تیمی می‌شود. ارزیابی عملکرد می‌تواند باعث تلخ‌کامی و دل‌سردی کارکنان شود. آن‌ها ممکن است احساس کنند که برخورد مناسبی با آن‌ها نشده است مخصوصاً اگر در سازمانی کار می‌کنند که عمکرد آن‌ها تحت تأثیر نیروهای سیستمی غیرمنصفانه و خارج از کنترل آن‌ها باشد.
۴- بی‌ثباتی مدیریت ارشد	چهارمین بیماری، بی‌ثباتی مدیریت، به معضل گسترده تغییر شغل و یا به‌عبارت دیگر عمر کوتاه یک

1. Seven deadly diseases of management

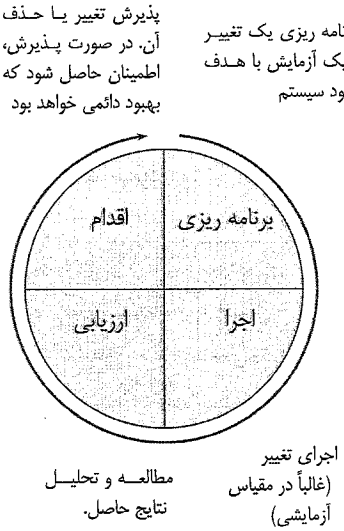
Www.iepnu.com

	مدیریت اشاره دارد. این کار غالباً منتج به اتخاذ تصمیمات توسط افرادی می‌شود که واقعاً صلاحیت انجام آن را ندارند. مدیران غالباً زمان زیادی را صرف فکر کردن به شغل آتی خود می‌کنند و در چنین شرایطی کمتر فرصت می‌شود تا در مورد شغل فعلی و نحوهٔ انجام بهتر آن فکر کنند. هماهنگی‌های مکرر و تغییر مسئولیت‌های مدیریت مانعی بر سر راه استمرار هدف است و غالباً این کار منجر به اتلاف منابعی می‌شود که باید صرف بهبود محصولات و خدمات شود. دعوت از مدیران عامل جدید با هدف بهبود سود نیز غالباً منجر به راهبردی می‌شود که تأثیر مخرب آن در کسب وکار باقی می‌ماند.
۵- اداره کردن یک شرکت تنها براساس اعداد و ارقام شفاف	مدیریت تنها از طریق اعداد و ارقام شفاف (نظیر تعداد معیوب‌ها، شکایات مشتری و سود دوره‌ای) بیانگر این حقیقت است که عامل‌های مهم و مؤثر در موفقیت سازمان واقعاً معلوم نیستند. به‌عنوان شاهدی در این خصوص، از بین ۱۰۰ سازمان بزرگ در سال ۱۹۰۰ فقط ۱۶ سازمان امروز مشغول به فعالیت هستند و فقط دو سازمان در بین ۲۵ سازمان برتر قرار دارند. بدیهی است که شفاف بودن برخی از اعداد و ارقام مهم است. به‌عنوان مثال، حق و حقوق تأمین‌کنندگان و کارکنان باید به موقع پرداخت و حساب‌های بانکی باید مدیریت شود. با این وجود، اگر اعداد و ارقام شفاف به تنهایی می‌توانست نقش کلیدی در موفقیت سازمان ایفا کند آن‌گاه تعداد نسبتاً زیادی از شرکت‌های تأسیس شده در سال‌های ۱۹۰۰ باید امروز در صحنهٔ کسب‌وکار حضور می‌داشتند.
۶- هزینه‌های پزشکی بیش از حد	هشدار دمینگ در مورد هزینه‌های پزشکی بیش از حد (بیماری ششم) به واقع یک جملهٔ پیامبر گونه است. امروزه، ممکن است هزینه‌های مراقبت‌های پزشکی بزرگ‌ترین چالش اغلب کسب‌وکارها در امریکا محسوب شود. به‌عنوان مثال، هزینه‌های پزشکی برای کارکنان موقت و بازنشستگان شرکت‌های خودروسازی در امریکا (جنرال موتورز، فورد و کرایسلر) در حال حاضر بین ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ دلار به ازای هر اتومبیل در مقایسه با ۲۵۰ تا ۳۵۰ دلار به ازای هر اتومبیل در دو شرکت خودروسازی ژاپنی تویوتا و هوندا که تولیدات زیادی در امریکای شمالی دارند گزارش شده است.
۷- پرداخت‌های مرتبط با زیان‌های بیش از حد	پرداخت‌های مرتبط با مسئولیت در قبال محصول و زیان‌های بیش از حد، یک مشکل اساسی برای اغلب سازمان‌ها محسوب می‌شود. دمینگ غالباً عنوان می‌کرد که سرانهٔ وکلا در امریکا به مراتب بیشتر از سایر کشورها است. او معتقد بود که دخالت دولت برای ارائه راه حل‌های بلندمدت و مؤثر در مورد مشکلات مرتبط با هزینه‌های پزشکی و مسئولیت در قبال محصول ضروری است.

دمینگ **چرخه شوهارت**[1] که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است را به‌عنوان مدل راهنمایی برای بهبود پیشنهاد کرد. این چهار گام، **برنامه‌ریزی- اجراء- بررسی- اقدام**[2] را غالباً **چرخه PDCA** می‌نامند. برخی مواقع گام بررسی را مطالعه می‌نامند که در این صورت چرخهٔ PDCA چرخهٔ PDSA[3] نامیده می‌شود. در مرحلهٔ **برنامه‌ریزی**، تغییری در سیستم با هدف ایجاد بهبود پیشنهاد می‌شود. در مرحلهٔ **اجرا**، تغییر پیشنهاد شده معمولاً در مقیاس آزمایشی اجرا می‌شود تا در مورد نتایج اطمینان حاصل شود. **بررسی**، شامل تحلیل نتایج حاصل از تغییر ایجاد شده و ثبت آموخته‌های کلیدی است. در مرحله **اقدام**، تغییر ایجاد شده، تأیید و یا در صورت عدم اثربخشی کنار گذاشته می‌شود. این فرآیند تقریباً همیشه تکرار می‌شود و ممکن است برای مسأله‌های پیچیده چندین بار تکرار شود.

1. shewhart cycle
2 . Plan-do-check-act - PDCA
3 . Plan-do-study-act - PDSA

Www.iepnu.com



شکل ۲-۱ چرخه شوهارت.

در کنار ۱۴ نکته دمینگ و هفت بیماری مهلک مدیریت، دمینگ در مورد مجموعه **موانع موجود بر سر راه موفقیت** بسیار نوشت و سخنرانی کرد. برخی از این موضوعات عبارتند از:

۱- اعتقاد به حل مشکلات توسط اتوماسیون، رایانه‌ها و دستگاه‌های جدید.
۲- جستجو برای نمونه‌های مشابه- تلاش در جهت کپی کردن راه‌حل‌های موجود.
۳- ارائه این توجیه که "مسأله‌های ما متفاوت" و عدم تشخیص این موضوع که اصول حل آنها یکسان است.
۴- دانشکده‌های بی‌ثمر، مخصوصاً دانشکده‌های مدیریتی که روش‌های اداره موفق کسب و کار را به فارغ‌التحصیلان خود آموزش نداده‌اند.
۵- آموزش‌های ناکافی روش‌های آماری در صنعت: آموزش ابزارها بدون ارائه قالبی برای استفاده از آن‌ها ناموفق خواهد بود.
۶- اتکا به بازرسی برای ایجاد کیفیت.
۷- اتکا به واحد کنترل کیفیت برای رفع مشکلات کیفی.
۸- سرزنش نیروی کار برای وجود مشکلات.
۹- شروع نادرست، نظیر آموزش روش‌های آماری بدون داشتن طرحی برای چگونگی استفاده از آن‌ها، دوایر کیفیت، سیستم پیشنهادات کارکنان و سایر روش‌های سهل‌الوصول.
۱۰- استدلال نادرست نقص صفر: شرکت‌ها ناموفق عمل می‌کنند حتی اگر محصول یا خدمت بدون نقص ارائه کنند. در محدودهٔ مشخصه‌ها قرار داشتن ممکن است کل داستان برای هر کسب و کاری محسوب نشود.
۱۱- آزمون ناکافی نمونه‌های آزمایشی: یک نمونهٔ آزمایشی ممکن است یک نمونه با ابعاد و مشخصات بسیار عالی باشد ولی بدون داشتن دانشی در مورد تغییرپذیری، آزمون یک نمونه آزمایشی چیز چندانی به ما منعکس نخواهد کرد. این نشانه‌ای از درک ناکافی طراحی محصول، تکوین و فعالیت‌های تجاری‌سازی فن‌آوری محسوب می‌شود.
۱۲- "هر کسی که برای کمک کردن ما می‌آید باید به‌طور کامل با کسب و کار ما آشنا باشد." این تفکر غیر معقولی است. در سازمان‌ها افراد توانمندی وجود دارند که همه چیز در مورد کسب و کار به جز نحوهٔ بهبود آن را می‌دانند. دانش و ایده‌های نو (غالباً خارج از سازمان) باید در مورد کسب و کار فعلی به‌کار گرفته شود تا تغییر و بهبود مورد نظر تحقق یابد.

جوزف ام جوران (۲۰۰۸-۱۹۰۴)

جوران یکی از پیشکسوتان و پایه‌گذاران حوزهٔ کنترل و بهبود کیفیت بود. او در آزمایشگاه‌های بل[1] برای والتر ای شوهارت کار می‌کرد و در تمام طول حرفهٔ کاری خود پیشگام حوزهٔ بهبود کیفیت بود. او سپس سرمهندس صنایع در شرکت وسترن الکتریک (بخشی از سیستم بل) شد. جوران در طول جنگ جهانی دوم معاون اجرایی لند - لیز[2] شد و نقش مهمی را در ساده‌سازی فرآیندهای اجرایی و گردش کاری آن مؤسسه ایفا کرد. بعد از جنگ او رئیس دانشکده مهندسی اجرایی در نیویورک شد. جوران بارها برای ارائه سخنرانی برای رهبران صنعتی ژاپن در اوایل دهه ۱۹۵۰ زمانی‌که آن‌ها مراحل تبدیل صنعتی خود را آغاز کرده بودند دعوت شد. او همچنین فعالیت‌های مشاوره‌ای خود را از طریق انستیتو جوران انجام می‌داد و به‌طور گسترده‌ای در انجمن مدیریت امریکا سخنرانی

1. AT&T bell laboratories
2. land lease

Www.iepnu.com

می‌کرد. او همراه با فرانک ام گراینا[1] دستنامهٔ کنترل کیفیت را تألیف کرد. این کتاب از زمان چاپ در سال ۱۹۵۷ به‌عنوان مرجع استانداردی برای روش‌های بهبود کیفیت استفاده شده است.

اصول سه‌گانه جوران
- طرح‌ریزی
- کنترل
- بهبود

رویکرد جوران نسبت به مدیریت و بهبود کیفیت در مقایسه با دمینگ، یک رویکرد راهبردی بود. او معتقد بود که اغلب مشکلات کیفی ناشی از طرح‌ریزی ناموثر برای کیفیت بود. فلسفهٔ مدیریت جوران بر سه مؤلفه متمرکز است: **طرح‌ریزی، کنترل و بهبود**. این سه اصل را به‌عنوان **اصول سه‌گانه یا اصطلاحات سه‌گانهٔ جوران**[2] می‌شناسیم. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، طرح‌ریزی شامل شناسایی مشتریان خارجی و تعیین نیازهای آن‌ها است. سپس محصولات و خدماتی که این نیازهای مشتریان را تأمین می‌کند طراحی یا تکوین می‌شود و در نهایت فرآیندهای تولید این محصولات یا خدمات توسعه داده می‌شود. فرآیند طرح‌ریزی برای بهبود کیفیت باید به‌صورت مستمر (معمولاً سالیانه) انجام شود. کنترل، با هدف اطمینان از تأمین الزامات محصول یا خدمت توسط نیروهای کار استفاده می‌شود. کنترل فرآیند آماری یکی از ابزارهای اولیهٔ کنترل است که بر دستیابی به سطوح کیفیت و عملکردی فراتر از سطوح فعلی تأکید دارد. جوران تأکید داشت که بهبود باید به‌صورت پروژه به پروژه انجام شود. این پروژه‌ها معمولاً در مرحلهٔ طرح‌ریزی اصول سه گانه شناسایی می‌شوند. بهبود می‌تواند یا مستمر (یا مرحله به مرحله) یا جهشی باشد. بهبود جهشی معمولاً حاصل مطالعهٔ فرآیند و شناسایی مجموعه‌ای از تغییرات است که منجر به بهبودهای نسبتاً سریع و بزرگ در عملکرد می‌شود. آزمایش‌های طراحی شده ابزار مهمی برای دستیابی به بهبودهای جهشی محسوب می‌شود.

آرمند وی فیگنبام (-۱۹۲۲)

رویکرد فیگنبام
- رهبری کیفیت
- تکنولوژی کیفیت
- تعهد سازمانی

فیگنبام اولین فردی بود که مفهوم کنترل کیفیت فراگیر را در کتاب تاریخی خود تحت عنوان کنترل کیفیت جامع که اولین بار در سال ۱۹۵۱ منتشر شد معرفی کرد. این کتاب، فلسفهٔ اولیه مدیریت کیفیت در ژاپن را در دهه ۱۹۵۰ تحت تأثیر خود قرار داد. در حقیقت، اغلب شرکت‌های ژاپنی از واژهٔ کنترل کیفیت جامع برای توصیف تلاش‌های خود استفاده کردند. او یک رویکرد سه مرحله‌ای متشکل از رهبری کیفیت[3]، فن‌آوری کیفیت[4] و تعهد سازمانی[5] را برای بهبود کیفیت پیشنهاد کرد. منظور فیگنبام از **فن‌آوری کیفیت**، روش‌های آماری و سایر روش‌های فنی و مهندسی است که نظیر آن‌ها در این کتاب مطرح می‌شود.

فیگنبام ساختار سازمانی و رویکرد سیستمی را برای بهبود کیفیت ضروری می‌داند. او یک فرآیند بهبود ۱۹ مرحله‌ای که مرحله ۱۷ آن روش‌های آماری است را پیشنهاد می‌کند. او ابتدا پیشنهاد کرد که اغلب توانمندی فنی در یک واحد تخصصی متمرکز شود. این نگرش با دیدگاه نوین که اعتقاد بر استفادهٔ وسیع از دانش و ابزارهای آماری در سطح سازمان دارد مغایر است. با این وجود، جنبه‌های سازمانی تفکر فیگنبام بسیار مهم است چرا که بهبود معمولاً به‌صورت خود جوش انجام نمی‌شود و تعهد مدیریت جهت تحقق آن الزامی است. فیگنبام در سال ۲۰۰۷ مدال ملی تکنولوژی و نوآوری را در سال ۲۰۰۷ دریافت کرد.

تشریح اختصاری فلسفه‌های دمینگ، جوران و فیگنبام نقاط اشتراک و افتراق دیدگاه‌های آن‌ها را منعکس می‌کند. به اعتقاد این مؤلف، شباهت‌های زیادی بین فلسفه‌های بزرگان کیفیت

1. Frank M. Gryna
2. Juran Trilogy
3. Quality leadership
4. Quality technology
5. Organizational commitment

Www.iepnu.com

مشاهده می‌شود و وجود این شباهت‌ها است که برای ما اهمیت دارد. هر سه صاحبه‌نظر بر اهمیت کیفیت به‌عنوان یک سلاح رقابتی، نقش مهم مدیریت در اجرای بهبود کیفیت و اهمیت روش‌های آماری در تبدیل یا دگرگونی کیفیت[1] یک سازمان تأکید دارند.

سایر پیشکسوتان و صاحب‌نظران

ایچیرو ایشیکاوا[2] یک رهبر تجاری ژاپنی مشهور بود که اتحادیهٔ با نفوذ دانشمندان و مهندسان ژاپن را پایه‌گذاری کرد. پسر او، **کائورا ایشیکاوا**[3] ، هدایت این اتحادیهٔ را در سال‌های اولیهٔ تأسیس آن بر عهده داشت و در نهایت او به‌عنوان یکی از مشهورترین و با نفوذترین رهبران جنبش بهبود کیفیت ژاپن مطرح شد. کائورا ایشیکاوا ابزارهای بهبود کیفیت متعددی از جمله نمودار معروف علت و معلول که نمودار ایشیکاوا نیز نامیده می‌شود را توسعه داد. او به شدت بر آموزش‌های حین کار تأکید داشت و به این دلیل آموزش به یکی از رسالت‌های اصلی اتحادیهٔ دانشمندان و مهندسان ژاپن تبدیل شد. ایشیکاوا یکی از پیشگامان تشویق استفادهٔ گسترده از ابزارهای بهبود فرآیند و کیفیت توسط نیروی کار بود.

فیلیپ کرازبی[4] یکی از مدیران اجرایی شرکت تلفن و تلگراف انترنشنال[5] بود که دو کتاب پُر فروش "کیفیت رایگان است[6] " و "کیفیت بدون اشک[7] " را به‌ترتیب در سال‌های ۱۹۷۹ و ۱۹۸۴ منتشر کرد. کرازبی معتقد بود که کیفیت منشاء سود و فرصت برای یک سازمان است و با تمرکز بر هزینهٔ کیفیت (بخش ۱–۵ ملاحظه شود) می‌توان حوزه‌هایی که نیاز به اقدامات اصلاحی دارند را شناسایی و بهبود داد.

کتاب‌های کرازبی به موقع منتشر شد زیرا اواخر دههٔ ۱۹۷۰ و اوایل دههٔ ۱۹۸۰ دوره‌ای بود که شرکت‌های امریکایی به دنبال دستیابی به راهبردهای اثربخش بهبود کیفیت بودند. مطالعهٔ این کتاب‌ها بسیار ساده بود و این قول به خواننده داده می‌شد که با تأکید بر جنبه‌های رفتاری و انگیزشی بهبود کیفیت می‌توان بهبود را محقق ساخت. یکی از ویژگی‌های کلیدی صحبت‌های او موضوع **نقص صفر**[8] بود. به‌عبارت دیگر، اگر افراد خود را متعهد سازند و سخت در راستای اجتناب از اشتباه و خطا تلاش کنند آن‌گاه می‌توان عیوب را ریشه کن و حذف نمود. کرازبی زیاد طرفدار استفادهٔ گسترده از ابزارهای فنی برای حل مسأله‌های کیفی نبود. از آنجایی‌که او موضوع را ساده جلوه می‌داد و مدیران نیز غالباً به دنبال یک راه حل سریع و ساده می‌گشتند او توانست یک شرکت مشاورهٔ بزرگ راه اندازی کند.

یقیناً کرازبی به دلیل مطلع ساختن مدیران از اینکه تصمیمات کیفیتی، تصمیمات راهبردی هستند و پیامدهای مالی به همراه دارند سزاوار تقدیر است. با این وجود، رویکرد کلی او یا به‌عبارت دیگر، اتکا به انگیزهٔ کارکنان و اصلاح رفتار، ناموفق بود و فعالیت‌های مشاوره‌ای او در نهایت با شکست مواجه شد. در اغلب سازمان‌ها، کارکنان سخت کار می‌کنند و سعی دارند از اشتباهات و خطاها اجتناب کنند. در اغلب مواقع، بهبودهای نسبتاً کمی محقق می‌شود مگر اینکه از ابزارهای فنی مناسب در مسئله‌های مناسب استفاده شود.

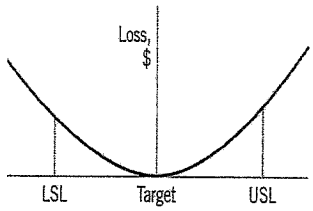
گینیچی تاگوچی[9] یک مهندس ژاپنی است که اعتقاد دارد تغییرپذیری ناخواسته دلیل اصلی

---

1. Quality transformation
2. ichiro Ishikawa
3. Kaoru Ishikawa
4. Philip Crosby
5. International Telephone and Telegraph - ITT
6. Quality is free
7. Quality without tears
8. zero defects
9. Genichi Taguchi

Www.iepnu.com

کیفیت نامطلوب است. او چنین استدلال می‌کند که انحراف از مقدار ایده‌آل یا هدف برای یک مشخصهٔ کیفی منجر به تحمیل زیان نه فقط به مشتری و کسب و کار بلکه به جامعه می‌شود. تاگوچی از **تابع زیان درجه دو**، همان‌گونه که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، به‌عنوان مدلی برای نشان دادن این موضوع استفاده کرد. باید توجه داشت که این زیان‌های به محض فاصله گرفتن مشخصهٔ کیفی از مقدار هدف، شروع می‌شوند. در نگرش سنتی، این زیان‌ها فقط در صورت خروج مشخصهٔ کیفی از حد مشخصهٔ پایین[1] یا بالا[2] (شکل ۲-۲ ملاحظه شود) ایجاد می‌شود. در رویکرد تاگوچی، بخشی از تغییر پذیری ناخواسته در محصول یا فرآیند ناشی از عواملی است که کنترل آنها دشوار یا غیر ممکن است. این عوامل را معمولاً **متغیرهای اغتشاش**[3] می‌نامند. تاگوچی استفاده از طراحی آزمایش‌ها را برای تعیین سطوح عامل‌های قابل کنترل به منظور بهینه ساختن سطوح هدف مشخصه‌های کیفی و کاهش تغییرپذیری ناشی از متغیرهای اغتشاش پیشنهاد کرد. او این روش بهینه سازی را **طرحی پارامتر استوار**[4] نامید. او چندین روش و رویکرد جدید برای حل مسایل طراحی استوار ارائه کرد. در اوایل دههٔ ۱۹۸۰، روش‌های تاگوچی به صنایع ایالات متحدهٔ امریکا معرفی شد و برای چندین سال مورد توجه و استفاده قرار گرفت. با این وجود، مناسب بودن این روش‌ها از طرف بسیاری از کارشناسان حوزهٔ طراحی آزمایش‌ها و آمار مورد چالش قرار گرفت.



شکل ۲-۲ تابع زیان درجهٔ ۲.

بدیهی است تاگوچی یک مسئلهٔ مهم را شناسایی کرد. استوار و مقاوم ساختن محصولات و فرآیندها در مقابل منابع تغییر پذیری غیر قابل کنترل، بخشی کلیدی برای موفقیت آمیز ساختن هر محصول محسوب می‌شود. با این وجود، روش‌هایی که او معمولاً برای دستیابی به استواری مطرح می‌کرد، ناکارا و غالباً نیز ناموثر بودند. در اواخر دههٔ ۱۹۸۰ و اوایل دههٔ ۱۹۹۰ تحقیقات گسترده‌ای در زمینهٔ مسایل طراحی استوار انجام و روش‌های جدیدی برای حل این مسایل با استفاده از روش‌های بهتر معرفی شد.

۲-۳ مدیریت کیفیت جامع[5]

مدیریت کیفیت جامع راهبردی برای اجرا و مدیریت فعالیت‌های بهبود کیفیت در سازمان محسوب می‌شود. مدیریت کیفیت جامع با تمرکز بر فلسفهٔ دمینگ و جوران در دهه ۱۹۸۰ آغاز شد. سپس گسترهٔ وسیعی از مفاهیم و ایده‌های دیگری شامل سازمان‌های مشارکتی و فرهنگ‌کاری، مشتری‌گرایی، بهبود کیفیت تأمین‌کننده، همسوسازی سیستم کیفیت با اهداف کسب‌وکار و بسیاری از فعالیت‌های دیگر را با هدف متمرکز ساختن این عناصر در حول هدف بهبود کیفیت در بر گرفت. به‌طور معمول، سازمان‌هایی که رویکرد مدیریت کیفیت جامع را با هدف بهبود کیفیت اجرا می‌کنند دارای شورای کیفیت یا تیم‌های رده بالا جهت نظارت بر برنامه‌های کیفی راهبردی، تیم‌های اجرایی با هدف تمرکز بر فعالیت‌های تولید یا کسب‌وکار و تیم‌های افقی با هدف رسیدگی به موضوعات بهبود کیفیت خاص هستند.

مدیریت کیفیت جامع (TQM)
مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی است که هدفِ القای آگاهی از قواعد کیفیتی در کل سازمان و همچنین اطمینان‌سازی از برآورده‌سازی همیشگی نیازمندی‌های مشتری را نشانه رفته است

مدیریت کیفیت جامع به دلایل مختلف از جمله استفاده کافی از ابزارهای فنی کاهش پراکندگی در سطح وسیع فقط از یک موفقیت متوسطی برخوردار بوده است. بسیاری از سازمان‌ها مأموریت مدیریت کیفیت جامع را آموزش دیده‌اند. بنابراین، اغلب تلاش‌های انجام شده شامل آموزش‌های وسیع نیروی کار و آشنایی آن‌ها با فلسفه‌های بهبود کیفیت و کمتر بر روش‌های پایه‌ای متمرکز شده بود. آموزش حین کار به واحدهای منابع انسانی واگذار شده بود که اغلب

1 Lower specification limit - LSL
2 Upper specification limit - USL
3. noise variables
4. robust parameter design
5. Total quality management - TQM

Www.iepnu.com

آن‌ها نیز اثربخش نبود. مدرسان نیز غالباً ایده‌ای در مورد این‌که چه چیزی باید تدریس شود نداشتند و موفقیت تنها از طریق درصد نیروی کار آموزش دیده اندازه‌گیری می‌شد و اثربخشی و تأثیر این آموزش‌ها بر کسب‌وکار ملاک نبود. برخی از دلایل کلی عدم موفقیت مدیریت کیفیت جامع را می‌توان مواردی از جمله (۱) عدم وجود نظارت بالا به پایین، **مشارکت و تعهد** مدیریت ارشد، (۲) عدم استفادهٔ کافی از روش‌های آماری و عدم توجه به کاهش پراکندگی به‌عنوان هدف اصلی، (۳) اهداف کلی در مقایسه با اهداف مشخص و نتیجه‌گرا و (۴) تأکید بیش از حد بر **آموزش‌های حین کار گسترده** در مقایسه با تمرکز بر **آموزش‌های کلاسیک فنی** عنوان کرد.

دلیل دیگری درمورد موفقیت‌های موردی مدیریت کیفیت جامع این است که اغلب مدیران از آن به‌عنوان یک برنامهٔ دیگر بهبود کیفیت نام می‌برند. در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ برنامه‌هایی نظیر نقص صفر و مهندسی ارزش به سرعت رایج شد ولی متأسفانه در عمل تأثیر ناچیزی بر بهبود کیفیت و بهره‌وری گذاشت.

طی اوج موفقیت مدیریت کیفیت فراگیر (TQM) در دهه ۱۹۸۰ میلادی، برنامه‌ی رایج دیگر با عنوان "کیفیت رایگان است" وجود داشت، که در آن مدیریت روی تشخیص هزینه کیفیت (یا ناکیفیت، آن طور که طرفداران مکتب "کیفیت رایگان است" زیرکانه آن را می نامند) کار می‌کرد. در نهایت، تشخیص هزینه‌های کیفیت می‌تواند بسیار مفید واقع شود (هزینه‌های کیفیت در فصل اول مورد بحث قرار گرفتند)، اما فعالان "کیفیت رایگان است" ایده ای در این خصوص نداشتند که چه اقداماتی می‌تواند منجر به بهبود بسیاری از فرآیندهای پیچیده صنعتی گردد. در واقع رهبران این ایده هیچ دانشی در خصوص روش شناسی آماری نداشته و در فهم نقش آن در بهبود کیفیت کاملاً شکست خورده بودند. زمانی که TQM برای چنین برنامه‌ی غیرموثری ایجاد می‌شود، عموماً نتیجه یک فاجعه است.

۲-۴ سیستم‌های کیفیت و استانداردها

سازمان استانداردهای بین‌المللی[1] (که در سال ۱۹۴۶ در ژنو تأسیس شد) که اختصاراً از آن به‌عنوان ISO (آیسو/ ایزو) نام برده می‌شود یک‌سری از استانداردهای سیستم‌های کیفیت را تدوین کرد. اولین استاندارد در سال ۱۹۸۷ تدوین شد. ویرایش جاری این استاندارد را به‌عنوان استانداردهای سری ISO ۹۰۰۰ می‌شناسیم. این یک استاندارد عمومی است که در مورد هر سازمانی کاربرد دارد و غالباً از آن برای اثبات توانایی تأمین‌کننده در کنترل فرآیندهای خود استفاده می‌شود.

سه استاندارد ISO ۹۰۰۰ عبارتند از:

ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ سیستم مدیریت کیفیت – اصول و واژه‌نامه

ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ سیستم مدیریت کیفیت – الزامات

ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ سیستم مدیریت کیفیت – خطوط راهنما برای بهبود عملکرد.

استاندارد ISO ۹۰۰۰ به‌عنوان استاندارد انستیتو استانداردهای ملی امریکا و استاندارد جامعه کیفیت امریکا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد .

استاندارد ISO ۹۰۰۱:۲۰۰۰ دارای هشت بند است: (۱) دامنهٔ کاربرد، (۲) مراجع الزامی، (۳) تعاریف، (۴) سیستم‌های مدیریت کیفیت، (۵) مسئولیت مدیریت، (۶) مدیریت منابع، (۷) تحقق محصول (یا خدمت) و (۸) اندازه‌گیری، تحلیل و بهبود. بندهای ۴ تا ۸ از اهمیت بیشتری برخوردار است که عناصر و الزامات کلیدی آن‌ها در جدول ۲-۲ ارائه شده است. یک شرکت به منظور اخذ گواهینامهٔ ایزو باید یک شرکت گواهی‌دهنده را انتخاب و خود را برای انجام **ممیزی** توسط این شرکت آماده سازد. یک سازمان مستقل خاصی جهت صدور مجوز برای شرکت‌های گواهی‌دهنده، تعیین مقررات و نظارت بر عملکرد آن‌ها و یا حتی تأیید آن‌ها وجود ندارد. همان‌گونه که بعداً نیز توضیح خواهیم داد این یک ضعف جدی سیستم ایزو محسوب می‌شود. آماده‌شدن برای ممیزی نهایی فعالیت‌های متعددی از جمله ممیزی اولیه که سیستم مدیریت کیفیت را با استاندارد تطابق می‌دهد را شامل می‌شود. سپس باید تیم‌های مختلفی با هدف کسب اطمینان در مورد این که تمامی بندهای کلیدی شامل آموزش کارکنان، تهیهٔ مستندات موردنیاز و تهیه و استقرار کلیهٔ عناصر جدید سیستم کیفیت پوشش داده شده است تشکیل شود. بعد از حصول اطمینان از وجود موارد فوق، ممیزی نهایی انجام خواهد شد. اگر سازمان، موفق به اخذ گواهینامه شود آن‌گاه **ممیزی‌های مراقبتی برنامه‌ریزی** شده توسط شرکت گواهی‌دهنده به‌صورت سالیانه و یا احیاناً شش ماهه انجام خواهد شد.

1. International standards organization - ISO

Www.iepnu.com

جدول ۲-۲

الزامات ISO۹۰۰۰: ۲۰۰۰

۴-۰ نظام مدیریت کیفیت

۴-۱ الزامات کلی

سازمان باید یک نظام مدیریت کیفیت را ایجاد، مدون و اجرا کرده و آن را برقرار نگهدارد و به‌طور مستمر اثربخشی آن را بر طبق الزامات این استاندارد بین‌المللی بهبود بخشد.

۴-۲ الزامات مستندسازی

مستندات نظام مدیریت کیفیت باید شامل خط‌مشی کیفیت و اهداف کیفیت، نظام‌نامهٔ کیفیت و روش‌های اجرایی مدونی باشد تا در مورد اثربخشی طرح‌ریزی، اجرا و کنترل فرآیندها و سوابق مورد نیاز استاندارد بین‌المللی اطمینان حاصل شود.

۵-۰ مسئولیت مدیریت

۵-۱ تعهد مدیریت

الف- محاوره در مورد تأمین خواسته‌های مشتری و همچنین الزامات مربوط به قوانین و مقررات سازمان

ب- تعیین خط‌مشی کیفیت

ج- تعیین اهداف کیفیت

د- انجام بازنگری‌های مدیریت

هـ- حصول اطمینان از در دسترس بودن منابع

۵-۲ مدیریت ارشد باید اطمینان حاصل کند که خواسته‌های مشتری با هدف افزایش رضایت مشتری تعیین و برآورده می‌شود.

۵-۳ مدیریت باید یک خط‌مشی کیفیت تدوین کند

۵-۴ مدیریت باید اطمینان یابد که اهداف کیفیت برآورده خواهد شد و مدیریت باید اطمینان یابد که طرح‌ریزی برای نظام مدیریت کیفیت انجام خواهد شد.

۵-۵ مدیریت ارشد باید اطمینان حاصل کند که مسئولیت‌ها و اختیارات تعیین و در درون سازمان ابلاغ شده‌اند.

۵-۶ مدیریت ارشد باید نظام مدیریت کیفیت سازمان را در فواصل زمانی برنامه‌ریزی شده مورد بازنگری قرار دهد.

۶-۰ مدیریت منابع

۶-۱ سازمان باید منابع مورد نیاز را تعیین و تأمین کند.

۶-۲ تحصیلات، آموزش، مهارت‌ها و تجربه‌های لازم برای کارکنان فراهم خواهد شد.

۶-۳ سازمان باید زیرساخت موردنیاز جهت دستیابی به انطباق با الزامات و یا خواسته‌های مرتبط به محصول را تعیین، تأمین و حفظ کند.

۶-۴ سازمان باید محیط کار موردنیاز جهت دستیابی به انطباق با الزامات و یا خواسته‌های مربوط به محصول را تعیین و مدیریت کند.

۷-۰ تحقق محصول یا خدمت

۷-۱ سازمان باید فرآیندهای مورد نیاز برای تحقق محصول یا خدمت را طرح‌ریزی کرده و توسعه دهد.

۷-۲ سازمان باید الزامات مشخص شده توسط مشتری را تعیین کند.

۷-۳ سازمان باید طراحی و تکوین محصول یا خدمت را طرح‌ریزی کرده و تحت کنترل داشته باشد.

۷-۴ سازمان باید اطمینان حاصل کند که محصول خریداری شده با الزامات مشخص شده برای خرید انطباق دارد.

۷-۵ سازمان باید تولید و ارائه خدمات را طرح‌ریزی کرده و در شرایط تحت کنترل به اجرا درآورد.

۷-۶ سازمان باید پایش و اندازه‌گیری‌هایی که بایستی انجام گیرد و همچنین تجهیزات پایش و اندازه‌گیری مورد نیاز برای فراهم آوردن شواهدی مبنی بر انطباق محصول با الزامات تعیین شده را مشخص کند.

۸-۰ اندازه‌گیری، تحلیل و بهبود

۸-۱ سازمان باید فرآیندهای پایش، اندازه‌گیری، تحلیل و بهبود مورد نیاز را برای بهبود مستمر و انطباق با خواسته‌ها طرح‌ریزی و اجرا کند.

۸-۲ سازمان باید اطلاعات مربوط به درک مشتری را پایش کند.

۸-۳ سازمان باید اطمینان حاصل کند محصولی که با الزامات مربوط به آن منطبق نیست به منظور جلوگیری از استفاده یا تحویل ناخواسته آن شناسایی شده و تحت کنترل است.

۸-۴ سازمان باید داده‌های مناسب شامل موارد زیر را برای اثبات مناسب بودن و اثربخشی نظام مدیریت کیفیت تعیین، جمع‌آوری و تحلیل کند:

الف- داده‌های مربوط به رضایت مشتری

ب- داده‌های مربوط به انطباق با الزامات

ج- داده‌های مربوط به روند

د- داده‌های مربوط به تأمین‌کنندگان

۸-۵ سازمان باید به‌طور مستمر اثربخشی نظام مدیریت کیفیت خود را بهبود بخشد.

Www.iepnu.com

استاندارد تمرکز ISO بر تضمین کیفیت است.

اغلب سازمان‌ها، تأمین‌کنندگان خود را ملزم به اخذ گواهی‌نامهٔ ۹۰۰۰ ISO یا یکی از استانداردهای صنعتی خاص نظیر استانداردهای سیستم کیفیت در صنعت هوافضا یا ۹۰۰۰ AS و استانداردهای ۱۶۹۴۹ ISO/TS و ۹۰۰۰QS در صنعت خودروسازی و استاندارد ۹۰۰۰ TL در صنعت مخابرات کرده‌اند. بخش عمده‌ای از این استانداردها شباهت زیادی به استاندارد ۹۰۰۰ ISO دارد.

تمرکز بخش عمده‌ای از استاندارد ۹۰۰۰ ISO و استانداردهای مشابه صنعتی آن، مرتبط با مستندسازی سیستم کیفیت و یا به‌عبارت دیگر فعالیت‌های **تضمین کیفیت** می‌شود. سازمان‌ها معمولاً باید تلاش‌های زیادی برای انطباق مستندات خود با الزامات استاندارد انجام دهند. به‌عبارت دیگر، این پاشنه آشیل[1] استاندارد ۹۰۰۰ ISO و یا سایر استانداردهای مرتبط محسوب می‌شود. تلاش‌های زیاد صرف مستندسازی، کاغذبازی و حفظ مستندات شده و کمتر بر روی کاهش پراکندگی و بهبود فرآیندها و محصولات تمرکز می‌شود. از طرف دیگر، شرکت‌های گواهی‌دهنده، ممیزان و مشاوران طرف ثالث که در این زمینه فعالیت می‌کنند به میزان کافی، با **ابزارهای** فنی **بهبود کیفیت** و نحوهٔ استفاده از آن‌ها در عمل آشنا نیستند. آن‌ها بعضاً با روش‌های مهندسی و آماری بهبود کیفیت مقدماتی آشنا هستند و لذا تلاش‌های آن‌ها فقط صرف مستندسازی، حفظ سوابق و کاغذ بازی‌های مورد نیاز جهت اخذ گواهی‌نامه می‌شود. یک سیستم کیفیت عملیاتی باید دارای سه مولفهٔ طرح‌ریزی کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل و بهبود کیفیت باشد.

گواهینامه ISO تضمین نمی‌کند که محصول با کیفیت عالی به‌دست مشتری برسد.

همچنین شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد اخذ گواهی‌نامهٔ ایزو یا سایر گواهینامه‌های صنعتی مرتبط سهم ناچیزی در پیشگیری از طراحی، تولید و تحویل محصولات بی‌کیفیت به مشتری دارد. به‌عنوان مثال، طی دوره ۲۰۰۰– ۱۹۹۹ سوانح متعددی درخصوص واژگون شدن خودروی فورد اکسپلورر[2] زمانی‌که لاستیک‌های بریجستون/ فایرستون بر روی آن‌ها نصب شده بود گزارش‌گردید. این سوانح تقریباً ۳۰۰ نفر کشته در امریکا به جای گذاشت و منجر به فراخوان بیش از ۶/۵ میلیون حلقه لاستیک بریجستون/ فایرستون شد. به نظر می‌رسید که اغلب لاستیک‌ها در کارخانه بریجستون/ فایرستون شهر دیکاتور[3] در ایالت ایلینویز تولید شده بود. در مقاله‌ای که در خصوص این موضوع در مجلهٔ تایمز مورخ ۱۸ سپتامبر ۲۰۰۰ به چاپ رسید عکسی از سردر ورودی این کارخانه وجود داشت که عنوان می‌کرد این کارخانه گواهی‌نامهٔ ۹۰۰۰ ISO و گواهی‌نامهٔ ۱۴۰۰ ISO (استاندارد مرتبط با محیط‌زیست) را اخذ کرده است. گرچه علل اصلی این سوانح کاملاً مشخص نشد ولی علی‌رغم اخذ گواهی‌نامه‌های سیستم‌های کیفیت، بریجستون/ فایرستون با مشکلات کیفی قابل‌توجهی مواجه شد. گواهی‌نامهٔ ایزو هیچ تضمینی در مورد طراحی، تولید و تحویل محصولات با کیفیت برای مشتری فراهم نمی‌سازد. اتکا به گواهی‌نامه‌های ایزو می‌تواند یک اشتباه کلیدی برای مدیریت محسوب شود.

برآورد می‌شود که فعالیت‌های مرتبط با گواهینامه‌های ایزو در سطح جهانی تقریباً ۴۰ میلیارد دلار باشد که بخش عمده‌ای از این پول به جیب شرکت‌های صدور گواهی‌نامه، ممیزان و مشاوران سرازیر می‌شود. این رقم، هزینه‌های داخلی سازمان نظیر هزاران ساعت مهندسی و مدیریتی، سفرها، آموزش‌های داخلی و ممیزی‌های داخلی را شامل نمی‌شود. معلوم نیست که چه بخشی از این هزینه که صرف اخذ گواهی‌نامه می‌شود بر عملکرد سازمان تأثیر خواهد گذاشت. از

1. Achilles heel
2 . ford explorer
3 . decatur

Www.iepnu.com

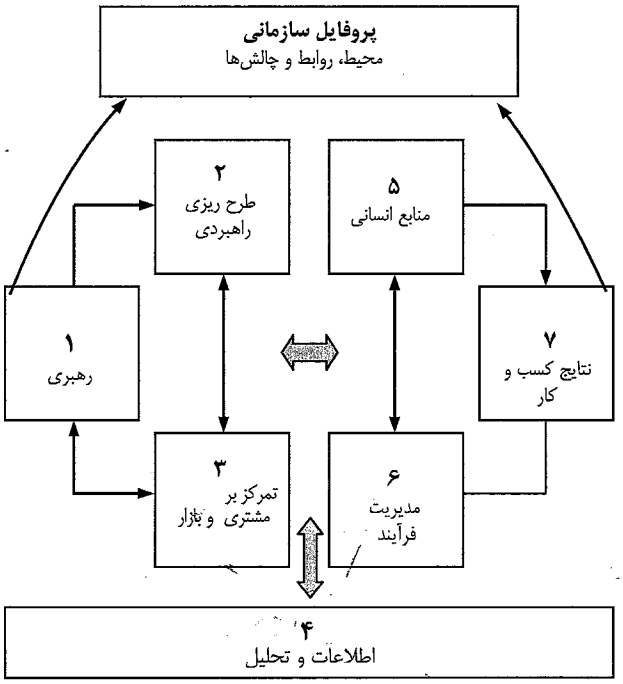
طرف دیگر، هیچ تضمینی وجود ندارد که اخذ گواهینامه می‌تواند تأثیر مثبتی بر کیفیت (با توجه به سوانح مرتبط با لاستیک بریجستون/ فایرستون) داشته باشد. اغلب مهندسان کیفیت اعتقاد دارند که اخذ گواهینامهٔ ایزو فقط اتلاف وقت و سرمایه است. اغلب مواقع شاید برای سازمان‌ها بهتر باشد که به ایزو جواب رد دهند و بخش کوچکی از آن ۴۰ میلیارد دلار را صرف سیستم‌های کیفیت و بخش بیشتر آن را صرف تلاش‌های کاهش پراکندگی، تهیهٔ استانداردهای کیفی داخلی، اجرای هدفمند آن‌ها و باقیمانده آن را صرفه‌جویی کند.

جایزه ملی کیفیت ملکولم بالدریج

ملکولم بالدریج وزیر بازرگانی ایالات متحده از سال ۱۹۸۰ الی ۱۹۸۷ میلادی بوده او یک حرفه کسب و کار موفقی داشت. او معتقد بود هر کسب و کاری با تعهد شدید به بهبود کیفیت، خدمت به مشتری و به‌دست آوردن مزایای رقابتی را در بر گیرد.

جایزه ملی کیفیت ملکولم بالدریج توسط کنگره امریکا در سال ۱۹۸۷ پایه‌گذاری شد. این جایزه به‌طور سالیانه به سازمان‌های مختلف براساس تعالی عملکرد آن‌ها اعطا می‌شود. این جوایز به سازمان‌ها در پنج گروه تولید، خدمت، کسب‌وکارهای کوچک، بهداشت و درمان و آموزش اعطا می‌شود. در هر گروه ممکن است سه جایزه در سال اعطا شود. اغلب سازمان‌ها برای دریافت این جایزه تلاش می‌کنند و خیلی از سازمان‌ها از معیارهای تعالی عملکرد به منظور ارزیابی استفاده می‌کنند. این جایزه توسط انستیتو ملی استانداردها و فن‌آوری[1] امریکا نظارت می‌شود. امروزه تعداد نسبتاً زیادی جایزهٔ کیفیت ایالتی که اغلب آنها بر گرفته از جایزه ملی کیفیت ملکولم بالدریج است وجود دارد.

معیارهای تعالی عملکرد و ارتباط درونی آن‌ها در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. امتیازهای مرتبط با هر یک از این معیارها در جدول ۳-۲ ارائه شده است. این معیارها بر نتایج تمرکز دارد و نتایج، ترکیبی از رضایت و حفظ مشتری، سهم بازار و توسعه بازار جدید، کیفیت محصول/ خدمت، بهره‌وری و اثربخشی عملیاتی، توسعه منابع انسانی، عملکرد تأمین‌کننده و شهروندی عمومی/ سازمانی است. این معیارها تجویزی نیستند و یا به‌عبارت دیگر، تمرکز بر نتایج است و نه استفاده از رویه‌ها یا ابزارهای خاص.



شکل ۲-۳ ساختار معیارهای تعالی عملکرد MBNQA

1. National Institute of Standards and Technology – NIST

Www.iepnu.com

جدول ۲-۳

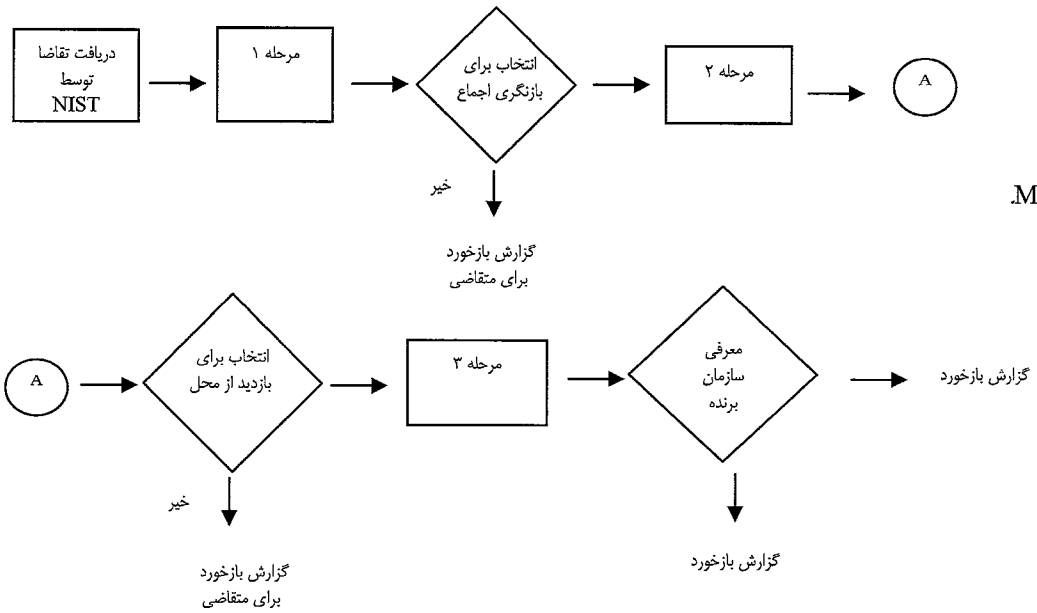
دسته‌بندی تعالی عملکرد و ارزش

۱	**رهبری**	**۱۲۰**	
۱-۱	نظام رهبری	۸۰	
۱-۲	مسئولیت و شهروندی سازمان	۴۰	
۲	**طرح‌ریزی راهبری راهبردی**		**۸۵**
۲-۱	فرآیند توسعهٔ راهبرد ..	۴۰	
۲-۲	راهبرد سازمان	۴۵	
۳	**تمرکز بر مشتری و بازار**		**۸۵**
۳-۱	دانش در مورد مشتری و بازار ..	۴۰	
۳-۲	بهبود رضایت و ارتباط با مشتری	۴۵	
۴	**اطلاعات و تحلیل**		**۹۰**
۴-۱	اندازه‌گیری و تحلیل	۵۰	
۴-۲	مدیریت اطلاعات	۴۰	
۵	**تمرکز بر منابع انسانی**		**۸۵**
۵-۱	نظام کار	۳۵	
۵-۲	تحصیلات، آموزش و توسعهٔ کارکنان	۲۵	
۵-۳	رفاه و رضایت کارکنان	۲۵	
۶	مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار		**۸۵**
۶-۱	مدیریت فرآیندهای محصول و خدمت	۴۵	
۶-۶	مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار	۲۵	
۶-۳	مدیریت فرآیندهای پشتیبان	۱۵	
۷	**نتایج کسب‌وکار**		**۴۵۰**
۷-۱	نتایج مشتری	۱۲۵	
۷-۲	نتایج مالی و بازار	۱۲۵	
۷-۳	نتایج منابع انسانی	۸۰	
۷-۴	نتایج سازمانی	۱۲۰	
	جمع کل		**۱,۰۰۰**

فرآیند MBNQA در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. ابتدا سازمان متقاضی، فرم تکمیل شدهٔ تقاضای خود را برای NIST ارسال می‌کند. این فرم مورد ارزیابی اولیهٔ تیم ارزیابان جایزه قرار می‌گیرد. هیأت ارزیابان متشکل از داوطلبان با صلاحیتی از رشته‌های مختلف کاری است. به منظور ادامهٔ بررسی‌ها نیاز است تا هیأت ارزیاب به یک اجماع برسد. در جلسهٔ اجماع، تیم ارزیابی امتیاز کسب شده برای هر مورد را از طریق اجماع تعیین می‌کند. پس از جلسه اجماع و تهیه گزارش اجماع در مورد زمان بازدید از محل، تصمیم‌گیری می‌شود. بازدید از محل توسط یک تیم متشکل از چهار تا شش ارزیاب طی یک هفته انجام و گزارشی توسط آن‌ها تهیه می‌شود. نتایج گزارش‌های بازدید از محل جهت تعیین برندهٔ نهایی‌جایزه MBNQA استفاده می‌شود.

همان‌گونه که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است گزارش‌های بازخورد تا سه مرحله از فرآیند MBNQA برای سازمان متقاضی ارسال می‌شود. اغلب سازمان‌ها این گزارش‌ها را مفید می‌دانند و از آن‌ها برای برنامه‌ریزی بهبود سازمان خود و بهبود نتایج استفاده می‌کنند.

Www.iepnu.com



شکل ۲-۴ فرآیند MBNQA.

۲-۵ شش سیگما

شش سیگما یک استراتژی کسب و کار است که از طریق تشخیص و حذف عوامل خرابی و خطاها و کاهش تغییرپذیری در مشخصه‌های کلیدی کیفیت به دنبال بهبود عملکرد کسب و کار است.

محصولاتی که دارای چندین مشخصه هستند فرصت‌های زیادی برای شکست یا نقص دارند. موتورولا[1] در دهۀ ۱۹۸۰ **برنامۀ شش سیگما** را به منظور پاسخ به تقاضای محصولات خود ارائه کرد. تمرکز شش سیگما بر کاهش پراکندگی در مشخصه‌های کیفی کلیدی به میزانی است که احتمال شکست یا نقص به شدت کاهش یابد.

شکل ۲-۵ الف یک توزیع احتمال نرمال را به‌عنوان مدلی برای یک مشخصۀ کیفی با حدود مشخصه‌های فنی سه انحراف معیار در دو طرف میانگین نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود احتمال تولید یک محصول در بین این حدود تقریباً ۰/۹۹۷۳ و یا معادل ۲۷۰۰ جزء در میلیون[2] محصول معیوب است. اصطلاحاً از این به‌عنوان **عملکرد کیفی سه انحراف معیار** نام برده می‌شود که عملکرد خوبی به نظر می‌رسد. حال محصولی را در نظر گیرید که متشکل از ۱۰۰ قطعۀ مستقل است و هر ۱۰۰ قطعه باید سالم باشد تا عملکرد محصول نهایی رضایت‌بخش باشد. در این صورت، احتمال اینکه یک محصول عملکرد رضایت‌بخشی داشته باشد برابر است با:

$$۰/۹۹۷۳\times۰/۹۹۷۳\times...\times۰/۹۹۷۳=(۰/۹۹۷۳)^{۱۰۰}=۰/۷۶۳۱$$

به‌عبارت دیگر، تحت شرایط عملکردکیفی سه انحراف معیار حدود ۲۳/۷ درصد از محصولات معیوب خواهد بود. این عملکرد قابل قبول نیست چرا که اغلب محصولات تولید شدۀ امروزی از قطعات زیادی تشکیل شده‌اند. حتی یک خدمت ساده نظیر غذا خوردن یک خانواده چهار نفری در یک رستوران می‌تواند شامل چندین مؤلفه مختلف باشد. یک خودرو متشکل از ۱۰.۰۰۰ مشخصه و یک هواپیما متشکل از یک تا دو میلیون مشخصه است.

هدف اصلی متدولوژی شش سیگمای موتورولا کاهش پراکندگی فرآیند است تا جایی‌که فاصله حدود مشخصه‌های فنی از میانگین حداقل شش انحراف معیار باشد. در چنین شرایطی

1. motorola
2. Parts per million – ppm

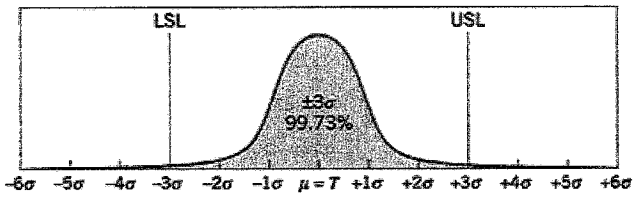
Www.iepnu.com

همان‌گونه که در شکل ۲–۵ الف نشان داده شده است حدوداً ۲ در هر یک میلیارد محصول، معیوب خواهد بود. تحت شرایط **کیفیت شش سیگما** احتمال سالم بودن یک محصول فرضی ۰/۹۹۹۹۹۹۸ یا ۰/۲ جزء در میلیون معیوبی‌خواهد بود.

در زمان پایه‌گذاری مفاهیم اولیهٔ شش سیگما، فرض بر این بود که در سطح کیفیت شش سیگما هنوز علل مختلفی می‌تواند میانگین را تحت تأثیر قرار داده و تا ۱/۵ انحراف معیار هدف را جا به جا کند. این وضعیت در شکل ۲–۵ ب نشان داده شده است. یک فرآیند شش سیگما با فرض ۱/۵ انحراف معیار تغییر در میانگین حدوداً ۳/۴ جزء در میلیون محصول معیوب تولید می‌کند.

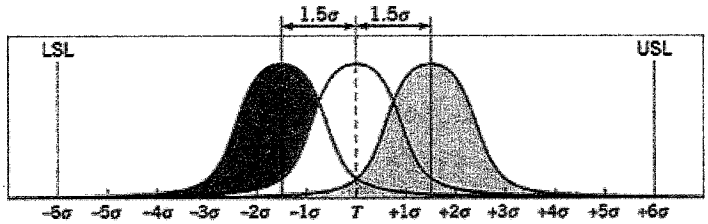
به‌نظر می‌رسد در بحث فوق یک تناقض وجود دارد. همان‌گونه که در فصل مربوط به قابلیت فرآیند بحث خواهد شد، ما زمانی می‌توانیم عملکرد فرآیند را پیش‌بینی کنیم که فرآیند **ایستا** و یا عبارت دیگر، زمانی‌که میانگین و انحراف معیار آن **ثابت** باشد. اگر میانگین در حال تغییر یا جا به جایی باشد و تا ۱/۵ انحراف معیار تغییر کند آن‌گاه ۳/۴ جزء در میلیون معیوبی ممکن است قابل اعتماد نباشد چرا که میانگین ممکن است بیش ۱/۵ انحراف معیار مجاز جابه‌جا شود. عملکرد فرآیند قابل پیش‌بینی نیست مگر اینکه رفتار فرآیند ایستا باشد.

با این وجود، هیچ فرآیند یا سیستمی کاملاً ایستا نیست و حتی در بهترین شرایط، اغتشاشات و انحرافات ایجاد می‌شود. این اغتشاشات سبب می‌شود تا میانگین فرآیند از هدف فاصله بگیرد، انحراف معیار افزایش یابد و یا هر دو حالت رخ دهد. یکی از اهداف متدولوژی شش سیگما **مدل کردن** این‌گونه رفتارهای فرآیند است. همانند سایر مدل‌ها، احیاناً این مدل صحیح نخواهد بود ولی اثبات شده که می‌تواند برای ایده گرفتن در مورد عملکرد فرآیند مفید باشد.



حد مشخصه	درصد داخل حدود مشخصه	معیوبی‌ها ppm
±1 Sigma	68.27	317300
±2 Sigma	95.45	45500
±3 Sigma	99.73	2700
±4 Sigma	99.9937	63
±5 Sigma	99.999943	0.57
±6 Sigma	99.9999998	0.002

الف توزیع نرمال متمرکز بر هدف



حد مشخصه	درصد داخل حدود مشخصه	معیوبی‌ها ppm
±1 Sigma	30.23	697700
±2 Sigma	69.13	608700
±3 Sigma	93.32	66810
±4 Sigma	99.3790	6210
±5 Sigma	99.97670	233
±6 Sigma	99.999660	3.4

ب توزیع نرمال با ۱/۵ انحراف معیار متغییر در میانگین

شکل ۲–۵ مفهوم شش سیگمای موتورولا.

Www.iepnu.com

موتورولا شش سیگما را از دو منظر سازمانی و فرآیندی به ترتیب به‌عنوان یک هدف و بهبود کیفیت محصول پایه‌گذاری‌کرد. در سال‌های اخیر، شش سیگما فراتر از موتورولا رفته و ابعاد آن نیز گسترش یافته است. شش سیگما یک برنامه **بهبود عملکرد کسب‌وکار** محسوب می‌شود که هم بر بهبود کیفیت و هم بر کاهش هزینه تمرکز دارد. مدت زمان اجرای پروژه‌های شش سیگما معمولاً بین چهار تا شش ماه است و بر اساس میزان تأثیر آن‌ها بر کسب و کار انتخاب می‌شوند. برنامهٔ آموزشی کارشناسان کمربند سیاه شش سیگما در مراجع مختلف تشریح شده است. شش سیگما از یک رویکرد پنج مرحله‌ای حل مسأله متشکل از مراحل تعریف، اندازه‌گیری، تحلیل، بهبود و کنترل که اختصاراً **شکل ۲-۳** ساختار معیارهای تعالی عملکرد MBNQA نامیده می‌شود استفاده می‌کند. چارچوب DMAIC از نمودارهای کنترل، طراحی آزمایش‌ها، تحلیل قابلیت فرآیند، تحلیل سیستم اندازه‌گیری و چندین ابزار آماری دیگر استفاده می‌کند. رویکرد **شکل ۲-۳** ساختار معیارهای تعالی عملکرد MBNQA، چارچوب فوق‌العاده اثربخشی برای بهبود فرآیندها است. در بخش ۳-۲، توضیحات بیشتری درخصوص **شکل ۲-۳** ساختار معیارهای تعالی عملکرد MBNQA همراه با چندین مثال ارائه خواهد شد.

هدف شش سیگما یا سطح عملکرد ۳/۴ نقص در میلیون ممکن است بیش از حد خوب به نظر رسد ولی به سادگی می‌توان نشان داد که تحویل محصولات و خدمات ساده در سطح کیفیت عالی نیز می‌تواند مستلزم یک تفکر شش سیگمایی باشد. به‌عنوان مثال، مراجعه به یک رستوران که قبلاً بدان اشاره شد را در نظر گیرید. یک مشتری، غذایی شامل همبرگر (نان، گوشت، سس مخصوص، پنیر، خیار شور، پیاز، کاهو و گوجه)، سیب زمینی و نوشابه سفارش می‌دهد. این محصول شامل ده جزء مختلف است. آیا فکر می‌کنید کیفیت ۹۹٪ رضایت‌بخش است؟ اگر فرض کنیم که هر ده جزء از یکدیگر مستقل باشند آن‌گاه احتمال دریافت یک غذای مورد تأیید توسط مشتری برابر است با:

$$P(\text{یک غذای مورد تأیید}) = (۰/۹۹)^{۱۰} = ۰/۹۰۴۴$$

این عدد خیلی خوب به نظر می‌رسد. با احتمال بیش از ۹۰ درصد، مشتری یک تجربهٔ رضایت‌بخشی خواهد داشت. حال فرض کنید مشتری، یک خانواده چهار نفری باشد. مجدداً با فرض استقلال، احتمال دریافت چهار غذای مورد تأیید برابر است با:

$$P(\text{دریافت چهارغذای مورد تایید}) = (۰/۹۰۴۴)^{۴} = ۰/۶۶۹۰$$

این احتمال رضایت‌بخش نیست. به‌عبارت دیگر، از هر سه غذا فقط دو تای آن‌ها مورد تأیید خواهد بود. حال فرض‌کنید این خانواده هر ماه یکبار به این رستوران مراجعه می‌کند. در این صورت، احتمال این‌که در طول یک سال آن‌ها غذای مورد تأیید دریافت کنند برابر است با:

$$P(\text{دریافت غذای مورد تایید درطول یک سال}) = (۰/۶۶۹۰)^{۱۲} = ۰/۰۰۸۰$$

بدیهی است که دیگر این احتمال غیرقابل‌قبول خواهد بود. بنابراین، حتی در یک چنین خدمت ساده‌ای، کیفیت بسیار عالی مورد نیاز است تا بتوان رضایت مشتری را به دست آورد.

سازمان‌ها به سرعت فواید بالقوه شش سیگما را درک و اصول و روش‌های آن را در سازمان خود به کار گرفتند. طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۱۹۹۳ شرکت موتورولا توانست میزان محصولات معیوب خود را ۱۳۰۰ درصد کاهش دهد. این موفقیت سبب شد تا خیلی از سازمان‌ها

کمربند شما چه رنگی است؟

شرکت‌هایی که درگیر یک اقدام شش-سیگما می‌باشند به‌طور خاص از افراد آموزش دیده‌ای استفاده می‌کنند. این افراد که کمربند سبزها (GBها)، کمربند مشکی‌ها (BBها) و کمربند مشکی‌های ارشد (MBBها) نامیده می‌شوند، هدایت‌کننده‌ی تیم‌هایی هستند که در پروژه‌هایی تمرکز کرده‌اند که بر روی کیفیت و کسب و کار (اقتصاد) سازمان تأثیر می‌گذارند. در این متن، آموزش‌های خاصی بر روی روش‌های آماری و ابزار بهبود فرآیند و کیفیت برای این کمربندها فراهم می‌گردد که آن‌ها را برای انجام عملکرد خود به عنوان یک رهبر، تسهیل‌کننده و مسأله حل کنِ تیم مجهز می‌نماید

Www.iepnu.com

متن زیر که توسط مدیر عامل وقت شرکت تولید تجهیزات کاترپیلار (جیم اوئن) در گزارش سال ۲۰۰۵ این شرکت ارائه شده بود را در نظر گیرید:

"... اعتقاد دارم که کارکنان ما و اجرای شش سیگما کلاس جهانی سبب تمایز شرکت کاترپیلار از سایرین خواهد شد. شش سیگما چه تجربهٔ موفقیت‌آمیزی برای کاترپیلار بوده است! این روش کسب‌وکار ما است و یا به عبارت دیگر، روش مدیریت بر کیفیت، حذف اتلاف‌ها، کاهش هزینه‌ها، تکوین محصولات و خدمات جدید، تربیت رهبران آینده و کمک به سازمان برای رشد و کسب درآمد. ما به‌طور مستمر به دنبال پیدا کردن روش‌های جدیدی برای به کار گرفتن این متدولوژی در حل چالش‌های کاری هستیم. تیم رهبری شرکت کاترپیلار خود را متعهد ساخته است که شش سیگما را در DNA این شرکت جا دهد و جاری سازی آن را به تأمین‌کنندگان و نمایندگی‌های خود تعمیم دهد. لازم به ذکر است که قبلاً چیزی حدود ۵۰۰ تأمین‌کننده و نمایندگی این متدولوژی را به‌عنوان بخشی از روش کسب‌وکار خود پذیرفته‌اند."

در جلسه سالیانه بانک امریکا در سال ۲۰۰۴، مدیر ارشد این بانک کنیث دی لوئیس در جمع حضار اعلام کرد که بانک امریکا توانسته است یک درآمد بی‌سابقه را در سال ۲۰۰۳ ثبت کند، تجربه‌های موفقیت‌آمیز مشتریان با بانک را بهبود دهد و سپرده‌گذاری ۷۵۰ میلیارد دلاری که طی ۱۰ سال اخیر بی‌سابقه بوده است را محقق سازد. او گفت بانک امریکا موفق شد که به اهداف خود دست یابد و این کار براساس یک راهبرد مشتری‌گرا، منظم و هدفمند انجام شد. او اشاره کرد که استفادهٔ گسترده از روش‌های شش سیگما برای بهبود فرآیندها در سه سال اخیر سبب شده تا بانک امریکا میلیون‌ها دلار در هزینه‌ها صرفه‌جویی کند، زمان سیکل تعداد زیادی از فرآیندها را به نصف کاهش دهد و از خطاهای فرآیندی به میزان قابل‌توجهی بکاهد.

این رویکرد را به کار گیرند. از بدو پایه‌گذاری تا به حال، این رویکرد سه نسل خود را پشت سر گذاشته است. **نسل اول** شش سیگما بر حذف نقص و کاهش پراکندگی تمرکز داشت. در رابطه با نسل اول، شرکت موتورولا را معمولاً به‌عنوان پیشگام می‌شناسیم. **در نسل دوم** شش سیگما، تأکید بر کاهش پراکندگی و کاهش نقص همچنان به قوت خود باقی ماند ولی تلاش زیادی انجام شد تا پروژه‌ها از طریق کاهش هزینه منجر به بهبود عملکرد سازمان شود. شرکت جنرال الکتریک را معمولاً به‌عنوان رهبر نسل دوم شش سیگما می‌شناسیم.

در نسل سوم، شش سیگما تمرکز بیشتری را نسبت به خلق ارزش برای سازمان و سهامداران (صاحبان، کارکنان، مشتریان، تأمین‌کنندگان و به‌طور کلی جامعه) معطوف ساخت. خلق ارزش اشکال مختلفی دارد: افزایش قیمت سهام، حفظ و توسعهٔ شغل، توسعهٔ بازار برای محصولات / خدمات سازمان، تکوین محصولات/خدمات جدید برای نفوذ و توسعهٔ بازارهای جدید و افزایش رضایت مشتری از طریق ارائه محصولات و خدمات متفاوت.

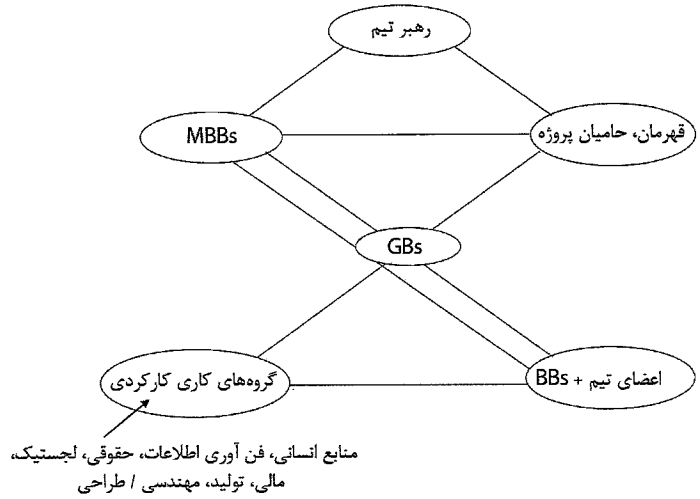
همان‌گونه که در متن حاشیه ملاحظه می‌کنید، شرکت‌های متعدد و متفاوتی از لحاظ کسب و کار، متدولوژی شش سیگما را به‌عنوان بخشی از فرهنگ کاری خود پذیرفته‌اند. شرکت‌های کاترپیلار و بانک امریکا دو مثال خوبی برای شرکت‌های نسل سوم شش سیگما محسوب می‌شوند. چراکه این دو سازمان، اجرای خود را بر خلق ارزش برای سهامداران متمرکز کرده بودند. توجه داشته باشید که لوئیس بر کاهش زمان سیکل و کاهش خطاهای فرآیندی (اقلامی که به میزان قابل توجهی رضایت مشتری را افزایش می‌دهد) و اوئن بر تعمیم شش - سیگما به تأمین‌کنندگان و نمایندگی‌ها (کل زنجیره تأمین) تأکید داشت. اکنون شش سیگما از پایگاه اولیهٔ خود در حوزهٔ تولیدی خارج و به حوزه‌های دیگری نظیر بهداشت و درمان، انواع خدمات و خدمات دولتی / عمومی (نیروی دریایی امریکا تجارب موفقیت‌آمیزی در خصوص شش سیگما داشته است) گسترش یافته است. دلیل موفقیت شش سیگما در سازمان‌های خارج از محدودهٔ تولید این است که پراکندگی همه جا حضور دارد و هر جا که پراکندگی حضور داشته باشد فرصتی نیز برای بهبود نتایج کسب‌وکار وجود دارد. موارد زیر را می‌توان به‌عنوان مثال‌هایی از شش سیگما در رابطه با کاهش پراکندگی، حذف نقص‌ها و بهبود عملکرد کسب‌وکار نام برد:

- تحقق برنامهٔ تحویل و اهداف صحت تحویل
- حذف دوباره‌کاری در تأمین بودجه سایر مدارک مالی
- نسبت بازدیدهای مکرر از یک وب‌سایت تجاری یا نسبت بازدیدهایی که منجر به خرید می‌شود.
- کمینه کردن زمان سیکل انتظار مشتری در یک سیستم خدمت‌رسانی
- کاهش میانگین و پراکندگی حساب‌های تسویه نشده
- بهینه‌سازی پرداخت‌های مربوط به حساب‌های تسویه نشده
- کمینه‌سازی عدم موجودی یا فرصت‌های فروش در مدیریت زنجیرهٔ تأمین
- کمینه کردن هزینه‌های حساب‌های عمومی، خدمات قانونی و سایر حساب‌ها
- بهبود مدیریت موجودی (هم محصولات نهایی و هم محصولات درحین فرآیند)
- بهبود پیش‌بینی صحت و زمان‌بندی

Www.iepnu.com

- بهبود فرآیندهای ممیزی
- بستن دفاتر مالی، بهبود صحت و ثبت ورودی‌ها در دفاتر قانونی و اعلام درآمدها و هزینه‌ها
- کاهش پراکندگی جریان نقدینگی
- بهبود صحت پرداخت‌های کارکنان
- بهبود صحت سفارش خرید و کاهش دوباره‌کاری سفارش‌های خرید

ساختار اجرایی شش سیگما در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. خطوط موجود در این شکل ارتباطات کلیدی بین واحدهای کارکردی را نشان می‌دهد. **تیم رهبری** متشکل از مدیر واحد و اعضای زیربط در آن واحد است. مسئولیت تأیید پروژه‌های شش سیگما بر عهده این تیم است. هر پروژه دارای یک **قهرمان**[1] یا رهبری است که وظیفه اصلی او تسهیل فرآیند شناسایی و انتخاب کارشناسان کمربند سیاه و سایر اعضای تیم است که حضور آن‌ها برای اجرای موفقیت‌آمیز پروژه ضروری است. او همچنین تلاش می‌کند تا موانع موجود بر سر راه اجرای پروژه را حذف، منابع مورد نیاز برای تکمیل پروژه را فراهم و جلسه‌های برنامه‌ریزی شده‌ای را با اعضای تیم و کارشناس کمربند سیاه جهت اطمینان از طبق برنامه بودن پروژه برگزار کند. قهرمان یک نقش تمام وقت را ایفا نمی‌کند و قهرمان غالباً چندین پروژه را به‌طور همزمان نظارت می‌کند. کارشناسان کمربند سیاه، رهبرانی هستند که در اجرای پروژه‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کنند. اعضای تیم غالباً ۲۵ درصد زمان خود را به پروژه اختصاص می‌دهند و ممکن است براساس نیاز پروژه از بخش‌های مختلف سازمان انتخاب شوند. کارشناسان کمربند سبز در مقایسه با کارشناسان کمربند سیاه معمولاً از آموزش و تجربهٔ کمتری در زمینهٔ ابزارها و رویکرد شش سیگما برخوردار هستند و ممکن است پروژهٔ خود را تحت نظارت قهرمان یا کارشناس کمربند سیاه انجام دهند و یا حتی به همراه کارشناس کمربند سیاه به هدایت پروژه بپردازند. کارشناس کمربند سیاه ارشد یک رهبر فنی است و بازنگری پروژه، مشاوره با کارشناس کمربند سیاه و آموزش کارشناسان کمربند سبز و کارشناسان کمربند سیاه را انجام می‌دهد. نقش کارشناس کمربند سیاه ارشد معمولاً تمام وقت است.



شکل ۲-۶ ساختار اجرایی شش‌سیگما.

1. champion

Www.iepnu.com

۲-۶ فراتر از شش سیگما – طراحی برای شش سیگما و ناب سازی

در سال‌های اخیر، دو رویکرد دیگر در کنار شش سیگما معرفی شده‌اند که عبارتند از **سیستم‌های ناب**[1] و **طراحی برای شش سیگما**[2]. اغلب سازمان‌ها به‌طور معمول از یک یا هر دو رویکرد در برنامهٔ شش سیگمای خود استفاده می‌کنند.

طراحی برای شش سیگما به دنبال شناسایی نیازهای مشتری و قابلیت‌های فرایند تولید است تا طراحی محصول و خدمات به نحوی صورت گیرد که اثر بخش‌بخشی محصول و خدمات همان‌گونه که مشتری انتظار دارد افزایش یابد.

طراحی برای شش سیگما، رویکردی برای کاهش پراکندگی و تغییر فلسفهٔ بهبود شش سیگما از مرحلهٔ ساخت و تولید به فرآیند طراحی است و یا به‌عبارت دیگر جایی‌که خدمات یا فرآیندهای خدماتی جدید طراحی و تکوین می‌شوند. به‌طور کلی، رویکرد طراحی برای شش سیگما یک متدولوژی ساختار یافته و نظام‌مند برای تجاری سازی فن‌آوری است به‌گونه‌ای که این کار - منجر به محصولات، خدمات یا فرآیندهای جدید می‌شود. منظور از محصول، چیزی است که برای استفاده به مشتری فروخته می‌شود و منظور از خدمت هرگونه فعالیتی است که برای مشتری ارزش یا سود ایجاد می‌کند. رویکرد طراحی برای شش سیگما دامنهٔ فرآیند تکوین را از شناسایی نیازهای مشتری تا تولید محصول یا خدمت جدید پوشش می‌دهد. نظرات مشتری از طریق فعالیت‌های صدای مشتری[3] با هدف تعیین نیازهای مشتری و اولویت‌بندی آن‌ها و همچنین ارزیابی توان کسب‌وکار در تأمین نیازها با قیمتی رقابتی و ایجاد سود انجام می‌شود. داده‌های مربوط به **صدای مشتری** معمولاً از طریق مصاحبه مستقیم با مشتری و برگزاری گروه‌های متمرکز، نظرسنجی و تحلیل داده‌های رضایت مشتری تهیه می‌شود. هدف اصلی، تهیه مجموعه‌ای از مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت برای محصول یا خدمت است. به‌طور کلی، شش سیگما با هدف دستیابی به تعالی **عملیاتی** استفاده می‌شود در حالی‌که طراحی برای شش سیگما بر بهبود نتایج کسب و کار از طریق افزایش درآمد حاصل از فروش محصولات و خدمات جدید و شناسایی کاربردهای جدید یا فرصت‌های جدید برای محصولات و خدمات موجود است. در اغلب موارد، مزیت طراحی برای شش سیگما در کاهش زمان تکوین و یا به‌عبارت دیگر زمان سیکل تا تجاری‌سازی فن‌آوری نوین و عرضه محصول جدید به بازار است. رویکرد شش سیگما برای طراحی به‌طور مستقیم بر افزایش ارزش برای سازمان تمرکز دارد. اغلب ابزارهایی‌که در متدولوژی شش سیگمای عملیاتی کاربرد دارد در رویکرد طراحی برای شش سیگما نیز استفاده می‌شود. گرچه برخی از سازمان‌ها و مشاوران از رویکردهای متفاوتی نظیر DMADV که برگرفته از حروف اول مراحل تعریف[4]، اندازه‌گیری[5]، تحلیل[6]، طراحی[7] و تصدیق[8] است استفاده می‌کنند ولی هنوز فرآیند DMAIC کاربرد دارد.

گسترش کارکرد کیفیت
روشی برای تبدیل خواسته‌های مشتری به طراحی کیفیت در سطح اجزا و عناصر ویژه مستقیم ساخت است.

برخی از سازمان‌ها از روش **گسترش کارکرد کیفیت**[9] یا QFD برای متمرکز ساختن صدای مشتری بر طراحی یک محصول، خدمت، یا فرآیند استفاده می‌کنند. QFD در دههٔ ۱۹۷۰ در ژاپن توسعه داده شد. اساساً این روش، یک روش طرح ریزی است که مفید بودن آن در طراحی محصولات و خدمات جدید، بهبود محصولات و خدمات موجود، و طراحی فرآیندهای جدید در عمل به اثبات رسیده است. خانهٔ کیفیت[10]، یک بخش ضروری QFD محسوب می‌شود. خانهٔ کیفیت اساساً ماتریسی است که ردیف‌های آن متناظر با الزامات مشتری و ستون‌های آن

1. lean systems
2. design for six sigma - dfss
3. voice of customer - voc
4. define
5. measure
6. analyze
7. design
8. verify
9. Quality function deployment - QFD
10. house of quality

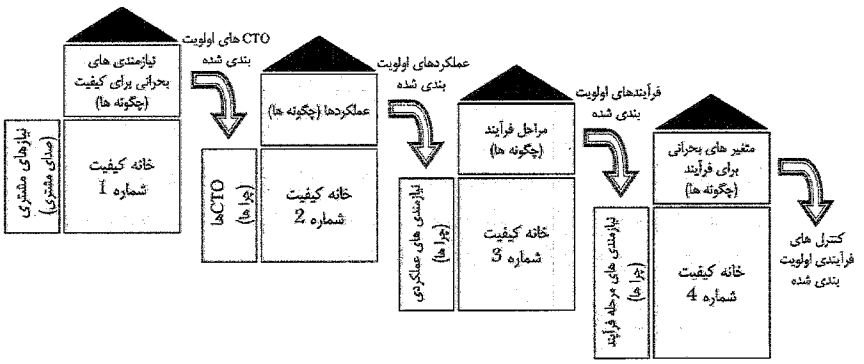
Www.iepnu.com

هر تصمیم طراحی یک تصمیم کسب و کار است.

متناظر با پاسخ‌های فنی به این الزامات است. اطلاعات مربوط به اهمیت هر یک از این الزامات و جایگاه محصولات و خدمات شرکت در مقایسه با رقبا تعیین و از تحلیل این اطلاعات در بهبود طراحی محصول یا خدمت استفاده می‌شود. به‌طور کلی، این فرآیند از سطح کلان با جمع‌آوری داده‌های صدای مشتری شروع می‌شود و به فرآیندهای مجزا و متغیرهای بحرانی برای فرآیند که کنترل آنها برای دستیابی به نتایج مورد نظر ضروری است گسترش می‌یابد. یک QFD چهار مرحله‌ای متداول در شکل ۲–۷ نشان داده شده است.

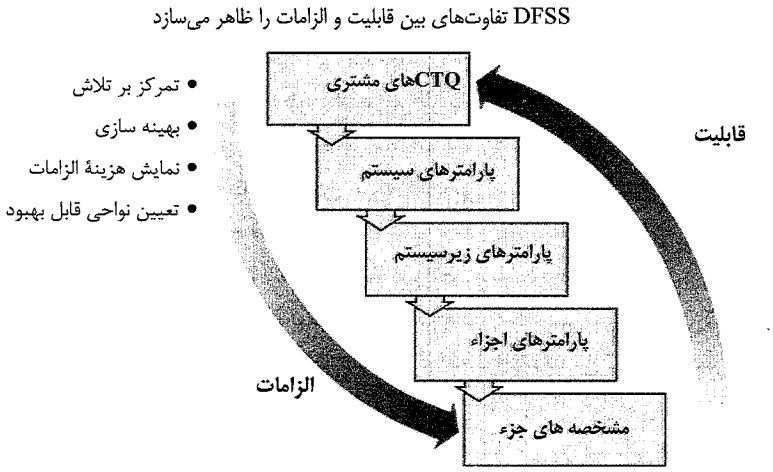
رویکرد طراحی برای شش سیگما تأکید دارد که هر تصمیم طراحی تصمیمی برای کسب‌وکار است و هزینهٔ، قابلیت ساخت و عملکرد محصول در حین طراحی تعیین می‌شود. زمانی‌که محصول، طراحی و برای ساخت ارسال می‌شود آن‌گاه دیگر بهبود آن توسط سازمان سازنده شاید امری غیرقابل ممکن باشد. از طرف دیگر، بهبود کلی کسب‌وکار نیز نمی‌تواند فقط از طریق استفاده از متدولوژی شش سیگمای عملیاتی و تمرکز بر کاهش پراکندگی در مرحله تولید محقق شود. لذا استفاده از رویکرد طراحی برای شش سیگما جهت تمرکز همزمان الزامات مشتری و بهبود قابلیت فرآیند الزامی است. به‌طور مشخص، دستیابی به قابلیت سیستم تولید و الزامات در هر سطح یا مرحله از فرآیند طراحی ضروری است (شکل ۲–۸ ملاحظه شود). زمانی که عدم هماهنگی بین قابلیت فرآیند و الزامات طراحی شناسایی می‌شود نیاز است تا تغییرات طراحی یا جایگزین‌های مختلف تولید برای حل این تناقض مورد ارزیابی قرار گیرد. در حین فرآیند طراحی برای شش سیگما توجه به نکات زیر ضروری است:

- آیا محصول به خوبی شناسایی شده است؟
- آیا مشتریان واقعی هستند؟
- آیا مشتریان این محصول را خریداری می‌کنند؟
- آیا شرکت می‌تواند این محصول را با قیمت رقابتی تولید کند؟
- آیا برگشت مالی حاصل قابل قبول است؟
- آیا این محصول با راهبردهای کلان کسب‌وکار همسو است؟
- آیا تولید محصول از منظر ارزیابی ریسک قابل قبول است؟
- آیا شرکت می‌تواند این محصول را بهتر از رقبا تولید کند؟
- آیا اهداف مربوط به قابلیت‌های اطمینان و نگهداری محصول دست‌یافتنی است؟
- آیا طرح تحویل به بخش ساخت، تهیه و تصدیق شده است؟



شکل ۲–۷ یک فرآیند گسترش کارکرد کیفیت چهار مرحله‌ای.

Www.iepnu.com



شکل ۲-۸ دستیابی به الزامات محصول و قابلیت تولید در DFSS

سیستم ناب مجموعه‌ای از فعالیتهایی است که به حذف اصواتی اتلاف و افزایش بهره‌وری تمرکز دارد.

سیستم‌های ناب برای حذف اتلاف‌ها طراحی شده است. منظور از اتلاف، زمان‌های سیکل غیرضروری یا زمان‌های انتظار بین فعالیت‌های کاری ارزش‌افزا است. اتلاف می‌تواند شامل دوباره‌کاری (انجام مجدد کاری با هدف حذف نقص‌های ایجاد شده در بار اول) یا دور ریز باشد. دوباره‌کاری و دور ریز غالباً حاصل پراکندگی بیش از حد است. بنابراین، یک ارتباط مستقیمی بین شش سیگما و سیستم ناب وجود دارد. یکی از سنجه‌های مهم در سیستم‌های ناب، کارایی سیکل فرآیند[1] است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{کارایی سیکل فرآیند} = \frac{\text{زمان ارزش‌افزا}}{\text{زمان سیکل فرآیند}}$$

قانون لیتل

در رابطهٔ فوق، زمان ارزش‌افزا به زمانی اشاره دارد که صرف تبدیل شکل، میزان انطباق، کارکرد محصول یا خدمتی می‌شود که مشتری حاضر است برای آن هزینه پرداخت کند. شاخص PCE معیار مناسبی برای اندازه‌گیری میزان کارایی فرآیند برای تبدیل موجودی در جریان به محصول یا خدمات ستانده شده است. همچنین زمان سیکل فرآیند از طریق **قانون لیتل**[2] به میزان کار فرآیند بستگی دارد:

$$\text{زمان سیکل فرآیند} = \frac{\text{موجودی در جریان}}{\text{متوسط نرخ ستاده}}$$

متوسط نرخ ستانده معیاری برای ظرفیت یا به‌عبارت دیگر خروجی فرآیند طی یک دورهٔ زمانی خاص است. به‌عنوان مثال، فرآیند تأیید درخواست وام مسکن در یک بانک را در نظر گیرید. اگر تقاضاهای ارسالی ۱۰۰ عدد در روز باشد و ۱۵۰۰ تقاضا داشته باشیم آن‌گاه زمان سیکل فرآیند برابر است با:

$$\text{زمان سیکل فرآیند} = \frac{۱۵۰۰}{۱۰۰} = ۱۵\text{روز}$$

1. Process cycle efficiency - PCE
2. house of quality

Www.iepnu.com

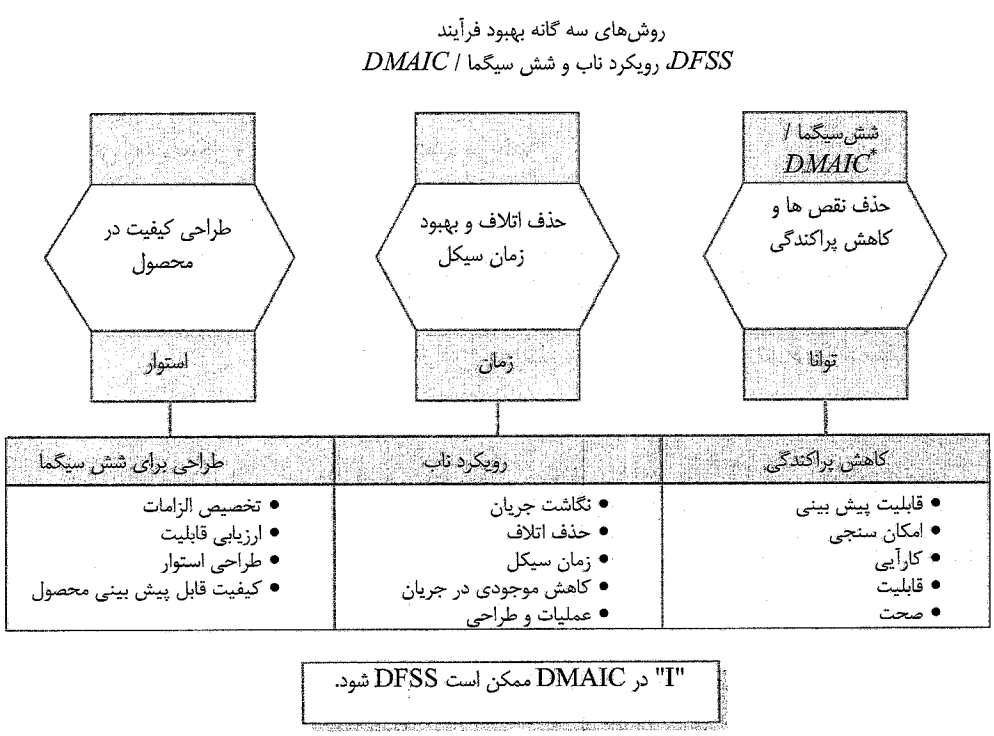
غالباً زمان سیکل را می‌توان با حذف اتلاف‌ها و ناکارایی‌ها در فرآیند کاهش و در نتیجهٔ نرخ ستانده را افزایش‌داد. رویکرد ناب از ابزارها و روش‌های متعددی در ایجاد یک سیستم حل مساله با هدف حذف اتلاف، کاهش زمان سیکل و افزایش خروجی استفاده می‌کند.
در زیر برخی از ابزارهای متداول رویکرد ناب به‌طور اجمالی تشریح شده است:

ترسیم نقشهٔ جریان ارزش و فرآیند ارزش افزا	یک رویکرد گرافیکی برای توصیف جریان‌های مواد و اطلاعات مهم در فرآیند. نحوهٔ ترسیم نقشهٔ فرآیند همراه با جزییات در فصل ۳ توصیف می‌شود.
پنج اس	این اصول بر ایجاد نظم و ترتیب در محل کار تمرکز دارد: جداسازی، نظم و ترتیب، پاکیزه سازی، استاندار سازی و انظباط
کانبان	مدیریت موجودی کششی و یا به‌عبارت دیگر عدم تولید قطعات مگر در صورت نیاز. در روزهای اولیه، کانبان فقط یک قطعه کاغذ یا کارتی بود که تولید یک قطعه را سفارش می‌داد. امروزه ثبت کانبان از طریق کامپیوتر انجام می‌شود.
خطاناپذیری (یا پوکا یوک)	طراحی کار یا محصولات به‌گونه‌ای که تقریباً امکان انجام کار به‌طور اشتباه غیرممکن باشد. این کار می‌تواند شامل چنین مواری شود: کد گذاری رنگی قطعات که امکان مونتاژ صحیح آنها را فراهم می‌سازد، تهیهٔ وسایل کمک دیداری برای کارکنان که امکان دیدن محصول نهایی را برای آنها ممکن می‌سازد یا طراحی قطعاتی که فقط به یک صورت قابل مونتاژ باشد. ابزارهای خاص بررسی خطا یا کنترل که در صورت انجام نادرست کار به اپراتور بازخورد می‌دهد. به‌عنوان مثالی از خطا ناپذیری می‌توان به هشدار یا بازخوردی که کامپیوتر در صورت عدم تکمیل یا نا درست تکمیل شدن یکی از مکان‌های ورود اطلاعات به کاربر می‌دهد.
کاهش زمان آماده‌سازی و اندازه انباشتهٔ کاهش یافته	فرآیند شناسایی اتلاف و ناکارایی‌ها در فرآیند تعویض ابزار و تجهیزات از یک محصول به محصولی دیگر و سپس حذف این تلاش‌های بیهوده. تعویض‌ها و آماده سازی‌های طولانی، انعطاف پذیری یک سازمان در پاسخگویی سریع به نیازهای مشتری را محدود و زمینهٔ ایجاد انباشته‌های بزرگ را فراهم می‌سازد. به‌طور ایده‌آل باید برای تعویض تک دقیقه‌ای قالب[1] هدف‌گذاری کنید. کاهش قابل ملاحظه در زمان‌های آماده‌سازی را می‌توان غالباً از طریق سازماندهی مجدد فرآیندهای جانبی تعویض و طراحی مجدد خود ابزارها و قالب‌ها برای سرعت بخشیدن به انجام تعویض محقق ساخت. انباشته‌های بزرگ منجر به موجودی زیاد (و گیر افتادن مبالغ هنگفتی از سرمایه در این موجودی‌ها)، جابه‌جایی زیاد مواد، ضرورت تخصیص فضای بیشتر، ریسک قدیمی شدن، صدمه دیدن و یا حتی فاسد شدن می‌شود. وقتی زمان آماده‌سازی کوتاه باشد، اندازهٔ انباشته نیز می‌تواند کوچک باشد.

سیستم ناب از ابزارهای متعددی درحوزه مهندسی صنایع و تحقیق در عملیات استفاده می‌کند. یکی از ابزارها، **شبیه‌سازی پیشامد گسسته** است که به وسیلهٔ آن یک مدل رایانه‌ای از سیستم تهیه و از آن برای کمّی کردن تأثیر تغییرات در سیستم با هدف بهبود عملکرد آن استفاده می‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی غالباً پیش‌بینی‌های بسیار خوبی برای یک سیستم جدید یا مجدد طراحی شده است. سازمان‌های تولیدی و خدماتی می‌توانند از مدل‌های شبیه‌سازی به منظور مطالعهٔ عملکرد فرآیندهای خود بهره ببرند.
به‌طور کلی، سازمان‌ها از متدولوژی‌های شش سیگما DMAIC، DFSS و ابزارهای ناب‌سازی به‌طور همزمان و هماهنگ برای ارتقاء عملکرد فرآیندها و بهبود کسب‌وکار استفاده می‌کنند. شکل ۲-۹ چندین جنبهٔ مهم این سه روش را به همراه ابزارهای آن‌ها نشان می‌دهد.
شش سیگما (غالباً در زمان ترکیب با DFSS و ابزارهای ناب‌سازی فرآیند) می‌تواند به

1. Single minute exchange of die - SMED

Www.iepnu.com



شکل ۲-۹ متدولوژی شش سیگما (DMAIC)، رویکرد ناب و DFSS چگونه به یکدیگر کمک می‌کنند.

مراتب موفقیت‌های بیشتری را در مقایسه با رویکردهای قبل از خود از جمله TQM به همراه داشته باشد. رویکرد پروژه به پروژه و تمرکز بر بهبود نتایج کسب‌وکار از جمله مزایایی است که می‌تواند تعهد مدیریت را نسبت به اجرای شش سیگما کسب نماید. یکی دیگر از مؤلفه‌هایی که باعث موفقیت می‌شود جاری‌سازی مناسب روش‌های آماری در بخش‌های مختلف یک سازمان است و چارچوب حل مسأله DMAIC بخش مهمی از این جاری‌سازی محسوب می‌شود.

DMAIC
- تعریف
- اندازه‌گیری
- تحلیل
- بهبود
- کنترل

رویکردهای متعدد دیگری نیز برای بهبود سیستم‌های تولیدی وجود دارد. برخی از این رویکردها عبارتند از تولید به موقع که بر کاهش موجودی در جریان تأکید دارد، آماده‌سازی سریع و سیستم تولید کششی، پوکایوک یا خطاناپذیری فرآیندها، سیستم تولید تویوتا و سایر فنون تولید ژاپنی، مهندسی مجدد، تئوری محدودیت‌ها، تولید چابک[1] و غیره. اغلب این برنامه‌ها توجه بسیار کمی نسبت به کاهش پراکندگی دارند. بدیهی است که کاهش موجودی در جریان یا اجرای یک سیستم تولید کششی یا تولید چابک زمانی‌که بخش قابل‌توجهی از خروجی فرآیند و کسر غیر قابل پیش‌بینی از خروجی فرآیند معیوب باشد و علل غیرقابل کنترل متعددی برای تغییرپذیری وجود داشته باشد شاید امری غیرممکن باشد. این‌گونه فعالیت‌ها بدون تمرکز بر روش‌های آماری برای بهبود فرآیند و کاهش پراکندگی نمی‌تواند به پتانسیل کامل خود برسد.

۲-۷ فرآیند DMAIC

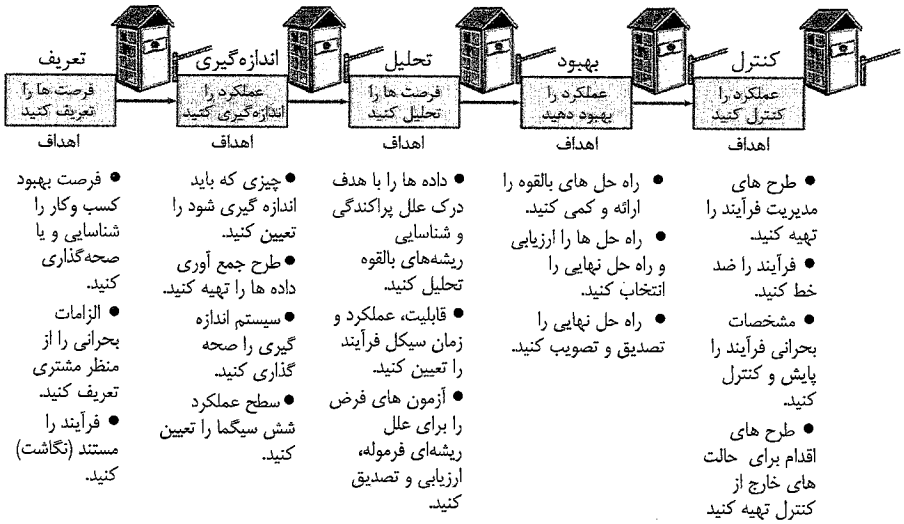
متدولوژی DMAIC (معمولاً دی میک خوانده می‌شود) یک رویهٔ ساختار یافتهٔ پنج مرحله‌ای حل مسأله است که به‌طور گسترده‌ای در فعالیت‌های بهبود کیفیت و فرآیند استفاده می‌شود. غالباً

1. agile manufacturing

Www.iepnu.com

این روش با فعالیت‌های شش سیگما مرتبط است و تقریباً در کلیه پروژه‌های شش سیگما از فرآیند حل مسأله DMAIC برای مدیریت و انجام پروژه استفاده می‌شود. با این وجود DMAIC لزومی ندارد به برنامه‌های شش سیگما متصل باشد و از آن می‌توان خارج از چارچوب پروژه‌های شش سیگما در یک سازمان نیز استفاده کرد. مراحل DMAIC یک رویهٔ بسیار کلی را تشکیل می‌دهد. به‌عنوان مثال، پروژه‌های ناب سازی که بر کاهش زمان سیکل بهبود عملکرد فرآیند و حذف اتلاف تمرکز دارند را می‌توان به سادگی و به‌طور اثربخش از طریق رویهٔ DMAIC اجرا کرد.

حروف استفاده شده در واژهٔ DMAIC برگرفته شده از حروف اول مراحل پنج‌گانهٔ **تعریف**[1]، **اندازه‌گیری**[2]، **تحلیل**[3]، **بهبود**[4] و **کنترل**[5] است. این مراحل به‌صورت شماتیک در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است. باید توجه داشت که بعد از هر یک از مراحل پنج‌گانه DMAIC یک بازنگری پایان مرحله وجود دارد. در هر بازنگری پایان مرحله، تیم پروژه کارهای انجام شدهٔ خود را برای مدیران و صاحبان فرآیند ارائه می‌کند. در جلسهٔ بازنگری پایان مرحله، قهرمان پروژه، کارشناسان کمربند سیاه ارشد و سایر کارشناسان کمربند سیاه که به‌طور مستیم در پرونده فعالیت نمی‌کند نیز حضور دارند. بازنگری پایان مرحله، مرحله‌ای است که پروژه بازنگری می‌شود تا اطمینان حاصل شود که پروژه مسیر عادی خود را طی می‌کند و این فرصت برای تصمیم‌گیران فراهم می‌شود تا عملکرد تیم پروژه را از لحاظ زمان‌بندی و اتمام موفقیت‌آمیز آن مورد ارزیابی قرار دهند. بازنگری‌های پایان مرحله فرصتی را فراهم می‌سازد تا راهنمایی‌هایی در خصوص استفاده از ابزارهای فنی خاص و اطلاعاتی در مورد مسأله به تیم پروژه ارائه شود. مشکلات سازمانی و سایر موانع موجود بر سر راه اجرای موفقیت‌آمیز پروژه و راهبردهای رفع



شکل ۲- ۱۰ فرآیند حل مسأله DMAIC.

1. define
2. measure
3. analyze
4. improve
5. control

Www.iepnu.com

این مشکلات از جمله موضوعاتی است که غالباً در جلسات بازنگری پایان مرحله شناسایی می‌شود. بازنگری‌های پایان مرحله اقدامی ضروری و کلیدی در فرآیند حل مسأله محسوب می‌شود. برگزاری سریع جلسهٔ بازنگری توسط تیم پس از اتمام هر مرحله از اهمیت بالایی برخوردار است.

ساختار DMAIC باعث ایجاد تفکری خلاق نسبت به مسأله و راه حل آن در چارچوب تعریف محصول، فرآیند و خدمت اولیه می‌شود. زمانی‌که فرآیند عملکرد خوبی نداشته باشد لازم است آن را متوقف و پس از انجام اقدامات اصلاحی مناسب مجدداً آن را فعال سازیم و یا در صورت نیاز به محصول یا خدمتی جدید باید مرحلهٔ بهبود DMAIC را با طراحی جایگزین کنیم. در سازمانی که متدولوژی شش سیگما در آن نهادینه شده است این بدین معنا است که طراحی برای شش‌سیگما مورد استفاده قرار خواهد گرفت (برای توضیحات بیشتر به شکل ۲-۸ مراجعه شود).

یکی از دلایل موفقیت DMAIC تمرکز آن بر استفادهٔ اثربخش از تعداد نسبتاً کمی از ابزارهای بهبود است. جدول ۲-۴، ابزارهای آماری قابل استفاده در DMAIC همراه با مراحلی که احیاناً از آنها می‌توان استفاده کرد و همچنین فصل‌هایی در کتاب که به آنها پرداخته می‌شود را نشان می‌دهد. جدول ۲-۵، مجموعه‌ای از ابزارهای رویکرد ناب را بر اساس مراحل DMAIC نشان می‌دهد. برخی از منابع مربوط به شش سیگما نظیر مراجع (۹۲) و (۲۶۶) توضیحات مفیدی را درخصوص این ابزارها و سایر ابزارهای مورد نیاز در مراحل مختلف متدولوژی شش سیگما ارائه می‌کنند.

پروژه‌ها بخش مهم و ضروری هر فعالیت بهبود کیفیت و جزو لاینفکی از متدولوژی شش سیگما محسوب می‌شوند. نگرش بهبود کیفیت و کسب‌وکار از طریق اجرای پروژه، به جوران که تأکید بر بهبود کیفیت با استفاده از رویکرد پروژه به پروژه داشت بر می‌گردد. بدیهی است، انتخاب، مدیریت و اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌ها برای هر رویکرد بهبود کسب و کار از جمله شش سیگما ضروری است.

جدول ۲-۴

ابزارهای استفاده شده در DMAIC

ابزار	تعریف	اندازه‌گیری	تحلیل	بهبود	کنترل
منشور پروژه	فصل ۲				
نقشه‌های فرآیند و نمودارهای جریان	فصل ۲	فصل ۳			
تحلیل علت و معلول		فصل ۳			
تحلیل قابلیت فرآیند		فصل ۵			
آزمون‌های فرض وفواصل اطمینان			فصل ۴		
تحلیل R&R		فصل ۵			
تحلیل حالت شکست و اثرات آن			فصل ۲	فصل ۸	
SPC و طرح های کنترل فرآیند		فصل‌های ۵ و ۶	فصل‌های۵ و ۶		فصل‌های۵ و ۶

Www.iepnu.com

جدول ۵.۲

ابزار ناب با استفاده از مرحله‌ی DMAIC

تعریف فرصت‌ها	اندازه‌گیری عملکرد	تحلیل فرصت	بهبود عملکرد	کنترل عملکرد
• منشور پروژه شامل مورد کسب و کار، تعریف مسأله، هدف، دورنما، ارزیابی ریسک، برنامه‌ی پروژه در سطح بالا، سهامداران، در صورت مناسب بودن، تیم و برنامه‌ی چند نسلی • تحقیق صدای مشتری (VOC) روی زمان تحویل، هزینه و غیره استقرار عملکرد کیفیت (QFD) • نیازمندی‌های بحرانی برای کیفیت (CTQها) • نقشه SIPOC (تأمین‌کنندگان، ورودی‌ها، فرآیندها، خروجی‌ها و مشتریان) • نقشه فرآیند با سطح بالا	• نقشه جزئیاتی فرآیندهای پایان-به-پایان در وضع موجود • نقشه جریان ارزش محصول در وضع موجود • نقشه فعالیت‌ها همچون نمودارهای اسپاگتی و دیاگرام‌های حمل و نقل برای جریان اطلاعات، محصولات و مردم • برنامه‌ی جمع‌آوری داده • نمونه‌برداری آماری • تجزیه و تحلیل سامانه‌های اندازه‌گیری • سنجه‌های فرآیندی پایه، شامل زمان تحویل یا زمان سیکل، بازده کلی، توانایی و ظرفیت. • نمودارهای پارتو، هیستوگرام‌ها، نمودارهای جعبه‌ای	• تجزیه و تحلیل ارزش افزوده • تجزیه و تحلیل ضایعات، مازاد تولید، زمان انتظار محصول، حمل و نقل، پردازش بیش از اندازه، موجودی، حرکت افراد، نقص‌ها • طوفان مغزی، ماتریس‌ها و نمودارهای علت و معلولی، تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی و آثار آن (FMEAها) برای ایجاد علت‌های بالقوه • تجزیه و تحلیل‌های آماری مانند نمودارهای پارتو، آزمون‌های فرض، رگرسیون، و تحلیل واریانس (ANOVA) برای پشتیبانی رابطه‌های علت و معلولی	• طوفان مغزی و محک زنی برای توسعه‌ی راه‌کارهای بالقوه • آزمایش‌های طراحی شده • طراحی فرآیند، شامل طرحریزی تسهیلات، مواد و جریان اطلاعات • کار استاندارد • نقشه‌های جزئیاتی فرآیندهای پایان-به-پایان برای آینده • تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی و آثار آن برای فرآیندها • نقشه جریان ارزش محصول برای آینده • ۵ اِس (ساماندهی، نظم و ترتیب، پاکیزه‌سازی، استانداردسازی، انضباط و نگهداری) • پوکا-یوکه، تصحیح خطا • برنامه‌ی کنترل اولیه • شبیه‌سازی و/یا اجرای راه‌کار • تجزیه و تحلیل آماری شبیه‌سازی/ اجرای نتایج	• داشبورد/کنترل‌های تصویری فرآیند • سامانه‌ی کنترل فرآیند شامل نمودارهای کنترل • نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر • روش‌های عملیاتی استاندارد (SOPها)، جزئیات کار • برنامه‌ی نهایی کنترل

Www.iepnu.com

اهمیت نتایج مالی

یک پروژه باید منجر به یک **جهش** بالقوه و یا به‌عبارت دیگر یک بهبود اساسی در - محصول یا خدمت شود. تأثیر پروژه باید بر حسب منافع مالی آن برای سازمان که توسط واحد مالی یا حسابداری محاسبه می‌شود مورد ارزیابی قرار گیرد. این اقدام به ارزیابی هدفمند پروژه‌ها و انتخاب پروژه‌های سودآور بالقوه کمک خواهد کرد. **مشارکت دادن واحد مالی** باید بخشی از هر پروژهٔ DMAIC باشد حتی اگر سازمان متدولوژی شش سیگما را استفاده نکند.

فرصت ارزش هر پروژه باید در هر سطحی که تعریف می‌شود به وضوح شناسایی شود و پروژه‌های منتخب باید با اهداف کسب‌وکار همسو باشد. در بالاترین سطح سازمان، سهام‌داران، مدیران ارشد، اعضای هیأت مدیره و تحلیل‌گران کسب‌وکار که سرمایه‌گذاران را هدایت می‌کنند قرار دارند که غالباً نیز به موضوعاتی نظیر نرخ بازگشت سرمایه، قیمت سهام، سود سهام، رشد درآمد عملیاتی، رشد فروش، طراحی‌های جدید، محصولات و ثبت اختراعات و همچنین تربیت مدیران آینده علاقه‌مند هستند. در سطح واحد یا عملیات، مدیران میانی و ارشد به سنجه‌هایی نظیر بازده، زمان سیکل، عبور مستقیم، بهینه‌سازی سود و زیان، رضایت مشتری، تحویل، کاهش هزینه، ایمنی مشتری و کارکنان، استفادهٔ کارا از منابع، معرفی محصول جدید، اثربخشی فروش و بازاریابی، توسعهٔ منابع انسانی، عملکرد زنجیرهٔ تأمین (هزینه، کیفیت و خدمات) علاقه‌مند هستند. همسوسازی پروژه‌ها با اهداف کسب و کار و سنجه‌های سازمانی می‌تواند انتخاب بهترین پروژه‌ها را تضمین کند.

رسیدن به تعریف و انتخاب پروژه

- فرصت طلب
- اهداف کسب و کار استراتژیک

تعریف و انتخاب پروژه

سازمان‌ها غالباً اولین پروژه‌های خود را با هدف نمایش موفقیت بالقوهٔ تلاش‌های بهبود خود انتخاب می‌کنند. این پروژه‌ها معمولاً در بخش‌هایی تعریف می‌شود که فرصت‌های بهبود و مسأله‌های جاری آن زیاد است. مواردی که توسط مشتری یا براساس بازخورد رضایت مشتری (یا عدم رضایت مشتری) نظیر تحلیل‌های شکست و مرجوعی‌ها شناسایی می‌شود نیز می‌تواند در برخی مواقع منبع مناسبی برای تعریف پروژه‌ها باشد.

گرچه این‌گونه پروژه‌های اولیه موفقیت‌آمیز خواهند بود ولی نمی‌توانند موفقیت بلند مدت را تضمین کنند. بدیهی است که فرصت‌های سهل و آسان به سرعت شناسایی و استفاده می‌شوند. بنابراین، نیاز است تا رویکرد متفاوتی نسبت به تعریف پروژه و انتخاب آنها استفاده شود. یکی از رویکردهای متداول تعریف پروژه‌ها مبتنی بر اهداف راهبردی کسب‌وکار است. اولین گام در این رویکرد، تعریف مجموعه‌ای کلیدی از فرآیندهای کسب‌وکار و سنجه‌هایی است که به انتخاب پروژه‌های موفقیت‌آمیز کمک کند. اقدام بعدی مرتبط ساختن این فرآیندها به یکدیگر جهت ایجاد یک تصویر یکپارچه از کسب‌وکار است. پروژه‌هایی که بر سنجه‌های کلیدی کسب‌وکار و تعامل بین فرآیندهای کلیدی کسب‌وکار تمرکز دارد احیاناً ارزش فراوانی برای سازمان خواهد داشت. شاید تنها مشکل موجود، بیش از حد بزرگ بودن پروژه‌ها و به ناچار تمرکز بر بخش‌های خاصی از آن است که باعث می‌شود فقط بخش کوچکی از کسب‌وکار در مسیر فرآیند بهبود قرار گیرد و در نتیجه تأثیر آن نامشهود و یا همراه با تأخیر خواهد بود. یک سیستم مدیریت و انتخاب پروژه از بروز چنین مشکلاتی پیشگیری می‌کند. اغلب سازمان‌ها یک کمیتهٔ رسمی برای انتخاب پروژه تشکیل داده‌اند و جلسات منظمی را بین مشتریان و کمیتهٔ انتخاب پروژه‌ها با هدف دستیابی به این اهداف برگزار می‌کنند. حالت ایده‌آل آن است که پروژه‌ها راهبردی و به‌طور کامل با سنجه‌های سازمانی همسو و غیر تاکتیکی (غیر منطقه‌ای) باشند.

Www.iepnu.com

پروژه‌های منطقه‌ای یا پروژه‌هایی که فقط در یک محدوده کاربرد داشته باشند غالباً حکم آتش خاموش کردن را ایفا می‌کنند و راه حل‌های ارائه شده نیز به ندرت در سایر بخش‌های کسب‌وکار اجرا می‌شود. در چنین شرایطی، راه‌حل‌ها ارائه شده به ندرت دائمی بوده و در نتیجه ظرف یکی دو سال مجدداً مشکلات قدیمی ظاهر می‌شوند. برخی از سازمان‌ها از یک سیستم داشبورد که به‌صورت گرافیکی روند پیشرفت پروژها را نشان می‌دهد برای تسهیل اثربخش فرآیند انتخاب و مدیریت پروژه‌ها استفاده می‌کنند.

انتخاب پروژه احیاناً بخش مهمی از هر فرآیند بهبود کسب‌وکار محسوب می‌شود. پروژه‌ها باید در چارچوب زمانی مشخصی به اتمام برسند و تأثیر به سزایی بر سنجه‌های کسب و کار داشته باشند. این بدان معنا است که باید در مورد فرآیندهای کلیدی کسب‌وکار، درک ارتباط بین آنها و نهایتاً تهیهٔ معیارهای عملکردی مناسب زیاد فکر شود.

مثال ۲-۱ چه مواردی باید در زمان ارزیابی پروژه‌ها مورد توجه قرار گیرد؟

فرض کنید شرکتی در سطح عملکرد 4σ قرار دارد. به‌عبارت دیگر، با فرض $1/5\sigma$ انحراف در میانگین فرآیند حدوداً ۶۲۱۰ جزء در میلیون محصول معیوب تولید می‌شود. این عملکرد نسبتاً خوبی است و اغلب سازمان‌های امروزی توانسته‌اند عملکرد فرآیندهای کلیدی خود را به سطح σ ۴-۴/۵ برسانند. هدف اصلی، دستیابی به سطح عملکرد 6σ و یا ۳/۴ جزء در میلیون است. تأثیر این موضوع بر معیارهای انتخاب پروژه چیست؟ فرض‌کنید، ۲۵ درصد بهبود سالیانه در سطح کیفیت به‌عنوان معیار تعریف شده باشد. بنابراین، X سال طول خواهد کشید تا به سطح عملکرد شش سیگما برسیم. مدت زمان X از طریق حل رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$۳/۴ = ۶۲۱۰ (۱- ۰/۲۵)^{x}$$

با حل رابطهٔ فوق متوجه می‌شویم که حدوداً ۳۴ سال زمان نیاز است تا به هدف مورد نظر دست یابیم. بدیهی است ۲۵ درصد بهبود سالیانه، هدف مناسبی نیست چرا که هیچ سازمانی علاقه‌مند نخواهد بود برای دستیابی به هدف خود ۳۴ سال منتظر بماند. بهبود کیفیت، یک فرآیند بی‌پایان است ولی هیچ تیم مدیریتی‌که قادر به انجام محاسبهٔ فوق باشد چنین برنامهٔ بهبودی را تأیید نخواهد کرد.

افزایش بهبود سالیانه به۵۰ درصد باعث می‌شود تا X به ۱۱ سال کاهش یابد و این کمک بزرگی به سازمان است ولی هنوز با چارچوب‌های زمانی معقول فاصلهٔ زیادی دارد. اگر هدف کسب‌وکار رسیدن به سطح آرمانی شش‌سیگما طی یک دورهٔ زمانی پنج ساله باشد آنگاه هدف بهبود سالیانه برای پروژه‌ها باید حدود ۷۵ درصد در نظر گرفته شود.

انجام این محاسبات است که مسئولین بهبود کیفیت سازمان‌ها را مجبور می‌سازد تا بر انتخاب پروژه‌های موثر و سودآور تأکید کنند. به‌عنوان مثال، نرخ سالیانهٔ بهبود پروژه‌های شش‌سیگما در شرکت موتورولا طی چند سال اول به بیش از ۶۵ درصد رسید. به منظور تحقق مستمر این هدف، سازمان‌ها باید تلاش زیادی صرف تعریف، مدیریت، اجرا و پیاده‌سازی اثربخش پروژه‌ها کنند و این امر مستلزم تخصیص بهترین نیروهای سازمان به این فعالیت‌هاست.

۲-۷-۱ مرحلهٔ تعریف

تعریف
تعریف فرصتها

منشور پروژه

هدف مرحلهٔ تعریف متدولوژی DMAIC شناسایی پروژه و تصدیق یا صحه‌گذاری دست‌آوردهای بالقوهٔ آن است. یک پروژه باید از منظر مشتری و کسب و کار از اهمیت لازم برخوردار باشد. ذینفعان فعال در فرآیند و مشتریان پایین دستی آن باید در مورد منافع بالقوهٔ پروژه اتفاق نظر داشته باشند.

یکی از اولین اقداماتی که باید در مرحلهٔ تعریف انجام شود تهیه **منشور پروژه**[1] است. این مستند کوتاه (حدود یک یا دو صفحه) موضوعاتی نظیر ارایهٔ توضیحاتی در خصوص پروژه و

1. project charter

Www.iepnu.com

دامنهٔ آن، شروع و پایان پروژه، سنجه‌های اولیه و ثانویهٔ قابل اندازه‌گیری و هم‌سویی این سنجه‌ها با اهداف کسب و کار واحد و سازمان، منافع بالقوه برای مشتری، منافع مالی بالقوه برای سازمان، اهداف تعریف شده، اعضای تیم و نقش آنها و همچنین فهرست سایر منابعی که احیاناً برای انجام پروژه مورد نیاز است را شامل می‌شود. یک منشور پروژه برای فرآیند مرجوعی‌های مشتری در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است. بدیهی است که حامی پروژه (یا قهرمان پروژهٔ شش‌سیگما) نقش مهمی را در تهیهٔ منشور پروژه ایفا می‌کند و ممکن است از نسخهٔ اولیهٔ منشور پروژه جهت سازمان‌دهی تیم و تخصیص مسئولیت به اعضای تیم پروژه استفاده کند. به‌طور کلی، یک تیم باید بتواند منشور پروژه را ظرف دو تا چهار روز کاری آماده کند. اگر زمان بیشتری برای انجام این کار نیاز باشد آنگاه ممکن است دامنهٔ پروژه بیش از حد بزرگ تعریف شده باشد. همچنین منشور پروژه باید مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت[1] که تحت‌تأثیر پروژه قرار می‌گیرد را شناسایی کند.

بیانیه فرصت فرصتی برای حذف شکاف بین انتظارات مشتری و عملکرد واقعی از طریق کاهش سیکل زمانی فرآیند مرجوعی مشتری وجود ندارد	**منافع مالی** این پروژه اهداف کیفی کسب و کارا (الف) کاهش زمان سیکل پیشنهادی مشتری به میزان $x\%$ و (ب) بهبود رضایت مشتری به میزان $y\%$ را دنبال می‌کند.
دامنه پروژه زمان سیکل از مرحلهٔ دریافت یک محصول مرجوعی تا زمان جایگزینی محصول یا بازپرداخت به مشتری اندازه گیری می‌شود.	**بیانیه هدف** کاهش زمان سیکل برای محصول مرجوعی به میزان $x\%$ به‌طور سالیانه
تیم حامی تیم رهبر تیم اعضای تیم	**طرح پروژه** • فعالیت — شروع — پایان تعریف — ۶/۰۴ — ۶/۳۰ اندازه گیری — ۶/۱۸ — ۷/۳۰ تحلیل — ۷/۱۵ — ۸/۳۰ بهبود — ۸/۱۵ — ۹/۳۰ کنترل — ۹/۱۵ — ۱۰/۳۰ پیگیری منافع — ۱۱/۰۱

شکل ۲-۱۱ یک منشور پروژه برای فرآیند مرجوعی‌های مشتری.

نمودار SIPOS

استفاده از روش‌های نموداری در مرحلهٔ تعریف نیز می‌تواند مفید باشد. متداول‌ترین نمودارهایی که در این مرحله کاربرد دارند عبارتند از: نقشه‌های فرآیند، نمودارهای جریان، نقشه‌های جریان ارزش (فصل ۳ ملاحظه شود) و نمودار SIPOC (سایپوک خوانده می‌شود). نمودارهای جریان و نقشه‌های جریان ارزش، جزئیات نمایشی بیشتری و درک ساده‌تری در مورد تغییراتی که باید در فرآیند ایجاد شود را فراهم می‌سازند. نمودار **SIPOC** یک نقشهٔ کلان از فرآیند مورد نظر است. واژه SIPOC براساس حروف اول واژه‌های تأمین‌کنندگان[2]، ورودی[1]،

1 - Critical - To- Quality- CTQ
2 - Suppliers

Www.iepnu.com

فرآیند[2]، خروجی[3] و مشتریان[4] تشکیل شده است و هر یک از آنها به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

۱- **تأمین‌کننده** به کسی که اطلاعات، مواد یا سایر اقلام مورد نیاز فرآیند را تأمین می‌کند اشاره دارد.

۲- **ورودی** به اطلاعات و مواد فراهم شده اشاره دارد.

۳- **فرآیند** به مجموعه‌ای از گام‌های ضروری برای انجام فعالیت مورد نظر اشاره دارد.

۴- **خروجی**، به محصول، خدمت یا اطلاعات ارسالی برای مشتری اشاره دارد.

۵- **مشتری** به مشتری بیرونی یا مشتری فرآیند بعدی اشاره دارد.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد نمودارهای SIPOC یک دید کلان از فرآیند را فراهم می‌سازند که به درک و شناخت گام‌های اساسی فرآیند کمک می‌کند. به‌طورکلی، این نمودارها برای سازمان‌های غیرتولیدی و سیستم‌های خدماتی که تفکر فرآیندی در آنجا کمتر مطرح شده بسیار مفید است. به‌عبارت دیگر، افرادی که در بانک‌ها، مؤسسه‌های مالی، بیمارستان‌ها، مؤسسه های حسابداری، تجارت الکترونیک، نمایندگی‌های دولتی و سازمان‌های خدماتی/ تراکنشی فعالیت می‌کنند همیشه کاری را که انجام می‌دهند به‌عنوان بخشی از یک فرآیند نمی‌بینند. تهیه یک نقشهٔ فرآیند می‌تواند یک تجربه بی‌نظیری باشد چرا که این نمودار غالباً جنبه‌هایی از فرآیند را برای افراد آشکار می‌سازند که در مورد آنها اطلاعی نداشته یا آنها را کاملاً درک نکرده بودند.

شکل ۲-۱۲ یک نمودار SIPOC را برای فرآیند سرو قهوه در یک شرکت نشان می‌دهد. از تیم خواسته شده بود که تعداد نقص‌ها، خطاها و زمان سیکل تهیهٔ قهوه را کاهش دهد. اولین اقدام تیم تهیهٔ نمودار SIPOC برای شناسایی مراحل کلان و فرصت‌های بهبود در فرآیند بود.

همچنین نیاز است که تیم یک طرح اقدام برای رفتن به مراحل بعدی DMAIC تهیه کند. این کار مستلزم تقسیم کار و تعیین برنامهٔ زمان‌بندی اجرای پروژه است. بدیهی است که باید توجه خاصی به مرحلهٔ اندازه‌گیری که مرحلهٔ بعدی پروژه است معطوف شود.

در نهایت، تیم باید آماده شود تا بازنگری پایان مرحله که به نکات مقابل اشاره دارد را انجام دهد:

بازنگری پایان مرحلهٔ تعریف

۱- آیا بیانیهٔ مسأله بر نشانه‌ها و نه علل احتمالی و راه حل‌ها تمرکز دارد؟

۲- آیا کلیهٔ ذینفعان شناسایی شده‌اند؟

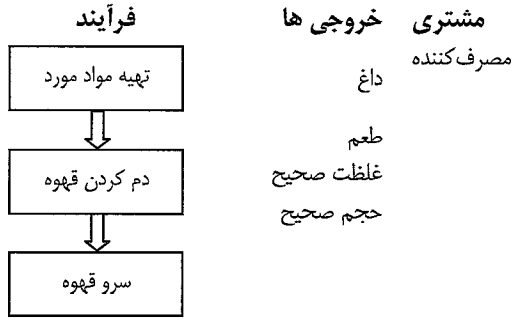
۳- چه شواهدی در خصوص تأیید فرصت ارزش این پروژه وجود دارد؟

۴- آیا دامنهٔ پروژه برای اطمینان از خیلی‌کوچک یا خیلی بزرگ نبودن آن صحه‌گذاری شده است؟

۵- آیا یک نمودار SIPOC یا نقشهٔ فرآیند در مقیاس کلان تهیه شده است؟

۶- آیا هنوز موانع مشهودی بر سر راه اجرای موفقیت‌آمیز پروژه مشاهده می‌شود؟

۷- آیا طرح اقدام تیم برای مرحلهٔ اندازه‌گیری DMAIC معقول به نظر می‌رسد؟



شکل ۲-۱۲ یک نمودار SIPOC.

1. Input
2. process
3. output
4. customers

Www.iepnu.com

اندازه‌گیری
عملکرد اندازه‌گیری شود

KPIV
KPOV

۲-۷-۲ مرحلهٔ اندازه‌گیری

مرحلهٔ اندازه‌گیری، ارزیابی و درک وضعیت فعلی فرآیند است. در این مرحله، داده‌های مربوط به کیفیت، هزینه و زمان سیکل جمع آوری می‌شود. تهیهٔ فهرست کاملی از **متغیرهای ورودی فرآیند کلیدی**[1] و **متغیرهای خروجی فرآیند**[2] کلیدی ضروری است. این متغیرها ممکن است در مرحلهٔ تعریف حداقل به‌صورت موقتی شناسایی و در مرحلهٔ اندازه‌گیری به‌طور کامل تعریف و اندازه‌گیری شوند. عامل‌های مهم ممکن است شامل زمان صرف شده برای فعالیت‌های گوناگون و زمان انتظار برای اقدامات بعدی باشد. تصمیم‌گیری درخصوص نوع و میزان داده‌های مورد نیاز برای درک و تحلیل عملکرد فعلی فرآیند از منظر سنجه‌های کلیدی جزو تصمیمات مهم محسوب می‌شود.

داده‌ها ممکن است از طریق بررسی سوابق گذشته جمع‌آوری شود ولی این کار ممکن است به دلیل ناقص بودن داده‌ها، نحوهٔ نگهداری سوابق درگذشته و یا علل دیگر همیشه منجر به نتایج رضایت بخشی نشود. در نتیجه تهیهٔ داده‌های جدید براساس یک مطالعهٔ موردی ضروری است. این کار ممکن است از طریق جمع‌آوری داده‌های فرآیند طی یک دورهٔ زمانی پیوسته (نظیر هر یک ساعت برای دو هفته) و یا نمونه‌گیری از جریان داده‌های مرتبط انجام شود. زمانی‌که عنصر نیروی انسانی در سیستم زیاد باشد آنگاه نمونه‌گیری مبتنی بر کار توصیه می‌شود. این نوع نمونه‌گیری شامل مشاهدهٔ کارکنان در زمان‌های تصادفی و دسته‌بندی فعالیت آنها در دسته‌های مختلف می‌شود. در سازمان‌های تراکنشی و خدماتی ممکن است لازم باشد که سیستم یا سیستم‌های اندازه‌گیری خاصی برای ثبت اطلاعات مورد نظر سازمان تهیه شود. یک تفاوت عمده بین سیستم‌های اندازه‌گیری در سازمان‌های تولیدی و خدماتی وجود دارد. در سازمان‌های تولیدی به دلیل انجام تحلیل‌های متعدد بر روی داده‌ها معمولاً سیستم‌های اندازه‌گیری و داده‌های عملکردی فرآیند وجود دارد و در مقایسه با سازمان‌های خدماتی از قدمت بیشتری برخوردار است.

داده‌های جمع‌آوری شده برای تعیین وضعیت فعلی یا **عملکرد پایه‌ای** فرآیند استفاده می‌شود. به علاوه، **قابلیت سیستم اندازه‌گیری** باید مورد ارزیابی قرارگیرد. این کار را می‌توان با استفاده از تحلیل قابلیت ابزار (اصطلاحاً تکرارپذیری[3] و تجدید پذیری نامیده می‌شود) انجام داد. در این مرحله مناسب است که زمان سیکل فرآیند را به بخش‌های مربوط به فعالیت‌های ارزش افزا و فاقد ارزش تقسیم و کارآیی سیکل فرآیند و زمان سیکل فرآیند را درصورت صلاحدید برآورد کرد. داده‌های جمع‌آوری شده در مرحلهٔ اندازه‌گیری را می‌توان با استفاده از شکل‌های مختلف نظیر هیستوگرام، نمودار ساقه و برگ، نمودارهای تسلسل، نمودارهای پراکندگی و نمودارهای پارتو نمایش داد.

در پایان مرحلهٔ اندازه‌گیری، تیم در صورت لزوم منشور پروژه را به روز، اهداف و دامنهٔ پروژه را بررسی و کاستی‌های موجود را مجدداً ارزیابی‌کند. آنها ممکن است برحسب نیاز بخواهند افرادی از واحدهای کاری پایین دستی یا بالا دستی برای همکاری در مراحل آتی فرآیند DMAIC به اعضای تیم پروژه اضافه کنند. هر موضوع یا نگرانی که ممکن است موفقیت پروژه را تحت تأثیر قرار دهد باید مستند و با صاحب فرآیند یا حامی پروژه مطرح شود. در برخی موارد، تیم ممکن است بتواند به سرعت پیشنهاداتی نظیر حذف یک گام غیر ارزش افزا یا حذف منبع تغییرپذیری غیرضروری را ارائه کند.

در نهایت تیم باید خود را برای بازنگری پایان مرحله آماده سازد. موضوعات و انتظاراتی که در بازنگری پایان مرحلهٔ اندازه‌گیری مطرح می‌شود شامل موارد عنوان شده در متن مقابل است:

بازنگری پایان مرحلهٔ اندازه‌گیری

۱- یک نمودار جریان فرآیند یا نقشه جریان ارزش جامع باید تهیه شده باشد. کلیهٔ مراحل اصلی فرآیند به همراه تأمین‌کنندگان و مشتریان باید شناسایی شده باشد. در صورت لزوم، نواحی که با صف یا موجودی در جریان مواجه است باید شناسایی و طول صف، زمان‌های انتظار و سطح موجودی در جریان گزارش شود.

۲- فهرستی از متغیرهای ورودی فرآیند کلیدی و متغیرهای‌خروجی فرآیند کلیدی باید تهیه و نحوهٔ ارتباط متغیرهای - خروجی فرآیند کلیدی با رضایت مشتری یا مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت از منظر مشتریان شناسایی شود.

۳- قابلیت سیستم‌های اندازه‌گیری باید مستند شود.

۴- مفروضات عنوان شده در مرحلهٔ جمع‌آوری داده باید مورد توجه قرار گیرد.

۵- تیم باید بتواند به سوألاتی نظیر، "داده‌ها از کجا آورده شده ؟"، "چگونه تصمیم گرفته شد که چه نوع داده‌هایی جمع‌آوری شود؟"، "اعتبار سیستم اندازه‌گیری شما چه میزان است؟" و "آیا به میزان کافی داده برای اخذ تصویری از عملکرد فرآیند تهیه شده است؟" پاسخ دهد.

1. Key process input variables - KPIV
2 . Key process output variables - KPOV
3. Gauge repeatability and reproducibility - gauge R&R

Www.iepnu.com

۲-۷-۳ مرحلهٔ تحلیل

هدف مرحلهٔ تحلیل، استفاده از داده‌های مرحلهٔ اندازه‌گیری برای تعیین روابط علی- معلولی در فرآیند و شناخت منابع تغییرپذیری است. به‌عبارت دیگر، در مرحلهٔ تحلیل می‌خواهیم علل بالقوهٔ نقص‌ها، مشکلات کیفی، موضوعات مورد نظر مشتری، مشکلات زمان سیکل و عبور مستقیم، اتلاف و عدم کارآیی که منجر به تعریف پروژه شده است را تعیین کنیم. به منظور انجام این کار، لازم است که منابع تغییرپذیری را به **انحرافات تصادفی**[1] و **انحرافات با دلیل**[2] تقسیم کنیم. انحرافات تصادفی، منابع تغییرپذیری نهفته در دل فرآیند یا سیستم هستند در حالی‌که انحرافات با دلیل معمولاً منتج از یک منبع خارج از فرآیند است. حذف یک انحراف تصادفی مستلزم تغییر فرآیند است در حالی که حذف یک انحراف با دلیل معمولاً شامل حذف مشکل خاصی است. یک انحراف تصادفی ممکن است منتج از عدم آموزش کافی کارکنان یا رسیدگی به درخواست‌های بیمه باشد در حالی که یک انحراف با دلیل ممکن است به علت خرابی قطعه‌ای در یک دستگاه ایجاد شده باشد.

ابزارهای مفید متعددی را می‌توان در مرحلهٔ تحلیل استفاده کرد. در این میان می‌توان به **نمودارهای کنترل** که می‌توانند در جداسازی انحرافات تصادفی از انحرافات با دلیل مفید باشند، **آزمون فرض** و **برآورد فاصله اطمینان** که می‌توانند تأثیر شرایط مختلف تولید را از لحاظ آماری ارزیابی و اطلاعاتی در خصوص صحت برآورد پارامترها فراهم کند و همچنین **تحلیل رگرسیون** که امکان مرتبط ساختن متغیرهای خروجی مورد نظر به متغیرهای ورودی مستقل را در قالب مدل‌های آماری ممکن می‌سازد اشاره کرد.

شبیه‌سازی گسسته پیشامد ابزار قدرتمند دیگری است که می‌تواند برای مرحلهٔ تحلیل مفید باشد. استفاده از این ابزار می‌تواند در اغلب فرآیندها محصوصاً فرآیندهای مربوط به کسب و کارهای خدماتی و تراکنشی بسیار مفید واقع شود. به‌عنوان مثال، کاربردهای موفقیت‌آمیز متعددی از شبیه‌سازی گسسته پیشامد در مسأله‌های زمان‌بندی کارخانجات مختلف با هدف بهبود عملکرد زمان سیکل و عبور مستقیم وجود دارد. در یک شبیه‌سازی گسسته پیشامد، یک مدل رایانه‌ای برای شبیه‌سازی فرآیند سازمان تهیه و استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، یک مدل رایانه‌ای می‌تواند اتفاقی که پس از ورود یک درخواست وام به بانک رخ دهد را شبیه‌سازی کند. هر درخواست وام، یک پیشامد گسسته است. در این فرآیند، نرخ‌های ورود، زمان‌های صرف شده و حتی ارسال درخواست‌ها به مراحل مختلف فرآیند را می‌توان به‌عنوان متغیرهای تصادفی در نظر گرفت و تأثیر بهبود هر یک از این متغیرها بر تعداد درخواست‌های انباشته شده در مراحل مختلف فرآیند را ارزیابی کرد.

متغیرهای تصادفی دیگری می‌تواند برای مدل‌سازی تأثیر درخواست‌های ناقص، اطلاعات اشتباهی و سایر خطاها و نقص‌های و همچنین تأخیر در دریافت اطلاعات از منابع بیرونی نظیر دریافت سوابق مالی و اعتباری تعریف شود. با اجرای مدل شبیه‌سازی برای تعداد زیادی وام می‌توان برآوردهای قابل اطمینانی برای زمان سیکل، عبور مستقیم و سایر کمیت‌های مورد نظر تهیه کرد.

تحلیل حالت‌های شکست و اثرات آن[3] ابزار مفید دیگری است که می‌تواند در مرحلهٔ تحلیل کاربرد داشته باشد. از این تحلیل می‌توان برای اولویت‌بندی منابع بالقوهٔ تغییرپذیری،

تحلیل
تحلیل فرصت

ابزارهای تحلیل
- نمودارهای کنترل
- آزمون فرض
- فاصله اطمینان
- تحلیل رگرسیون
- شبیه سازی گسسته پیشامد

متغیر تصادفی
یک متغیر که مقادیر آن مشخص است ولی می تواند با تابع احتمال بیان شود.

بازنگری پایان مرحلهٔ تحلیل
به منظور آماده شدن برای بازنگری پایان مرحلهٔ تحلیل، تیم باید موضوعات و سؤالات بالقوه زیر را در نظر گیرد:
۱- چه فرصت‌هایی برای بررسی در مرحلهٔ بهبود پیشنهاد می‌شود؟
۲- چه داده‌ها و تحلیل‌هایی برای اثبات تأثیر فرصت‌های شناسایی شده بر تحقق خروجی مورد انتظار در متغیرهای خروجی فرآیند کلیدی و مشخصه‌های بحرانی کیفیت از منظر مشتری وجود دارد؟
۳- آیا فرصت‌های دیگری وجود دارد که فعلاً قرار نیست در ارزیابی‌ها شامل شود؟ اگر پاسخ مثبت است، چرا؟
۴- آیا پروژه هنوز از لحاظ زمان و خروجی‌های مورد انتظار طبق برنامه پیش می‌رود؟
آیا منابع دیگری برای استفاده در این مرحله مورد نیاز است؟

1. common causes
2. assignable causes
3. Failure modes and effects analysis - FMEA

Www.iepnu.com

بهبود
بهبود عملکرد

فرایندهای خطاناپذیر

بازنگری پایان مرحلهٔ بهبود
۱- مستند کافی در مورد نحوهٔ دستیابی بر راه حل مسأله.
۲- مستند مورد نیاز در مورد راه حل‌های جایگزین.
۳- نتایج کامل اجرای آزمایشی شامل نمایش و تحلیل داده‌ها، اجرای آزمایش و تحلیل‌های شبیه‌سازی.
۴- برنامه‌ریزی برای پیاده‌سازی نتایج اجرای آزمایشی در مقیاس کامل. این‌کار باید شامل پاسخگویی به الزامات قانونی، نگرانی‌های کارکنان (نظیر آموزش‌های اضافی) یا تأثیر بر سایر روش‌های اجرایی استاندارد کاری باشد.
۵- تحلیل هرگونه ریسک مرتبط با اجرای راه حل و ارائه طرح‌های مدیریت ریسک مناسب.

شکست‌ها، خطاها یا نقص‌های یک محصول یا فرآیند با در نظر گرفتن سه معیار زیر استفاده کرد:

۱- احتمال رخداد یک اشتباه (۱= خیلی کم و ۱۰= تقریباً قطعی)
۲- توانایی تشخیص شکست، نقص یا خطا (۱= تشخیص خیلی زیاد و۱۰= تشخیص خیلی کم).
۳- شدت شکست، نقص یا خطا (۱= تأثیر کم و ۱۰ = تأثیر شدید، شامل زیان‌های مالی زیاد، جراحت و یا حتی فوت).

این سه امتیاز برای هر منبع تغییرپذیری، شکست، خطا یا نقص در یکدیگر ضرب و عدد اولویت ریسک[1] تعیین می‌شود. منابع تغییرپذیری یا شکست که دارای بیشترین مقادیر RPN هستند برای بهبود فرآیند یا طراحی مجدد انتخاب می‌شوند.

ابزارهای مرحلهٔ تحلیل از داده‌های گذشته یا داده‌های جمع‌آوری شده در مرحلهٔ اندازه‌گیری استفاده می‌کنند. این داده‌ها غالباً اطلاعات مفیدی در مورد شناسایی عللی که فرآیند را دچار مشکل ساخته فراهم می‌سازد. در برخی مواقع این اطلاعات می‌تواند منجر به اقدامات بهبود جهشی شود. با این وجود در اغلب موارد هدف مرحلهٔ تحلیل، کشف و درک روابط موجود بین متغیرهای فرآیند و ارتباط آنها با بهبودهای بالقوهٔ فرآیند است. فهرستی از فرصت‌های خاص و علل ریشه‌ای که در مرحلهٔ بهبود مورد توجه قرار خواهد گرفت باید تهیه شود. راهبردهای بهبود در مرحلهٔ بهبود تهیه و مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲-۷-۴ مرحلهٔ بهبود

در مراحل اندازه‌گیری و تحلیل، تیم بر روی متغیرهای ورودی فرآیند کلیدی و متغیرهای خروجی فرآیند کلیدی، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، نحوهٔ انجام تحلیل‌ها و نمایش داده‌ها، شناسایی منابع بالقوهٔ تغییرپذیری و تعیین نحوهٔ تفسیر داده‌های حاصل تمرکز کرد. در مرحله بهبود، آنها به تفکر خلاق برای ایجاد تغییرات در فرآیند و انجام سایر اقدامات که نتایج مورد نظر در عملکرد فرآیند را محقق خواهد کرد می‌پردازند.

ابزارهای متعددی را می‌توان در مرحلهٔ بهبود استفاده کرد. طراحی مجدد فرآیند با هدف بهبود جریان کار و کاهش گلوگاه و موجودی در جریان نیاز به استفادهٔ مکرر از نمودارهای جریان و/ یا نقشه‌های جریان ارزش دارد. در برخی مواقع **خطاناپذیری** (طراحی یک عملیات به گونه‌ای که فقط از یک روش و آن هم روش صحیح قابل انجام باشد) یک فرآیند می‌تواند مفید باشد. طراحی آزمایش‌ها شاید مهم‌ترین ابزار آماری مرحلهٔ بهبود باشد. طراحی آزمایش‌ها می‌تواند در مورد یک فرآیند فیزیکی موجود و یا یک مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای با هدف تعیین عامل‌های تأثیرگذار بر خروجی یک فرآیند و تعیین شرایط بهینه برای مقادیر این عامل‌ها استفاده شود.

از جمله اهداف مرحلهٔ بهبود می‌توان به ارائه راه حل و اجرای آزمایشی این راه حل‌ها اشاره کرد. اجرای آزمایشی، حالتی از آزمایش تأییدی است که در این آزمایش راه حل پیشنهادی مجدداً مورد ارزیابی و تأیید قرار می‌گیرد. این فرآیند می‌تواند تکرار شدنی باشد و یا به‌عبارت دیگر راه حل اولیه ممکن است چندین بار، بازنگری و یا بهبود یابد.

1. Risk priority number - RPN

Www.iepnu.com

۲-۷ -۵ مرحلهٔ کنترل

در مرحلهٔ کنترل، هدف اصلی تکمیل کارهای باقی ماندهٔ پروژه و تحویل فرآیند بهبود یافته به صاحبان فرآیند به همراه یک طرح کنترل فرآیند[1] و سایر رویه‌های مورد نیاز برای اطمینان و کمک به حفظ و نهادینه کردن دستاوردها و در صورت امکان اجرای بهبودهای حاصل در سایر فرآیندهای مشابه است.

داده‌های تهیه شده در خصوص سنجه‌های کلیدی عملکرد برای وضعیت قبل و بعد از بهبود، مستندات مربوط به عملیات و آموزش و همچنین نقشه‌های فرآیند موجود باید در اختیار صاحب فرآیند قرار گیرد. طرح کنترل فرآیند باید سیستمی برای پایش راه حل اجرا شده باشد و باید مواردی از قبیل روش‌ها و سنجه‌های مورد نیاز برای ممیزی دوره‌ای را شامل شود. نمودارهای کنترل ابزارهای آماری مهمی هستند که در مرحلهٔ کنترل فرآیند DMAIC مورد استفاده قرار می‌گیرد و اغلب طرح‌های کنترل نیز از نمودارهای کنترل برای پایش سنجه‌های کلیدی فرآیند استفاده می‌کنند.

طرح انتقال به صاحب فرآیند باید صحه‌گذاری که معمولاً چند ماه بعد از اتمام پروژه به طول می‌انجامد را شامل شود. بدیهی است که باید اطمینان حاصل شود که نتایج اولیه هنوز برقرار بوده و نتایج مالی مورد نظر ادامه خواهد یافت. در بعضی مواقع، فرآیند بهبود یافته به دلیل بروز اشکال در مرحلهٔ انتقال دچار مشکل می‌شود. لذا توانایی واکنش سریع نسبت به شکست‌های احتمالی باید در طرح کنترل نیز لحاظ شده باشد.

بازنگری پایان مرحلهٔ کنترل

۱- داده‌های موردنیاز قبل و بعد از بهبود برای اثبات دستیابی به اهداف عنوان شده در منشور پروژه باید موجود باشد. (آیا اهداف اولیه محقق شد؟)

۲- آیا طرح کنترل فرآیند کامل است؟ آیا از رویه‌های پایش فرآیند نظیر نمودارهای کنترل استفاده می‌شود؟

۳- آیا کلیه مستندات مورد نیاز برای صاحب فرآیند آماده است؟

۴- خلاصه‌ای از آموخته‌های کلیدی باید موجود باشد.

۵- فهرستی از فرصت‌های بهبود که تیم می‌تواند در آینده دنبال کند باید تهیه شود. بر اساس این فهرست می‌توان پروژه‌های آتی را تعریف کرد. بدیهی است که وجود یک فهرست مناسب از عناوین پروژه‌های بالقوه می‌تواند فرآیند بهبود مستمر را تداوم بخشد.

۶- فهرستی از فرصت‌هایی که می‌توان نتایج حاصل از این پروژه را در مورد آنها استفاده کرد باید تهیه شود.

۲-۷-۶ مثال‌هایی در مورد DMAIC

مثال ۲-۲ مستندات دعوی حقوقی

دعوی حقوقی معمولاً حجم زیادی از مستندات ایجاد می‌کند. این مستندات می‌تواند شامل اوراق کاری، گزارشات مشاور، استشهاد، درخواست‌های ارائه شده به دادگاه، مستندات مربوط به احضاریه‌ها و سایر اوراق باشد. در برخی مواقع حجم این مستندات می‌تواند بالغ بر چند صد هزار صفحه شود. خانم جولی مازا وکیل حقوقی شرکت دوپانت در سخنرانی خود در جلسهٔ جامعهٔ کیفیت امریکا در سال ۲۰۰۰ در مورد استفادهٔ متدولوژی DMAIC در بخش حقوقی این شرکت صحبت کرد. این مورد کاوی در مرجع (۲۶۶) نیز مطرح شده است. هدف از اجرای این پروژه طراحی فرآیندی بود که بتوان به‌سرعت به مستندات مورد نیاز با حداقل خطا دست یافت.

مدیریت مستندات در دعوی حقوقی کار بسیار مهمی است و در بعضی مواقع نیز می‌تواند فرآیندی طولانی و پرهزینه باشد. این فرآیند معمولاً دستی انجام می‌شود و در این صورت خطای انسانی آن زیاد است به طوری که گم شدن مدارک یا ارائه مستندات اشتباهی، امری بسیار متداول و عادی است. در مورد کاری ارائه شده توسط خانم مازا از یک پایگاه داده الکترونیکی برای فهرست و دسته‌بندی کردن کلیهٔ مستندات استفاده شده بود و امکان دسترسی به کپی مستندات نیز وجود داشت.

تعریف. بخش حقوقی شرکت دوپانت و تیم حقوقی این دعوی حقوقی، مشتریان این فرآیند بودند. دسترسی سریع و عاری از خطا به مستندات مورد نیاز ضروری بود. به‌عنوان مثال، اگر تیم حقوقی نمی‌توانست تا ۳۰ روز سندی را به دادگاه ارائه کند آنگاه باید از دادگاه درخواست تمدید زمان می‌کرد که اینکار هزینه و زمان را افزایش می‌داد و اعتبار تیم حقوقی نیز زیر سوال می‌رفت. یک تیم پروژه شامل صاحبان فرآیند،

1. process control plan

Www.iepnu.com

کارشناسان حقوقی موضوع، دفتردار، یک کارشناس سیستم‌های اطلاعاتی و خانم مازا (که یک کارشناس کمربند سیاه شش‌سیگما بود) تشکیل شد. تیم تصمیم گرفت بر روی مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت نظیر زمان سیکل، خطاها و فعالیت‌های غیرارزش‌افزا و هزینه‌ها تمرکز کند. آنها با ترسیم نقشهٔ فرآیند، تولید مستندات مورد نیاز شامل تعریف گام‌های برداشته شده توسط بخش حقوقی شرکت دوپانت، مشاوره‌های بیرونی و شرکت مدیریت مستندات بیرونی، پروژه را آغاز کردند. ترسیم این نقشه برای شناسایی فعالیت‌های غیر ارزش افزا بسیار ضروری بود.

اندازه‌گیری. در مرحلهٔ اندازه‌گیری، تیم میزان دستیابی به مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت را با استفاده از داده‌های موجود در پایگاه دادهٔ الکترونیکی و با مطالعهٔ صورت حساب‌های واقعی، هزینه‌های کپی و سایر دستمزدها، هزینه‌های مربوط به ورود داده، هزینه‌های پست و هزینه‌های دادگاه برای درخواست تمدید و همچنین بررسی مکرر درخواست یک سند خاص را اندازه‌گیری کرد. اغلب سرفصل‌های هزینه، هزینه‌های غیر ارزش افزایی نظیر کپی مجدد مستندات به دلیل تهیه کپی از سند اشتباهی را شامل می‌شد. تهیه کپی از مستندات محرمانه از جمله خطاهای دیگری بود که به دفعات رخ داده بود.

تحلیل. تیم با استفاده از داده‌های حاصل از مرحلهٔ اندازه‌گیری و دانش اعضای تیم توانست اغلب علت‌های ریشه‌ای و منابع ایجاد هزینه را شناسایی کند. همچنین تیم توانست با انجام یک تحلیل حالت‌های شکست و اثرات آن اولویت موضوعات مهمی که پاسخ به آنها برای بهبود سیستم ضروری بود را تعیین کند. به منظور درک هر چه بهتر فرآیند و مشکلاتی که افراد با آن مواجه بودند، تیم تصمیم گرفت با کارکنان ذیربط مصاحبه انجام دهد. انجام این کار در سازمان‌های غیرتولیدی و خدماتی به دلیل استفادهٔ زیاد از نیروی انسانی بسیار ضروری است. برخی از علل ریشه‌ای مشکل عبارت بودند از:

۱- جایگزینی بیش از حد دفتردارها

۲- آموزش‌های ناکافی

۳- بی توجهی دفتردارها نسبت به کار به دلیل عدم احساس مالکیت فرآیند

۴- حجم زیاد مستندات

تیم به این نتیجه رسید که اغلب مشکلات موجود در سیستم، ناشی از سیستم دستی موجود مستندات بود.

بهبود. به منظور بهبود فرآیند، تیم یک سیستم اسکن دیجیتال را برای مستندات پیشنهاد کرد. این راه حل قبلاً نیز پیشنهاد شده بود ولی عدم توجیه هزینه همیشه باعث شده بود که از آن صرف نظر شود. با این وجود، تیم تلاش بسیاری کرد تا هزینه‌های واقعی سیستم دستی و عدم توانایی آن در بهبود وضعیت فعلی را اثبات کند. اطلاعات تهیه شده در مراحل اندازه‌گیری و تحلیل کمک کرد تا تیم بتواند به نحوه مناسب پیشنهاد خود را در خصوص سیستم اسکن دیجیتال به شرکت ارائه و تأیید آنها را اخذ نماید.

تیم با گروه فن‌آوری اطلاعات شرکت دوپانت برای شناسایی یک سیستم مناسب، استقرار سیستم و اسکن کلیه مستندات مشغول به کار شد. آنها فرآیند جدید را ترسیم و هزینهٔ آماده‌سازی یک صفحه را در قالب یک مطالعهٔ آزمایشی برآورد کردند. مطالعه حاصل حاکی از ۵۰ درصد، کاهش هزینه معادل ۱/۳ میلیون دلار صرفه‌جویی سالیانه بود. حدود ۷۰ درصد از فعالیت‌های غیر ارزش افزای فرآیند از این طریق حذف شد. بعد از استقرار سیستم جدید، استفاده از آن برای کلیهٔ بخش‌های حقوقی شرکت دوپانت که منجر به یک صرفه جویی ۱۰ میلیون دلاری می‌گردید توصیه شد.

کنترل. طرح کنترل شامل طراحی سیستم جدید ردیابی خودکار و برآورد هزینه‌های مربوط به هر سند بود. همچنین سیستم عملکرد، مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت را برای سایر کاربران فرآیند گزارش می‌کرد. صورت حساب‌های پیمانکاران نیز برای صاحبان فرآیند جهت پایش هزینه‌های جاری ارسال می‌شد. توضیحات در مورد نحوهٔ استفاده از سیستم جدید ارائه و آموزش‌های لازم برای کاربران سیستم برگزار شد. سیستم جدید بسیار موفق عمل کرد و باعث شد تا صرفه‌جویی‌های مالی چشمگیری ایجاد شود، زمان‌های سیکل بهبود یابد و خطاهای معمول به میزان زیادی کاهش یابد.

Www.iepnu.com

مثال ۲-۳ بهبود زمان تحویل

یکی از مشتریان کلیدی یک سازندهٔ ابزار نسبت به عملکرد ضعیف این سازنده در رابطه با تحویل به موقع محصول شکایت کرده بود. فرآیند تحویل به موقع در سطح عملکرد ۸۵ درصد قرار داشت و مشتری می‌توانست ۱۵ درصد کاهش در قیمت ابزار یا حدوداً ۶۰،۰۰۰ دلار خسارت برای سازنده را به‌عنوان جریمه لحاظ کند. مشتری همچنین نگران ظرفیت کارخانهٔ سازنده و تأمین تولید مورد نظر در آینده بود. حجم سفارش مشتری برای آینده نزدیک حدوداً ۸ میلیون دلار برآورد می‌شد و سازنده باید فرآیند کاری خود را بازنگری می‌کرد تا مشکل موجود رفع شود. در غیر این صورت مشتری می‌توانست به سراغ تأمین‌کننده دیگری برای تأمین ابزار مورد نیاز خود برود.

تیمی برای تعیین علل ریشه‌ای مسألهٔ عدم تحویل به موقع و اجرای راه حل تشکیل شد. یکی از اعضای تیم، یک مهندس پروژه بود که با هدف ارزیابی کلیهٔ فرآیندهای مرتبط با تولید ابزار و شناسایی هرگونه شکاف در فرآیندها که می‌توانست تحویل به موقع را تحت تأثیر قرار دهد به کارخانهٔ یکی از تأمین‌کنندگان اعزام شد تا فرآیندهای تأمین کننده که نیاز به بهبود داشت را شناسایی کند.

تعریف. هدف این پروژه دستیابی به عملکرد ۱۰۰ درصد فرآیند تحویل بود. مشتری نگران تحویل به موقع بود و جریمهٔ عدم تحویل به موقع می‌توانست هر لحظه در مورد محموله‌های فعلی و آتی تأمین‌کننده اعمال شود. تحویل‌های دیر هنگام باعث ایجاد وقفه در برنامهٔ تولید مشتری می‌شد و عدم وجود یک فرآیند بهبود یافته کمک می‌کرد تا مشتری به دنبال منبع دیگری برای تهیهٔ ابزار مورد نظر باشد. سازندهٔ ابزار، علاوه بر ۱۵ درصد جریمه‌ای که می‌توانست در مورد محصولش اعمال شود، ممکن بود بیش از نیمی از سفارش خود را از دست بدهد. از طرف دیگر، سازنده به میزان تأخیر ایجاد شده در تحویل محموله‌ها، صورت حساب‌های خود را دیرتر دریافت می‌کرد.

صرفه‌جویی بالقوهٔ حاصل از تحویل به موقع در هر دوره حدوداً ۳۰،۰۰۰ دلار برآورد شده بود. حفظ مشتری راضی نیز یک مسأله جدی برای سازمان محسوب می‌شد.

اندازه‌گیری. زمان تحویل ابزار در قرارداد هشت هفته ذکر شده بود. به عبارت دیگر، ابزار باید هشت هفته بعد از دریافت سفارش خرید آماده تحویل به مشتری می‌شد. مدت زمان هشت هفته‌ای ذکر شده در قرارداد به‌عنوان مشخصهٔ بحرانی برای کیفیت تعریف شد. نقشهٔ فرآیند برای فرآیند موجود از مرحلهٔ دریافت سفارش خرید تا مرحلهٔ حمل در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است. زمان تحویل فقط زمانی می‌توانست محقق شود که توقف یا تغییراتی در فرآیند وجود نداشت. متأسفانه هیچ داده‌ای در مورد این فرآیند وجود نداشت و تیم مجبور شد تا طی یک دورهٔ حدوداً دو ماهه داده‌های مورد نیاز را تهیه کند.

تحلیل. براساس داده‌های تهیه شده در مرحلهٔ اندازه‌گیری، تیم نتیجه‌گیری کرد که نواحی زیر باعث ایجاد مشکل در فرآیند تحویل شده بودند:

۱- موضوعات مرتبط با کیفیت تأمین کننده: قطعات قبل از موعد مقرر خراب و زمان صرف شده برای شناسایی مشکل و جایگزینی آنها باعث ایجاد تأخیر در آزمایش نهایی می‌شد.

۲- تأخیر در فرآیند سفارش خرید: سفارش‌های خرید به نحوه مناسب انجام نمی‌شد و درنتیجه تاریخ شروع تولید با تأخیر مواجه می‌گشت.

۳- تأخیر در اخذ تأییدیه از مشتری: در بعضی موارد، تا سه روز زمان نیاز بود تا بتوان تأییدیهٔ نهایی را از مشتری در مورد مشخصه‌های فنی محصول اخذ کرد. این کار باعث ایجاد تأخیر در مراحل اولیهٔ تولید و پیچیدگی در برنامه زمان‌بندی تولید می‌شد.

۴- ترتیب نادرست ابزار: تعداد نسبتاً زیادی فرآیند در سمت مشتری وجود دارد که معمولاً در زمان سفارش توسط مشتری منجر به سردرگمی و غالباً ترتیب نادرست ابزار می شود. اینکار باعث ایجاد دوباره کاری در مرحلهٔ میانی سیکل تولید می شود و تأثیر به سزایی نیز بر ایجاد مشکل تأخیر در تحویل به موقع دارد.

Www.iepnu.com

شکل ۲-۱۳ نقشهٔ فرآیند اولیه.

بهبود. تیم می‌دانست که به منظور دستیابی به هدف هشت هفته‌ای عنوان شده در قرارداد باید هرگونه تغییری را از مرحلهٔ دریافت سفارش خرید تا ارسال ابزار حذف کند. سه اقدام اساسی زیر انجام شد:

۱- کنترل و بهبود کیفیت تأمین‌کننده: فهرستی از اقدامات مورد نیاز در خصوص کلیهٔ الزامات قطعات و زیر سیستم‌ها که باید قبل از ارسال محموله مورد ارزیابی قرار می‌گرفت تهیه شد. این کار با هدف حداقل کردن شکست‌ها و خرابی‌ها در مراحل تولید، آزمایش نهایی و استفاده از محصول انجام شد. تأمین‌کننده توافق کرد تا با ارسال قطعات یدکی برای جایگزین کردن قطعات نامناسب شناسایی شده در مرحلهٔ تولید یا آزمایش نهایی کمک کند تا زمان ارسال محموله با مشکل مواجه نشود.

۲- بهبود فرآیند سفارش خرید داخلی: یک پست الکترونیکی برای مطلع شدن از دریافت کلیهٔ سفارشات خرید برای سه نفر (یک مهندس تدارکات فروش، یک مهندس پروژه و یک مدیر حسابدار) ایجاد و سطح دسترسی برای آنها تعریف شد. قبلاً فقط یک نفر قادر به مشاهدهٔ وضعیت سفارشات بود. اینکار به شفاف شدن ورود سفارشات خرید و انجام اقدام مقتضی توسط شرکت کمک کرد.

۳- بهبود فرآیند سفارش مشتری: تیم متوجه شد که طی سال‌های گذشته مشتری به دلیل الزامات فرآیندی خود تغییرات متعددی در مشخصه‌های ابزار درخواست کرده بود. به منظور حصول اطمینان از صحت مشخصه‌های ابزار در سفارش خرید، یک صفحهٔ گسترده خاص با همکاری مشتری برای شناسایی داده‌های کلیدی در سفارش ابزار طراحی شد. این صفحهٔ گسترده تحت شمارهٔ خرید و در مکان خاصی ذخیره شد. صاحب ابزار نیز

Www.iepnu.com

مسئولیت سفارش خود را پذیرفت تا از این طریق مراحل اخذ تأییدیه از مشتری و حصول اطمینان از سفارش نهایی حذف شود.

نقشهٔ جدید سیستم بهبود یافته در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است. مراحل فرآیند اولیه که در نقشهٔ جدید حذف شده‌اند با رنگ خاکستری نشان داده شده است.

کنترل. تیم به منظور حصول اطمینان از تحت کنترل بودن فرآیند جدید تصمیم گرفت تاریخ‌های تحویل هشت هفته‌ای را به‌صورت مشخص‌تر در صفحه گسترده نمایش دهد. یک رویهٔ به روزرسانی نیز به‌صورت یک هفته در میان امکان به روز کردن اطلاعات را امکان‌پذیر می‌ساخت. مهندس پروژه می‌توانست پیشرفت هر سفارش را دنبال و با انجام اقدام مقتضی، هرگونه انحراف از برنامهٔ زمان‌بندی را رفع کند.

سازنده بعد از اجرای فرآیند جدید و استقرار رویهٔ ردیابی تولید توانست محموله‌های خود را ۱۰۰ درصد به موقع تحویل دهد. صرفه-جویی حاصل بیش از ۳۰۰،۰۰۰ دلار در هر دوره بود. مهم‌تر اینکه مشتری راضی بود و اطمینان پیدا کرد که سازنده از توانمندی لازم برای تأمین به موقع ابزارها برخوردار است.

شکل ۲-۱۴ فرآیند بهبود یافته.

Www.iepnu.com

مثال ۲-۴ بهبود کیفیت خدمت در یک بانک

در این مثال نحوهٔ استفاده از فرآیند DMAIC برای بهبود کیفیت فرآیندهای بانکداری تشریح شده است. در مراحل تعریف و اندازه‌گیری این پروژه، تیم چندین مشخصهٔ بحرانی برای کیفیت را به شرح زیر برای بهبود شناسایی کرد:

۱- سرعت خدمت دهی

۲- خدمت یکسان

۳- فرآیندی آسان برای استفاده

۴- محیطی شاد

۵- کارکنان مطلع و آگاه

عامل‌های متعددی برای بهبود این مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت وجود داشت که می‌بایست بررسی شود. تیم تصمیم گرفت بر روی دو ناحیهٔ بهبود تمرکز کند: بهبود عملکرد کارکنان باجه و ناحیهٔ در اختیار مشتری و همچنین آموزش‌های جدید برای کارکنان. در مرحلهٔ بهبود، آنها تصمیم گرفتند از طراحی آزمایش‌ها برای بررسی اثرات این دو عامل بر مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت استفاده کنند. چهار شعبهٔ مختلف برای اجرای این آزمایش انتخاب شد. توجه داشته باشید که این یک آزمایش فیزیکی است و نه یک آزمایش شبیه‌سازی شدهٔ عملیات شعبه بانک. کارکنان جدیدی به همراه طراحی فضای جدیدی برای مشتری در دو شعبه مورد استفاده قرار گرفت. تیم، برنامهٔ آموزش جدیدی را طراحی و در دو شعبه، یکی با طراحی جدید فضای مشتری و دیگری بدون امکانات جدید، اجرا کرد. (این یک آزمایش عاملی با دو عامل و هر عامل در دو سطح بود.)

تیم تصمیم گرفت آزمایش را به مدت ۳۰ روز اجرا کند. هر روز به‌عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد. بلوک‌بندی روشی است برای حذف اثرات مربوط به عامل‌های اغتشاش. در این آزمایش، نوع خدمت، حجم خدمت و مشتریان مختلف در هر یک از چهار شعبه به‌عنوان عامل‌های اغتشاش تعریف شدند. میزان رضایت مشتری در مورد مشخصه‌های بحرانی برای کیفیت شناسایی شده به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شده بود.

نتایج حاصل از آزمایش بیانگر وجود تفاوت معناداری بین فضای جدید تخصیص داده شده به مشتری و آموزش‌های جدید با فضا و آموزش‌های قبلی بود. استفاده از فضای طراحی شده جدید برای مشتری به همراه آموزش‌های جدید باعث بهبود قابل‌توجهی در میزان رضایت مشتری در خدمات بانکداری کلیهٔ شعب این بانک شد.

واژه‌ها و مفاهیم مهم

بازنگری پایان مرحله
تحلیل حالت‌های شکست و اثرات آن
شش سیگما
طراحی برای شش سیگما
متغیرهای خروجی فرآیند کلیدی
متغیرهای ورودی فرآیند کلیدی
مرحلهٔ اندازه‌گیری
مرحلهٔ بهبود
مرحلهٔ تحلیل
مرحلهٔ تعریف
مرحلهٔ کنترل
منشور پروژه
نمودار SIPOC
DMAIC

Www.iepnu.com

تمرین‌ها

۲-۱ آیا فلسفهٔ دمینگ در مقایسه با فلسفهٔ جوران بیشتر بر آمار تمرکز دارد؟

۲-۲ سه گانهٔ جوران چیست؟

۲-۳ جایزهٔ ملی کیفیت ملکولم بالدریج چیست؟ چه کسی واجد شرایط دریافت این جایزه است؟

۲-۴ منظور از یک فرآیند شش سیگما چیست؟

۲-۵ فلسفه‌های کیفیت دمینگ و جوران را با یکدیگر مقایسه و نقاط اشتراک و افتراق آنها را تعیین کنید.

۲-۶ انگیزهٔ اصلی برای حضور یک سازمان در جایزهٔ ملی کیفیت ملکولم بالدریج چیست؟

۲-۷ چند صد سازمان توانسته‌اند تا بحال جایزهٔ ملی کیفیت ملکولم بالدریج را دریافت کنند. از بین این سازمان‌ها دو مورد را انتخاب و اطلاعاتی در بارهٔ آنها تهیه کنید. چه تفاوت‌هایی را در این سازمان‌ها بعد از دریافت این جایزه مشاهده می‌کنید؟

۲-۸ مثال رستوران که قبلاً بحث شد را در نظر گیرید و به سوالات زیر پاسخ دهید:

الف- اگر احتمال کیفیت خوب برای هر یک از مولفه‌های غذا ۰/۹۹۹ باشد آنگاه نتایج به چه صورت تغییر خواهد کرد؟

ب- چه سطحی از کیفیت برای هر یک از مولفه‌های غذا نیاز است تا بتوان به سطح کیفیت سالانهٔ مورد نظر شما دست یافت؟

۲-۹ شباهت‌های بین چرخهٔ شوهارت و DMAIC را توضیح دهید.

۲-۱۰ یک سیستم خدماتی که استفاده می‌کنید را توصیف کنید. CTQهایی که از نظر شما مهم هستند را نام ببرید. فکر می‌کنید DMAIC را چگونه می‌توان در مورد این فرآیند استفاده کرد؟

۲-۱۱ یکی از اهداف طرح کنترل در DMAIC، حفظ دستاوردها است. منظور از حفظ دستاوردها چیست؟

۲-۱۲ آیا مرحله‌ای وجود دارد که بهبود کیفیت و بهره‌وری بعد از آن مرحله از لحاظ اقتصادی توصیه نشود؟ چرا؟

۲-۱۳ اهمیت ارزیابی پایان مرحله را در فرآیند DMAIC توضیح دهید.

۲-۱۴ شناسایی متغیرهای ورودی فرآیند کلیدی (KPIV) و متغیرهای خروجی فرآیند کلیدی (KPOV) یک بخش مهم یک پروژه محسوب می‌شود. فرض کنید شما مالک/ مدیر یک شرکت کوچک که صندوق پستی اجاره می‌دهد و خدمات کپی و پستی ارایه می‌کند هستید. KPIVها و KPOVها را برای این شرکت تعیین کنید. چگونه آن‌ها را به CTQ های محتمل مشتری مرتبط می‌سازید؟

۲-۱۵ شناسایی متغیرهای ورودی فرآیند کلیدی (KPIV) و متغیرهای خروجی فرآیند کلیدی (KPOV) یک بخش مهم یک پروژه محسوب می‌شود. فرض کنید شما مسئول بخش اورژانس یک بیمارستان هستید. KPIVها و KPOVها را برای بخش اورژانس تعیین کنید. چگونه آن‌ها را به CTQهای محتمل مشتری مرتبط می‌سازید؟

۲-۱۶ چرا آزمایش‌های طراحی شده برای مرحلهٔ بهبود DMAIC بسیار مفید است؟

۲-۱۷ فرض کنید فرآیند کسب و کار شما در سطح کیفیت ۳ سیگما قرار دارد. اگر پروژه‌ها به‌طور متوسط ۵۰ درصد بهبود در عملکرد حاصل کنند آنگاه چند سال طول خواهد کشید تا به سطح کیفیت شش سیگما دست یابید؟

۲-۱۸ فرض کنید کسب و کار شما در سطح کیفیت ۴/۵ سیگما قرار دارد. اگر پروژه‌ها به‌طور متوسط ۵۰ درصد بهبود در عملکرد حاصل کنند آنگاه چند سال طول خواهد کشید تا به سطح کیفیت شش دست یابید؟

۲-۱۹ توضیح دهید که چرا تقسیم منابع تغییرپذیری به انحرافات با دلیل و انحرافات تصادفی مهم است؟

۲-۲۰ فرض کنید بهبود کیفیت در یک رستوران مورد نظر است. چه KPIVها و KPOVهایی را در نظر می‌گیرید. چگونه آن‌ها را به CTQهای محتمل مشتری مرتبط می‌سازید؟

۲-۲۱ فرض کنید طی انجام یک پروژه، در مرحلهٔ تحلیل راه حل مشخصی ارائه می‌شود. آیا می‌توان این راه حل را به سرعت اجرا و مراحل بعدی DMAIC را متوقف ساخت؟ توضیح دهید.

۲-۲۲ چه اطلاعاتی برای تهیهٔ یک مدل شبیه‌سازی گسسته

Www.iepnu.com

پیشامد برای عملیات یک شعبهٔ بانک باید جمع‌آوری کرد؟ توضیح دهید که چگونه این مدل را می‌توان برای تعیین تعداد مناسب کارکنان بانک استفاده کرد؟

۲-۲۳ فرض کنید شما مدیر بخش رزرو بلیط در یک خط هوایی هستید و می‌خواهید کیفیت خدمات خود را بهبود دهید. CTQهای مهم برای این فرآیند کدامند؟ KPIVها و KPOVها کدامند؟ چگونه آن‌ها را به CTQهای شناسایی شده مرتبط می‌سازید؟

۲-۲۴ عملکرد سالم به زمین نشستن یک هواپیمای مسافرتی در سطح پنج سیگما برآورد شده است. تعداد نقص در میلیون برای این فرآیند چه میزان است؟

۲-۲۵ توضیح دهید که چرا به‌طور کلی تعیین چیزی که باید اندازه‌گیری شود و نحوهٔ اندازه‌گیری در فرآیندهای خدماتی و کسب و کارهای تراکنشی دشوارتر از فرآیندهای تولیدی است؟

۲-۲۶ فرض کنید می‌خواهید فرآیند سوار شدن مسافرین به یک هواپیما را بهبود دهید. آیا مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد می‌تواند برای این فرآیند مفید باشد؟ چه داده‌هایی باید برای تهیه این مدل جمع‌آوری کرد؟

Www.iepnu.com

فصل سوم ابزارها و روش‌های کنترل و بهبو

استفاده از شش سیگما برای کاهش قطره‌های سرفهٔ نامنطبق در یک شرکت انگلیسی

بازار دارو در اروپا به شدت رقابتی است. رشد، آهسته و بازار استاندارد است. به منظور حفظ بازار و حضور در رقابت تنگاتنگ، سازمان‌ها باید تلاش کنند تا هزینه‌ها را کاهش و کیفیت را ارتقاء دهند. اخیراً یک تولید کنندهٔ قطره سرفه در انگلیس تلاش کرده است تا اثربخشی رویکرد DMAIC را برای کاهش هزینه ارزیابی کند.

تعریف:

تیم حل مساله، غلظت قطره سرفه که می‌تواند علت توقف تجهیزات و افزایش سطح دور ریز و دوباره کاری باشد را به‌عنوان یک مشخصهٔ کیفی کلیدی انتخاب کرد. آنها یک نمودار علت و معلول برای دسته‌بندی عوامل بالقوهٔ تأثیرگذار بر تغییرات غلظت قطرهٔ سرفه تهیه کردند.

اندازه‌گیری:

به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی دقیق غلظت قطره سرفه، تیم اقدام به خرید ابزاری کرد که امکان انجام این کار را فراهم می‌ساخت. سپس تیم با استفاده از میانگین غلظت نمونه‌های جمع آوری شده طی دو هفته یک نمودار کنترل تهیه کرد.

تحلیل:

یک تحلیل فراوانی (نمودار هیستوگرام) حاکی از وجود تعداد کمی قطرهٔ بزرگ و تعداد زیادی قطرهٔ کوچک بود. آنها با رسم یک نمودار پراکندگی برای اندازهٔ قطره بر حسب وزن آن پی بردند که وزن برخی از قطره‌ها در مقایسه با اندازهٔ آنها کم است. پس از بررسی دقیق‌تر تیم متوجه شد که این قطره‌ها شامل حباب‌های هوا است. آنها مراحل DMAIC اولیه را اصلاح و جلسهٔ طوفان

Www.iepnu.com

فکری برگزار کردند و با مطالعهٔ دقیق مراحل فرآیند سعی کردند محل ورود حباب هوا در فرایند را شناسایی کنند.

بهبود:
در مرحلهٔ بعد، تیم با انجام یک سری آزمایش‌های طراحی شده، تنظیمات فرآیند را به‌گونه‌ای تعیین کرد تا میزان حباب‌های هوا به حداقل مقدار خود رسد. تیم با نصب سیستم‌هایی تلاش کرد تا قطره‌هایی که شامل حباب‌های هوا بود را شناسایی و جمع‌آوری کند. آنها همچنین فرآیند برچسب زنی با انجام یک سری آزمایش بهبود دادند.

کنترل:
در نهایت، تیم پس از تهیهٔ مستندات کامل مربوط به تغییرات ایجاد شده در فرآیند، تمامی کارکنان را با هدف فراگیری رویه‌های جدید آموزش داد. آنها همچنین از نمودارهای کنترل برای شناسایی تغییرات فرآیند که منجر به ایجاد حباب‌های هوا می‌شد، استفاده کردند.

انجام این مراحل منجر به یک صرفه‌جویی ۲۹۰ ،۰۰۰ پوندی و کاهش نرخ دور ریز از ۱ در ۵ قطره به ۱ در ۱ ،۰۰۰ قطره یا بیشتر شد. از همه مهم‌تر اینکه سازمان اکنون درک بهتری نسبت به تأثیر پراکندگی در فرآیندها دارد.

مرور فصل و اهداف یادگیری

این فصل سه هدف اصلی دارد. هدف اول، ارائه چندین ابزار اولیهٔ بهبود کیفیت و نمایش ساختار یکپارچه آنها به‌عنوان چارچوبی عملی برای بهبود کیفیت است. این ابزارها، رویکرد بنیادی مهمی را برای کاهش پراکندگی و پایش عملکرد فرآیند تشکیل می‌دهند، که به‌طور گسترده در مراحل تحلیل و کنترل فرآیند DMAIC استفاده می‌شوند. هدف دوم، تشریح اصول آماری نمودار کنترل شوهارت است. خواننده با تأثیر اندازهٔ نمونه، فاصلهٔ نمونه‌گیری و مکان قرار گرفتن حدود کنترل بر عملکرد یک نمودار کنترل آشنا می‌شوند. سایر مفاهیم کلیدی شامل زیرگروه‌های منطقی، تفسیر هشدارها و روندها بر روی نمودار کنترل و متوسط طول تسلسل[1] (به‌عنوان سنجه عملکرد نمودار کنترل) می‌شود. هدف سوم، شامل توضیح و تشریح موضوعات عملی در استفاده از نمودارهای کنترل و سایر ابزارهای بهبود فرآیند مرتبط با آن می‌شود. این ابزارها را در کنار یکدیگر اصطلاحاً **کنترل فرآیند آماری**[2] می‌نامند. بعد از مطالعهٔ دقیق این فصل باید بتوانید موارد زیر را انجام دهید:

۱- علل تصادفی و با دلیل تغییرپذیری در یک فرآیند را درک کنید.
۲- اصول آماری نمودار کنترل شوهارت را توضیح دهید.
۳- ابزارهای بنیادی کنترل فرآیند آماری شامل هیستوگرام، نمودار شاخه و برگ، برگه کنترل، نمودار پارتو، نمودار علت و معلول، نمودار تمرکز نقص، نمودار پراکندگی و نمودار کنترل را درک کنید.
۴- نحوهٔ استفاده از قانون‌های حساس‌سازی و تشخیص روند برای نمودارهای کنترل را توضیح دهید.

1. Average run length - ARL
2. Statistical process control - SPC

Www.iepnu.com

۳-۱ مقدمه

اگر قرار باشد یک محصول مشخصه‌های مورد نظر مشتری را دارا باشد آن‌گاه این محصول باید به وسیله یک فرآیند پایدار یا تکرارپذیر تولید شود. به‌عبارت دیگر، فرآیند تولید باید از تغییرپذیری کمی در حول مقدار هدف یا ابعاد اسمی[1] مشخصه‌های کیفی محصول برخوردار باشد. کنترل فرآیند آماری مجموعهٔ قدرتمندی از ابزارهای حل مساله است که در ایجاد ثبات و پایداری در فرآیند و بهبود قابلیت آن از طریق کاهش تغییرپذیری نقش مهمی را ایفا می‌کند.

SPC به دلیل مبتنی بودن بر اصول علمی صحیح، سهولت در استفاده، تاثیر معنادار و قابلیت استفاده در هر فرآیندی، به‌عنوان بزرگ‌ترین دستاورد فنی قرن بیستم محسوب می‌شود. ابزار هفت‌گانه SPC عبارتند از:

هفت ا

۱- هیستوگرام
۲- برگهٔ کنترل
۳- نمودار پارتو
۴- نمودار علت و معلول
۵- نمودار تمرکز نقص
۶- نمودار پراکندگی
۷- نمودار کنترل

گرچه این ابزارها که غالباً آنها را **هفت ابزار** عالی می‌نامند بخش مهمی از SPC محسوب می‌شوند ولی این ابزارها فقط جنبه‌های فنی آن را تشکیل می‌دهند. اجرای مناسب SPC می‌تواند به ایجاد محیطی که در آن افراد یک سازمان علاقه‌مند به بهبود مستمر در کیفیت و بهره‌وری باشند کمک کند. این محیط زمانی در بهترین حالت خود ظاهر می‌شود که مدیریت نیز در آن مشارکت داشته باشد. زمانی که این محیط ایجاد شود، استفادهٔ روزمره از ابزارهای هفت‌گانه عالی بخشی از فرهنگ سازمانی می‌شود و سازمان در مسیر تعالی و دستیابی به اهداف بهبود کیفیت گام بر می‌دارد.

در بین این ابزارها احتمالاً نمودار کنترل، از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. نمودارهای کنترل در دهه ۱۹۲۰ توسط دکتر والتر شوهارت[2]، که در آن زمان در آزمایشگاه‌های تلفن بل کار می‌کرد پایه‌گذاری شد. به منظور درک اصول آماری SPC ابتدا باید با اصول تئوری شوهارت در مورد تغییرپذیری آشنا شد.

۳-۲ انحراف‌های تصادفی و با دلیل در تغییرپذیری کیفیت

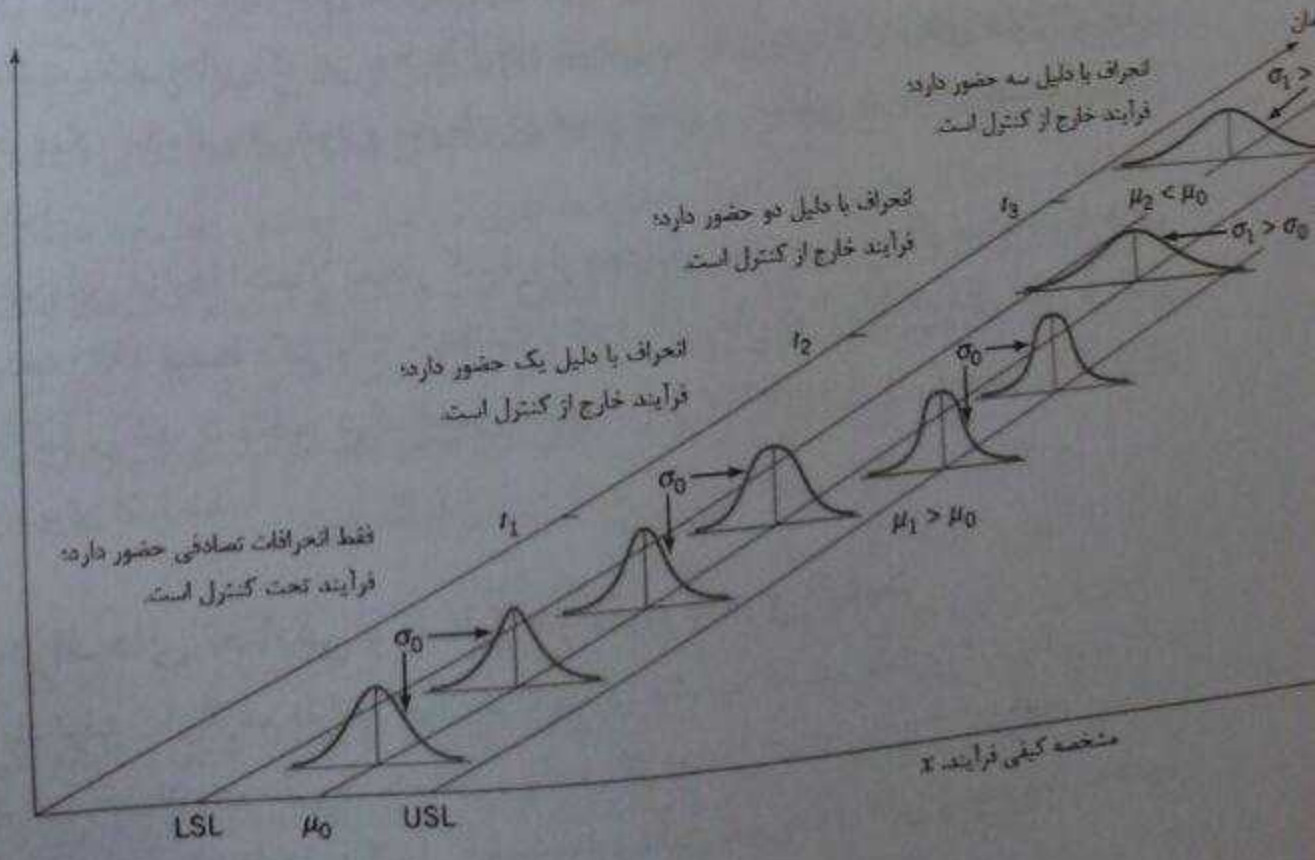
هر فرآیند تولید، علی‌الرغم طراحی خوب یا نگهداری مناسب، همیشه مقداری تغییرپذیری ذاتی خود دارد. این تغییرپذیری ذاتی یا اغتشاش[3]، حاصل اثر تجمعی تعداد زیادی از انحرافات کوچک و غیرقابل اجتناب است. در چارچوب کنترل کیفیت آماری، این تغییرپذیری ذاتی را معمولاً به‌عنوان

Www.iepnu.com

یک سیستم پایدار "**انحرافات تصادفی**" می‌شناسیم. فرآیندی که فقط در حضور انحرافات تصادفی عمل کند را **فرآیند تحت کنترل آماری** می‌نامند. به‌عبارت دیگر، انحرافات تصادفی بخش لاینفک فرآیند محسوب می‌شود.

در برخی مواقع ممکن است انواع دیگری از تغییرپذیری نیز در خروجی یک فرآیند مشاهده شود. تغییرپذیری در مشخصه‌های کیفی کلیدی معمولاً از سه منبع ناشی می‌شود: تنظیم نادرست دستگاه، خطاهای اپراتور و یا مواد اولیه معیوب. به‌طور کلی، یک چنین تغییرپذیری در مقایسه با اغتشاشات ذاتی موجود در فرآیند بزرگ‌تر است و معمولاً بیانگر سطح غیر قابل قبولی برای عملکرد فرآیند است. این منابع تغییرپذیری که بخشی از انحرافات تصادفی محسوب نمی‌شود را به‌عنوان **انحرافات با دلیل**[1] می‌شناسیم. فرآیندی که در حضور انحرافات با دلیل عمل می‌کند را **فرآیند خارج از کنترل** می‌نامند.

این انحرافات تصادفی و با دلیل در شکل ۳-۱ نشان داده است. تا زمان t_1، فرآیند مورد نظر تحت کنترل قرار دارد و یا به‌عبارت دیگر فقط انحرافات تصادفی در فرآیند حضور دارند. در نتیجه، میانگین و انحراف معیار هر دو تحت کنترل (با مقادیری نظیر μ_0 و σ_0) هستند. در زمان t_1 یک انحراف با دلیل ظاهر می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است اثر این انحراف با دلیل، تغییر میانگین از μ_0 به مقدار جدیدی نظیر $\mu_1 > \mu_0$ است. در زمان t_2 یک انحراف با دلیل دیگر ظاهر و سبب می‌شود تا میانگین مجدداً به $\mu = \mu_0$ تغییر کند، ولی این بار انحراف معیار به مقدار بزرگ‌تری ($\sigma_1 > \sigma_0$) تغییر یافته است. در زمان t_3 یک انحراف با دلیل دیگر ظاهر و سبب می‌شود تا میانگین و انحراف معیار فرآیند هر دو مقادیر خارج از کنترل اختیار کنند. از زمان t_1 به بعد، حضور انحرافات با دلیل سبب شده که فرآیند در حالت خارج از کنترل قرار گیرد.



شکل ۳-۱ تغییرات حاصل از انحرافات تصادفی و با دلیل.

Www.iepnu.com

فرآیندها غالباً طی مدت زمان نسبتاً طولانی در حالت تحت کنترل به سر می‌برند. بدیهی است که هیچ فرآیندی به‌طور دائمی پایدار نیست و تدریجاً انحرافات با دلیل (معمولاً به‌صورت اتفاقی) ظاهر و باعث می‌شوند تا فرآیند به حالت خارج از کنترل تغییر پیدا کند. در چنین حالتی، درصد زیادی از خروجی فرآیند با خواسته‌های موردنظر انطباق نخواهند داشت. به‌عنوان مثال، در شکل ۳-۱ زمانی‌که فرآیند در حالت تحت کنترل به سر می‌برد اغلب محصولات تولیدشده بین حدود مشخصه‌های پایین و بالا قرار می‌گیرد ولی زمانی‌که فرآیند به حالت خارج از کنترل تغییر پیدا می‌کند، نسبت زیادتری از محصولات فرآیند خارج از حدود مشخصه‌های تعریف شده قرار می‌گیرند.

یکی از اهداف اصلی کنترل فرآیند آماری شناسایی سریع انحرافات با دلیل یا تغییرات در فرآیند است تا از تولید تعداد زیادی محصول معیوب اجتناب و علل ایجاد چنین انحرافاتی بررسی و اقدامات اصلاحی لازم انجام شود. **نمودار کنترل** یکی از روش‌های کنترل فرآیند در حین تولید است که برای این منظور مناسب خواهد بود. نمودارهای کنترل را نیز می‌توان برای برآورد پارامترهای یک فرآیند تولید استفاده کرد و اطلاعات حاصل را برای تعیین قابلیت فرآیند به کار برد. نمودار کنترل را همچنین می‌توان به منظور تهیه اطلاعات مفید برای بهبود فرآیند استفاده کرد. نهایتاً باید به خاطر داشت که هدف اصلی کنترل فرآیند آماری **حذف تغییرپذیری فرآیند** است. این امکان وجود ندارد که بتوان کل تغییرپذیری فرآیند را حذف کرد ولی نمودار کنترل را می‌توان به‌عنوان ابزار مؤثری برای کاهش تغییرپذیری فرآیند استفاده کرد.

اصول آماری نمودارهای کنترل در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در فصل‌های ۵ و ۶ جزئیات تهیه و استفاده از انواع نمودارهای کنترل بحث خواهد شد.

۳-۳ نمودار کنترل

یک نمونه از نمودار کنترل در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در یک نمودار کنترل، یک مشخصه کیفی که بر اساس اطلاعات نمونه، اندازه‌گیری یا محاسبه شده است برحسب شماره نمونه یا زمان نمایش داده می‌شود. نمودار شامل یک **خط مرکز**[1] است که مقدار متوسط مشخصهٔ کیفی را در حالت تحت کنترل و یا به‌عبارت دیگر مرحله‌ای از فرآیند که فقط خطاهای تصادفی حضور دارند را نشان می‌دهد. دو خط افقی دیگر که **حد کنترل بالا**[2] و **حد کنترل پایین**[3] نامیده می‌شوند در این نمودار نشان داده شده است. این حدود کنترل به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که اگر فرآیند تحت کنترل باشد، آن‌گاه تقریباً کلیهٔ نقاطی که براساس اطلاعات نمونه محاسبه شده‌اند بین این حدود واقع می‌شوند. تا زمانی‌که نقاط بین حدود کنترل قرار می‌گیرند، فرض می‌شود که فرآیند تحت کنترل است و نیازی به اقدام اصلاحی نیست. اگر نقطه‌ای خارج

Www.iepnu.com

از حدود کنترل رسم شود، آنگاه نتیجه‌گیری می‌شود که فرآیند در شرایط خارج از کنترل به سر می‌برد و اقدامات اصلاحی برای شناسایی منبع ایجاد انحراف یا انحرافات با دلیل و حذف آنها ضروری است. معمولاً مرسوم است که نقاط رسم شده بر روی نمودار کنترل به وسیله خط راست به یکدیگر متصل شوند تا راحت‌تر بتوان توالی نقاط در طول زمان را مشاهده کرد.

حتی اگر کلیهٔ نقاط در داخل حدود کنترل واقع شوند ولی دارای یک روند غیرتصادفی یا نظام‌مند باشند آن‌گاه آن را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از فرآیند خارج از کنترل در نظر گرفت. به‌عنوان مثال، اگر ۱۸ نقطه از ۲۰ نقطهٔ آخر بین خط مرکز و حد کنترل بالا قرار گیرد و فقط دو نقطه بین خط مرکز و حد کنترل پایین رسم شوند، آن‌گاه نتیجه‌گیری می‌شود که اشکالی در فرآیند وجود دارد. اگر فرآیند تحت کنترل باشد آنگاه روند نقاط در نمودار کنترل باید به‌صورت تصادفی ظاهر شود. روش‌های بررسی توالی یا روندهای غیرتصادفی نقاط بر روی نمودارهای کنترل را می‌توان برای پی بردن به حالت خارج از کنترل استفاده کرد. معمولاً دلیلی برای پدیدار شدن یک روند غیرتصادفی خاص بر روی نمودارهای کنترل وجود دارد و اگر بتوان آن را شناسایی و حذف کرد آن‌گاه عملکرد فرآیند بهبود می‌یابد.

به منظور روشن شدن نکتهٔ فوق مثال زیر را در نظر گیرید. یکی از مراحل مهم در تولید قطعات نیمه‌هادی مرحلهٔ فتولیتوگرافی است که در این مرحله الگوی مدار را با استفاده از نور ماوراء بنفش بر روی پولک سیلیکونی نشانده و بخش‌های اضافی در مراحل بعدی فرآیند حذف می‌شود. سپس طی یک فرآیند شیمیایی یا حکاری پلاسما در محل الگوی مواد نشانده شده شیار ایجاد می‌شود. مرحلهٔ بعدی فرآیند پخت سخت است که به مقاومت حکاری کمک می‌کند. یکی از مشخصه‌های کیفی مهم در این مرحله افزایش پهنای شیار ایجاد شده است. فرض کنید می‌توان پهنای شیار را در میانگین ۱/۵ میکرون کنترل کرد. تجارب گذشته مقدار ۰/۱۵ میکرون را برای انحراف معیار نشان می‌دهد. نمودار کنترل برای میانگین پهنای شیار در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. هر یک ساعت یک نمونه پنج‌تایی انتخاب و میانگین پهنای شیار $(\bar{x})$ محاسبه و بر روی نمودار رسم می‌شود. از آنجایی‌که این نمودار از میانگین نمونه $\bar{x}$ جهت پایش میانگین فرآیند استفاده می‌کند، آن را معمولاً نمودار کنترل $\bar{x}$ می‌نامند. باید توجه داشت که کلیهٔ نقاط در داخل حدود کنترل رسم شده است. بنابراین، فرآیند در کنترل آماری به سر می‌برد.

به منظور تسهیل درک بهتر اصول آماری این نمودار کنترل، روش تهیه آن را توضیح می‌دهیم. میانگین و انحراف معیار این فرآیند به ترتیب ۱/۵ و ۰/۱۵ میکرون است. حال اگر اندازه نمونه‌های ۵تایی از فرآیند مورد نظر انتخاب شود، آن‌گاه انحراف معیار میانگین نمونه $\bar{x}$ برابر خواهد بود:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{۰/۱۵}{\sqrt{۵}} = ۰/۰۶۷۱$$

Www.iepnu.com

بنابراین، اگر فرایند با میانگین بهای شیار ۱/۵ میکرون تحت کنترل باشد، آن‌گاه می‌توان با استفاده از قضیهٔ حد مرکزی فرض کرد که $\bar{x}$ تقریباً دارای توزیع نرمال است و تحت چنین شرایطی باید انتظار داشت که $(1-\alpha)100\%$ از میانگین نمونه‌ها با $\bar{x}$ بین $1/5 + Z_{\alpha/2}(\sigma/\sqrt{n})$ و $1/5 - Z_{\alpha/2}(\sigma/\sqrt{n})$ قرار گیرند. مقدار $Z_{\alpha/2}$ به‌طور اختیاری ۳ انتخاب می‌شود که در این صورت حدود کنترل بالا و پایین به ترتیب برابر خواهد بود با:

$$UCL = 1/5 + 3(0/0671) = 1/7013$$

و

$$LCL = 1/5 - 3(0/0671) = 1/2987$$

این حدود همان حدودی هستند که قبلاً بر روی نمودار نشان داده شده است. این حدود کنترل را معمولاً حدود کنترل "سه انحراف معیار"[1] می‌نامند. با در نظر گرفتن ضریب خاصی از انحراف معیار می‌توان مشاهده کرد که فاصلهٔ بین حدود کنترل به‌طور معکوس با اندازه نمونه n متناسب است. باید توجه داشت که انتخاب حدود کنترل در مثال فوق شبیه به تعیین ناحیهٔ بحرانی برای آزمون فرض زیر است:

$$H_0: \mu = 1/5$$
$$H_1: \mu \neq 1/5$$

اساساً، نمودار کنترل یک‌چنین فرضی را در مقاطع مختلفی از زمان آزمون می‌کند. این حالت به‌صورت نموداری در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

می‌توان یک مدل عمومی برای نمودار کنترل ارائه کرد. فرض کنید مشخصهٔ کیفی مورد نظر به وسیله آمارهٔ w اندازه‌گیری می‌شود و همچنین فرض کنید که میانگین و انحراف معیار w به ترتیب برابر با μ_w و σ_w است. بنابراین، خط مرکز، حد کنترل بالا و حد کنترل پایین برابر خواهند بود با:

$$\begin{aligned} UCL &= \mu_w + L\sigma_w \\ CL &= \mu_w \\ LCL &= \mu_w - L\sigma_w \end{aligned} \qquad (۱-۳)$$

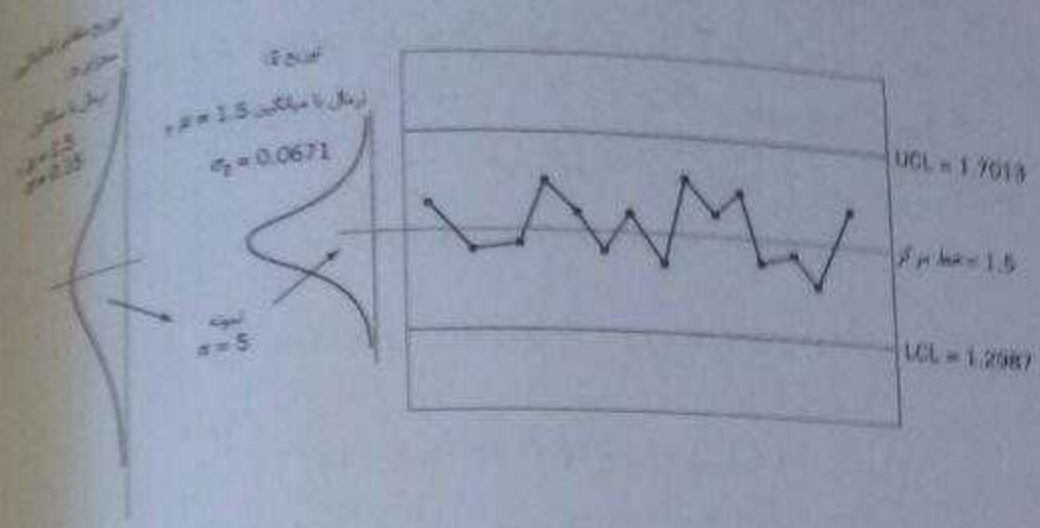
در رابطهٔ فوق، L فاصلهٔ حدود کنترل از خط مرکز را برحسب واحد انحراف معیار نشان می‌دهد. این تئوری کلی نمودارهای کنترل بار اول توسط دکتر والتر شوهارت ارائه شد و نمودارهای کنترلی که از چنین قانونی پیروی می‌کنند را نمودارهای کنترل شوهارت می‌نامند.

نمودار کنترل ۳ س
سیگما در نمودار کنت
به انحراف معیار آم
نمودار رسم شده است
معیار ویژگی‌های کیف

توجه کنید که سیگ
سه سیگما اشاره
آماره‌ای دارد که روی
است ($\sigma_{\bar{x}}$)، نه
ویژگی‌های کیفیت

[1] control limits

Www.iepnu.com



نمودار کنترل ابزاری برای ارائه تعریف دقیقی از معنای کنترل آماری است که در این صورت می‌توان از آن به صور مختلف استفاده کرد. بیشترین کاربرد این نمودارها برای پایش و کنترل فرآیند حین تولید است. به‌عبارت دیگر، داده‌های نمونه برای تهیه نمودار کنترل جمع‌آوری می‌شود و اگر مقادیر (به فرض) $\bar{x}$ حاصل بین حدود کنترل قرار گیرند و روند خاصی از خود نشان ندهند نتیجه می‌گیریم که فرآیند در سطح نشان داده شده تحت کنترل قرار دارد. همچنین ممکن است علاقه‌مند باشیم که بدانیم آیا داده‌های قبلی از فرآیندی تحت کنترل جمع‌آوری شده و آیا نمونه‌های آتی که از این فرآیند تهیه می‌شود تحت کنترل آماری خواهند بود یا خیر؟

مهمترین دلیل استفاده از یک نمودار کنترل، **بهبود** وضعیت موجود در یک فرآیند است. به‌طور کلی می‌دانیم که:

۱- اغلب فرآیندها در شرایط کنترل آماری به سر نمی‌برند و

۲- بنابراین، استفاده دقیق و مستمر از نمودارهای کنترل به شناسایی انحرافات با دلیل کمک می‌کند. اگر این انحرافات با دلیل را بتوان از فرآیند حذف کرد آنگاه تغییرپذیری کاهش و فرآیند بهبود می‌یابد.

۳- نمودار کنترل فقط انحرافات با دلیل را **شناسایی می‌کند**. معمولاً حذف انحرافات با دلیل نیاز به **اقدامات** مدیریتی، مهندسی و اپراتوری دارد.

به منظور شناسایی و حذف انحرافات با دلیل، باید ابتدا **منابع اصلی ایجاد مشکل** شناسایی و حذف شوند. هرگونه راه حل مقطعی باعث بهبود کامل فرآیند در بلندمدت نخواهد شد. بنابراین، برای یک سیستم مؤثر برای انجام اقدامات اصلاحی یکی از مؤلفه‌های ضروری یک سیستم SPC تأثیرگذار محسوب می‌شود.

طرح اقدام خارج از کنترل[1]، یکی از بخش‌های مهم فرآیند اقدام اصلاحی مرتبط با نمودار کنترل است. OCAP یک نمودار جریان یا تشریح توالی فعالیت‌هایی است که باید بعد از رخداد یک

1. Out-of-control-action plan - OCAP

Www.iepnu.com

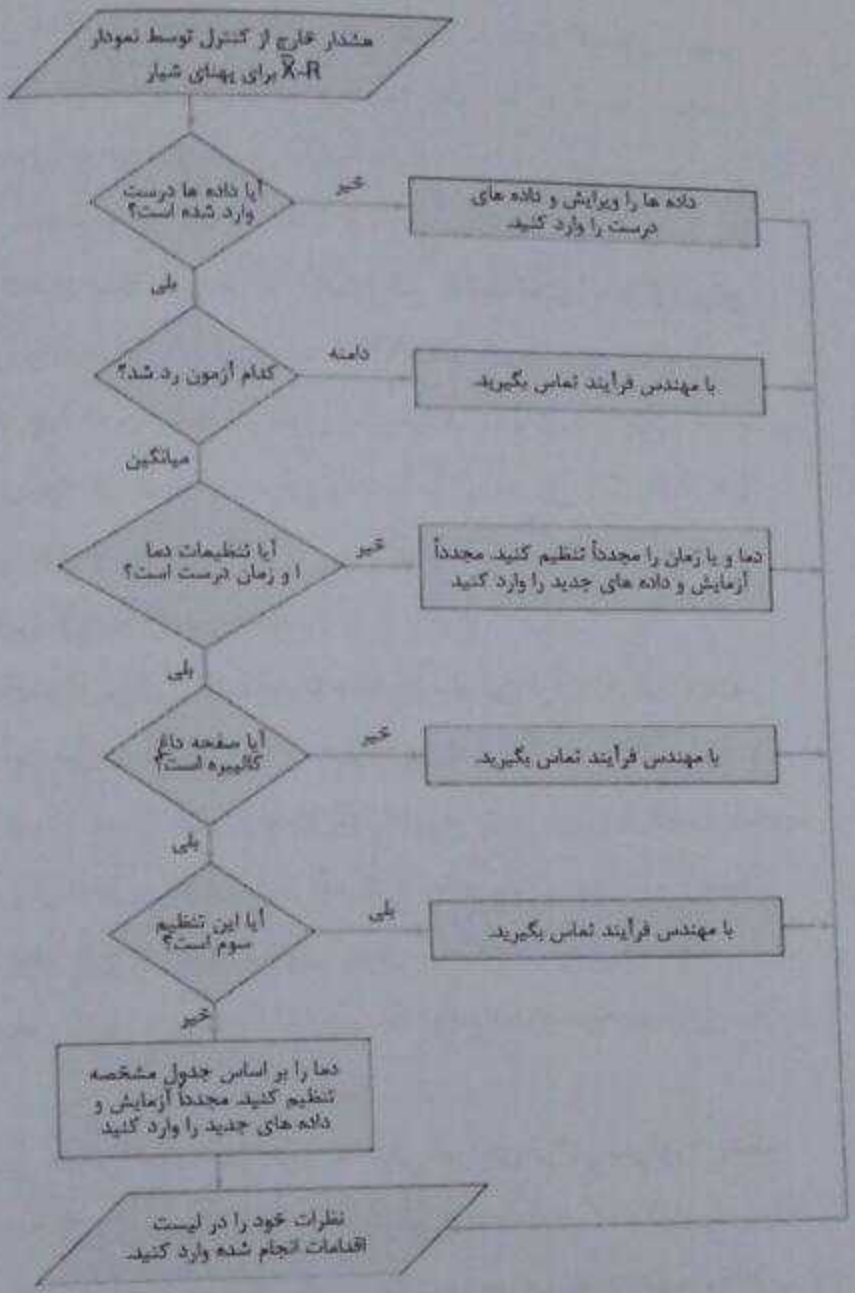
رویداد فعال‌سازی انجام شود. این فعالیت‌ها معمولاً منتج از هشدارهای نمودار کنترل است. OCAP شامل نقاط بازرسی[1] یا انحرافات با دلیل بالقوه و خاتمه دهنده‌ها[2] یا اقدامات انجام‌شده برای رفع حالت خارج از کنترل، ترجیحاً از طریق حذف انحراف با دلیل، است. بسیار حائز اهمیت است که OCAP شامل مجموعه‌ای کامل از نقاط بازرسی و خاتمه‌دهنده‌ها باشد به گونه‌ای که ترتیب آنها به فعالیت‌های تشخیصی فرایند کمک کند. غالباً، تحلیل حالت‌های شکست فرآیند و یا محصول می‌تواند به طراحی این جنبه از OCAP کمک کند. به علاوه، OCAP یک مستند زنده است چرا که این سند در طول زمان با فراهم شدن اطلاعات و درک بیشتر از فرآیند، اصلاح می‌شود. در نتیجه با معرفی یک نمودار کنترل یک OCAP اولیه نیز به همراه آن معرفی می‌شود. نمودارهای کنترل بدون OCAP نمی‌توانند به‌عنوان یک ابزار بهبود فرآیند از اثربخشی لازم برخوردار باشند.

OCAP فرآیند پخت سخت در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. این فرآیند دارای دو متغیر قابل کنترل دما و زمان است. در این فرآیند، میانگین پهنای شیار به وسیله یک نمودار کنترل $\bar{x}$ و تغییرپذیری فرآیند به وسیله یک نمودار کنترل دامنه یا نمودار R پایش می‌شود. باید توجه داشت که در صورت مشاهدهٔ یک نقطه خارج از کنترل بر روی نمودار R، کارکنان عملیات به سرعت با مهندس فرآیند تماس می‌گیرند. اگر یک نقطه خارج از کنترل بر روی نمودار $\bar{x}$ مشاهده شود آن‌گاه تنظیمات فرآیند و کالیبراسیون بررسی و سپس تلاش می‌شود تا با تنظیم دما، فرآیند به حالت تحت کنترل باز گردد.

نمودار کنترل را همچنین ممکن است بخواهیم به‌عنوان **ابزاری برای برآورد یک پارامتر** استفاده کنیم. به‌عبارت دیگر، از نمودار کنترلی که شرایط تحت کنترل بودن را نشان می‌دهد می‌توان پارامترهای خاصی از فرآیند نظیر میانگین، انحراف معیار، نسبت اقلام معیوب و غیره را برآورد کرد. در این صورت می‌توان این برآوردها را برای تعیین **قابلیت فرآیند** به منظور تولید محصولات قابل قبول استفاده کرد. انجام این‌گونه مطالعات، بر روی اغلب تصمیمات مدیریتی که در طول عمر یک محصول اتخاذ می‌شود اثر قابل توجهی خواهد داشت. این تصمیمات می‌تواند شامل تصمیماتی نظیر ساخت یا خرید یک قطعه، بهبود فرآیند یا شرایط کار و در نتیجه کاهش تغییرپذیری در فرآیند و توافقات قراردادی با مشتریان یا تأمین‌کنندگان در مورد کیفیت محصول باشد.

نمودارهای کنترل را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد. اگر بتوان یک مشخصه کیفی را اندازه‌گیری و به‌صورت عدد در مقیاس پیوسته بیان کرد آن‌گاه آن را یک **متغیر** می‌نامند. در این صورت، به راحتی می‌توان مشخصهٔ کیفی مورد نظر را براساس معیار تمایل مرکزی و تغییرپذیری توصیف کرد. نمودارهای کنترل مربوط به تمایل مرکزی و تغییرپذیری را

Www.iepnu.com



شکل ۳-۶ طرح اقدام خارج از کنترل (OCAP) برای فرآیند پخت سخت.

نمودارهای کنترل برای متغیرها[1] می‌نامند. نمودار $\bar{x}$ یکی از نمودارهایی است که کاربرد فراوانی در کنترل تمایل مرکزی دارد. در حالی‌که نمودارهای کنترل که براساس دامنهٔ نمونه یا انحراف معیار نمونه طراحی می‌شوند برای کنترل تغییرپذیری فرآیند استفاده می‌گردند. نمودارهای کنترل برای متغیرها در فصل ۶ بررسی خواهد شد. اغلب مشخصه‌های کیفی را ممکن است نتوان در مقیاس پیوسته یا حتی مقیاس کمّی اندازه‌گیری کرد. در چنین شرایطی ممکن است بتوان هر محصول را براساس معیار منطبق یا نامنطبق و یا شمارش تعداد عدم انطباق‌های آن گروه‌بندی کرد. نمودارهای کنترل برای چنین مشخصه‌های کیفی را **نمودارهای کنترل وصفی**[2] می‌نامند که در فصل ۶ بحث خواهد شد.

1.variables control charts
2. attribute control charts

Www.iepnu.com

طراحی نمودار کنترل یکی از عامل‌های مهم در زمان استفاده از نمودار کنترل است. منظور از طراحی، انتخاب اندازه نمونه، حدود کنترل و فراوانی نمونه‌گیری است. به‌عنوان مثال، در نمودار کنترل $\bar{x}$ که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است اندازهٔ نمونه برابر با ۵، حدود کنترل سه انحراف معیار و فراوانی نمونه‌گیری هر یک ساعت در نظر گرفته شده است. در اغلب مسائل کنترل کیفیت مرسوم است که طراحی نمودار کنترل با توجه به اصول آماری انجام شود. به‌عنوان مثال، می‌دانیم که افزایش اندازه نمونه احتمال خطا را کاهش می‌دهد و در نتیجه توانایی نمودار کنترل برای پی بردن به حالت خارج از کنترل بهبود می‌یابد. این‌گونه معیارهای آماری همراه با تجارب صنعتی باعث گردیده تا خطوط راهنما و رویه‌های کلی برای طراحی نمودارهای کنترل استفاده شود. این رویه‌ها معمولاً عامل‌های هزینه را به‌صورت تلویحی در نظر می‌گیرند. با وجود این اخیراً طراحی نمودارهای کنترل از دیدگاه **اقتصادی** مورد توجه قرار گرفته که هزینهٔ نمونه‌گیری، زیان‌های ناشی از تولید اقلام معیوب و هزینه‌های بررسی اخطارهای خارج از کنترل اشتباهی یا اصطلاحاً زنگ خطرهای اشتباهی[1] را در بر می‌گیرد.

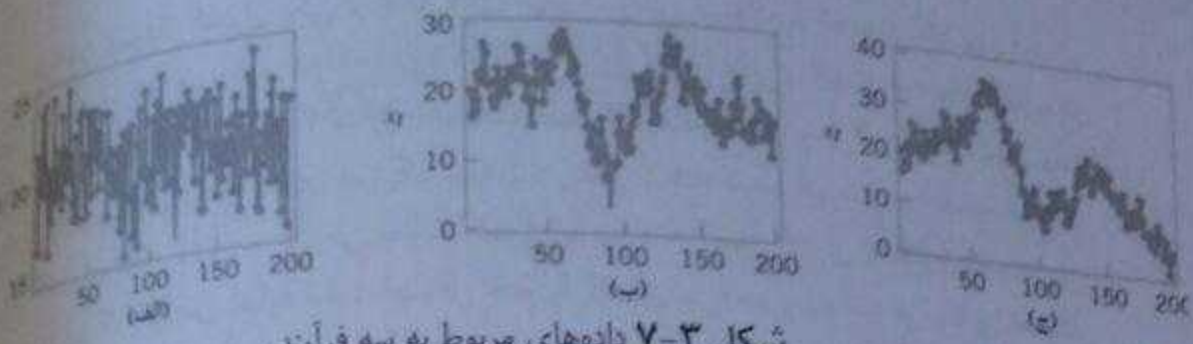
نوع تغییرپذیری فرآیند یکی از موضوعات مهمی است که در زمان استفاده از نمودار کنترل باید بدان توجه کرد. شکل ۳-۷ داده‌های حاصل از سه فرآیند مختلف را نشان می‌دهد. شکل‌های ۳-۷ الف و ۳-۷ب **رفتارهای ایستا**[2] را نشان می‌دهند. منظور آن است که فرآیند حول یک میانگین ثابت، به‌صورت ایستا یا قابل پیش‌بینی تغییر می‌کند. این نوع رفتار که شوهارت تلویحاً بدان اشاره کرد به وسیلهٔ یک **فرآیند تحت کنترل** ایجاد شده است.

حتی یک بررسی سطحی شکل‌های ۳-۷ الف و ۳-۷ ب تفاوت‌های بارزی را آشکار می‌سازد. داده‌های شکل ۳-۷الف غیر همبسته[3] هستند و یا به‌عبارت دیگر به نظر می‌رسد که مشاهدات به‌طور تصادفی از یک جامعهٔ ایستا و احیاناً با توزیع نرمال انتخاب شده‌اند. تحلیل‌گران سری‌های زمانی معمولاً این نوع داده‌ها را اغتشاش سفید[4] می‌نامند. (تحلیل سری‌های زمانی بخشی از آمار است که صرفاً به مطالعه و مدل‌سازی داده‌های مبتنی بر زمان می‌پردازند). در این فرآیند، توالی مشاهدات اطلاعات مفیدی در مورد تحلیل فرآیند به ما منعکس نمی‌کند چرا که مقادیر گذشته داده‌ها کمکی به پیش‌بینی مقادیر آینده نمی‌کند.

شکل ۳-۷ب داده‌های مربوط به یک فرآیند ایستا ولی **خود همبسته**[5] را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید مشاهدات متوالی به یکدیگر **وابسته** هستند و یا به‌عبارت دیگر یک مشاهدهٔ واقع شده در بالای میانگین با مشاهدهٔ دیگری در بالای میانگین و یک مشاهدهٔ واقع شده در پایین میانگین معمولاً با مشاهدهٔ دیگری در پایین میانگین دنبال می‌شود. این همبستگی باعث ایجاد سری‌هایی با تسلسل طولانی در هر طرف میانگین می‌شود.

شکل ۳-۷ج تغییرات **غیرایستا**[6] را نشان می‌دهد. این نوع داده‌های فرآیند معمولاً در صنایع شیمیایی یا فرایندی مشاهده می‌شود. باید توجه داشت که فرآیند بسیار غیرایستا است و یا به‌عبارت دیگر فرآیند بدون تصور یک میانگین ثابت و مشخصی برای آن در حال تغییر است. در اغلب فرآیندهای صنعتی این رفتار را می‌توان با استفاده از **کنترل فرآیند مهندسی**[7] (نظیر **کنترل بازخورد**) ایستا یا پایدار کرد. کنترل فرآیند مبتنی بر این رویکرد زمانی کاربرد پیدا می‌کند که

Www.iepnu.com



شکل ۳-۷ داده‌های مربوط به سه فرآیند.

الف- ایستا و غیرهمبسته (اغتشاش سفید) ب- ایستا و خودهمبسته. ج- غیرایستا

عامل‌هایی نظیر متغیرهای محیطی یا خواص مواد خام بر فرآیند تأثیر گذاشته و اجازه نمی‌دهد که بتوان فرآیند را به حالت ایستا یا پایدار درآورد. وقتی روش کنترل مؤثر باشد آن‌گاه خروجی فرایند شکل ۳-۷ج نخواهد بود و بیشتر به شکل‌های ۳-۷الف یا ۳-۷ ب شباهت خواهد داشت.

نمودارهای کنترل شوهارت زمانی که داده‌های فرآیند تحت کنترل به شکل ۳-۷الف شباهت داشته باشد از بیشترین اثربخشی برخوردار خواهند بود. به‌عبارت دیگر، نمودارهای کنترل را می‌توان به‌صورتی طراحی کرد که عملکرد آنها برای کاربر قابل پیش‌بینی و معقول و همچنین نسبت به تشخیص حالت‌های خارج از کنترل از اطمینان لازم برخوردار باشد. در اغلب مباحث مرتبط با نمودارهای کنترل که در این فصل و فصل‌های ۵ و ۶ مطرح می‌گردد فرض می‌شود که داده‌های فرآیند تحت کنترل ایستا و غیرهمبسته است. نمودارهای کنترل شوهارت را می‌توان با انجام تغییراتی برای داده‌های خود همبسته نیز استفاده کرد. همچنین این نمودارها را می‌توان برای سیستم‌هایی که دارای کنترل بازخورد هستند استفاده کرد.

نمودارهای کنترل از مهمترین ابزارهای کنترل مدیریتی محسوب می‌شود که از لحاظ اهمیت با کنترل‌های هزینه و مواد در یک سطح قرار می‌گیرند. فن‌آوری نوین رایانه‌ای این امکان را فراهم ساخته تا بتوان هرگونه نمودار کنترلی را برای هر فرآیند در زمان حقیقی جهت انجام تحلیل‌های مختلف در محل کار استفاده کرد. اطلاعات بیشتر در مورد اجرای برنامه‌های مرتبط با نمودارهای کنترل در فصل ۶ ارائه خواهد شد.

۳-۴ سایر ابزارهای هفت‌گانه عالی

گرچه نمودار کنترل ابزاری قدرتمند برای حل مسأله و بهبود فرآیند است ولی بیشترین کارایی آن زمانی حاصل می‌شود که آن را در یک برنامه کنترل فرآیند آماری استفاده کنیم. ابزارهای هفت‌گانه حل مسأله SPC را باید به‌طور فراگیر در سازمان‌ها تدریس و از آنها باید به‌طور مستمر برای شناسایی فرصت‌های بهبود کیفیت استفاده کرد تا از این طریق تغییرپذیری کاهش‌یافته و اتلاف‌ها حذف شود. فهرست ابزارهای هفت‌گانه عالی که در بخش ۱-۵ معرفی شد مجدداً در زیر ارائه شده است:

۱- هیستوگرام
۲- برگهٔ کنترل
۳- نمودار پارتو
۴- نمودار علت و معلول
۵- نمودار تمرکز نقص
۶- نمودار پراکندگی
۷- نمودار کنترل

هیستوگرام و نمودار شاخه و برگ در فصل ۳ و نمودار کنترل در بخش ۳-۳ معرفی شد

Www.iepnu.com

در این بخش در مورد سایر ابزارها توضیح داده می‌شود.

برگهٔ کنترل[1]. استفاده از این ابزار در مراحل اولیهٔ بهبود فرآیند و جمع‌آوری داده‌های گذشته یا فعلی فرآیند ضروری است. این یک اقدام متداول در مرحلهٔ اندازه‌گیری فرآیند DMAIC است. در این‌گونه موارد **برگهٔ کنترل** می‌تواند یک ابزار بسیار مفیدی برای جمع‌آوری داده‌ها باشد. برگهٔ کنترل نشان داده شده در شکل ۳-۸ توسط یک مهندس هوافضا جهت بررسی نقص‌های مشاهده شده در یک مخزن طراحی شده است. این برگهٔ کنترل بر اساس کلیهٔ اطلاعات موجود در مورد نقص‌های مخزن تهیه شده است. از آنجایی‌که در طول هر ماه تعداد کمی مخزن تولید می‌شود لذا جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت ماهانه به شناسایی عیب‌ها کمک خواهد کرد. حفظ ترتیب زمانی داده‌ها نیز به شناسایی **روند** کمک خواهد کرد. به‌عنوان مثال، اگر در طول تابستان تعداد نقص‌های مشاهده شده زیاد باشد آن‌گاه شاید یکی از علل آن استفاده از نیروی کار موقت در طول زمان مرخصی کارکنان رسمی سازمان باشد.

برگه بررسی

داده‌های نقص برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ (تا تاریخ انجام مطالعه)

شماره قطعه: TAX-41
مکان: Bellevue
تاریخ انجام مطالعه: ۶ می ۲۰۰۳
تحلیل‌گر: TCB

	۲۰۰۲												۲۰۰۳					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱	۲	۳	۴	۵	مجموع
نقص	۱			۳	۱	۲		۱		۱۰	۳		۲	۲	۷	۲		۳۴
قطعات آسیب دیده			۳	۳				۱	۸		۳		۸	۳				۲۹
مشکلات ماشینی							۹	۲								۲		۱۳
رنگ زدگی قطعه عرضه شده			۱	۱														۱۷
پوشش ناکافی		۳	۶	۴	۳	۱												۳
خوشکاری نامناسب	۲																	۴
پردازش خارج از دستور	۲																	۳
پردازش قطعه اشتباه		۱						۲										۳
کار ناتمام			۳								۱		۲	۱	۱			۶
نقص چشبندگی				۱														۱
پوشش آلودین پودری					۱									۱				۲
رنگ‌امیزی خارج از حدود						۱												۱
رنگ‌امیزی آسیب دیده توسط قلمزنی			۳															۵
فیلم روی قطعات				۳		۱	۱	۱										۱
فوطی پرایمر آسیب دیده								۱										۲
حفره‌های موجود در ریخته‌گری									۱	۱								۲
کامپوزیت روکش نشده										۲								۲۶
ابعاد نادرست											۱۳	۷	۱۳		۱	۱	۱	۱
روش آزمون نامناسب										۱								۴
نقص اسپری نمک													۴					۱۶۶
مجموع	۴	۵	۱۴	۱۲	۵	۹	۹	۶	۱۰	۱۴	۲۰	۷	۲۹	۷	۷	۶	۲	

شکل ۳-۸ برگهٔ کنترل برای ثبت نقص‌های مشاهده شده در مخزنی که کاربرد هوافضا دارد.

Www.iepnu.com

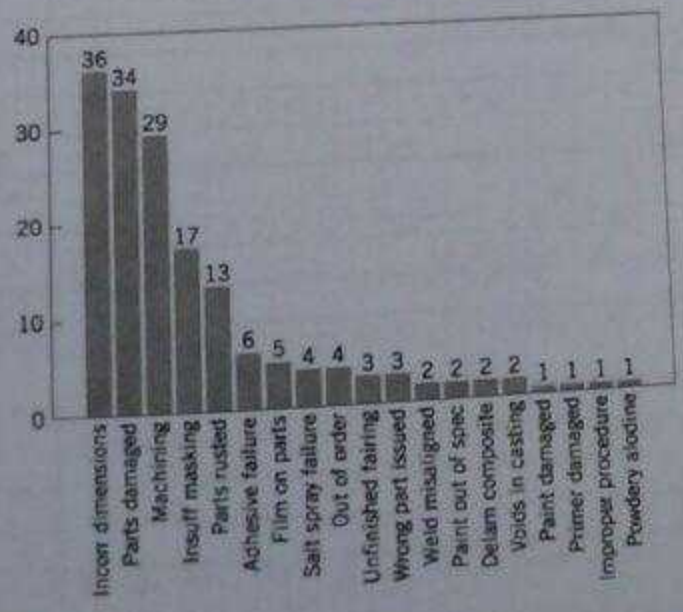
در زمان طراحی یک برگهٔ کنترل، تعیین نوع داده‌هایی که باید جمع‌آوری شود، شماره قطعه یا عملیات، تاریخ، تحلیل‌گر و هرگونه اطلاعات دیگر که می‌تواند به گونه‌ای در تعیین علل عملکرد ضعیف نقش داشته باشد، از اهمیت به سزایی برخوردار است. اگر برگهٔ کنترل اساس و پایهٔ محاسبات بعدی باشد و یا از آن برای ورود داده به رایانه استفاده شود آن‌گاه باید از مناسب بودن آن برای انجام این کار اطمینان حاصل شود. در برخی موارد، استفادهٔ آزمایشی از برگهٔ کنترل این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان ساختار آن را تصدیق کرد.

نمودار پارتو[1]. نمودار پارتو یک توزیع فراوانی (یا هیستوگرام) برای داده‌های وصفی است که بر اساس دسته‌های مختلف تهیه می‌شود. از نمودار پارتو معمولاً در مراحل اندازه‌گیری و تحلیل فرآیند DMAIC استفاده می‌شود. داده‌های مربوط به نقص در مخزن که در شکل ۳-۸ نشان داده شده است را در نظر گیرید. اگر فراوانی مربوط به نوع نقص را که در ستون آخر این جدول نوشته شده است، برحسب نوع نقص رسم کنیم آن‌گاه نمودار ارائه شده در شکل ۳-۹ که نمودار پارتو نامیده می‌شود به‌دست می‌آید.

به کمک این نمودار تحلیل‌گر می‌تواند به راحتی دسته‌هایی از نقص‌ها را که بیشتر از بقیه مشاهده می‌شود شناسایی کند. به‌عنوان مثال، شکل ۳-۹ نشان می‌دهد که ابعاد نادرست[2]، قطعات صدمه دیده[3] و اشکالات ماشین‌کاری[4] از سایر نقص‌ها بیشتر مشاهده شده است. بنابراین، شاید بهتر باشد که ابتدا منبع ایجاد این‌گونه نقص‌ها را شناسایی و حذف کرد.

باید توجه داشت که نمودار پارتو مهمترین نقص را شناسایی نمی‌کند بلکه فقط آنهایی که از بقیه بیشتر تکرار شده‌اند را تعیین می‌کند. به‌عنوان مثال، در شکل ۳-۹ حباب یا مک‌های ریخته‌گری خیلی به ندرت مشاهده می‌شود (۲ نقص در هر ۱۶۶ نقص و یا ۱/۲٪) با این حال حباب‌ها می‌توانند باعث معیوب شناخته شدن مخزن شوند و هزینهٔ سنگینی را به سازمان تحمیل کنند. بدین علت باید این نوع نقص را جزء گروه نقص‌های اصلی قرار داد. اگر فهرست نقص‌ها شامل ترکیبی از نقص‌های مهم و نقص‌های جزئی باشد آن‌گاه می‌توان یکی از دو روش زیر را به کار برد:

۱- استفاده از یک روش وزن‌دهی برای اصلاح فراوانی داده‌ها. روش‌های وزن‌دهی نقص‌ها در فصل ۶ بحث می‌شود.



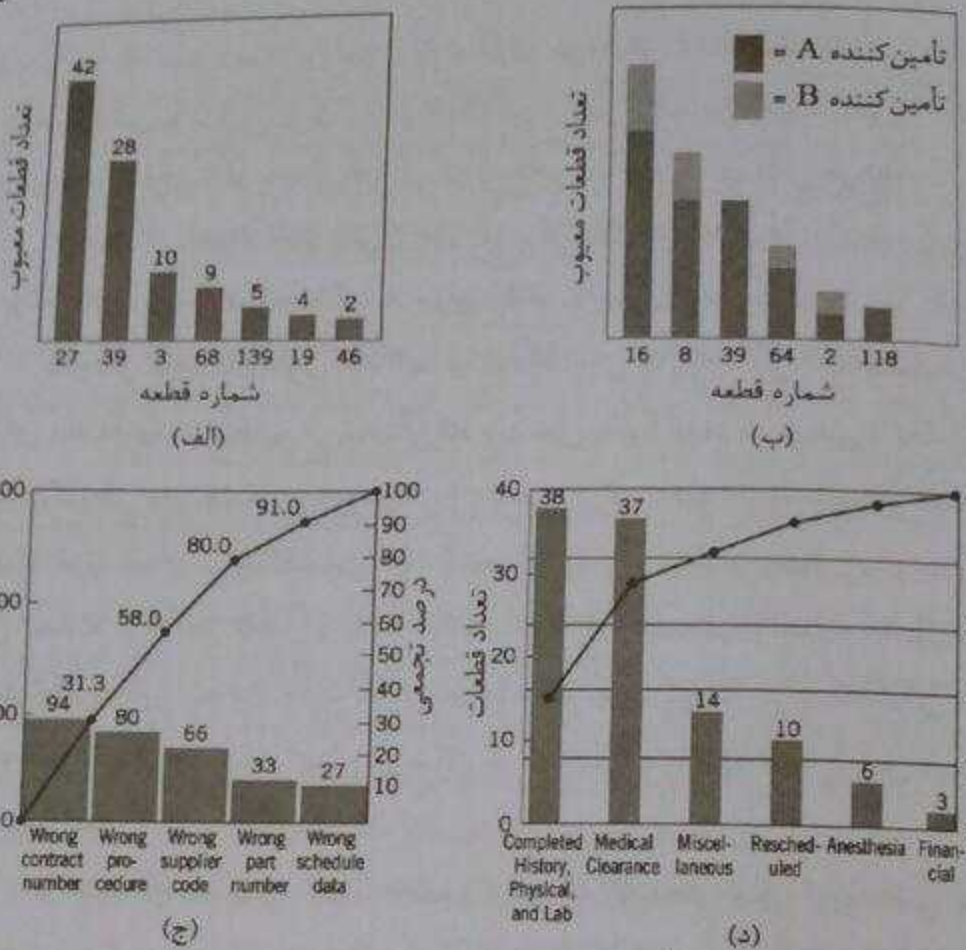
شکل ۳-۹ نقص‌های مشاهده شده در سطح یک بخچال.

---

1. pareto chart
2. incorrect dimensions
3. parts damaged
4. machining problems

پارتو از اقتصاددان Vilfredo Pareto که معتقد بود در جامعه اکثر ثروت در اختیار افراد جامعه قرار دارد است. مهندسان کیفیت دریافته‌اند که نقص‌ها از قانون پارتو پیروی می‌کند.

Www.iepnu.com



شکل ۳-۱۰ نمونه‌هایی از

۷- استفاده از نمودار **پارتو هزینه**[1] در کنار نمودار پارتو فراوانی.

گونه‌های مختلفی از نمودار پارتو وجود دارد. شکل ۳-۱۰ (الف) کاربرد نمودار پارتو را در یک فرآیند مونتاژ قطعات الکترونیکی نشان می‌دهد. محور عمودی درصد قطعاتی که به‌طور غیرصحیح نصب شده‌اند و محور افقی کد قطعه که بر روی صفحات مدار چاپ شده است را نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که مکان‌های ۲۷ و ۳۹ باعث ۷۰٪ از نقص می‌شوند. علت این ممکن است اندازهٔ قطعاتی که در این مکان‌ها استفاده می‌شود و یا مکان‌های در نظر گرفته شده برای آن‌ها بر روی صفحات باشد. شکل ۳-۱۰ (ب) کاربرد نمودار پارتو دیگری را در صنعت الکترونیک نشان می‌دهد. محور عمودی تعداد قطعات معیوب و محور افقی شماره قطعه را نشان می‌دهد. در این نمودار هر یک از میله‌های عمودی براساس تأمین‌کننده تقسیم‌بندی شده است که نتیجه آن نمودار پارتو انباشته‌ای[2] است. تحلیل این نمودار بیانگر این واقعیت است که درصد زیادی از قطعات معیوب توسط تأمین‌کننده A تأمین شده است.

نمودارها

نمودارهای پارتو به‌طور نسبتاً وسیعی در **کاربردهای غیرتولیدی** روش‌های کیفیت استفاده می‌شود. شکل ۳-۱۰ (ج) یک نمودار پارتو را برای یک سازمان تدارکاتی نشان می‌دهد. هم بهبود کیفیت، این نمودار را با هدف بررسی اشتباهات در سفارش‌های خرید و کاهش تعداد تغییرات در سفارش‌های خرید تهیه کرد. (هر تغییر در سفارش خرید معمولاً بین ۱۰۰ الی ۵۰۰ دلار برای سازمان هزینه دارد و این در حالی است که سازمان باید چند درصد از سفارش‌های

art

Www.iepnu.com

...هیهٔ یک نمودار علت و معلول
...کل یا معلول که باید تحلیل شود
...تعریف کنید.
...ی برای انجام تحلیل‌های مورد نیاز
...کیل دهید. غالباً تیم بهبود کیفیت
...بالقوهٔ ایجاد مشکل را از طریق
...ان فکری تعیین می‌کند.
...ر معلول کادر کشیده و خط مرکز
...ن وصل کنید.
...های علل بالقوهٔ اصلی را تعیین و
...را در کادر قرار داده و به خط مرکز
...کند.
...ممکن را شناسایی و آنها را در
...های تعیین شده در مرحله ۴ قرار
...د. در صورت نیاز گروه‌های
...ی تهیه کنید.
...علل را رتبه‌بندی کنید تا آنهایی
...زیادی بر روی مشکل دارند
...شوند.
...صلاحی انجام دهید.

خرید را در ماه تغییر دهد). این نمودار پارتو دارای دو مقیاس است. یک مقیاس برای فراوانی اشتباهات واقعی و دیگری برای درصد اشکالات در نظر گرفته شده است. شکل ۳-۱۰ (د) یک نمودار پارتو را برای تعداد اعمال جراحی لغو شده در یک بیمارستان نشان می‌دهد.

به‌طور کلی نمودار پارتو یکی از مفیدترین ابزارهای هفت‌گانه عالی است. کاربردهای آن در برنامه‌های بهبود کیفیت بستگی به میزان خلاقیت تحلیل‌گر دارد.

نمودار علت و معلول[1] (یا ایشیکاوا[2]). زمانی که یک نقص، خطا یا مشکلی شناسایی و برای مطالعهٔ بیشتر انتخاب می‌شود، آن‌گاه باید علل بالقوهٔ ایجاد آن بررسی و تحلیل شود. در مواقعی که علل بروز مشکل واضح نیست (در بعضی مواقع واضح است) **نمودار علت و معلول** می‌تواند ابزار مفیدی برای شناسایی علل بالقوه باشد. نمودار علت و معلول ابزار بسیار مفیدی برای استفاده در مراحل تحلیل و بهبود فرآیند DMAIC است. نمودار علت و معلول مربوط به فرآیند تولید مخازن که قبلاً بحث شد توسط یک تیم بهبود کیفیت برای شناسایی حوزه‌های مسأله‌ساز بالقوهٔ فرآیند تولید تهیه و در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. مراحل موردنیاز برای تهیه یک نمودار علت و معلول عبارتند از:

در این مثال تیم بهبود کیفیت تصمیم گرفت که گروه‌های اصلی ایجاد نقص در مخزن را به‌صورت زیر گروه‌بندی کند: تجهیزات، مواد، روش‌ها، کارکنان، اندازه‌گیری و محیط. برگزاری یک جلسه طوفان فکری کمک کرد تا زیر گروه‌های هر یک از گروه‌های اصلی تعیین و شکل ۵-۱۹ رسم شود. در بررسی‌های بعدی تیم بهبود کیفیت نتیجه‌گیری کرد که گروه‌های مواد و روش‌ها، علل اصلی بروز مشکل هستند.

شکل ۳-۱۱ نمودار علت و معلول ...ی مثال نقص‌های مخزن.

1. cause- and-effect diagram
2. ishikawa diagram

Www.iepnu.com

نمودار علت و معلول یکی از ابزار قدرتمند تحلیلی است. یک نمودار علت و معلول که با جزئیات خوبی تهیه شده باشد را می‌توان به‌عنوان یک ابزار حل مسأله اثربخشی در تحلیل‌ها استفاده کرد. به علاوه، تهیه یک نمودار علت و معلول کمک خواهد کرد تا با تشکیل تیم، افراد به‌صورت گروهی مشکل را حل کنند و دیگر به دنبال سرزنش یکدیگر نباشند.

نمودار تمرکز نقص[1] نمودار تمرکز نقص تصویری از محصول است که کلیهٔ نماهای مورد نظر را نشان می‌دهد. با رسم چنین نموداری می‌توان **مکان** ایجاد نقص را بر روی محصول مشخص و با تحلیل آن اطلاعات مفیدی در مورد علل بالقوهٔ ایجاد نقص‌ها کسب کرد. استفاده از نمودارهای تمرکز نقص در مرحلهٔ تحلیل فرآیند DMAIC بسیار مفید است.

یک نمودار تمرکز نقص برای مرحله نهایی فرآیند مونتاژ یخچال در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. نقص سطحی موجود در یخچال توسط ناحیه‌های هاشور زده مشخص شده است. با بررسی این نمودارها مشاهده می‌کنیم که درصد زیادی از نقص‌ها توسط واحد حمل و نقل ایجاد شده است. واحد حمل و نقل، قبل از جابه‌جا کردن یخچال‌ها آنها را ابتدا توسط تسمه‌ای به‌صورت خیلی شل و یا خیلی محکم می‌بندد. این تسمه‌ها ممکن است پوسیده، از مواد نامناسب ساخته شده و یا این‌که خیلی نازک باشند. از طرف دیگر، هنگامی که یخچال‌ها حمل می‌شوند گوشه‌های آن صدمه می‌بینند. به نظر می‌رسد که خستگی کارگر می‌تواند یکی از عامل‌های بروز نقص در فرآیند حمل و نقل باشد. به هر حال، با استفاده از روش‌های صحیح حمل و نقل می‌توان این فرآیند را به‌طور قابل توجهی بهبود داد.

نمودار تمرکز نقص برای مشکل مخزن که قبلاً در مورد آن صحبت شد، در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است. این نمودار چندین عیب مختلف که هر کدام توسط کد خاصی مشخص شده است را نشان می‌دهد. در اغلب موارد از رنگ‌های متفاوت برای نشان دادن نقص‌های مختلف استفاده می‌شود.

اگر داده‌های مربوط به نقص‌های مختلف براساس تعداد مناسبی محصول بر روی نمودار تمرکز نقص رسم شود آن‌گاه مکان ایجاد نقص می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد علت ایجاد نقص آشکار سازد. نمودارهای تمرکز نقص یکی از ابزارهای بسیار مفید حل مسأله در صنایع گوناگون نظیر آبکاری، رنگ‌کاری، ریخته‌گری و ذوب، ماشینکاری و مونتاژ محسوب می‌شود.

نمودار پراکندگی[2]. نمودار پراکندگی یکی از نمودارهای مفید برای شناسایی رابطهٔ بالقوه بین دو متغیر است. برای رسم این نمودار نیاز است تا داده‌ها به‌صورت زوجی نظیر (y_i, x_i) به ازای $i=1,2,\ldots,n$ تهیه شوند. سپس مقدار y_i برحسب مقدار x_i بر روی این نمودار رسم می‌شود. نحوهٔ رسم شدن نقاط بر روی نمودار پراکندگی بیانگر نوع رابطهٔ موجود بین دو متغیر است.

شکل ۱۴-۳ نمودار پراکندگی بازیافت فلز منیزیم (برحسب درصد) در یک فرآیند ذوب را برحسب مقدار گداز افزوده شده به بوته نشان می‌دهد. این نمودار بیانگر وجود یک **همبستگی**[3] **مثبت قوی** بین بازیافت فلز و مقدار گداز است. به‌عبارت دیگر، با افزایش مقدار گداز به بوته بازیافت فلز نیز افزایش می‌یابد. با بررسی این نمودار ممکن است نتیجه‌گیری شود که بین این دو عامل یک رابطهٔ علت و معلولی وجود دارد و یا به‌عبارت دیگر با افزایش گداز همیشه بازیافت فلز

Www.iepnu.com

نیز افزایش می‌یابد. این طرز تفکر از خطر بالقوه‌ای برخوردار است. علت آن است که همبستگی لزوماً به معنای علیت[1] نیست. در این نمودار ممکن است رابطهٔ موجود بین دو عامل به دلیل وجود عامل متفاوت دیگری ایجاد شده باشد. به‌عنوان مثال، ممکن است هر دو متغیر به متغیر سومی نظیر دمای فلز قبل از افزودن گداز وابسته باشد و این همبستگی باعث ایجاد روند مشاهده شده در شکل ۳-۱۴ شود. اگر در دماهای زیاد، مقدار بازیافت فلز افزایش یابد و در عمل مقدار گداز متناسب با دما مصرف شود آن‌گاه افزودن گداز موقعی که فرآیند در دمای کم عمل می‌کند تغییری در بازده فرایند ایجاد نخواهد کرد. نمودار پراکندگی برای شناسایی روابط بالقوه بین عامل‌ها مفید است. به منظور پی بردن به وجود علّیت معمولاً از روش طراحی آزمایش‌ها[2] استفاده می‌شود. برای کسب اطلاعات بیشتر به مرجع (۱۹۸) مراجعه شود.

۳-۵ پیاده سازی SPC در یک برنامهٔ بهبود کیفیت

روش‌های کنترل فرآیند آماری می‌تواند دستاوردهای قابل‌توجهی را برای سازمان‌هایی که به‌طور موفقیت‌آمیزی از آنها استفاده می‌کنند به همراه داشته باشد. گرچه به نظر می‌رسد SPC مجموعه‌ای از ابزار آماری حل مسأله باشد ولی اجرای موفقیت‌آمیز SPC چیزی فراتر از یادگیری و استفاده از این ابزار است. SPC زمانی که در یک برنامهٔ بهبود کیفیت فراگیر به کار گرفته شود دارای بیشترین اثربخشی خود خواهد بود. SPC را می‌توان با استفاده از رویکرد DMAIC پیاده‌سازی کرد. در حقیقت، SPC بخش لاینفکی از DMAIC محسوب می‌شود. حضور و تعهد مدیریت در فرآیند بهبود کیفیت نقش حیاتی در موفقیت SPC ایفا می‌کند. مدیریت در یک سازمان یعنی الگو بودن زیرا افراد سازمان به مدیران به‌عنوان راهنما و الگو نگاه می‌کنند. استفاده از رویکرد تیمی نیز مهم است زیرا معمولاً یک نفر از عهدهٔ اجرای فرآیندهای بهبود کیفیت بر نخواهد آمد. بسیاری از ابزار هفت‌گانهٔ عالی نظیر نمودار علت و معلول، نمودارهای پارتو، نمودارهای تمرکز نقص می‌توانند در تشکیل تیم مفید باشند. این رویکرد تیمی با ساختار DMAIC نیز سازگار است. ابزارهای اصلی حل مسألهٔ SPC باید در سطح سازمان معرفی و استفاده شوند. بنابراین، آموزش مستمر در زمینهٔ SPC و روش‌های کاهش پراکندگی برای ارتقاء سطح دانش افراد سازمان دربارهٔ SPC ضروری است.

هدف یک برنامه کاهش پراکندگی مبتنی بر SPC یک برنامهٔ بهبود مستمری است که به‌طور هفتگی، فصلی و سالی دنبال می‌شود. نظیر هر برنامه کیفیت دیگر SPC نیز برنامه‌ای نیست که فقط سازمان آن را یک بار و آن هم در زمان بروز مشکل استفاده کند و پس از رفع مشکل کنار گذاشته شود. بهبود کیفیت مبتنی بر کاهش پراکندگی باید بخشی از فرهنگ سازمان شود.

نمودار کنترل، ابزار مهمی برای بهبود فرآیند است. فرآیندها معمولاً به‌طور طبیعی در حالت تحت کنترل به سر نمی‌برند و استفاده از نمودارهای کنترل یکی از گام‌های مهم اولیه است که باید در مراحل ابتدایی یک برنامه SPC از آنها استفاده شود تا انحراف‌های با دلیل حذف شود، تغییرپذیری فرآیند کاهش یابد و عملکرد فرآیند تثبیت شود. به منظور بهبود کیفیت و ارتقاء بهره‌وری باید فعالیت‌های سازمان بر اساس حقایق و داده‌ها برنامه‌ریزی و اجراء و از اعمال نظرات شخصی اجتناب شود. استفاده از نمودارهای کنترل یکی از بخش‌های مهم ایجاد تغییر در نگرش مدیریت محسوب می‌شود.

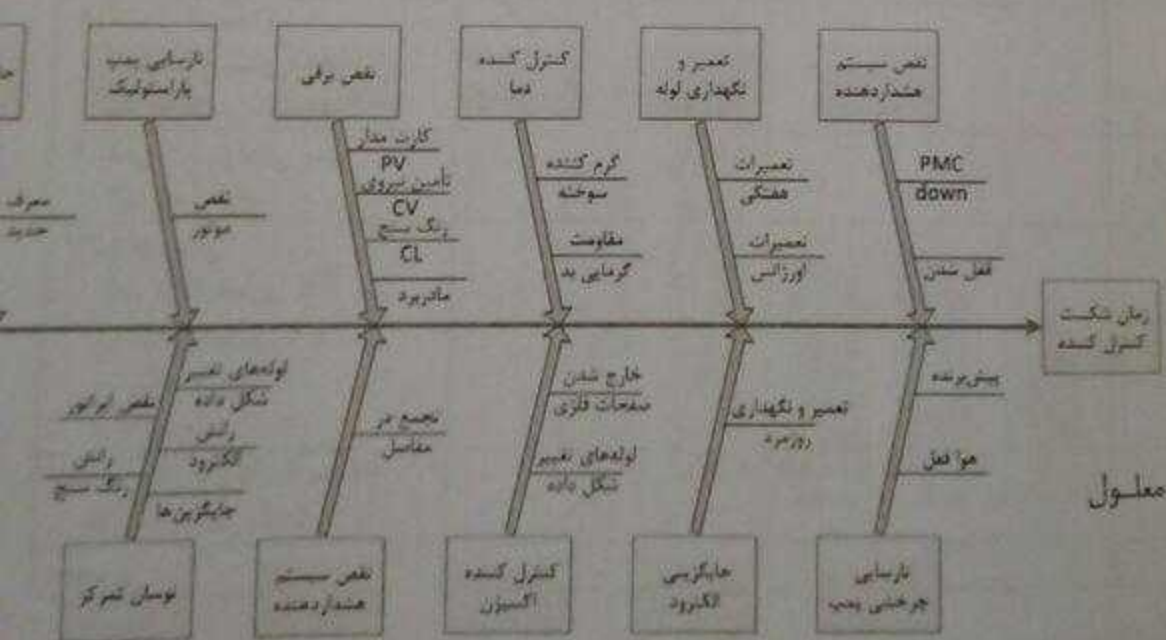
Www.iepnu.com

معمولاً عناصر زیر در موفقیت تلاش‌های کاهش پراکندگی و بهبود کیفیت در سطح سازمان نقش ایفا می‌کنند شاید دیگر نتوان بر **اهمیت رهبری و رویکرد تیمی/ پروژه‌ای** بیش از این تأکید کرد بهبود کیفیت یک فعالیت از بالا به پایین است که نیروی محرکه آن توسط مدیریت تأمین می‌شود یکی دیگر از معیارهای مهم، اندازه‌گیری میزان پیشرفت موفقیت به‌صورت کمّی اقتصادی) و اطلاع‌رسانی در سطح سازمان است. زمانی که بهبود موفقیت‌آمیز در سطح سازمان اطلاع‌رسانی می‌شود زمینه برای ایجاد انگیزه جهت بهبود سایر فرآیندها ایجاد شده و بخشی از فعالیت‌های روزمرهٔ سازمان بهبود مستمر پیدا می‌کند.

۳-۶ یک کاربرد SPC

در این بخش، نحوهٔ استفاده از روش‌های SPC برای بهبود کیفیت و بهره‌وری عملیات آبکاری با مس در یک شرکت تولید صفحات مدارهای چاپ شده بررسی می‌شود. فرآیند مورد نظر دارای نقص‌های عادی نظیر مس شکننده، حباب‌های مسی و زمان سیکل طولانی است. زمان سیکل طولانی علت کاهش میزان کارهای معوقه بود که مشکل و دردسر اصلی نیز محسوب می‌شد. از طرف دیگر این مشکل سبب می‌شد تا به میزان ناهماهنگی‌ها در برنامه تولید می‌شود.

مدیریت این بخش از فرآیند را برای اجرای SPC انتخاب کرد. رویکرد DMAIC استفاده و یک تیم بهبود کیفیت شامل اپراتور آبکاری مخزن، مهندس فرآیند و یک مهندس کیفیت تشکیل شد. اعضای تیم با رویکرد DMAIC و ابزارهای هفت‌گانه عالی از طریق سمینارهای برگزار شده در شرکت آشنا بودند. در اولین جلسه تصمیم گرفته شد تا زمان جریان را که حادترین مشکل فرآیند بود اهداف تحویل به موقع را دچار مشکل می‌کرد یا به‌عبارت دیگر مانعی بر سر راه بهبود بهره‌وری بود، کاهش دهند تیم در مرحلهٔ اندازه‌گیری به‌سرعت خرابی بیش از حد دستگاه کنترل‌کننده غلظت مس مخزن آبکاری را به‌عنوان عامل اصلی طولانی شدن زمان و در نتیجه کاهش تولید شناسایی کرد. به‌عنوان بخشی از مرحلهٔ تحلیل، تیم تصمیم گرفت که از نمودار علت و معلول برای شناسایی دلایل بالقوهٔ خرابی دستگاه کنترل‌کننده استفاده کند. شکل ۳-۱۵ نمودار علت و معلول تهیه شده در یک جلسه طوفان فکری را نشان می‌دهد. تیم به سرعت ۱۱ علت بالقوه خرابی دستگاه کنترل در مرحله بعد تیم نتیجه‌گیری کرد که باید اطلاعات معتبری در مورد علل خرابی دستگاه



شکل ۳-۱۵ نمودار علت و معلول دستگاه کنترل کننده.

Www.iepnu.com

کنترل کننده جمع‌آوری کند. بدین‌منظور آنها برگه کنترل نشان داده شده در شکل ۳-۱۶ را به‌عنوان یک برگ اضافی در دفتر ثبت سوابق طراحی کردند. تیم موافقت کرد که در زمان خرابی دستگاه یک نفر از آنها مسئولیت پر کردن این برگه را به عهده گیرد. همان‌گونه که مشاهده می‌کنیم از علل اصلی عنوان شده در نمودار علت و معلول برای تهیهٔ برگهٔ کنترل استفاده شده است. تیم موافقیت کرد که طی یک دوره چهار تا شش هفته‌ای اطلاعات موردنیاز را جمع‌آوری کند.

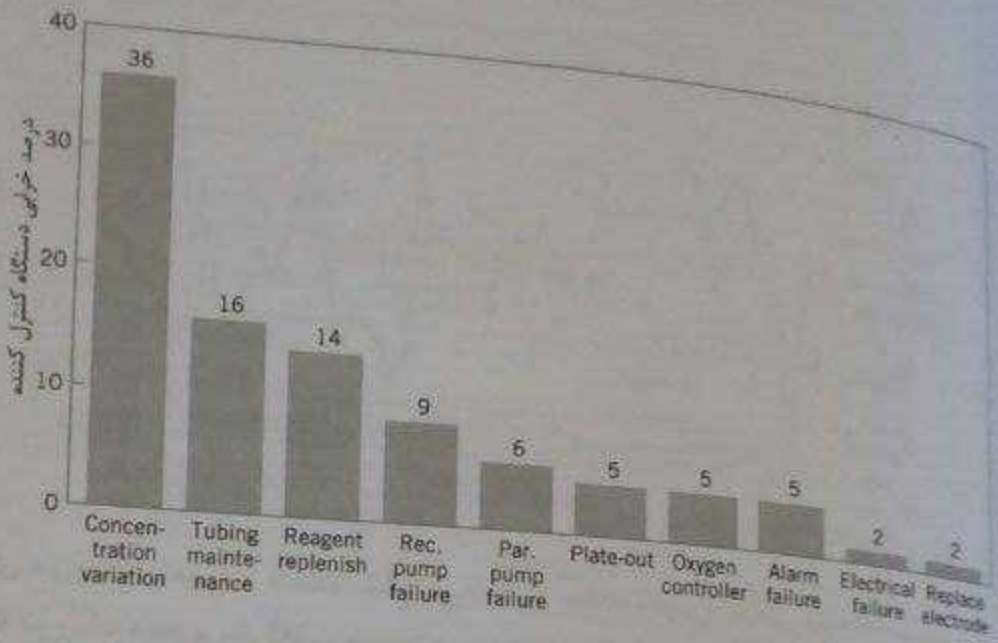
چک لیست گزارش روزانه

اپراتور:

شمارش هفتگی هفته:	خطاها	توصیف	اقدام
۱. نوسان تمرکز الف. رانش رنگ سنج ب. نقص الکترود ج. معرف ها د. لوله‌های تغییر شکل داده ه. نقص اپراتور			
۲. نقص سیستم هشداردهی الف. PMC down ب. قفل شدن			
۳. نارسایی چرخشی پمپ الف. هوا قفل ب. پیش برنده			
۴. جایگزینی معرف الف. معرف جدید			
۵. تعمیر و نگهداری لوله الف. تعمیرات هفتگی ب. تعمیرات اورژانس			
۶. جایگزینی الکترود الف. تعمیرات روزمره			
۷. کنترل کننده دما الف. گرم کننده سوخته ب. مقاومت گرمایی بد			
۸. کنترل کننده اکسیژن الف. خارج شدن صفحات ب. جایگزینی الکترود			
۹. نقص پاراستولیکی پمپ الف. نقص موتور			
۱۰. نقص برقی ب. کارت مداری PV ج. تأمین نیروی CL د. رنگ سنج CL ه. مادربرد			
۱۱. فرخش بدون صفحه ب. تجمع در مفاصل			
۱۲.			

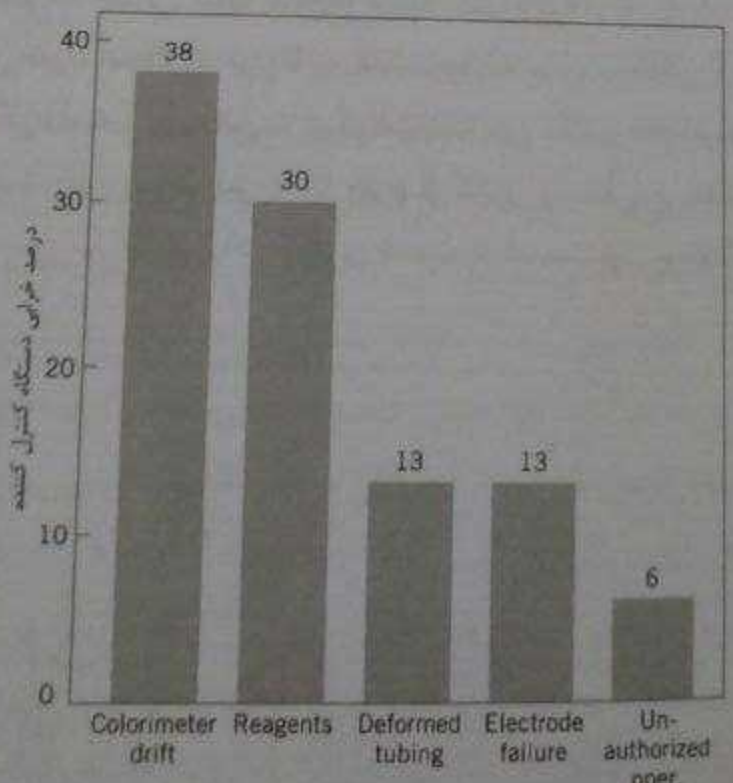
شکل ۳-۱۶ برگه کنترل جهت استفاده در دفتر ثبت سوابق.

Www.iepnu.com



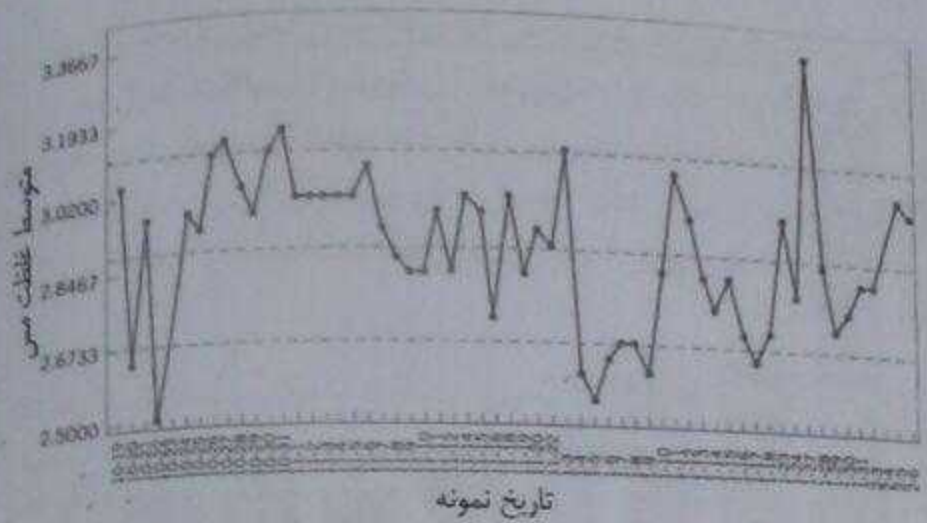
شکل ۳-۱۷ تحلیل پارتو دستگاه کنترل کننده.

تیم توانایی انجام تحلیل‌های SPC مورد نیاز درخصوص علل خرابی دستگاه کنترل‌کننده را با فراهم شدن داده‌های معتبر به‌دست آورد. شکل ۳-۱۷ تحلیل پارتو را در مورد داده‌های خرابی دستگاه کنترل‌کننده که طی شش هفته جمع‌آوری شد، نشان می‌دهد. با توجه به این شکل متوجه می‌شویم که به مقدار یکی از علل اصلی خرابی دستگاه موجود، تغییرات در غلظت[1] است. در واقع شاید وضعیت موجود پیچیده‌تر از این باشد. سومین علت خرابی دستگاه افزودن معرف[2] است. به دفعات مشاهده شده که معرف استفاده شده در رنگ‌سنج[3] دستگاه کنترل‌کننده به علت قرار داشتن غلظت خارج از دامنهٔ مورد نظر افزوده شده تا مجدداً غلظت در دامنه قابل قبول قرار گیرد. در این فرآیند، افزودن معرف و کالیبره کردن رنگ سنج تنها فعالیت‌هایی هستند که می‌توان از آن طریق فرآیند را به حالت تحت کنترل بازگردانید. بنابراین، ممکن است تا حدود ٪۵۰ از خرابی دستگاه به علت ایجاد تغییر در غلظت باشد. شکل ۳-۱۸ تحلیل پارتو را برای



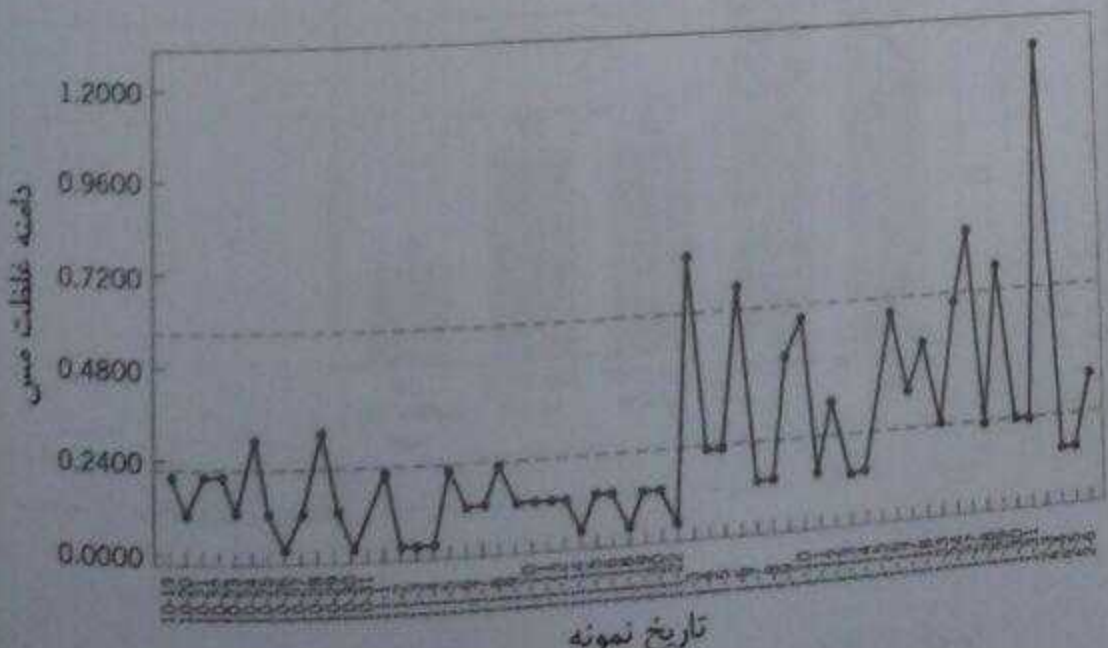
شکل ۳-۱۸ تحلیل

Www.iepnu.com

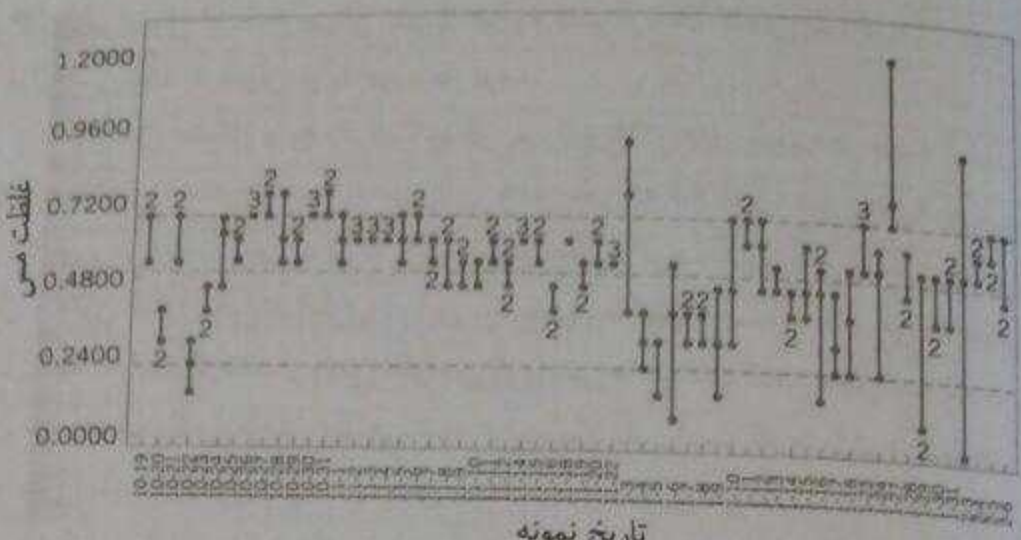


داده‌های مربوط به تغییرات غلظت نشان می‌دهد. با مطالعهٔ این شکل متوجه می‌شویم که تغییرات در رنگ سنج و مشکلات موجود در معرّف‌ها علل اصلی ایجاد تغییرات در غلظت هستند. این نتایج کمک کرد تا مهندس تولید تیم نتیجه‌گیری کند که بازسازی دستگاه رنگ سنج می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای فرآیند را بهبود دهد.

طی زمانی که داده‌های مربوط به فرآیند جمع‌آوری می‌شد تیم تصمیم گرفت که از نمودارهای کنترل برای کنترل فرآیند استفاده کند. اطلاعات جمع‌آوری شده تا این مرحله در مورد عملکرد فرآیند مبنای تهیهٔ طرح‌های اقدام خارج از کنترل یا OCAP برای این نمودارهای کنترل قرار گرفت. این نمودارهای کنترل همراه با OCAP هر یک از آنها می‌تواند برای مرحلهٔ کنترل فرآیند DMAIC مفید باشد. در این فرآیند، غلظت مس به‌طور دستی سه بار در روز اندازه‌گیری می‌شد. شکل ۳-۱۹ نمودار کنترل $\bar{x}$ را برای میانگین غلظت روزانهٔ مس نشان می‌دهد. خط مرکز و حدود کنترل سه انحراف معیار در این نمودار مشخص شده‌اند (محاسبهٔ این حدود با جزئیات بیشتر در فصل‌های بعدی بحث خواهد شد). با بررسی این نمودار مشاهده می‌کنیم که چندین نقطه خارج از حدود کنترل قرار دارد که باید علت رسم آنها خارج از این حدود بررسی شود. نمودار R مربوط به غلظت روزانهٔ مس در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است. علامت R بیانگر دامنه و یا به‌عبارت دیگر اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل روزانهٔ مس اندازه‌گیری شده است. این نمودار نیز حالت خارج از کنترل را نشان می‌دهد. مخصوصاً قسمت دوم نمودار R به نظر می‌رسد که از ثبات کمتری نسبت به قسمت اول برخوردار باشد. با بررسی تاریخ ثبت شده



Www.iepnu.com



شکل ۳-۲۱
روزانهٔ مس.

بر روی محور افقی، تیم پی برد که بعد از تاریخ ۳ ژانویه تغییرات شدیدی در غلظت مس به وجود آمده است. قبل از این تاریخ، آخرین مشاهدات در تاریخ ۲۲ نوامبر تهیه شده بود. از تاریخ ۲۳ نوامبر تا ۳ ژانویه فرآیند به علت تعطیلات متوقف بوده است. از این تاریخ به بعد و یا شروع فعالیت‌ها به نظر می‌رسد که دستگاه کنترل‌کننده و یا رنگ سنج عملکرد ضعیفی از خود نشان داده و در نتیجه فرآیند با مشکل مواجه شده است. این نتایج باعث شد تا تصمیم مهندسی قاطع‌تری در مورد بازسازی رنگ سنج اتخاذ شود.

نمودار تلرانس مربوط به اندازه‌گیری غلظت روزانهٔ مس در شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است. در این شکل غلظت‌های اندازه‌گیری شده در هر روز رسم و نقاط حداقل و حداکثر توسط خط عمودی به یکدیگر متصل شده است. برای مشاهداتی که دارای مقدار یکسان هستند، تعداد آنها توسط عدد نشان داده شده است. خط مرکز این نمودار، میانگین فرآیند را در طول زمان مطالعه نشان می‌دهد و حدود کنترل، همان حدود مشخصه برای غلظت مس است. در هر زمان که یک نقطه خارج از حدود مشخصه رسم می‌شود نتیجه‌گیری می‌کنیم که یک توقف برنامه‌ریزی نشده رخ داده است. با بررسی این نمودار چندین چیز آشکار می‌شود. اول این‌که میانگین فرآیند به‌طور ملاحظه‌ای با مقدار اسمی غلظت مس (وسط محدودهٔ تلرانس بالا و پایین) تفاوت دارد. این بدین‌معنا است که کالیبراسیون رنگ سنج با مشکل مواجه است. به‌عبارت دیگر، نامناسب بودن کالیبراسیون مانند این است که ما به سمت هدف اشتباهی نشانه گرفته‌ایم. دوم این‌که، بعد از سوم ژانویه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در اندازه‌گیری‌های غلظت مس نسبت به زمان قبل از توقف مشاهده می‌شود. نهایت این‌که اگر می‌توانستیم تغییرات فرآیند را حدوداً به میزان قبل از توقف فرآیند برسانیم و میانگین آن را نیز اصلاح کنیم آن‌گاه تعداد زیادی از نقاط می‌توانستند در داخل حدود مشخصه قرار گیرند و در نتیجه تعداد توقف‌ها نیز کاهش می‌یافت.

در ابتدای مرحلهٔ بهبود تیم تصمیم گرفت رنگ سنج و دستگاه کنترل‌کننده را بازسازی کند. این کار در اوایل فوریه انجام شد. نتیجهٔ این کار کاهش میزان تغییرات غلظت مس و رسیدن آن به میزان قبل از توقف فرآیند بود. رنگ سنج بازسازی شده مجدداً کالیبره شد و دیگر قادر بود در حالت کالیبره باقی بماند. این کالیبراسیون مجدد و تغییر میانگین به سطح مناسب آن باعث شد تا

Www.iepnu.com

خرابی دستگاه کنترل کننده از میزان تقریباً ۶۰٪ به کمتر از ۲۰٪ کاهش پیدا کند. در این مرحله دیگر فرآیند می‌تواند به میزان تولید موردنظر برسد.

با رفع این مشکل و بهبود عملکرد فرآیند، تیم تلاش‌های خود را در جهت کاهش تولید محصولات معیوب متمرکز کرد. به‌طور کلی، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، نقص‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: مس شکننده و حباب‌های مسی. گرچه تیم می‌توانست از نمودارهای کنترل و فنون کنترل فرآیند آماری در این برنامه بهبود کیفیت استفاده کند ولی به منظور تسریع راه حل آنها تصمیم گرفتند از روش **طراحی آزمایش‌ها** استفاده کنند. همان‌گونه که در فصل ۱ عنوان شد، هدف یک آزمایش طراحی شده تولید اطلاعاتی است که ما را در درک و مدل‌سازی ارتباط بین متغیرهای فرآیند و سنجه‌های عملکرد فرآیند یاری می‌دهد.

آزمایش طراحی‌شده برای فرآیند آبکاری در جدول ۳-۱ و شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است. هدف این آزمایش فراهم ساختن اطلاعاتی بود که برای حداقل کردن نقص‌های آبکاری مفید باشد. متغیرهای فرآیند که در این آزمایش در نظر گرفته شدند عبارت‌اند از: غلظت مس، غلظت هیدروکسید سدیم، غلظت فورمالدئید، دما و اکسیژن. یک سطح کم و یک سطح زیاد برای هر یک از متغیرهای فرآیند به‌صورت مثبت و منفی که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است در نظر گرفته شد. ابتدا تیم تصمیم گرفت از یک **آزمایش عاملی**[1] (آزمایشی که در آن از کلیهٔ ترکیبات ممکن این عامل‌ها استفاده می‌شود) استفاده کند. این آزمایش دارای ۳۲ اجرا و یا یک اجرا در هر گوشه از مکعب‌های نشان داده شده در شکل ۳-۲۲ است. از آنجایی که این تعداد زیاد است از یک **طرح عاملی کسری**[2] که دارای ۱۶ اجرا است استفاده شد. این طرح عاملی کسری در قسمت پایین جدول ۳-۱ و شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است. در این طرح آزمایش، هر ردیف جدول یک اجرای آزمایش را تشکیل می‌دهد. ترکیب علامت‌های مثبت و منفی که از هر ردیف به‌دست می‌آید سطوح کم و یا زیاد پنج متغیر فرآیند را در طول آن آزمایش خاص تعیین می‌کند. به‌عنوان مثال، در آزمایش شماره ۱ غلظت مس، غلظت هیدروکسید سدیم، غلظت فورمالدئید و دما در سطوح کم و اکسیژن نیز در سطح کم در نظر گرفته می‌شود. فرآیند تحت شرایط هر یک از ۱۶ حالت توصیف‌شده در طرح آزمایش تنظیم و یک متغیر پاسخ (تعداد نقص‌های مشاهده‌شده در آبکاری) برای هر اجرا ثبت می‌شود. سپس داده‌های جمع‌آوری شده توسط روش‌های آماری ساده تحلیل می‌شود تا عامل‌هایی که اثر قابل ملاحظه‌ای در ایجاد نقص‌های آبکاری دارند شناسایی شوند. با انجام این آزمایش می‌توان تعیین کرد که چند عامل به‌طور مشترک بر ایجاد نقص‌های آبکاری اثر می‌گذارند و یا این‌که آیا می‌توان عامل‌ها را به سطوح جدیدی تغییر داد تا میزان نقص‌ها به سطحی کمتر از سطح فعلی خود کاهش یابد. بدیهی است توضیح در مورد طراحی آزمایش‌ها خارج از بحث این کتاب است.

بعد از این‌که تیم، آزمایش‌های جدول ۳-۱ را انجام داد و نتایج را تحلیل کرد نتیجه گرفت که تعدادی از متغیرهایی که آنها در آزمایش مورد مطالعه قرار داده‌اند مهم بوده و

1. factorial experiment
2. fractional factorial design

Www.iepnu.com

جدول ۳-۱

یک آزمایش طراحی شده برای فرآیند آبکاری

هدف: حداقل کردن نقص های آبکاری

سطح زیاد	سطح کم	متغیرهای فرآیند
+	-	A = غلظت مس
+	-	B = غلظت هیدروکسید سدیم
+	-	C = غلظت فرمالدئید
+	-	D = دما
+	-	E = اکسیژن

طرح آزمایش

پاسخ(نقص‌ها)	متغیرها					
	E	D	C	B	A	اجرا
	+	-	-	-	-	۱
	-	-	-	-	+	۲
	-	-	-	+	-	۳
	+	-	-	+	+	۴
	-	-	+	-	-	۵
	+	-	+	-	+	۶
	+	-	+	+	-	۷
	-	-	+	+	+	۸
	-	+	-	-	-	۹
	+	+	-	-	+	۱۰
	+	+	-	+	-	۱۱
	-	+	-	+	+	۱۲
	+	+	+	-	-	۱۳
	-	+	+	-	+	۱۴
	-	+	+	+	-	۱۵
	+	+	+	+	+	۱۶

اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر ایجاد نقص‌های آبکاری داشته‌اند. انجام این تحلیل‌ها باعث شد تا آنها بتوانند این عامل‌ها را در سطوح جدیدی به‌کار گیرند و در نتیجه میزان نقص‌های آبکاری تقریباً ۱۰ برابر کاهش یافت. بنابراین، تیم توانست با استفاده از SPC زمان سیکل محصول را به میزان قابل‌ملاحظه‌ای بهبود دهد و گامی استوار در مسیر بهبود قابلیت فرآیند بردارد.

Www.iepnu.com

۳-۷ کاربردهای کنترل فرآیند آماری و ابزارهای بهبود کیفیت در کسب و کارهای تراکنشی و خدماتی

در این کتاب اصول بنیادی کنترل فرآیند آماری ارائه شده است. اغلب مثال‌های استفاده شده برای انعکاس این اصول غالباً در زمینه‌های صنعتی و تولیدی هستند. در محیط‌های تولیدی به راحتی می‌توان کاربردهای موفقیت‌آمیز متعددی برای روش‌های کنترل فرآیند آماری یافت. از آنجایی که این اصول کلی هستند لذا کاربردهای متعددی برای فنون کنترل فرآیند آماری و سایر ابزارهای مهندسی و آماری کیفیت در محیط‌های غیرتولیدی شامل کسب‌وکارهای تراکنشی و خدماتی وجود دارد.

اساساً این کاربردهای غیرتولیدی با کاربردهای صنعتی مشابه خود چندان تفاوتی ندارند. به‌عنوان مثال، نمودار کنترل نسبت اقلام معیوب که در فصل ۷ بحث خواهد شد را می‌توان به همان سهولتی که در مورد کاهش نسبت صفحات چاپ شدهٔ معیوب استفاده می‌شود در مورد کاهش اشتباهات صورت حساب‌های یک بانک نیز استفاده کرد. نمودارهای $\bar{x}$ و R که در این فصل به آنها اشاره و برای فرآیند پخت سخت استفاده شد را می‌توان برای پایش و کنترل زمان تا پرداخت صورت حساب‌ها در یک بخش مالی استفاده کرد. کاربردهای تراکنشی یا خدماتی SPC در بعضی مواقع نیاز به ابتکارهایی دارد که معمولاً در کاربردهای تولیدی به آنها نیازی نیست. دو دلیل اصلی زیر می‌تواند برای چنین تفاوتی وجود داشته باشد:

۱-اغلب کسب‌وکارهای تراکنشی و خدماتی فاقد سیستم اندازه‌گیری هستند و تحلیل‌گر نمی‌تواند به سادگی کیفیت را تعریف کند.

۲-در محیط‌های تولیدی، سیستمی که باید بهبود یابد به سادگی قابل‌تصور است ولی در محیط‌های غیرتولیدی درک و مشاهده فرآیندی که باید بهبود یابد معمولاً دشوار است.

به‌عنوان مثال، اگر بخواهیم عملکرد یک خط مونتاژ رایانه را بهبود دهیم آن‌گاه بسادگی می‌توان خط مونتاژ را با فعالیت‌های قابل‌رؤیت آن در داخل یک کارخانه تصور کرد ولی اگر بخواهیم فعالیت‌های یک سازمان مالی را بهبود دهیم دیگر به این سادگی نمی‌توان فعالیت‌های فرآیند را تصور کرد. فعالیت‌های واقعی فرآیند ممکن است توسط گروهی از افراد که در مکان‌های مختلف مشغول به‌کار هستند انجام شود که در این صورت تصور مراحل عملیات یا جریان کار مشکل خواهد بود. به علاوه، عدم وجود یک سیستم اندازه‌گیری کمّی مشخص در فرآیندهای غیرتولیدی مشکل را پیچیده‌تر می‌کند.

کلید استفاده از روش‌های کنترل فرآیند آماری و سایر روش‌های مرتبط در محیط‌های غیرتولیدی، تلاش در جهت حل دو مشکل فوق است. تجربه ثابت کرده است که اگر تعریف کامل و مناسبی برای سیستم مورد نظر وجود داشته باشد آن‌گاه اغلب ابزارهای SPC که در این فصل بحث شدند را می‌توان در فعالیت‌های غیرتولیدی نظیر فعالیت‌های مالی، بازاریابی، مواد و تدارکات، خدمات بعد از فروش، خدمات میدانی، طراحی و توسعه مهندسی، برنامه‌نویسی و تهیه نرم‌افزارها استفاده کرد.

نمودارهای فرآیند عملیات، نمودارهای جریان و نقشهٔ جریان ارزش را می‌توان برای تعریف و درک فرآیند استفاده کرد. یک نمودار جریان، توالی مراحل یک فرآیند یا جریان کار را نشان می‌دهد. در بعضی مواقع نمودار جریان را **نقشهٔ فرآیند** می‌نامند. نمودارهای جریان

Www.iepnu.com

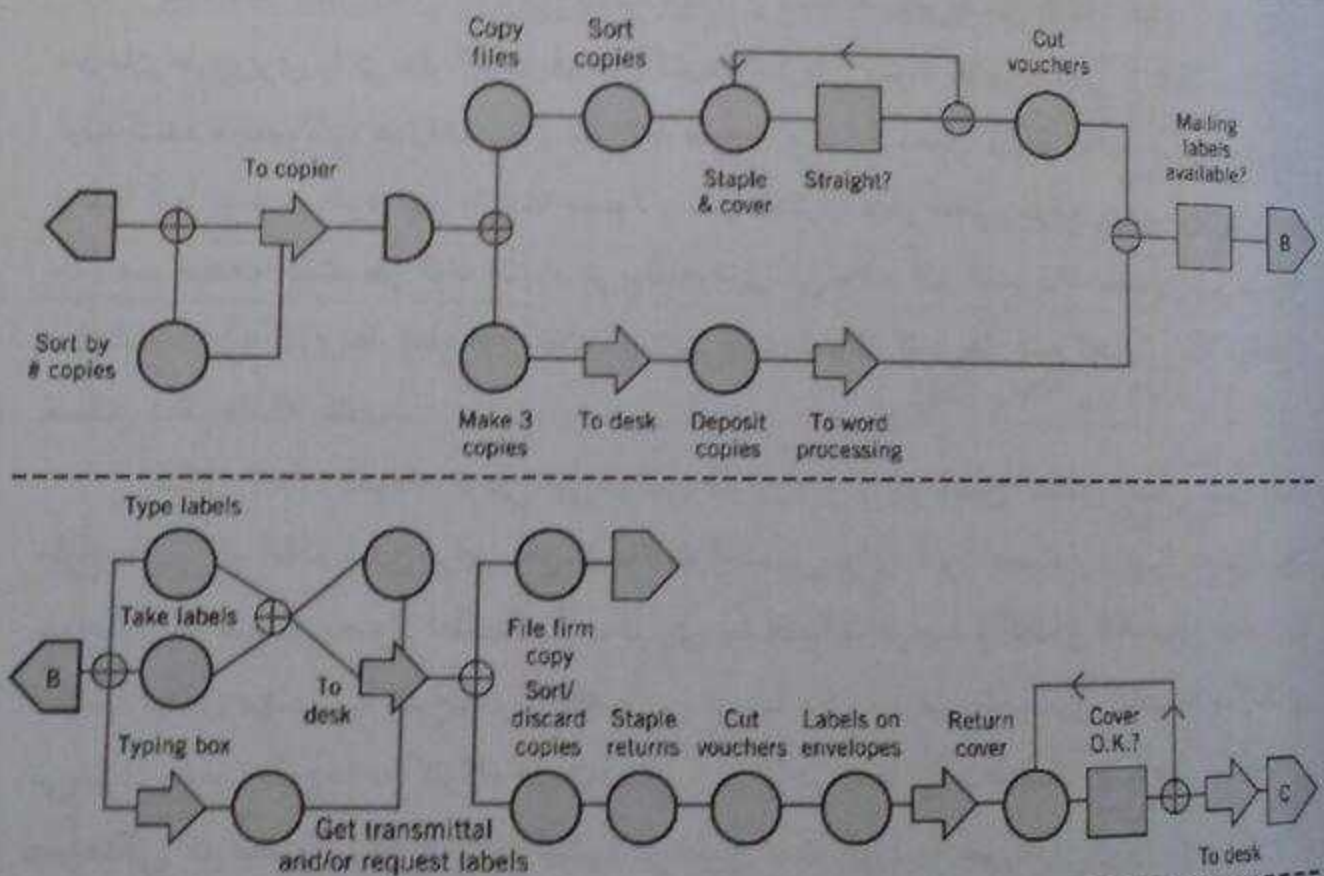
نمادهای

حرکت

باید با جزئیات کافی تهیه شود تا فعالیت‌هایی که دارای **ارزش افزوده** هستند از فعالیت‌های **فاقد ارزش افزوده** متمایز شوند.

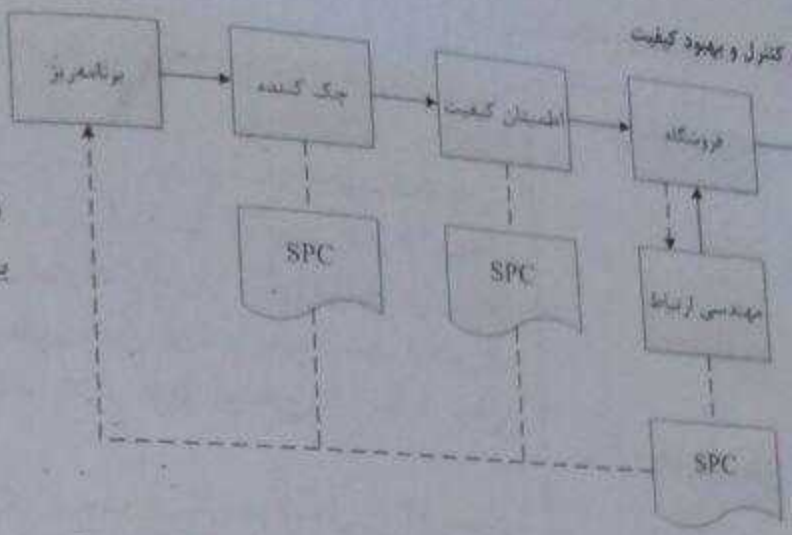
اغلب فرآیندهای غیرتولیدی دارای ضایعات، دوباره‌کاری و سایر **عملیات‌های غیرارزش افزا** نظیر مراحل کاری غیر ضروری و گلوگاه هستند که تحلیل نظام‌مند این فرآیندها غالباً می‌تواند این فعالیت‌های غیر ارزش افزا را حذف کند. استفاده از نمودار جریان می‌تواند برای به تصویر کشیدن و تعریف فرآیند با هدف شناسایی فعالیت‌های غیرارزش‌افزا مفید باشد. برخی از روش‌های حذف فعالیت‌های غیر ارزش‌افزا و ساده‌سازی فرآیند در جدول روبه‌رو به اختصار بیان شده است.

یک نمونه از نمودار جریان برای فرآیندی در یک صنعت خدماتی در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است. این نمودار توسط تیم بهبود فرآیند در یک شرکت حسابرسی که فرآیند آماده‌سازی فرم مالیاتی را مطالعه می‌کرد، تهیه شده است. این نمودار جریان فقط یک زیر فرآیند خاص ازآماده‌سازی مستندات مالیاتی را نشان می‌دهد. این نمودار جریان به‌عنوان بخشی از مستندات مرحلهٔ تعریف فرآیند DMAIC تهیه شده است. به جزئیات نمودار جریان که تیم را در راستای شناسایی اتلاف‌ها و فعالیت‌های غیر ارزش‌افزا یاری می‌دهد توجه کنید. در این مثال، تیم از نمادهای خاصی در نمودار جریان استفاده کرده است. به‌طور مشخص، آن‌ها از نمادهای متداول **نمودار فرآیند عملیات** به‌صورت ارایه شده در جدول مقابل استفاده کرده‌اند.



شکل ۳-۲۳ نمودار جریان فرآیند آماده‌سازی بخشی از مدارک مالیاتی .

Www.iepnu.com



شکل ۳-۲۴ یک نمودار جریان سطح کلان برای فرآیند طرح‌ریزی.

این نمادها کمک می‌کنند تا اعضای تیم بتوانند راحت‌تر فرصت‌های بهبود را شناسایی کنند. به‌عنوان مثال، تأخیرها، اغلب بازرسی‌ها و حمل و نقل‌ها معمولاً از جنس فعالیت‌های غیر ارزش‌افزا هستند. شرکت حسابرسی نیز توانست از روش‌های بهبود کیفیت و رویکرد DMAIC به نحوهٔ موفقیت‌آمیزی در فرآیند مالیاتی خود استفاده و زمان سیکل آماده‌سازی مدارک مالیاتی را به میزان ۲۵٪ و زمان سیکل آماده‌سازی و ارسال درخواست موکل خود را از ۶۰ روز به صفر روز کاهش دهد. حال درخواست موکل خود همراه با مدارک مالیاتی ارسال می‌شود.

به منظور نشان دادن کاربردی دیگر، مثالی از استفادهٔ روش‌های بهبود کیفیت در یک سازمان طرح‌ریزی را در نظر گیرید. فرض کنید سازمان مورد نظر بخشی از یک سازمان تولیدکننده محصولات هوا فضا است که کلیه طرح‌ها و مدارک مورد نیاز و فعالیت‌های سازمان توسط آنها تهیه می‌شود. این طرح‌ها معمولاً بسیار گسترده و در بعضی مواقع حجم آنها بالغ بر چند صد صفحه است. هر گونه اشتباه در برنامه‌ریزی می‌تواند اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان ضایعات، دوباره کاری‌ها، زمان‌های تولید از دست‌رفته، اضافه کاری‌ها، عدم تحویل به موقع و مسائل دیگر داشته باشد.

شکل ۳-۲۴ نمودار جریان این فرآیند طرح‌ریزی را در سطح کلان نشان می‌دهد. طرح‌ها پس از آماده شدن برای رفع اشکالات احتمالی برای فرد مسئول ارسال می‌شود. همچنین به منظور حصول اطمینان از برقراری مشخصات فرآیند و انطباق محصول نهایی با استانداردهای مهندسی، طرح‌های آماده شدن توسط یک سازمان تضمین کیفیت بازبینی می‌شود. سپس طرح‌ها به کارگاه فرستاده می‌شود تا در آنجا توسط یک سازمان مهندسی هماهنگی که مسئول رفع هرگونه اشتباه در طرح است مورد بررسی قرار گیرد. این نمودار جریان برای ارائه یک تصویر کلی از سیستم طرح‌ریزی مناسب است ولی به علت عدم وجود جزئیات لازم در هر قسمت، فعالیت‌هایی که فاقد ارزش افزوده هستند را نمی‌توان شناسایی کرد. با این حال، هر بخشی نظیر مسئول طرح‌ریزی، ارزیاب و تضمین کیفیت را می‌توان به فعالیت‌ها و مراحل کوچک‌تری تقسیم کرد. این رویکرد شکستن کار معمولاً در فرآیندهای پیچیده کمک خواهد کرد تا نمودار جریان به سهولت تهیه شود. حتی در چنین سطح کلانی نیز این امکان وجود دارد که بتوان حداقل سه ناحیه برای استفاده مفید از روش‌های SPC در فرآیند طرح‌ریزی شناسایی کرد.

Www.iepnu.com

مدیریت سازمان طرح تصمیم گرفت که به منظور کاهش میزان اشتباهات در طرح‌ریزی، یک پروژه بهبود کیفیت در سازمان تعریف کند. تیمی متشکل از مدیران، کارشناس‌های طرح‌ریزی و ارزیاب‌ها برای اجرای این پروژه انتخاب شدند. در مرحلهٔ اندازه‌گیری تیم تصمیم گرفت که هر هفته سه طرح به‌طور تصادفی از کلیه طرح‌هایی که تهیه می‌شود انتخاب و آنها را به‌طور کامل تحلیل نماید تا از وجود هرگونه اشتباه در طرح‌ریزی مطلع شود. شکل ۳-۲۵ برگهٔ کنترل که برای ثبت اشتباهات هر طرح استفاده می‌شد را نشان می‌دهد. این داده‌های هفتگی توسط برگه کنترل ارائه شده در شکل ۳-۲۶ به داده‌های خلاصه شده ماهانه تبدیل می‌شد. بعد از گذشت چندین هفته، تیم توانست به وسیلهٔ نمودار پارتو که در شکل ۳-۲۷ نشان داده شده است.

برگه داده‌ها

P/N:	خطاها	توصیف	اقدام
۱. بخش عنوان الف. شماره محصول ب. آیتم ج. مدل			
۲. بخش مستندات یا DWG			
۳. بخش محصول عنصری الف. کدهای تدارکات ب. مرحله بندی ج. MOA (شماره علامت ها)			
۴. بخش موارد ریز			
۵. بخش مواد الف. کد MCC (غیر MP و MR)			
۶. بخش عملیاتی الف. ذخیره موردی ب. کاربری تجهیزات ج. منطق‌های OPC FWC د. توالی عملیات ه. اپراتورهای حذف شده و. مشخصات فرآیند ز. ذخیره مسیر انتهایی ک. جوش شبکه			
۷. سفارشات کمکی ابزاری			
۸. آماده سازی ذخیره ماشین			

نکات:

تعداد عملیات:

چک کننده:

تاریخ:

شکل ۳-۲۵ برگهٔ کنترل برای مثال برنامه‌ریزی.

Www.iepnu.com

میزان اشتباهات در طرح‌ریزی را خلاصه نماید. این نمودار پارتو بیانگر این واقعیت است که اشتباهات در بخش عملیات بیشتر از قسمت‌های دیگر است و در حقیقت ۶۵٪ اشتباهات طرح‌ریزی مربوط به این قسمت می‌شود. شکل ۳-۲۸ تحلیل پارتو مربوط به اشتباهات بخش عملیات را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید منبع اصلی ایجاد اشکال، عملیات حذف شده و مشخصه‌های فرآیند است.

خلاصه داده‌های هر ماه					
۱. بخش عنوان الف. شماره محصول ب. آیتم ج. مدل					
۲. بخش مستندات یا DWG					
۳. بخش محصول عنصری الف. کدهای تدارکات ب. مرحله بندی ج. MOA (شماره علامت ها)					
۴. بخش موارد ریز					
۵. بخش مواد الف. کد MCC (غیر MP و MR)					
۶. بخش عملیاتی الف. ذخیره موردی ب. کاربری تجهیزات ج. منطق‌های OPC FWC د. توالی عملیات ه. اپراتورهای حذف شده و. مشخصات فرآیند ز. ذخیره مسیر انتهایی ک. جوش شبکه					
۷. سفارشات کمکی ابزاری					
تعداد کل خطاها					
تعداد عملیات چک شده					
هفته					

شکل ۳-۲۶ برگهٔ کنترل خلاصه.

Www.iepnu.com

با بررسی این نمودارها و تحلیل‌های انجام شده تیم نتیجه‌گیری کرد که اغلب اشتباهات عملیات به علت عدم آشنایی کارشناسان طرح‌ریزی با عملیات تولیدی و مشخصات فرآیند موجود بوده است. در نتیجه برنامه‌ای برای آشنایی کارشناسان طرح‌ریزی با جزئیات عملیات موجود در سطح کارخانه در نظر گرفته شد تا بازخورد بیشتری در مورد انواع اشتباهات که رخ می‌دهد تهیه شود. شکل ۳-۲۹ یک نمودار تسلسل[1] را برای اشتباهات برنامه‌ریزی در هر عملیات برای ۲۵ هفته متوالی نشان می‌دهد.

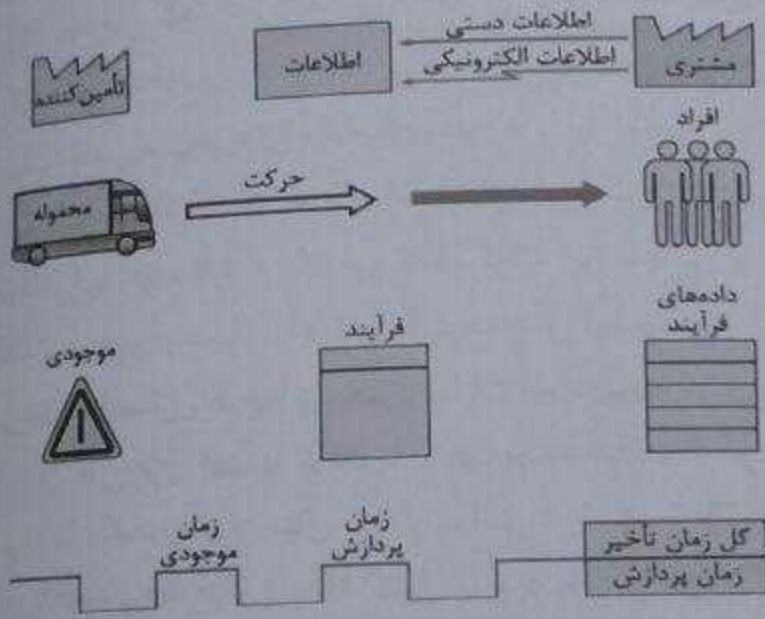
با توجه به این نمودار پی می‌بریم که در مراحل اولیهٔ هر عملیات، اشتباهات برنامه‌ریزی زیاد است و با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به علت افزایش فعالیت‌های نظارت و آموزش کارشناسان طرح‌ریزی و یا به علت دریافت بازخورد انواع اشتباهات باشد. همچنین تیم ایجاد تغییرات اساسی در روش‌های آماده‌سازی طرح‌ها را نیز پیشنهاد کرد. به منظور افزایش میزان بهبود فرآیند، تیم پیشنهاد کرد که به جای استفاده از یک مسئول طرح‌ریزی که کلیهٔ مسئولیت‌های بخش عملیات را به عهده دارد، از یک تیم کمک گرفته شود تا دانش و تجربهٔ آن‌ها ارتباط موردنیاز بین کارخانه و طرح‌ریزی عملیات را فراهم سازد. همچنین تیم پیشنهاد کرد تا تغییرات اساسی در روش‌های فعلی آماده‌سازی طرح‌ها در بخش عملیات ایجاد شود.

سازمان طرح‌ریزی تصمیم گرفت به منظور بهبود کیفیت، از ابزارهای دیگر کنترل فرآیند آماری نیز استفاده کند. به‌عنوان مثال، نمودار تسلسل در شکل ۳-۲۹ را در نظر گیرید. این نمودار را می‌توان با افزودن خط مرکز و حدود کنترل مناسب به یک نمودار کنترل شوهارت تبدیل کرد. از زمانی‌که کارشناسان طرح‌ریزی با موضوع SPC آشنا شدند، استفاده از نمودارهای کنترل در سطح سازمان آغاز شد. نمودارهای کنترل نشان دادند که می‌توانند در شناسایی انحرافات با دلیل، نظیر زمان‌هایی که میزان خطای تولید شده به وسیله سیستم بیشتر از میزان تصادفی آنها بود، مفید باشند. قابلیت تشخیص انحرافات با دلیل و تصادفی از یکدیگر یکی از خواص مهم نمودارهای کنترل است که باعث می‌شود تا آنها در سطح وسیعی کاربرد داشته باشند. مدیریت باید نسبت به انحرافات با دلیل و تصادفی واکنشی متفاوت از خود نشان دهد. انحرافات با دلیل به علت وجود پدیده‌های خارج از سیستم به‌وجود می‌آیند و باید علل به وجود آمدن آها شناسایی و منابع ایجاد آنها حذف شود. انحرافات تصادفی بخشی از سیستم هستند. آنها را می‌توان فقط با ایجاد تغییر در روشی که سیستم عمل می‌کند کاهش و یا حذف کرد. این بدین معنا است که باید در روش‌های کار و رویه‌ها تجدید نظر شود، آموزش اپراتورها بهبود یابد، انواع مختلف دستگاه‌ها و تسهیلات استفاده شود و یا مواد ورودی بهتری به کار برده شود که همگی اینها بخشی از مسئولیت مدیریت است. در فرآیند طرح‌ریزی، بخش عمده‌ای از علل شناسایی شده مربوط به تجزیه، آموزش و نظارت کارشناسان طرح‌ریزی و عدم دریافت اطلاعات ورودی کافی از بخش مهندسی طراحی و توسعه است. این انحرافات تصادفی به‌طور نظام‌مند از فرآیند حذف شده و اثر بلندمدت اجرای SPC در این سازمان باعث شد تا اشتباهات طرح‌ریزی به میزانی کمتر از یک اشتباه طرح‌ریزی در هر ۱۰۰۰ عملیات کاهش یابد.

Www.iepnu.com

نقشهٔ جریان ارزش[1] روش دیگری برای دیدن جریان مواد و اطلاعات در یک فرایند است. یک نقشهٔ جریان ارزش بسیار شبیه به یک نمودار جریان است. ولی اطلاعات دیگری نظیر فعالیت‌های انجام شده همراه با اطلاعات مورد نیاز یا تولید شده در هر مرحله نیز در این نمودار لحاظ می‌شود. این نمودار یک ابزار تصویری بزرگ است که تیم بهبود را در بهینه‌سازی کل فرآیند یاری می‌دهد تا از تمرکز تیم بر بخش کوچکی از فرآیند که باعث راه حل‌های شبه بهینه می‌شود جلوگیری کند.

نقشهٔ جریان ارزش همانند یک نمودار جریان یا نمودار فرآیند عملیات معمولاً از نمادهای خاصی استفاده می‌کند. نمادهایی که معمولاً در نقشه‌های جریان ارزش استفاده می‌شود در شکل زیر نشان داده شده است:



نقشهٔ جریان ارزش تصویری از جریان ارزش را از منظر محصول ارائه می‌کند. این نقشه یک نمودار جریان از کاری که افراد انجام می‌دهند نیست بلکه نقشه‌ای از کاری که بر روی محصول انجام می‌شود است. بدیهی است برای رسم یک نقشهٔ جریان ارزش نیاز است که داده‌های فرآیند جمع‌آوری شود. برخی از داده‌هایی که معمولاً جمع‌آوری می‌شود شامل موارد زیر است:

	زمان مورد نیاز برای یک واحد محصول تا کل جریان ارزش را از ابتدا تا انتها طی کند.
	زمان سپری شده از مرحلهٔ ورود محصول در یک فرآیند تا زمان ترک فرآیند.
	هر چند وقت یک محصول به وسیلهٔ فرآیند تکمیل می‌شود. زمان سیکل یک نرخی است که از تقسیم زمان فرآیند بر تعداد افراد یا دستگاه‌هایی که کار را انجام می‌دهند به‌دست می‌آید.
	این زمان شامل زمان انجام فعالیت‌هایی نظیر بارگیری/ تخلیه، آماده‌سازی دستگاه، آزمایش و اجرای آزمایشی می‌شود. به‌عبارت دیگر، زمان صرف شده برای فعالیت‌هایی که بین تکمیل یک محصول خوب تا شروع کار بر روی محصول یا دسته‌بندی محصول واقع می‌شود.

1. Value stream map
2. Lead time - LT
3. Processing time - PT
4. Cycle time - CT
5. setup time - st

Www.iepnu.com

۵- زمان موجود[1]	زمان موجود برای جریان ارزش در هر روز اگر محصولی برای انجام کار وجود داشته باش
۶- زمان مشغول به کار[2]	درصد زمان عملیات واقعی فرآیند نسبت به زمان موجود یا زمان عملیات برنامه‌ریزی شد
۷- اندازه بسته[3]	کمّیت محصول درخواستی مشتری برای حمل.
۸- اندازه دسته[4]	کمّیت محصول تولید و جابه‌جا شده در یک زمان.
۹- زمان صف[5]	زمان انتظار محصول تا شروع انجام کار بر روی آن.
۱۰- کار در جریان[6]	محصولی که در دست تولید بوده ولی هنوز تکمیل نشده است.
۱۱- جریان اطلاعات[7]	زمان‌بندی، پیش‌بینی و سایر اطلاعات که مرحلهٔ اقدام بعدی در هر فرآیند را تعیین می

یک نقشهٔ ارزش که تقریباً می‌تواند هر چیزی از تولید محصول (دریافت قطعات، قطعات پیش‌ساخته، مونتاژ محصول، بسته‌بندی و ارسال محصول برای مشتری) تا انجام یک تراکنش (دریافت اطلاعات، اطلاعات پیش پردازش شده، انجام محاسبات و تصمیم‌گیری، اطلاع‌رسانی به مشتری در مورد تصمیم اتخاذ شده یا نتایج) باشد در شکل ۳-۳۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید زمان آماده‌سازی به ازای هر قطعه تعیین و برحسب زمان نشان داده شده است. این مثالی **از نقشهٔ جریان ارزش فعلی**[8] است. به‌عبارت دیگر، این نقشه چیزهایی که در حال حاضر در فرآیند رخ می‌دهد را نشان می‌دهد. فرآیند DMAIC می‌تواند در حذف اتلاف‌ها و عدم کارایی‌ها در فرآیند، حذف نقص‌ها و دوباره‌کاری، کاهش تأخیرات، حذف فعالیت‌های غیر ارزش‌افزا، کاهش موجودی در جریان، کاهش بازرسی‌ها و جابه‌جایی غیرضروری محصول نقش بسیار مؤثری داشته باشد. از آنجایی‌که کارایی سیکل فرآیند خوب نیست لذا می‌توان فرصت‌های بهبود زیادی را در این فرآیند انتظار داشت. به‌طور مشخص،

کارایی س

$$\text{کارایی سیکل فرآیند} = \frac{\text{زمان ارزش‌افزا}}{\text{زمان سیکل فرآیند}} = \frac{۳۵/۵}{۵۷۵/۵} = ۰/۰۶۱۷$$

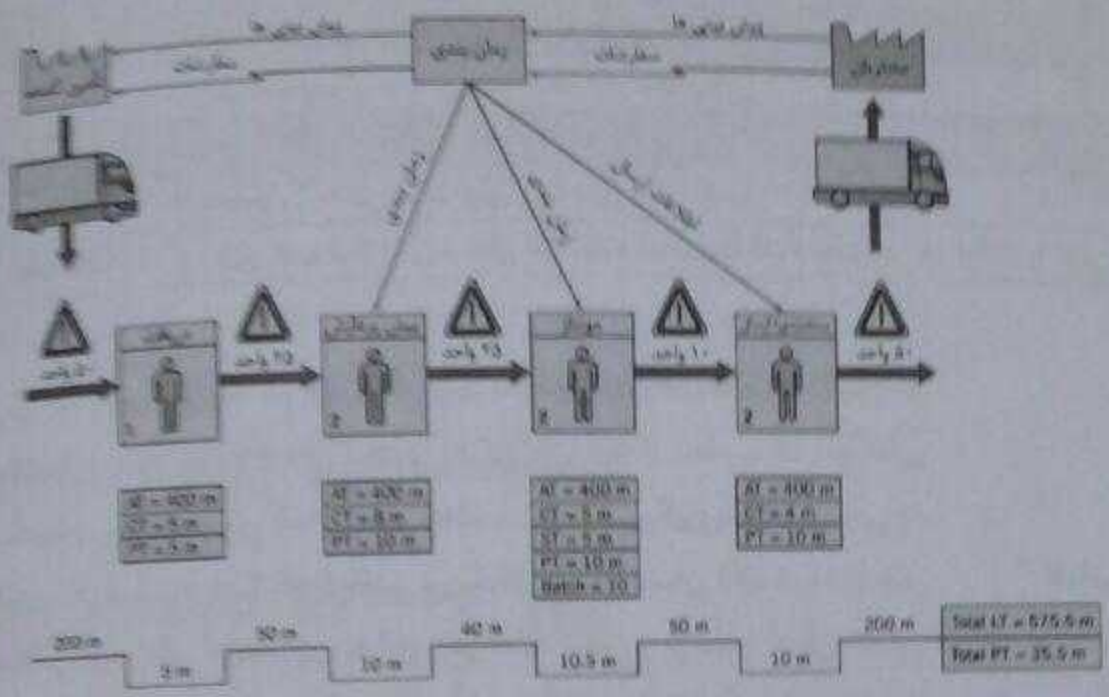
کاهش موجودی در جریان، یک روش بهبود کارایی سیکل فرآیند است. با بهبود یک فرآیند غالباً **نقشهٔ جریان ارزش آتی**[9] با هدف نشان دادن یک فرآیند اصلاح‌شده تهیه می‌شود. می‌شود.

در نهایت، غالباً این سؤال مطرح می‌شود که ابزارهای بهبود کیفیت ارائه شده در این کتاب را چگونه می‌توان در کسب‌وکارهای خدماتی و تراکنشی استفاده کرد. در عمل، تقریباً تمام روش‌ها را می‌توان مستقیماً به این کسب‌وکارها نیز تعمیم داد. به‌عنوان مثال، طراحی آزمایش‌ها در فعالیت‌های بانکداری، مالی، بازاریابی، بهداشت و درمان و کسب‌وکارهای خدماتی/ تراکنشی دیگر استفاده شده است. طراحی آزمایش‌ها را می‌توان در کاربردهایی که با متغیرهای تصمیم در

wip

ie stream map
stream map

Www.iepnu.com



شکل ۳-۳۰ یک نقشهٔ جریان ارزش

یک فرایند سروکار داریم استفاده کرد. در برخی مواقع می‌توان از شبیه‌سازی فرایند برای بهره در اجرای آزمایش استفاده کرد. نمودارهای کنترل نیز کاربردهای متعددی در بخش خدمات و اشتباه بسیار بزرگی است اگر تصور کنیم که این فنون را به دلیل این‌که در محیط تولیدی کار نمی‌کنیم، نمی‌توان استفاده کرد.

شاید یک تفاوت اصلی این باشد که در محیط‌های خدماتی اغلباً با داده‌های جمع مواجه خواهیم بود، اما در محیط‌های تولیدی غالباً با داده‌های پیوسته سروکار داریم و فرض برقراری توزیع تقریبی نرمال زیاد دور از انتظار نیست. با این وجود در فرایندهای خدمتی و تراکنشی اغلب داده‌هایی که در پروژه‌های بهبود کیفیت استفاده می‌شود یا شبیه درصد محصولات خوب یا تعداد خطاها یا نقص‌ها است. در فصل ۶ درباره نمودارهای کنترل وصفی صحبت خواهد شد. این نمودارهای کنترل دارای کاربردهای زیادی در بخش خدمت است. با این وجود، برخی از داده‌های پیوسته نظیر زمان سیکل که در فرایندهای خدمتی تراکنشی مشاهده می‌شود دارای توزیع نرمال نیست.

اجازه دهید در مورد فرض نرمال بودن داده‌ها صحبت کنیم. به نظر می‌رسد که تکنیک روش‌های آماری (نظیر آزمون‌های t و تحلیل واریانس) نسبت به فرض نرمال بودن بسیار حساس هستند. انحرافات نه چندان زیاد از فرض نرمال بودن تاثیر نسبتاً کمی بر اثربخشی این روش‌ها دارد. برخی از روش‌ها نظیر آزمون‌های واریانس نسبت به انحراف از توزیع نرمال بسیار حساس هستند. یک روش جایگزین برای مقابله با انحراف‌های متوسط و زیاد از فرض نرمال بودن استفاده از **تبدیل** داده‌های اولیه است. با تبدیل داده‌ها (مثلاً لوگ گرفتن از داده‌های اولیه) مجموعه‌ای جدید از داده‌ها به‌دست می‌آید که توزیع آنها به نرمال نزدیک‌تر است. یکی از ضعف‌های این روش آن است که افراد غیر فنی غالباً تبدیل داده‌ها را متوجه نمی‌شوند و اگر داده‌ها در یک مقیاس غیر آشنا ارائه می‌شود احساس راحتی نمی‌کنند. به منظور رفع این مشکل

Www.iepnu.com

می‌توان تحلیل‌های آماری را با استفاده از داده‌های تبدیل شده انجام داد ولی نتایج را در واحد داده‌های اولیه ارائه کرد.

بدیهی است نباید در مورد کاربرد فرض نرمال ابهامی وجود داشته باشد. به‌عنوان مثال، فرض کنید قرار است یک مدل رگرسیون خطی در زمان سیکل فرآیند رسیدگی به یک ادعای بیمه برازش شود. زمان سیکل y و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده شامل توصیف‌کننده‌های مختلف مشتری و نوع ادعا است. بنابراین، مدل زیر را می‌توان استفاده کرد:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

داده‌های y یا زمان سیکل دارای توزیع نرمال نیست. بخشی از علت آن است که مشاهدات y تحت تأثیر مقادیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده x_1، x_2 و x_3 قرار دارد. همان‌گونه که می‌دانید خطاهای مدل باید دارای توزیع تقریباً نرمال باشد (نه توزیع مشاهدات y) بدین دلیل باقی‌مانده‌های مدل رگرسیون تحلیل می‌شود. اگر باقی‌مانده‌ها دارای توزیع تقریبی نرمال باشد آن‌گاه مشکلی وجود نخواهد داشت. تبدیل متغیر، روش استانداردی است که می‌توان غالباً به‌طور موفقیت‌آمیزی برای رفع مشکل انحراف‌های متوسط تا شدید از توزیع نرمال استفاده کرد.

در برخی مواقع در فرآیندهای خدماتی و تراکنشی متغیر پاسخ مدل رگرسیون وصفی است. به‌عنوان مثال، یک بانک ممکن است بخواهد نسبت درخواست‌های وام تأییدشده را پیش‌بینی کند. این معیاری برای بازده این فرآیند محسوب می‌شود. احتمال بازده از توزیع بینم پیروی می‌کند. به احتمال زیاد نمی‌توان از تقریب نرمال برای بازده استفاده کرد که در چنین شرایطی مدل **رگرسیون خطی استاندارد** کاربردی نخواهد داشت. با این وجود، روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر مدل‌های خطی تعمیم یافته[1] را می‌توان برای رفع این مشکل استفاده کرد. به‌عنوان مثال، **رگرسیون لجستی**ک[2] را می‌توان با داده‌های بینم و رگرسیون پوآسون با انواع مختلفی از داده‌های شمارشی استفاده کرد. رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار Minitab و رگراسیون لجستیک و رگرسیون پوآسون در نرم‌افزار JMP وجود دارد.

در شرایط خاص
غیرپارامتری
به‌عنوان جایگز
t و تحلیل
نرم‌افزارهای ا
انجام تحلیل
آزمون‌های اما
بینم و پوآسون

واژه‌ها و مفاهیم مهم

حدود اقدام	نمودار کنترل	فرآیند تحت کنترل
انحراف بادلیل تغییرات	نمودار تمرکز نقص	هفت ابزار عالی
نمودار علت و معلول	آزمایش‌های طراحی شده	طرح اقدام خارج از
انحراف‌های تصادفی تغییرات	نمودارهای جریان، نمودارهای عملیات و نقشهٔ جریان ارزش	فرآیند خارج از کنت
برگهٔ کنترل	آزمایش عاملی	نمودار پراکندگی
نمودار پارتو	روند بر روی نمودار کنترل	نمودار کنترل شوه
کنترل آماری یک فرآیند	حدود کنترل سه انحراف معیار	کنترل فرآیند آماری

els

Www.iepnu.com

تمرین‌ها

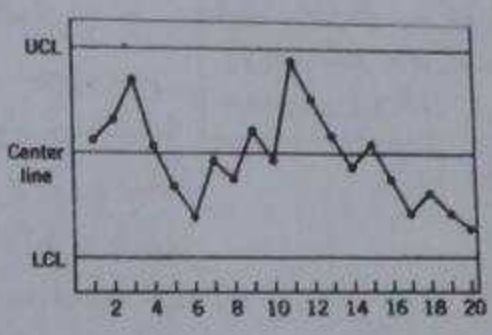
۳-۱ انحراف‌های تصادفی و با دلیل چه هستند؟ آنها چه نقشی در عملکرد و تفسیر نمودار کنترل ایفا می‌کنند؟

۳-۲ در مورد رابطهٔ یک نمودار کنترل و یک آزمون فرض آماری بحث کنید.

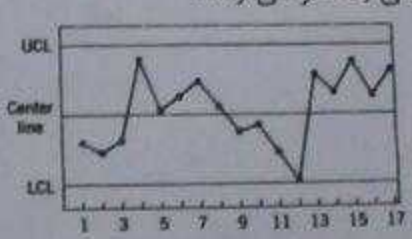
۳-۳ منظور از یک فرآیند تحت کنترل آماری چیست؟

۳-۴ اگر فرآیندی تحت کنترل آماری باشد آیا لزوماً تمام یا تقریباً تمامی محصولات تولید شده در بین حدود مشخصات واقع خواهند شد؟

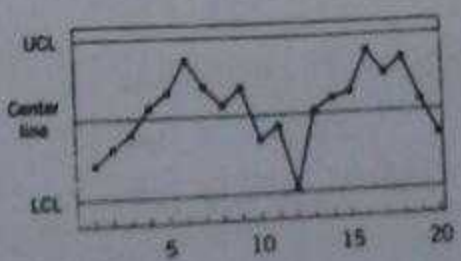
۳-۶ نمودار کنترل زیر را در نظر گیرید. آیا نقاط روند تصادفی دارند؟



۳-۷ آیا روند مشاهده شده بر روی نمودار کنترل زیر تصادفی به نظر می رسد؟



۳-۸ نمودار کنترل زیر را در نظر گیرید. آیا نقاط روند تصادفی دارند؟



۳-۹ فرض کنید شما همیشه نیم‌ساعت دیرتر از زمان مقرر به محل کار خود می‌رسید. یک نمودار علت و معلول برای شناسایی علل بالقوهٔ این مشکل تهیه کنید.

۳-۱۰ یک خودرو در زمان بارندگی برف از جاده خارج و یک درخت برخورد کرده است. یک نمودار علت معلول که جزئیات علل بالقوه این سانحه را نشان تهیه کنید.

۳-۱۱ بستهٔ ظروف آزمایشگاهی ارسالی از طریق کننده که از طریق سرویس شبانهٔ پست به تحویل گردیده دچار خسارت شده است. یک علت و معلول که علل ایجاد این خسارت را نشان دهد، تهیه کنید.

۳-۱۲ یک نمودار علت و معلول برای شناسایی علل طعم نامناسب چای تهیه شده در یک کنید.

۳-۱۳ یک نمودار جریان برای فرآیند فعالیت‌های زمان بیدار شدن تا ورود به محل کار یا دانشگاه می‌دهید، تهیه کنید. فعالیت‌های ارزش افزا و ارزش را شناسایی کنید.

۳-۱۴ یک نمودار جریان برای فرایند پیش ثبت نام خود تهیه کنید. فعالیت‌های ارزش افزا و شناسایی کنید.

۳-۱۵ از ابزارهای بهبود فرآیند متعددی می‌توان در روزمره استفاده کرد. یک برگه کنترل برای "عیوب" زندگی شخصی خود نظیر برخ گستاخی، عدم پایداری به تعهدات، نرسیدن کلاس‌ها و غیره تهیه کنید. از این برگه کنترل ثبت "عیوب" طی یک ماه استفاده کنید نمودار پارتو برای تحلیل این داده‌ها استفاده کنید ایجاد این "عیوب" را تشریح کنید.

فصل چهارم استنباط آماری در مورد کیفیت محصول و فرآیند

معدن طلای نیوکرست!

نیوکرست، به‌عنوان بزرگترین معدن طلای استرالیا، سالیانه تقریباً ۳۰۰۰۰۰۰ اونس طلا تولید می‌کند. با توجه به اینکه حتی برای استخراج طلا از سنگ معدن درجهٔ پایین نیاز به پروسه‌های حجیم استخراج معدن و روش‌های گران‌قیمت می‌باشد، این موضوع کار چندان ساده‌ای نیست.

این شرکت دارای ناوگانی از کامیون‌های بزرگ می‌باشد که از طریق یک سطح شیب‌دار باریک به داخل چاله‌های معدن رفته، هرکدام به میزان متوسط ۲۲۵ تن سنگ معدن را برداشت کرده و سپس بار را به خارج معدن و به سمت یک ماشین خردکن حمل می‌کنند. متأسفانه کامیون‌ها تنها می‌توانند با سرعتی معادل ۵ الی ۸ مایل بر ساعت در سطح تک-کانالهٔ شیب‌دار رفت و آمد کنند. برخی از کامیون‌ها حتی آهسته‌تر از این میزان حرکت می‌کنند که اغلب نیاز به پشتیبانی حجیمی از وسایل نقلیه خواهد بود.

برای افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد کل، نیوکرست به دنبال کاهش نوسانات سرعت کامیون‌ها بود. در طی یک بازهٔ دو هفته‌ای، یک تیم، داده‌هایی از پنج کامیون را مشاهده و ثبت نمود که نشان می‌دادند *شیب سطح* و *عملکرد ماشین تزریق سوخت* بیشترین تأثیر را روی سرعت کامیون‌ها داشته‌اند.

سپس این تیم راه‌کارهایی را پیشنهاد و اثربخشی آن‌ها را مورد آزمایش قرار داد. آن‌ها شیب این سطح سربالایی را تغییر داده و سرعت حاصل شده را اندازه‌گیری کردند. با مقایسه داده‌های سرعت، برای قبل و بعد از آزمایشات با استفاده از یک آزمون t نتیجه این بود که تغییر شیب، به‌صورت معناداری سرعت کامیون‌ها را افزایش داده است. این تیم همین‌طور راهی برای شناسایی ماشین‌های معیوب تزریق سوخت پیدا کردند.

در نهایت، آن‌ها به یک افزایش ۲/۶ درصدی در سرعت کامیون‌ها و کاهش ۷ درصدی در

رئوس مطالب فصل

۴-۱ توضیح در مورد تغییرات
۴-۲ توزیع‌های احتمال
۴-۳ توزیع نرمال
۴-۴ استنباط آماری
۴-۵ استنباط آماری برای یک نمونه
۴-۶ استنباط آماری برای دو نمونه
مکمل اول. خواندن از روی جدول توزیع تجمعی نرمال
مکمل دوم. خواندن از روی جدول t
مکمل سوم. خواندن از روی جدول توزیع مربع کای
مکمل چهارم. خواندن از روی جدول توزیع F
مکمل پنجم. آماره‌های آزمون فرض
مکمل ششم. ایجاد نمودارها با استفاده از Minitab و SPC XL
مکمل هفتم. ایجاد آماره‌های توصیفی با استفاده از Minitab و SPC XL
مکمل هشتم. ایجاد فواصل اطمینان با استفاده از Minitab و SPC XL

نوسانات سرعت کامیون‌ها دست یافتند. این بهبودهای به نظر کم، تنها در سال اول منجر به صرفه‌جویی ۸۳۵۰۰۰ دلار برای شرکت خواهند شد. بهبودهای دیگری نیز در دست بررسی می‌باشند تا صرفه‌جویی در هزینه‌های این شرکت را افزایش دهند.

استنباط آماری در مورد کیفیت فرآیند

شما یا آنچه اندازه‌گیری می‌کنید هستید یا بدتر از آن! (هاوزر و کاتز، ۱۹۹۸)

یکی از مراحل اولیه در فرایند DMAIC به‌دست آوردن داده‌هایی برای اندازه‌گیری خروجی یک فرآیند می‌باشد. این موضوع از دیدگاه منطقی درست است زیرا تا زمانی که خروجی یک فرآیند را اندازه‌گیری نکنیم نمی‌توانیم از بهبود یا عدم بهبود آن آگاهی پیدا کنیم.

اگرچه همهٔ فرآیندها به‌صورت ذاتی به گونه‌ای دارای نوساناتی در سیستم می‌باشند. برای مثال، آیا هربار که به دانشگاه می‌آیید دقیقاً X دقیقه از مبدأ تا مقصد زمان صرف می‌کنید؟ مسلماً نه. همواره نوسانات ذاتی در زمانی که طول می‌کشد به دانشگاه برسید وجود دارد.

این موضوع برای تمامی فرایندها و سیستم‌ها صادق است. به همین دلیل تحلیل‌های آماری بسیار مهم هستند. آمار به ما اجازه می‌دهد تا فرآیندهایی که نوسانات دارند را اندازه‌گیری و توصیف کنیم.

این فصل به شما روش‌هایی را برای توصیف داده‌ها معرفی می‌کند. در این فصل یاد می‌گیرید چگونه برای خلاصه‌سازی داده‌ها در قالب معناداری از تحلیل‌های سادهٔ عددی و نموداری استفاده نمائید. این روش‌ها اساس تمامی فصل‌های آینده خواهند گردید بنابراین باید توجه خاصی معطوف به آن‌ها گردد.

خلاصه فصل و اهداف یادگیری

هدف این فصل، معرفی روش‌های پایه‌ای آماری می‌باشد. ابتدا نشان خواهیم داد که چگونه ابزار ساده می‌توانند برای توصیف داده‌ها به‌صورت عددی و تصویری مورد استفاده قرار گیرند. سپس مفهوم تابع احتمال را توضیح داده و سودمندی آن در مدل‌سازی و توصیف خصوصیات کیفیتی فرآیند را شرح می‌دهیم. در نهایت، این دانش را توسعه داده تا برای زمانی که یک نمونهٔ آماری از جمعیت بزرگتری گرفته می‌شود مورد استفاده قرار گیرد.

پس از مطالعهٔ دقیق این فصل از قابلیت‌های زیر برخوردار خواهید بود:

۱. ساختن و تشریح نمایش‌های داده‌های تصویری، از جمله نمودار شاخه و برگ، هیستوگرام‌ها و نمودار جعبه‌ای.
۲. محاسبه و تشریح میانگین، واریانس، انحراف از معیار و دامنهٔ نمونه.
۳. توضیح مفاهیم یک متغیر تصادفی و یک توزیع احتمالی.
۴. درک و تشریح میانگین، واریانس و انحراف از معیار یک توزیع احتمالی.
۵. مشخص ساختن احتمالات از طریق توزیع احتمالی.
۶. ساختن و تشریح فواصل اطمینان برای یک میانگین و تفاضل دو میانگین.
۷. ساختن و تشریح فواصل اطمینان برای یک واریانس و نسبت دو واریانس.
۸. ساختن و تشریح فواصل اطمینان برای یک نسبت و تفاضل دو نسبت.
۹. درک اینکه چگونه تحلیل واریانس (ANOVA) برای مقایسهٔ بیش از دو نمونه استفاده می‌شود.

۴-۱ توضیح در مورد تغییرات

فرض کنید که شما مسئول یک عملیات حمل و نقل کالا هستید و دارای یک انبار با ذخیرهٔ کامل می‌باشید. کارکنان نیز با تمام نیروی خود کار می‌کنند. با این حال، زمان لازم برای آماده‌سازی سفارش یک مشتری، دارای نوسانات خیلی زیادی است. به همین دلیل، به‌وجود مشکل در این محدوده شک می‌کنید و تمایل خواهید داشت مقداری از داده‌های مربوط به عملکرد حمل و نقل را جمع‌آوری نمایید.

زمان صرف شده (برحسب ساعت) از صدور رسید برای سفارش مشتری تا قرار دادن کالا در بارانداز برای حمل، در جدول ۴-۱ ثبت شده است. تمامی سفارشات حجم یکسانی داشته‌اند.

جدول ۴-۱

داده‌های تحویل کالا									
۶۳	۶۰	۵۹	۷۰	۶۱	۵۸	۶۰	۶۴	۵۷	۶۱
۶۸	۵۳	۶۴	۶۲	۶۰	۵۹	۶۶	۶۲	۵۵	۶۵
۵۳	۶۳	۶۴	۶۴	۶۹	۵۶	۷۱	۶۶	۶۴	۶۲
۶۴	۵۸	۶۳	۶۲	۵۳	۶۲	۵۹	۶۰	۶۲	۶۱
۵۱	۵۹	۵۵	۶۱	۵۵	۶۹	۴۶	۵۸	۶۴	۵۹
۷۱	۶۰	۶۳	۵۵	۴۸	۵۸	۵۸	۶۵	۵۱	۶۷
۶۶	۵۷	۶۵	۶۳	۵۱	۶۳	۵۰	۶۷	۵۹	۵۷
۶۲	۵۰	۶۵	۶۵	۶۰	۵۹	۵۹	۵۹	۵۹	۵۵
۶۹	۵۷	۵۳	۶۱	۵۱	۶۶	۵۹	۵۹	۵۳	۵۶
۶۲	۵۷	۶۲	۶۱	۶۵	۷۲	۵۴	۵۴	۵۷	۶۱

با تنها نگاه کردن به داده‌های خام فوق، به سختی می‌توان نتیجه‌گیری مناسبی را انجام داد. اغلب مفید است برای توصیف اینکه توزیع داده‌ها به چه شکلی است نمودارهایی آماده شود. برخی نمودارهای رایج عبارتند از نمودار شاخه و برگ، هیستوگرام‌ها و نمودارهای جعبه‌ای. این نمودارها بر اساس داده‌های فوق در بخش‌های زیر توضیح داده شده‌اند.

۴-۱-۱ نمودار شاخه و برگ

نمودار شاخه و برگ
یک نمودار ساده برای نمایش تعداد دفعات تکرار در مجموعه داده‌ها است.

نمودار شاخه و برگ، یک نمودار ساده برای نمایش تکرار پیدایش مقادیر در یک مجموعه از داده‌ها می‌باشد. همان‌طور که از اسم آن پیداست این نمودار دارای دو جزء اصلی می‌باشد:

• شاخه: شاخه لنگر نمودار می‌باشد. شاخه حاوی ارقام اولیهٔ داده‌ها می‌باشد. در مثال فوق، کمترین مقدار در دههٔ ۴۰ (عدد ۴۶) و بیشترین مقدار در دههٔ ۷۰ (عدد ۷۲) داده‌ها می‌باشد. بنابراین، مقادیر شاخه‌ها به‌صورت ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ (اعداد ۳ و ۸ به این دلیل انتخاب شدند تا در ابتدا و انتهای نمودار شاخه و برگ، داده‌ای وجود نداشته باشد.)

• برگ: برگ‌ها نقاط مختص تک‌تک داده‌ها می‌باشند. اگرچه تنها ارقام پایانی اعداد به‌عنوان برگ نمایش داده می‌شوند. برای جایگذاری یک برگ (برای مثال برای عدد ۵۱) بر روی نمودار، عدد ۱ را روبه‌روی جایگاه شاخهٔ ۵ قرار می‌دهیم.

مثال ۴-۱ نمودار شاخه و برگ برای داده‌های تحویل کالا

نمودار شاخه و برگ برای داده‌های تحویل کالا به‌صورت زیر نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید برای نمایش اعداد ۴۶ و ۴۸ یک ۶ و ۸ روبه‌روی جایگاه شاخهٔ ۴ قرار داده شده‌اند.

در بررسی این نمودار، مشاهده می‌کنیم که داده‌ها بیشتر حول شاخهٔ ۶ پراکنده شده‌اند. به علاوه، می‌توان دید که مقدار کمینه عدد ۳۶ و مقدار بیشینهٔ داده‌ها عدد ۷۲ می‌باشد. به نظر می‌رسد درصد بالایی از مقادیر در دامنهٔ ۶۵-۵۵ می‌باشند.

۳	
۴	۸۶
۵	۰۰۱۱۱۱۳۳۳۳۴۵۵۵۵۵۶۶۷۷۷۷۷۸۸۸۸۸۹۹۹۹۹۹۹۹۹
۶	۰۰۰۰۰۰۱۱۱۱۱۱۲۲۲۲۲۲۲۲۲۳۳۳۳۳۳۳۴۴۴۴۴۴۵۵۵۵۵۶۶۶۶۷۷۸۹۹۹
۷	۰۱۱۱۲
۸	

شکل ۴-۱. نمودار شاخه و برگ.

صدک
مقداری که X% از داده‌ها کمتر از آن و ٪(۱۰۰−X) داده‌ها بیش از آن هستند.

این نسخه از نمودار شاخه و برگ گاهی با عنوان **نمودار شاخه‌وبرگ ترتیبی** خطاب می‌گردد، زیرا برگ‌ها با ترتیب صعودی قرار داده شده‌اند. این موضوع به ما کمک می‌کند **صدک**‌های داده‌ها را پیدا کنیم. به‌طورکلی صدک Xام مقداری است که حداقل X% از مقادیر داده‌ها برابر یا کمتر از این مقدار و ٪(۱۰۰−X) مقادیر داده‌ها برابر و یا بیشتر از این مقدار هستند.

صدک پنجاهم
میانه نمونه مقدار داده‌ای است که نمونه را نصف می‌کند نیمی از داده ها کمتر از آن و نیمی بیشتر از آن هستند.

صدک پنجاهم توزیع داده‌ها، **میانهٔ نمونه** نامیده می‌شود. میانه می‌تواند به‌عنوان مقداری شناخته شود که نمونه را نصف می‌کند؛ به‌طوری که نیمی از داده‌ها کمتر از میانه و نیمی دیگر بیشتر از آن هستند.

اگر تعداد داده‌ها فرد باشد، پیدا کردن میانه بسیار راحت خواهد بود. حالتی را در نظر بگیرید که ۷ داده داریم. در این حالت از نظر ترتیب مقادیر داده‌ها، داده‌ای که در جایگاه چهارم قرار دارد میانه خواهد بود، زیرا سه مقدار از داده‌ها کمتر از آن و سه مقدار از داده‌ها بیشتر از آن خواهند بود. (توجه: برای راحتی داده‌ها باید با ترتیب صعودی ذخیره گردند)

با استفاده از فرمول زیر می‌توان جایگاه مقدار میانه را پیدا کرد:

$$\text{جایگاه میانه برای زمانی که تعداد داده‌ها فرد است} = \frac{n+1}{2} = \frac{n-1}{2} + 1 \qquad (۱-۴)$$

که در اینجا n تعداد داده‌ها می‌باشد.

اگر n زوج باشد و داده‌ها را به ترتیب صعودی رتبه‌بندی کرده باشیم، میانه برابر خواهد بود با میانگین $\frac{n}{2}$امین و $\frac{n}{2}+1$امین مشاهده. در مثال تحویل کالا، $n = ۱۰۰$ عددی زوج است، بنابراین میانه برابر خواهد بود، با میانگین مشاهده‌هایی که در ترتیب صعودی داده‌ها دارای رتبهٔ ۵۰ و ۵۱ هستند. ۵۰امین داده برابر با ۶۰ و ۵۱امین داده برابر با ۶۱ می باشد. بنابراین میانه برابر است با ۶۰/۵

صدک دهم، مشاهده‌ای خواهد بود که دارای رتبهٔ $۱۰/۵ = ۰/۵ + (۱۰۰)(۰/۱)$ می‌باشد. (وسط دهمین و یازدهمین مشاهده) یا $۵۳ = ۲ / (۵۳ + ۵۳)$.

چارک اول مشاهده‌ای است که دارای رتبهٔ $(۰/۲۵)(۱۰۰)+۰/۵=۲۵/۵$ می‌باشد (وسط بیست و پنجمین و بیست و ششمین مشاهده) یا $(۵۷+۵۷)/۲=۵۷$، و **چارک سوم** مشاهده‌ای است که دارای رتبهٔ $(۰/۷۵)(۱۰۰)+۰/۵=۷۵/۵$ می‌باشد (وسط هفتاد و پنجمین و هفتاد و ششمین مشاهده) یا $(۶۴+۶۴)/۲=۶۴$.

چارک اول
صدک ۲۵ام.

چارک سوم
صدک ۷۵ام.

چارک اول و سوم معمولاً به ترتیب با نمادهای $Q_۱$ و $Q_۳$ نمایش داده می‌شوند و **دامنه** میان‌چارکی به‌صورت $IQR=Q_۳-Q_۱$ تعریف شده و عموماً به‌عنوان سنجه‌ای برای نوسانات استفاده می‌گردد. برای مثال تحویل کالا دامنهٔ میان‌چارکی برابر است با $IQR=۶۴-۵۷=۷$.

نمودار سری‌های زمانی
نمودار داده‌ها بر حسب زمان.

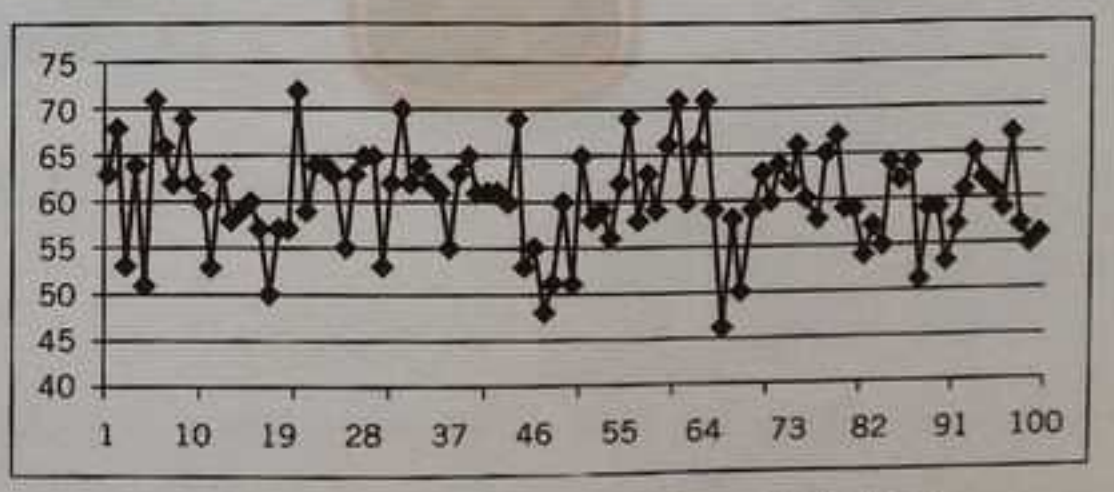
با اینکه نمودار شاخه و برگ روش خوبی برای نشان دادن نوسانات در داده‌ها به‌صورت تصویری می‌باشد، این روش **ترتیب زمانی** مشاهدات را در نظر نمی‌گیرد. زمان معمولاً عامل بسیار مهمی است که در نوسانات موجود در مسائل بهبود کیفیت تأثیرگذار می‌باشد. البته ما می‌توانیم نمودار داده‌ها را بر حسب زمان رسم نمائیم که در این‌صورت چنین نموداری، **نمودار سری زمانی** یا **نمودار اجرایی** نام خواهد گرفت. این نمودار به‌عنوان یک نمودار خطی ساده در نرم‌افزار Excel قابل رسم است.

شکل ۴-۲ نمودار سری زمانی مثال تحویل کالا را نمایش می‌دهد. این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که زمان عامل مهمی در نوسانات این فرآیند می‌باشد. به نظر می‌رسد که نوسانات در تحویل کالا در ۷۰ روز اول بیشتر از ۳۰ روز آخر می‌باشد. شاید تغییری در فرآیند رخ داده (یا این تغییر توسط پرسنل عملیاتی از قصد ایجاد شده) که منجر به چنین بهبودی در سیکل زمانی تحویل کالا شده است.

۴-۱-۲ هیستوگرام

هیستوگرام
یک نمودار ستونی که داده‌ها را در فواصل جدا از هم طبقه‌بندی می‌کند.

یک **هیستوگرام** خلاصهٔ فشرده‌تری از داده‌ها نسبت به نمودار شاخه و برگ به ما می‌دهد. برای ایجاد یک هیستوگرام، دامنهٔ داده‌ها را به بازه‌هایی تقسیم می‌کنیم که معمولاً **کلاس بازه‌ها** و یا **سلول‌ها** نامیده می‌شوند. در صورت ممکن، سلول‌ها باید دارای عرض یکسانی بوده تا اطلاعات تصویری هیستوگرام را افزایش دهند. نوعی قضاوت در خصوص انتخاب تعداد سلول‌ها باید صورت گیرد تا نمایش منطقی به‌وجود بیاید. تعداد سلول‌ها بستگی به تعدا مشاهدات و میزان پراکندگی موجود در آن‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۲. نمودار سری زمانی داده‌های تحویل کالا.

هیستوگرام‌های مجموعهٔ داده‌های بزرگتر
تعداد سلول‌ها باید تقریباً برابر با جذر تعداد مشاهدات باشد.

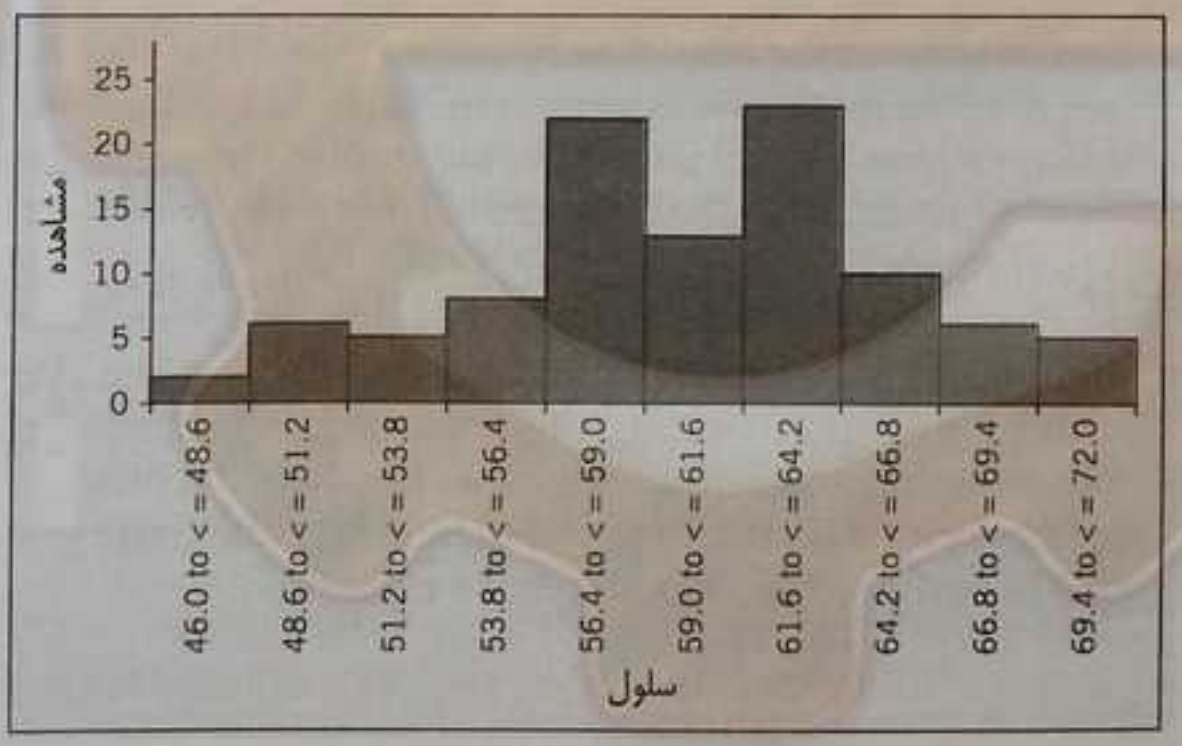
هیستوگرام‌ها می‌توانند نسبت به انتخاب تعداد و عرض سلول‌ها حساس باشند. برای مجموعهٔ داده‌های کوچک، اگر تعداد و یا عرض سلول‌ها را تغییر دهیم هیستوگرام‌ها می‌توانند در پیدایش خود به شدت تغییر یابند. به همین دلیل، ترجیح داده می‌شود از هیستوگرام به‌عنوان حرفه‌ای که برای **مجموعهٔ داده‌های بزرگتر**، که دارای ۷۵ الی ۱۰۰ و یا تعداد بیشتری مشاهدات هستند، استفاده شود. هیستوگرامی که از تعداد خیلی کم و یا خیلی زیادی از سلول‌ها استفاده کند، هیستوگرام مفیدی نخواهد بود.

زمانی که تعداد سلول‌ها و کران پایین و بالای هر سلول مشخص گردید، داده‌ها در سلول‌ها مرتب گشته و تعداد داده‌ها در هر سلول شمرده می‌شود. برای رسم هیستوگرام، از محور افقی به‌عنوان مقیاس اندازه‌گیری داده‌ها و از محور عمودی به‌عنوان مقیاس شمارش تعداد داده‌های هر سلول یا به‌عبارتی دیگر **فراوانی** استفاده می‌شود.

گاهی فراوانی هر سلول بر تعداد کل مشاهدات (n) تقسیم می‌گردند. در این صورت محور عمودی هیستوگرام نمایان‌گر **فراوانی نسبی** یا احتمال بودن در هر سلول را نمایش می‌دهد.

مثال ۴-۲ رسم هیستوگرام برای داده‌های تحویل کالا

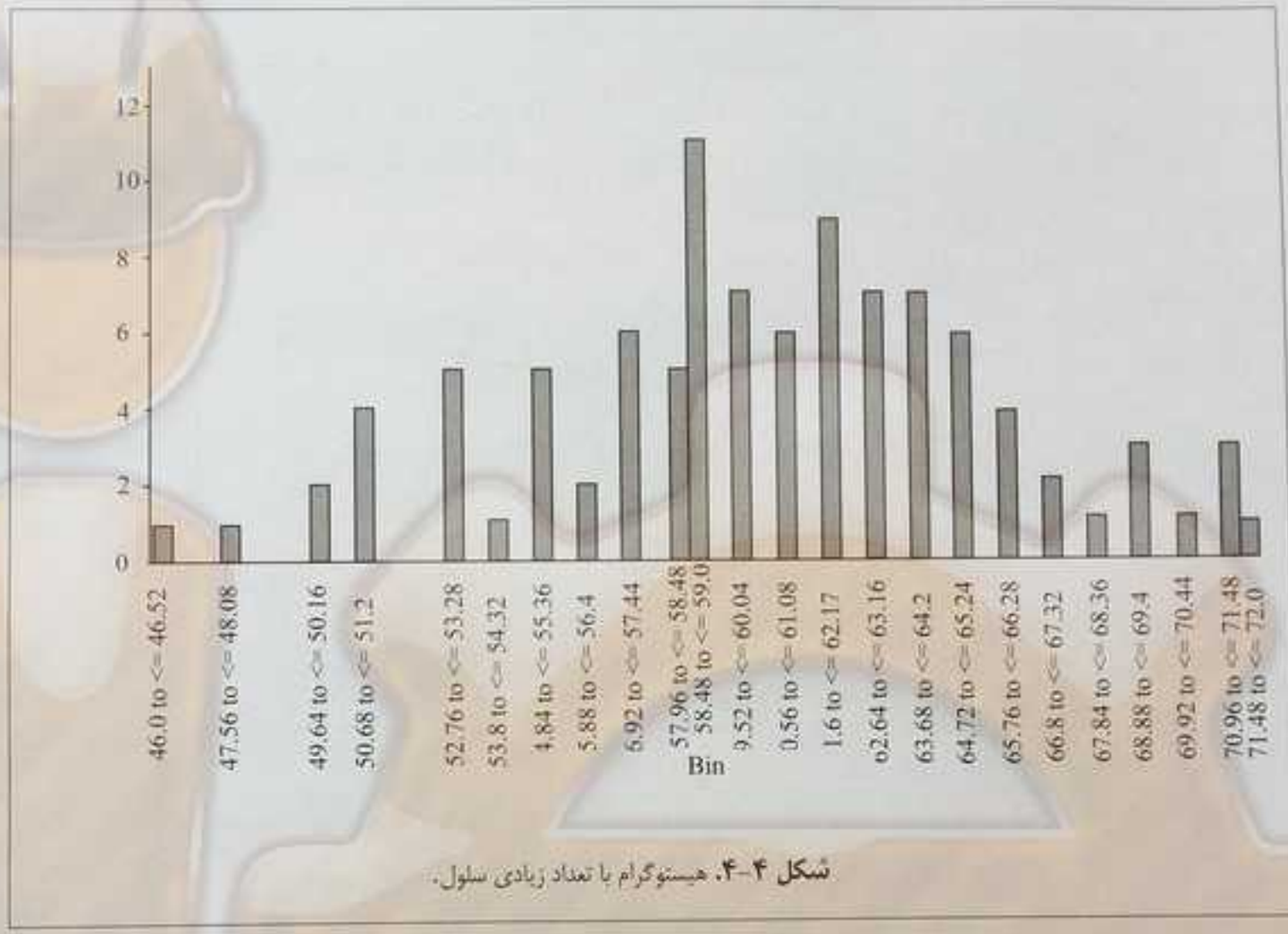
به این دلیل که مجموعهٔ داده‌ها حاوی ۱۰۰ مشاهده است، این شک وجود دارد که تعداد ۱۰ سلول بتواند یک هیستوگرام رضایت‌بخش را فراهم نماید. هیستوگرام زیر با استفاده از گزینهٔ SPC XL رسم شده که به کاربر اجازه می‌دهد تعداد سلول‌ها را مشخص نماید.



شکل ۴-۳. هیستوگرام با تعداد مناسبی سلول.

با نگاه کردن به هیستوگرام، می‌توان دید که داده‌ها به‌صورت تقریبی توزیع متقارنی دارند البته یک تغییر میان مقادیر کوچک مشاهده می‌گردد. بنابراین، داده‌ها چولگی به سمت چپ دارند. به علاوه، می‌توان دید که میانگین مقداری بین ۵۹ و ۶۱/۶ می‌باشد.

هیستوگرام زیر دارای ۵۰ سلول، مقداری خیلی فراتر از مقدار توصیه شدهٔ ۱۰، می‌باشد، با مقایسهٔ دو نمودار می‌بینیم که خیلی از سلول‌ها در هیستوگرام زیر برخی مقادیر را ندارند. این موضوع باعث می‌گردد مشاهده کردن میانگین مجموعه داده‌ها و طرز چولگی داده‌ها مشکل می‌شود.



شکل ۴-۴. هیستوگرام با تعداد زیادی سلول.

با مقایسهٔ نتایج نمودار شاخه و برگ با هیستوگرام، مشاهده می‌کنیم که به دلیل عدم نمایش تک تک داده‌ها در نمودار، برخی از اطلاعات از دست می‌روند. اگرچه این از دست رفتن اطلاعات معمولاً در مقابل مختصر و ساده بودن تحلیل هیستوگرام در قالب مجموعهٔ داده‌های بزرگ مسأله‌ای ناچیز است.

توزیع‌های فراوانی و هیستوگرام‌ها می‌توانند برای داده‌های کیفیتی، گروهی و شمارشی (گسسته) نیز مورد استفاده قرار گیرند. در برخی کاربردها، ترتیبی طبیعی برای گروه‌ها در نظر گرفته می‌شود اگرچه در برخی دیگر ترتیب گروه‌ها دلخواه خواهد بود (مانند رتبهٔ کیفیتی). در استفاده از داده‌های گروهی، مستطیل‌های هیستوگرام باید به‌گونه‌ای رسم شوند که دارای عرض یکسانی باشند.

مثال ۴-۳ هیستوگرام با داده‌های گروهی

کلاس شما دارای ۲۰۰ دانشجو می‌باشد: ۱۰۰ دانشجوی سال دوم، ۵۰ دانشجوی سال اول، ۳۰ دانشجوی جدیدالورود و ۲۰ دانشجوی کارشناسی ارشد. هیستوگرامی که نشاهندهٔ توزیع دانشجویان بر اساس سطح میزان تحصیل‌شان می‌باشد آماده کنید.

شکل ۴-۵ تنوعی از هیستوگرام‌های موجود در SPC XL را نشان می‌دهد که شامل **نمودار فراوانی تجمعی** می‌باشد. این خط آبی تعداد کل دانشجویان و احتمالات تجمعی مربوطه همراه با شماری از گروه‌بندی دانشجویان را نمایش می‌دهد.

فراوانی‌های تجمعی اغلب در تحلیل داده‌ها بسیار مفید واقع می‌شوند.

با نگاهی به نمودار زیر، می‌توان نتایج زیر را گرفت:

۱. ۱۰۰ دانشجوی سال دوم وجود دارند (بر اساس محور افقی چپ) که تقریباً ۵۰% جمعیت کلاس را پوشش می‌دهد.

۲. ۵۰ دانشجوی سال اول وجود دارند که تقریباً ۲۵% جمعیت کلاس را تشکیل می‌دهند. بنابراین دانشجویان سال اول و دوم با مجموع ۱۵۰ دانشجو به روشنی مقدار زیادی از کلاس را تشکیل می‌دهند؛ ۷۵% جمعیت کلاس.

شکل ۴-۵. هیستوگرام با داده‌های گروهی.

۳. ۳۰ دانشجوی جدیدالورود یا ۱۵% سهم از جمعیت کلاس وجود دارند. دانشجویان جدیدالورود، سال اول و دوم تا اینجا ۱۸۰ نفر بوده و تقریباً ۹۰% کلاس را پوشش داده‌اند.

۴. ۲۰ دانشجوی کارشناسی ارشد یا ۱۰% سهم از جمعیت کلاس وجود دارند. به این ترتیب دانشجویان جدیدالورود، سال اول و دوم و کارشناسی ارشد ۱۰۰% کلاس را تشکیل می‌دهند.

۴-۱-۳ خلاصهٔ عددی داده‌ها

نمودار شاخه و برگ و هیستوگرام یک نمایش تصویری از سه خصوصیت داده‌های نمونه را فراهم می‌کنند: شکل توزیع داده‌ها، تمایل مرکزی داده‌ها و پراکندگی موجود در داده‌ها. اگرچه داشتن معیار عددی از تمایل مرکزی و پراکندگی داده‌ها نیز می‌تواند کمک کننده باشد. دو مورد از رایج‌ترین معیارها، میانگین و انحراف از معیار می‌باشند.

میانگین نمونه
معیاری از نوع تمایل مرکزی مجموعه داده‌ها

میانگین نمونه یا متوسط نمونه، معیاری از نوع تمایل مرکزی است. این معیار اساساً مقدار میانگین مجموعهٔ داده‌ها می‌باشد. برای محاسبهٔ میانگین، مجموع تمام مقادیر را به‌دست آورده و آن را بر تعداد داده‌ها تقسیم می‌نمائیم. این موضوع به زبان ریاضی به‌صورت زیر می‌باشد:

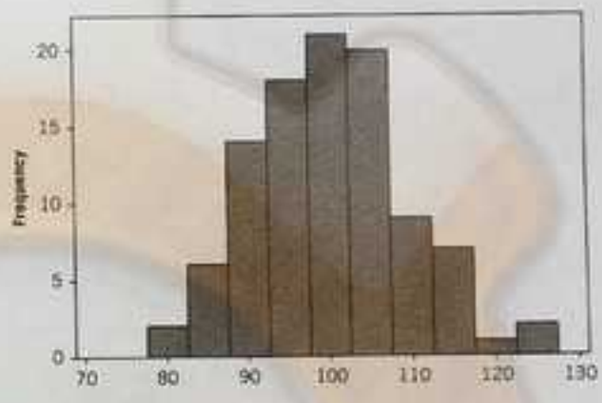
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (۴-۲)$$

که در آن x_1، x_2، ... و x_n مشاهدات (داده‌های) نمونه و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

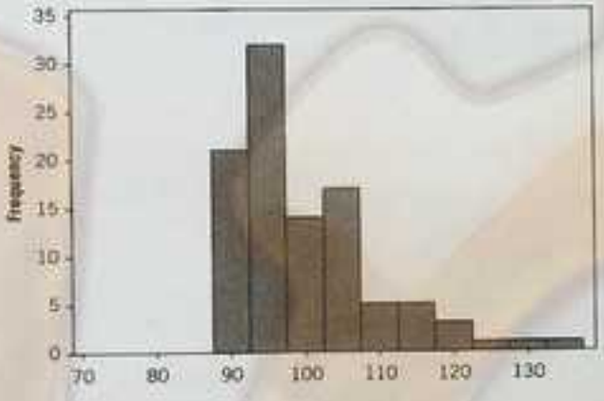
یک اشتباه رایج در مورد مفهوم میانگین این است که میانگین را مقداری تعریف می‌کنند که ۵۰% داده‌ها از آن بزرگتر و ۵۰% داده‌ها از آن کوچکترند. اگر داده‌ها حول مرکز متقارن باشند، این ادعا صحیح هست. اما اگر داده‌ها چولگی نسبت به یک طرف داشته باشند آنگاه ادعا غلط خواهد بود. مثال‌هایی برای این موضوع در شکل‌های زیر دیده می‌شوند:

هرکدام از توزیع‌های بالا دارای میانگین ۱۰۰ می‌باشند. توزیع الف تقریباً متقارن بوده اما توزیع ب متقارن نیست.

توزیع الف دارای میانگین ۱۰۰ و میانهٔ ۱۰۰ می‌باشد. درصورتی‌که توزیع ب دارای میانگین ۱۰۰ و میانهٔ ۹۶ می‌باشد. در این مورد ۵۰% داده‌ها کمتر از ۹۶ و ۵۰% داده‌ها بزرگتر از ۹۶ می‌باشند. درواقع به دلیل وجود مقادیر بزرگ در بین داده‌ها میانگین بزرگتر از میانه شده است



شکل ۴-۶ توزیع الف.

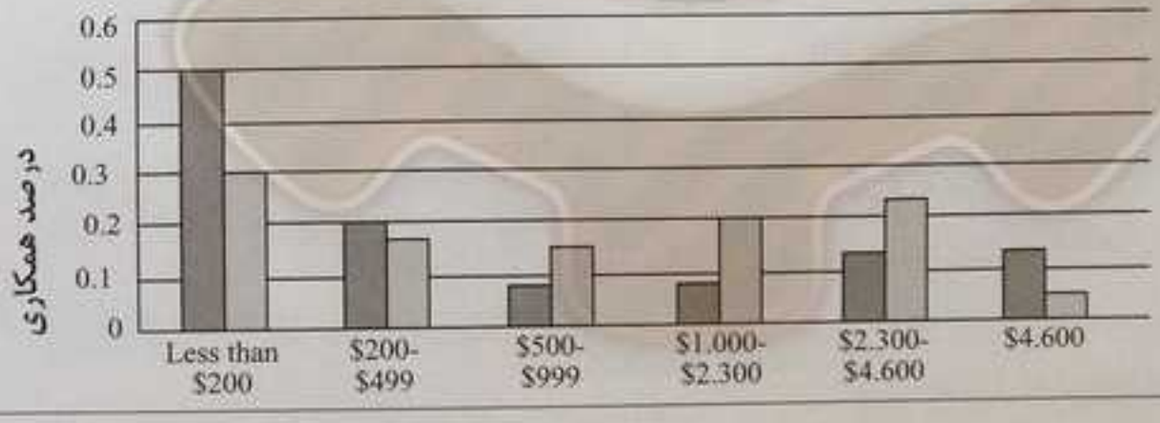


شکل ۴-۷ توزیع ب.

مثال ۴-۴ همکاری‌ها در انتخابات ریاست جمهوری

نمودار زیر درصد میزان همکاری‌های کمپین بر اساس مبلغ اهدایی تشریح شده است. میانگین اهدایی برای هر کاندیدا به شکل زیر است:

کاندیدا	میانگین همکاری کمپین
کاندیدای الف	۱۲۰۰$
کاندیدای ب	۱۶۰۰$



با نگاه کردن به داده‌ها، واضح است که میانگین همکاری توسط مقادیر اهدایی بسیار بالا شدیداً چولیدگی دارد. اگر به صدک ۵۰% مقادیر توجه کنیم، متوجه موضوع دیگری می‌شویم:

مقدار میانه برای کاندیدای الف در انتهای بالایی دسته‌ای از داده‌هاست که مقادیر کمتر از ۲۰۰$ را دارند، در صورتی‌که میانهٔ کاندیدای ب در انتهای بالایی دسته ۵۰۰-۹۹۹ می‌باشد. اگرچه میانگین اهدایی برای هر دو کاندیدا مشابه می‌باشند، نوع اهدایی‌ها (از نظر زیاد و یا کم بودن) تفاوت زیادی را نشان می‌دهند.

انحراف استاندارد نمونه
میزان پراکندگی و تغییرپذیری داده‌ها را توصیف می‌کند.

میانگین و میانهٔ نمونه میزان تمایل مرکزی داده‌ها را نشان داده، درصورتی‌که **واریانس نمونه** یا **انحراف معیار نمونه** میزان پراکندگی و نوسانات موجود در بین داده‌ها را توصیف می‌کنند. یک انحراف از معیار یا واریانس کوچک نشان می‌دهد که تعداد زیادی از داده‌ها نزدیک میانگین می‌باشند و یک انحراف از معیار یا واریانس بزرگ نشان می‌دهد که داده‌ها پخش شده‌اند.

واریانس نمونه به شکل زیر محاسبه می‌شود. ابتدا تفاضل هرکدام از داده‌ها از میانگین محاسبه شده، سپس این مقادیر به توان دو می‌رسد تا از مثبت بودن مقدار انحراف و ایجاد جریمه برای داده‌های دورافتاده اطمینان حاصل گردد (همچنین از این موضوع که جملات منفی و مثبت یکدیگر را حذف کنند جلوگیری شود). سپس تمامی این مقادیر با هم جمع شده و بر تعداد داده‌ها منهای یک تقسیم می‌گردند. مقدار انحراف از معیار با استفاده از جذر گرفتن از این مقدار به‌دست خواهد آمد:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (۳-۴)$$

برای توضیح اینکه چگونه انحراف از معیار، پراکندگی داده‌ها را محاسبه می‌کند، سه مجموعه از داده‌های زیر را در نظر بگیرید.

	مجموعهٔ ۱	مجموعهٔ ۲	مجموعهٔ ۳
مقدار ۱	۱۰	۷	۴
مقدار ۲	۱۰	۱۰	۱۰
مقدار ۳	۱۰	۱۳	۱۶
مقدار میانگین	۱۰	۱۰	۱۰

با نگاه کردن به داده‌ها، می‌توان دید که مجموعهٔ ۱ دارای مقادیر یکسان است و هیچ پراکندگی در آن‌ها وجود ندارد. با محاسبهٔ انحراف از معیار داریم:

$$\text{انحراف از معیار نمونهٔ اول} = \sqrt{\frac{(۱۰-۱۰)^2 + (۱۰-۱۰)^2 + (۱۰-۱۰)^2}{۳-۱}} = ۰$$

نمونهٔ دوم دارای مقداری پراکندگی است. انحراف از معیار این نمونه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{انحراف از معیار نمونهٔ دوم} = \sqrt{\frac{(۷-۱۰)^2 + (۱۰-۱۰)^2 + (۱۳-۱۰)^2}{۳-۱}} = ۳$$

در نهایت نمونهٔ سوم دارای بیشترین میزان پراکندگی در بین داده‌های خود می‌باشد.

$$\text{انحراف از معیار نمونهٔ سوم} = \sqrt{\frac{(۴-۱۰)^۲ + (۱۰-۱۰)^۲ + (۱۶-۱۰)^۲}{۳-۱}} = ۶$$

توجه کنید که انحراف از معیار تنها توضیح می‌دهد که داده‌ها به چه میزان حول میانگین پراکنده شده‌اند. انحراف از معیار بزرگی داده‌ها را نشان نمی‌دهد بلکه تنها توصیف کنندهٔ پراکندگی آن‌ها حول میانگین است. برای محاسبهٔ اینکه مقدار پراکندگی به چه میزان نسبت به میانگین بزرگ است، ضریب تغییرات اغلب معیار خوبی می‌باشد. این معیار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ضریب تغییرات} = \text{انحراف از معیار} / \text{میانگین} \qquad (۴-۴)$$

موردی را در نظر بگیرید که انحراف از معیار برابر با 10 باشد. اگر میانگین برابر با ۱۰۰ باشد آنگاه ضریب تغییرات برابر با ۰/۱ یا ۱۰% خواهد بود. اگر میانگین ۱۰۰۰ باشد، آنگاه ضریب تغییرات برابر با ۰/۰۱ و یا ۱% خواهد بود که نشان می‌دهد انحراف از معیار ۱% میانگین را تشکیل می‌دهد.

۴-۱-۴ نمودار جعبه‌ای

نمودار شاخه و برگ یک ادراک تصویری مناسب از مجموعهٔ داده‌ها برای ما ایجاد می‌کنند، در صورتی‌که میانگین و انحراف از معیار نمونه اطلاعات کمی راجع به خصوصیات داده‌ها را در اختیار ما قرار می‌دهند. نمودار جعبه‌ای یک نمایش تصویری است که همزمان خصوصیات مهم و متعددی از داده‌ها را همانند تمایل مرکزی یا مکان خاصی، پراکندگی یا نوسانات، دوری از تقارن و تشخیص مشاهدات دورافتاده (مشاهداتی که به‌طور غیرمعمولی از حجم زیادی از داده‌ها فاصله دارند) در اختیار ما قرار می‌دهد.

یک نمودار جعبه‌ای سه خاصیت داده‌ها را روی یک جعبهٔ مستطیلی که یا به‌صورت افقی یا عمودی قرار داده شده است به نمایش می‌گذارد. دامنهٔ میان‌چارکی در این جعبه به این شکل نمایان می‌شود که ضلع عرضی سمت چپ (یا پایین) مستطیل نشانگر چارک اول یا $Q_۱$ و ضلع عرضی سمت راست (یا بالای) مستطیل نشانگر چارک دوم یا $Q_۳$ است. یک خط یا نشانگر برای نشان دادن چارک دوم یا $Q_۲$ داخل جعبه قرار داده می‌شود (این خط همان صدک پنجاهم یا میانه می‌باشد). یک خط در دو انتهای جعبه نیز قرار دارد که به آن‌ها **سبیل‌های** نمودار گفته می‌شود. برخی نویسندگان نمودار جعبه‌ای را به‌عنوان **نمودار جعبه و سبیل** یاد می‌کنند. در برخی برنامه‌های کامپیوتری سبیل‌ها حداکثر فاصله‌ای معادل $۱/۵(Q_۳-Q_۱)$ از انتهاهای جعبه فاصله می‌گیرند و مشاهداتی که فراتر از این حدود قرار گیرند همان نقاط دورافتاده شناخته می‌شوند. این نوع از نمودار جعبه‌ای، **نمودار جعبه‌ای تصحیح یافته** نامیده می‌شود.

یک نمودار جعبه‌ای برای مثال تحویل کالا در شکل ۸.۴ نمایش داده شده است (برای همهٔ ۱۰۰ داده). نمودارهای جعبه‌ای معمولاً برای مقایسهٔ مجموعه داده‌ها به‌کار برده می‌شوند. قبل از این در همین فصل، مشاهده کردیم که امکان یک تغییر در فرایند وجود داشته که منجر به تغییر در زمان‌های تحویل کالا پس از ۷۰امین داده شده است. نمودار جعبه‌ای راه دیگری است برای اینکه بتوان تفاوت میان داده‌ها را نشان داد.

نکتهٔ Excel

توابع اکسلی فراوانی وجود دارند که محاسبهٔ آماره‌های توصیفی برای مجموعهٔ بزرگ داده‌ها را نسبتاً ساده می‌کنند.

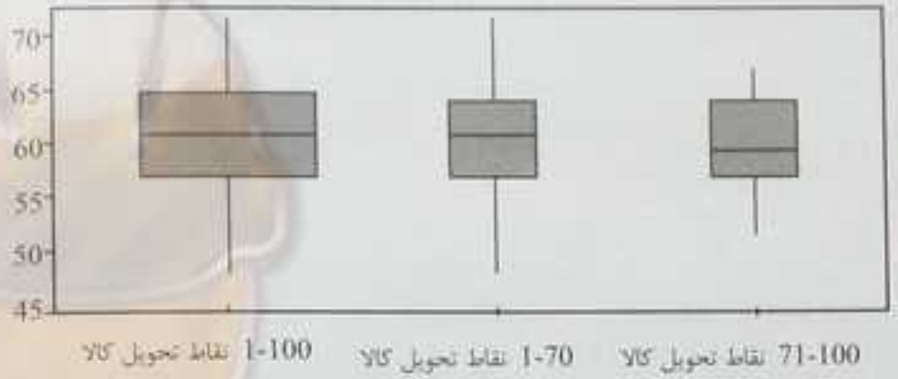
AVERAGE (data range)
میانگین داده‌های موجود در ناحیهٔ خاصی را محاسبه می‌کند.

STDEV(data range)
انحراف از معیار داده‌های موجود در ناحیهٔ خاصی را محاسبه می‌کند.

MAX(data range)
بیشترین مقدار داده‌های موجود در ناحیهٔ خاصی را محاسبه می‌کند.

MIN(data range)
کمترین مقدار داده‌های موجود در ناحیهٔ خاصی را محاسبه می‌کند.

PERCENTILE (data range, k)
مقداری را در مجموعهٔ داده‌ها محاسبه می‌کند که صدک kام را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸ نمودار جعبه‌ای تحویل کالا (رسم با استفاده از **Minitab**).

با مرور نمودار جعبه‌ای در شکل ۴-۸ نکاتی را می‌توان استخراج نمود. اول اینکه به نظر می‌رسد مقدار میانه پس از ۷۰ امین داده مقدار کمی کاهش پیدا کرده است. اگرچه تفاوت اصلی مشاهده شده، پراکندگی نقاط دورافتاده می‌باشد. سبیل‌های نمودار برای داده‌های اولیهٔ تحویل کالا دارای سول بیشتری هستند. همچنین می‌توان این تفاوت را به‌صورت عددی مشاهده کرد:

	زمان‌های تحویل (۷۰-۱)	زمان‌های تحویل (۱۰۰-۷۱)
میانگین	۶۰/۵	۵۹/۹/۰
انحراف از معیار	۵/۹	۴/۲
ضریب تغییرات	۰/۱	۰/۱
صدک ۲۵م	۵۷/۳	۵۷/۰
صدک ۵۰م	۶۱/۰	۵۹/۵
صدک ۷۵م	۶۴/۰	۶۳/۵
مینیمم	۴۶/۰	۵۱/۰
ماکزیمم	۷۲/۰	۶۷/۰

۴-۲ توزیع‌های احتمال

هیستوگرام، نمودار شاخه و برگ و نمودار جعبه‌ای برای توصیف داده‌های نمونه‌ای استفاده می‌شوند. یک **نمونه** جمع‌آوری اندازه‌گیری‌های انتخاب شده‌ای از یک **جمعیت** بزرگتر می‌باشد. برای مثال، داده‌های تحویل کالا نشان‌دهندهٔ یک نمونهٔ ۱۰۰ تایی از زمان‌های تحویل انتخاب شده از فرآیند تحویل می‌باشند.

راه دیگری برای نگاه کردن به داده‌ها، توزیع احتمال آن‌ها می‌باشد. یک **توزیع احتمال** یک مدل ریاضی است که مقدار متغیر را به احتمال رخداد آن بر اساس جمعیت موجود مربوط می‌سازد. دو نوع توزیع احتمال وجود دارد.

مثال‌های مربوط به توزیع‌های احتمال گسسته و پیوسته به ترتیب در شکل‌های ۴-۹ الف و ۴-۹ب نشان داده شده‌اند. نمایش یک توزیع گسسته به شکل میله‌های عمودی می‌باشد به‌طوری که طول هر میله متناسب با احتمال متغیر مربوطه است. احتمال اینکه متغیر تصادفی x مقدار مشخصی

نمونه: نمونهٔ تصادفی
یک نمونه زیرمجموعه‌ای از مشاهدات در یک جمعیت است و نمونهٔ تصادفی نمونه‌ای است که به طور تصادفی در یک جمعیت انتخاب شده به طوری که داده‌ها شانس یکسانی برای انتخاب شدن در آن نمونه داشته باشند.

توزیع احتمال
یک مدل ریاضی که مقدار متغیر را با احتمال اتفاق افتادن آن در یک جمعیت متناظر می‌کند

توزیع‌های گسسته
زمانی که متغیر مورد اندازه‌گیری تنها می‌تواند مقادیر مشخصی مانند اعداد صحیح ۰، ۱، ۲ و غیره را بگیرد آنگاه می‌باشد توزیع احتمال آن یک توزیع گسسته نامیده می‌شود. برای مثال توزیع تعداد عدم مطابقت‌ها و یا نقص‌های یک محصول توزیع گسسته هستند.

توزیع‌های پیوسته
زمانی که متغیر مورد اندازه‌گیری در یک مقیاس پیوسته می‌باشد که توزیع احتمال آن یک توزیع پیوسته نامیده می‌شود. مثالی برای توزیع پیوسته می‌تواند ارزش فعلی یک پرتفولیو باشد.

برابر با x_i بگیرد را به‌صورت زیر نمایش می‌دهند:

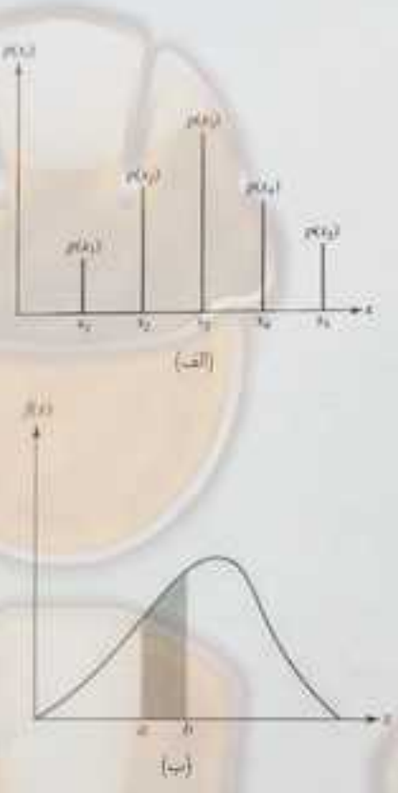
$$P\{x = x_i\} = p(x_i)$$

نمایش یک توزیع پیوسته به شکل یک منحنی خواهد بود که سطح زیر نمودار آن برابر با مقدار احتمال است. بدین ترتیب احتمال اینکه مقدار متغیر تصادفی x در بازهٔ a تا b قرار گیرد به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$P\{a \le x \le b\} = \int_a^b f(x)dx$$

در هر دو حالت، توزیع‌های احتمال به‌طوری تعریف شده‌اند که تمامی خروجی‌های ممکن را دربرگیرند. بنابراین مجموع تمامی احتمال‌ها برابر است با ۱.

اگر ممکن باشد برای نمایش یک توزیع احتمال، یک تابع ریاضی نوشت آنگاه می‌توانیم احتمالات هر رخدادی را محاسبه کنیم. همین‌طور می‌توانیم به‌طور مستقیم میانگین μ، واریانس σ^2 و انحراف از معیار σ را محاسبه نمائیم:



شکل ۴-۹ توزیع‌های احتمال: الف) حالت گسسته ب) حالت پیوسته.

$$\mu = \begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx, x \text{ continuous} \\ \sum_{i=1}^{\infty} x_i p(x_i), x \text{ discrete} \end{cases}$$

$$\sigma^2 = \begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 dx, x \text{ continuous} \\ \sum_{i=1}^{\infty} (x-\mu)^2 p(x_i), x \text{ discrete} \end{cases}$$

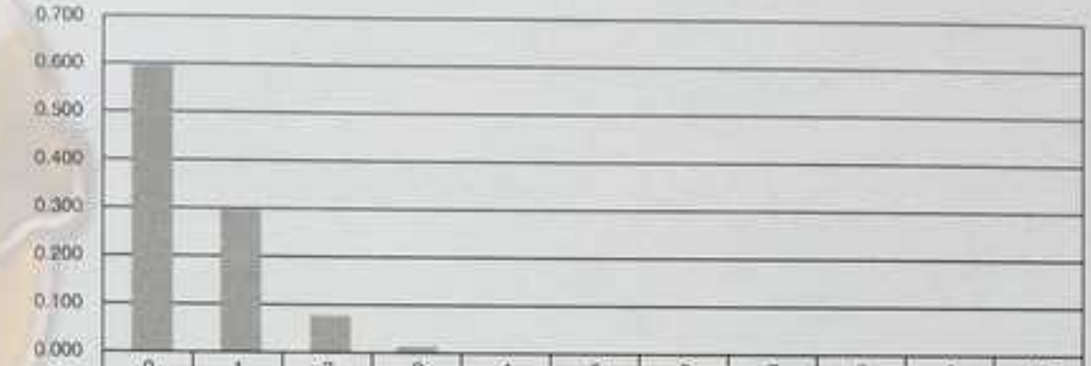
انحراف از معیار $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

مثال ۴-۵ یک توزیع گسسته

یک فرآیند تولید، روزانه هزاران تراشهٔ نیمه‌هادی تولید می‌کند. به‌طور متوسط، ۵% این تراشه‌ها با مشخصات استاندارد مطابقت ندارند. هر ساعت، یک بازرس نمونه‌ای تصادفی به اندازهٔ ۱۰ تراشه انتخاب کرده و هر تراشه را از لحاظ تطابق یا عدم تطابق دسته‌بندی می‌کند. اگر متغیر تصادفی x تعداد تراشه‌هایی باشد که در نمونه انتخابی دارای عدم تطابق با خصوصیات هستند، آنگاه توزیع احتمال آن به‌صورت زیر خواهد بود:

$$p(x) = \binom{10}{x}(0.05)^x(0.95)^{10-x} \quad x = 0,1,2,\cdots,10$$

توزیع فوق یک توزیع گسسته است زیرا تعداد عدم تطابق‌های مشاهده شده $x = 0,1,2,\cdots,25$ می‌باشند که یک **توزیع دوجمله‌ای** نامیده می‌شود. نمودار این توزیع احتمال در شکل ۴-۱۰ رسم شده است.



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
احتمال	0.599	0.315	0.075	0.010	0.001	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000

شکل ۴-۱۰ توزیع احتمال دستیابی به x تراشه نامنطبق در یک نمونه ۱۰ تایی.

می‌توان احتمال پیدا کردن یک یا کمتر از یک عدم تطابق را نیز به‌صورت زیر محاسبه کرد.

$$
\begin{aligned}
p(x \le 1) &= P(x=0) + P(x=1) \\
&= P(0) + P(1) \\
&= \sum_{x=0}^{x=1} \binom{10}{x} (0/05)^x (0/95)^{10-x} \\
&= \binom{10}{x} (0/05)^0 (0/95)^{10-0} + \binom{10}{x} (0/05)^1 (0/95)^{10-1} \\
&= \frac{10!}{0!10!} (0/05)^0 (0/95)^{10} + \frac{10!}{1!9!} (0/05)^1 (0/95)^9 \\
&= 0/599 + 0/315 = 0/914
\end{aligned}
$$

برعکس، می‌توان احتمال اینکه بیشتر از یک عدم تطابق در تراشه‌ها وجود داشته باشد را به‌دست آوریم. این احتمال برابر است با $1 - 0/914 = 0/086$ یا ۸.۶%.

با استفاده از داده‌ها همچنین می‌توان میانگین آن‌ها را محاسبه نمود:

$$\mu = (0)(0/598) + (1)(0/315) + (2)(0/075) + (3)(0/010) + (4)(0/001) + \cdots + (10)(0/000) = 0/5$$

انحراف معیار نیز به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\sigma = \sqrt{(0-0/5)^2(0/598) + (1-0/5)^2(0/3156) + \cdots + (10-0/5)^2(0/000)}$$

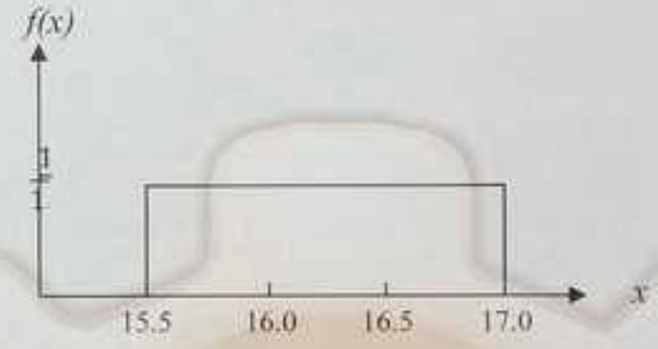
$$\sigma = 0/68$$

مثال ۴-۶ یک توزیع پیوسته

فرض کنید متغیر تصادفی x نشان‌دهندهٔ میزان دقیق محتوای یک بستهٔ یک پوندی از دانه‌های قهوه بر حسب اونس باشد. توزیع احتمال x به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$f(x)=\frac{۱}{۱/۵} \quad ۱۵/۵ \le x \le ۱۷/۰$$

توزیع فوق یک توزیع پیوسته است، زیرا دامنهٔ x بازهٔ $[۱۵/۵\ ,\ ۱۷/۰]$ می‌باشد. این توزیع یک **توزیع یکنواخت** نامیده می‌شود و نمودار آن در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.

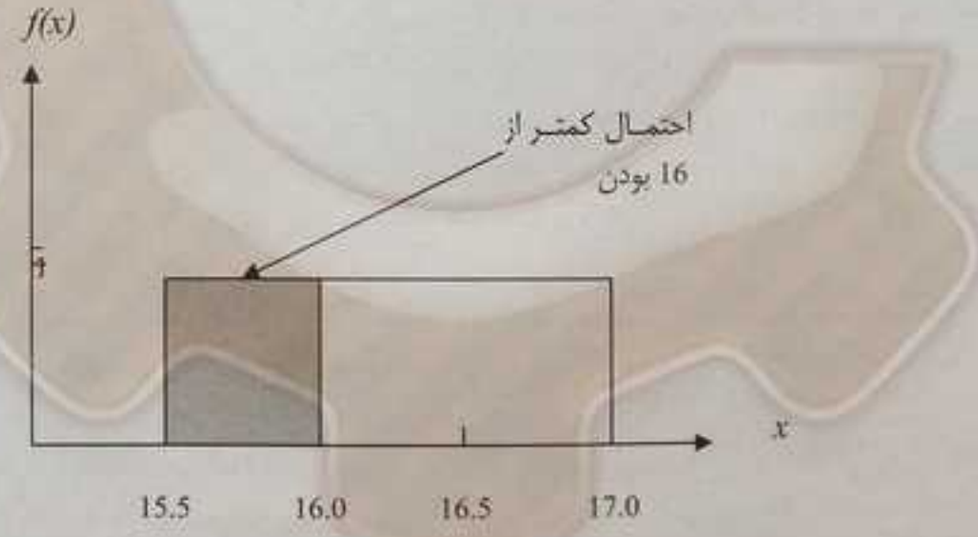


شکل ۴-۱۱ توزیع مثال ۴-۶

توجه کنید که سطح زیر نمودار تابع $f(x)$ مربوط به مقدار احتمال می‌باشد بنابراین احتمال اینکه یک بسته از دانه‌های قهوه دارای ۱۶ اونس محتوا باشد برابر است با:

$$P\{x \le ۱۶\} = \int_{۱۵/۵}^{۱۶} f(x)dx = \int_{۱۵/۵}^{۱۶} \frac{۱}{۱۵}dx = \frac{x}{۱۵}\Big|_{۱۵/۵}^{۱۶} = \frac{۱۶-۱۵/۵}{۱۵} = ۰/۳۳۳۳$$

برعکس، احتمال اینکه یک بسته دارای بیش از ۱۶ اونس محتوا باشد برابر است با ۰/۶۶۶.



شکل ۴-۱۱ الف.

میانگین به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$$

$$= \int_{۱۵/۵}^{۲} x \times \frac{۱}{۱/۵} dx = \frac{۱}{۱/۵}\int_{۱۵/۵}^{۲} xdx = \frac{۱}{۱/۵} \times \frac{۱}{۲} x^{۲}\Big|_{۱۵/۵}^{۱۷}$$

$$= \frac{۱}{۳}(۱۷^{۳} - ۱۵/۵^{۳}) = ۱۶/۲۵$$

حال واریانس و انحراف از معیار نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\sigma^{۲} = \int_{-\infty}^{+\infty} (x-\mu)^{۲} f(x)dx$$

$$= \int_{۱۵/۵}^{۲} (x-۱۶/۲۵)^{۲} \frac{۱}{۱۵} dx = \frac{۱}{۱۵}\int_{۱۵/۵}^{۱۷} (x-۱۶/۲۵)^{۲} dx$$

$$= \frac{۱}{۱۵}\int_{۱۵/۵}^{۱۷} (x^{۲} - ۳۳/۵x + ۱۶/۲۵^{۲})dx = \frac{۱}{۱/۵} \times \left[\frac{۱}{۳}x^{۳} - \frac{۳۳/۵}{۲}x + ۱۶/۲۵^{۲}\right]_{۱۵/۵}^{۱۷}$$

$$= ۰/۱۸۷۵$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^{۲}} = \sqrt{۰/۱۸۷۵} = ۰/۴۳۳۰$$

توزیع‌های احتمالی گسسته متعددی در کنترل کیفیت آماری پدیدار می‌شوند. جداول ۴-۲ و ۴-۳ به‌طور مختصر این توزیع‌ها را توضیح می‌دهند. اطلاعات بیشتر در خصوص این توزیع‌ها در ضمیمه آورده شده است.

۴-۳ توزیع نرمال

توزیع نرمال مهمترین توزیع در تئوری و کاربرد آماری می‌باشد. دلیل این موضوع این است که داده‌ها با حالت منحنی زنگوله‌ای مانند به‌طور متقارن حول میانگین توزیع یافته‌اند.

یک نمودار تقریبی از توزیع نرمال در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. توزیع نرمال به قدری مورد استفاده قرار می‌گیرد که برای آن یک نماد خاص به شکل $x - N(\mu, \sigma^{۲})$ تعریف شده است. این نماد بدین معنا است که متغیر تصادفی x دارای توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس $\sigma^{۲}$ می‌باشد.

شکل ۴-۱۲ توزیع نرمال.

تفسیر ساده‌ای از انحراف از معیار توزیع نرمال وجود دارد که در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است. همواره در یک توزیع نرمال سه ناحیهٔ اصلی وجود دارند.

ناحیهٔ ۱: $\mu \pm ۱\sigma$

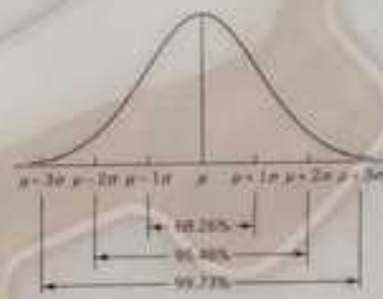
ناحیهٔ ۱ ناحیه‌ای است که درصد زیادی از داده‌ها در آن مورد انتظار هستند. انتظار می‌رود ۶۸/۲۶% داده‌ها در فاصلهٔ یک انحراف معیار از میانگین قرار بگیرند.

ناحیهٔ ۲: $\mu \pm ۲\sigma$

اضافه کردن یک انحراف معیار به ناحیهٔ ۱، ناحیهٔ ۲ را نتیجه می‌دهد. انتظار می‌رود ۹۵/۴۶% داده‌ها در فاصلهٔ دو انحراف معیار از میانگین قرار می‌گیرند.

ناحیهٔ ۳: $\mu \pm ۳\sigma$

۹۷/۳% داده‌ها در دامنهٔ ۳ انحراف معیار از میانگین قرار می‌گیرند. این نقطه معمولاً برای ترسیم تقریبی نمودارهای توزیع نرمال مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۱۳. ناحیه‌های زیر منحنی یک توزیع نرمال.

جدول ۴-۲

توزیع‌های گسسته کاربردی

نام/استفاده	تابع چگالی احتمال	میانگین	واریانس
فوق هندسی نمونه‌گیری از یک گروه بدون جایگذاری N: تعداد اقلام D: تعداد اقلام در گروه با خصوصیات مطلوب n: عدد انتخابی x: تعداد اقلامی که دارای خاصیت خواهند بود	$p(x)=\frac{\binom{D}{x}\binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}$ $x=0,1,2,\cdots,\min(n,N)$	$\mu=\frac{nD}{N}$	$\sigma^2=\frac{nD}{N}\left(1-\frac{D}{N}\right)\left(\frac{N-n}{N-1}\right)$
دوجمله‌ای تعداد دفعاتی که یک اتفاق در بین یکسری اتفاقات رخ خواهد داد (برای مثال اگر یک سکه را ۵ بار بیاندازید چند بار خط می‌آید؟) n: تعداد بارهای آزمایش p: احتمال موفقیت برای هر آزمایش	$p(x)=\binom{n}{x}p^x(1-p)^{n-x}$ $x=0,1,\cdots,n$	$\mu=np$	$\sigma^2=np(1-p)$
پواسون تعداد شکست‌های پیش‌بینی شده بر اساس نرخ شکست λ λ: تعداد شکست به ازای هر واحد (به‌طور متوسط)	$p(x)=\frac{e^{-\lambda}\lambda^x}{x!}$ $x=0,1,\cdots$	$\mu=\lambda$	$\sigma^2=\lambda$
توزیع پاسکال برای شمارش اتفاقات استفاده می‌شود. دو حالت خاص دارد: دوجمله‌ای منفی $(r>0)$ مشابه دوجمله‌ای است با این تفاوت که تعداد آزمایشات مشخص و ثابت است و تعداد موفقیت‌ها مشاهده می‌شود. هندسی $(r=1)$ تعداد آزمایش تا به موفقیت برسیم را مشخص می‌کند.	$p(x)=\binom{x-1}{r-1}p^r(1-p)^{x-r}$ $x=r,r+1,r+2,\cdots$	$\mu=\frac{r}{p}$	$\sigma^2=\frac{r(1-p)}{p^2}$

جدول ۴-۳

توزیع‌های پیوستهٔ کاربردی

نام/استفاده	تابع چگالی احتمال	میانگین	واریانس
نرمال کاربردهای وسیع و متنوعی در ارزیابی کیفیت تولید، فواصل اطمینان و کنترل کیفیت آماری دارد. یک توزیع نرمال دارای یک میانگین μ و یک انحراف از معیار σ می‌باشد. هیچ راه‌حل بسته‌ای برای میزان مساحت زیر نمودار منحنی توزیع احتمال نرمال وجود ندارد بنابراین عموماً جداول برای محاسبهٔ احتمالات نرمال استفاده می‌شوند. به بخش ۴-۳ مراجعه کنید.	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty<x<\infty$	μ	σ^2
نمایی زمان شکست را برای یک جزء یا سیستم مدل می‌کند. معمولاً در ارزیابی‌های قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار می‌گیرد. λ: نرخ شکست سیستم مورد مطالعه	$f(x)=\lambda e^{-\lambda x} \quad x\geq 0$	$\mu=\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$

هرکدام از این ناحیه‌ها با استفاده از جمع یا تفریق مضربی از انحراف از معیار با میانگین به‌دست آمدند. بنابراین انحراف از معیار مقیاس افقی توزیع نرمال را با نسبت‌های ۶۸/۲۶٪، ۹۵/۴۶٪ و ۹۹/۷۳پوشش می‌دهد معمولاً این نسبت‌ها را به‌صورت ۶۸٪، ۹۵٪ و ۹۹/۷٪ گرد می‌کنند.

توزیع تجمعی نرمال به‌صورت احتمال اینکه متغیر تصادفی x کوچکتر یا برابر مقداری مانند a باشد تعریف می‌گردد:

$$P\{x\leq a\}=F(a)=\int_{-\infty}^{a}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}dx$$

البته این فرمول راه‌حل سر راستی ندارد (به‌عبارت دیگر نمی‌توان انتگرال فوق را حل نمود). اما می‌توان از مفهوم ناحیه‌های تعریف شدهٔ فوق بهره جست و جایگزینی زیر را انجام داد:

$$z=\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \qquad (۵-۴)$$

در این رابطه، μ میانگین، σ انحراف از معیار و x مقداری است که می‌خواهیم به‌دست بیاوریم. $x-\mu$ میزان فاصلهٔ را تا میانگین محاسبه می‌کند. زمانی که این مقدار بر σ تقسیم می‌شود، متوجه می‌شویم چند انحراف از معیار از میانگین فاصله داریم. این موضوع با دانستن سه درصد فوق به ما کمک می‌کند داده‌ها را بر اساس یک توزیع نرمال استاندارد ارزیابی کنیم.

مثال ۴-۷ محاسبه و تفسیر z

فرض کنید داده‌های تحویل کالا دارای توزیع نرمال با میانگین ۶۰/۵ و انحراف از معیار ۵/۹ می‌باشد. اگر یک زمان تحویل ۷۰ باشد، این داده چند انحراف از معیار از میانگین فاصله دارد؟

$$z = \frac{۷۰ - ۶۰/۵}{۵/۹} = ۱/۶۱$$

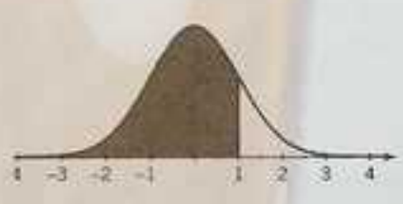
این داده به میزان ۱/۶۱ برابر انحراف از معیار از میانگین فاصله دارد. درواقع در قسمتی از منحنی قرار دارد که برای حضور یک داده منطقی می‌باشد.

یک زمان تحویل جدید با مقدار ۱۰۰ فرض کنید. این داده چند انحراف از معیار از میانگین فاصله دارد؟

$$z = \frac{۱۰۰ - ۶۰/۵}{۵/۹} = ۶/۶۹$$

یک زمان تحویل به مقدار ۱۰۰ به اندازهٔ ۶/۶۹ برابر انحراف از معیار از میانگین دور خواهد بود. این مقدار خیلی فراتر از دامنهٔ $\pm 3\sigma$ می‌باشد. بنابراین این مقدار نشان می‌دهد چیزی در بین فرآیندها از حالت عادی خارج شده است.

پس از اینکه مقدار z را یافتیم، مشخص کردن احتمالات یک توزیع نرمال با استفاده از جداول توزیع تجمعی نرمال که تابعی از مقادیر z می‌باشند، نسبتاً ساده خواهد بود. دو جدول رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند: جدول توزیع نرمال استاندارد و جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد. در اینجا از جدول توزیع تجمعی توزیع نرمال استاندارد استفاده می‌شود زیرا استفاده از آن برای اکثر دانشجویان آسان بوده و با توابع نرم‌افزار Excel نیز هم‌خوانی دارد.



شکل ۱۴.۴. توزیع تجمعی نرمال.

یک توزیع تجمعی نرمال استاندارد در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. سطح مشکی رنگ ناحیه‌ای را نشان می‌دهد که در آن یک احتمال مطلوب قرار گرفته است. در منحنی تجمعی نرمال، مقادیری که محاسبه می‌شوند همواره از طرف چپ آغاز به حرکت کرده و به سمت راست حرکت می‌کنند.

فرض کنید می‌خواهیم احتمال کمتر بودن مقدار متغیر تصادفی‌مان از یک انحراف از معیار به علاوهٔ میانگین را محاسبه کنیم. در این حالت، مقدار ۱ را در جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد در ضمیمهٔ ۲ پیدا می‌کنیم (در ستون z). این مقدار ۰/۸۴ می‌باشد. بنابراین یک شانس ۸۴٪ی برای مشاهدهٔ متغیر تصادفی نرمال استاندارد یا مقداری کمتر یا مساوی یک انحراف از معیار به علاوهٔ میانگین وجود دارد (به‌عبارتی دیگر ۱۶٪ شانس اینکه این مقدار بزرگتر از یک انحراف از معیار به‌علاوهٔ میانگین باشد).

سه نوع حالت مختلف را می‌توان در محاسبهٔ احتمالات در نظر گرفت:

۱. احتمال کمتر بودن از یک مقدار مشخص.
۲. احتمال بیشتر بودن از یک مقدار مشخص.
۳. احتمال بودن بین دو مقدار مشخص.

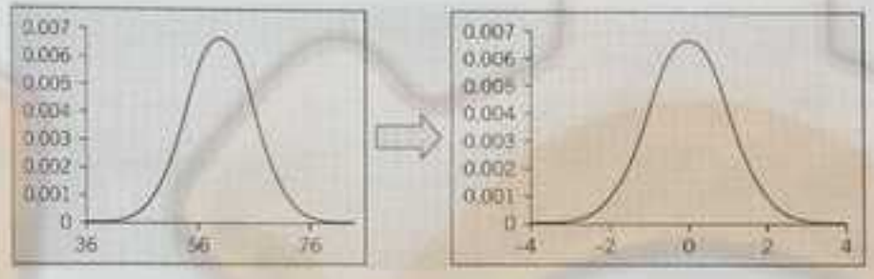
این حالت‌ها را با استفاده از مثال ۴-۸ توضیح می‌دهیم.

مثال ۴-۸ محاسبه احتمالات برای یک توزیع نرمال

یک فرآیند Just-in-Time در یک شرکت دارای میانگین ۶۰ ساعت و انحراف از معیار ۶ ساعت می‌باشد. شرکت نمی‌خواهد کالا را زودتر از موعد تحویل دهد زیرا امکان دارد مشتریان برای کالا آماده نباشند. همچنین شرکت نمی‌خواهد کالا خیلی دیر تحویل داده شود زیرا این موضوع می‌تواند تأثیر منفی روی مشتریان بگذارد.

این شرکت استانداردهای عملکردی برای زمان‌های تحویل خود ایجاد کرده است. زودترین زمانی که شرکت مایل است کالای خود را تحویل دهد ۵۰ ساعت بعد از صدور سفارش است. از طرفی همهٔ محصولات باید در طی ۷۵ ساعت تحویل داده شوند. دامنهٔ هدف برای تحویل جهت عملکرد بهینه بین ۵۵ و ۶۵ می‌باشد.

نموداری از توزیع نرمال و تبدیل آن به یک توزیع نرمال استاندارد با استفاده از رابطهٔ ۴-۵ در زیر نشان داده شده است:



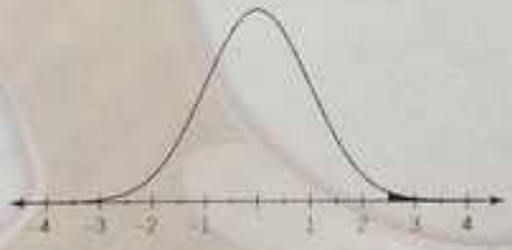
شکل ۴-۱۵ تبدیل توزیع تحویل کالا به منحنی نرمال استاندارد.

احتمال اینکه محصول زودتر از ۵۰ ساعت تحویل یابد چیست؟

مقدار z مربوط به ۵۰ ساعت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{۵۰-۶۰}{۶} = -۱/۶۶۷$$

احتمال اینکه z کوچکتر از ۱/۶۶۷- باشد در شکل ۴-۱۶ تشریح شده است.



شکل ۴-۱۶ احتمال اینکه $z < -۱/۶۶۷$

مقدار توزیع تجمعی نرمال برای $z=-۱/۶۶۷$ برابر با ۰/۰۴۷ است

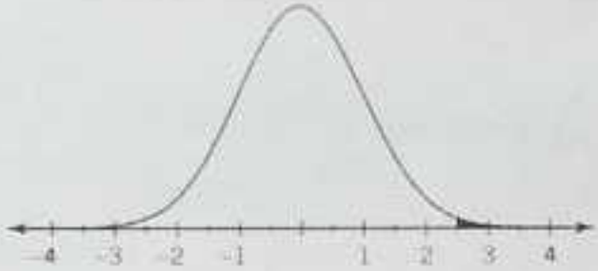
بنابراین احتمال تحویل کالا زودتر از ۵۰ ساعت تقریباً ۵٪ است.

احتمال اینکه تحویل دیرتر از ۷۵ ساعت رخ دهد چیست؟

مقدار z مربوط به ۷۵ ساعت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{۷۵-۶۰}{۶} = ۲/۵$$

احتمال اینکه z بزرگتر از ۲/۵ باشد در شکل ۴-۱۷ تشریح شده است.



شکل ۴-۱۷ احتمال اینکه $z > -2/5$.

مقدار توزیع تجمعی نرمال برای $z = 2/5$ برابر است با ۰/۹۹۳۷۹. این مقدار مربوط به ناحیهٔ سفید سمت چپ ۲/۵ می‌باشد. اما این مقداری نیست که ما به دنبال آن هستیم، بلکه باید ناحیهٔ آبی رنگ سمت راست ۲/۵ محاسبه گردد. برای به‌دست آوردن این مقدار با توجه به اینکه مجموع احتمالات برابر با یک است احتمال بزرگتر بودن مقدار z از ۲/۵ برابر خواهد بود با ۰/۹۹۳۷۹ − ۱ = ۰/۰۰۶۲۱. این بدین معنی است که ۰/۶% از تحویل‌ها دیرتر از ۷۵ ساعت رخ می‌دهند.

احتمال اینکه تحویل کالا در بازهٔ مورد هدف یعنی بین ۵۵ و ۶۵ ساعت رخ دهد چیست؟

مقادیر z برای ۵۵ و ۵۶ به ترتیب برابر هستند با ۰/۸۳۳− و ۰/۸۳۳. سطح بین این دو z مقدار در شکل ۴-۱۸ نمایش داده شده است.

احتمال تجمعی برای $z = 0/8333$ برابر با ۰/۷۹۸ یا ۷۹/۸ و احتمال تجمعی برای $z = -0/8333$ برابر با ۰/۲۰۲ یا ۲۰/۲% می‌باشد. بنابراین احتمال اینکه $-0/8333 < z < 0/8333$ برابر است با $59/5\% = 20/2\% - 79/8\%$.

این بدین معناست که ۵۹/۵% از کالاها در بازهٔ مورد هدف تحویل داده می‌شوند.

شکل ۴-۱۸ محاسبهٔ احتمال $-0/8333 < z < 0/8333$.

۴-۳-۱ قضیهٔ حد مرکزی

یکی از دلایلی که توزیع نرمال کاربرد زیادی دارد، این است که زمانی‌که نمونه‌هایی از توزیع‌های غیرنرمال گرفته می‌شود و میانگین آن‌ها محاسبه می‌گردد، مشاهده می‌شود این مقادیر به شکل نرمال میل می‌کنند. فرض کنید توزیع زیر از پرتاب ۱۰۰۰ بار یک تاس سالم به‌دست آمده است.

با توجه به هیستوگرام این مثال می‌توان دید که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. اما اگر میانگین ۲، ۵ و یا ۱۰ تا از این مقادیر محاسبه کنیم نتایج شکل ۴-۱۹ را به‌دست می‌آوریم.

چرا این اتفاق می‌افتد؟

نکتهٔ Excel

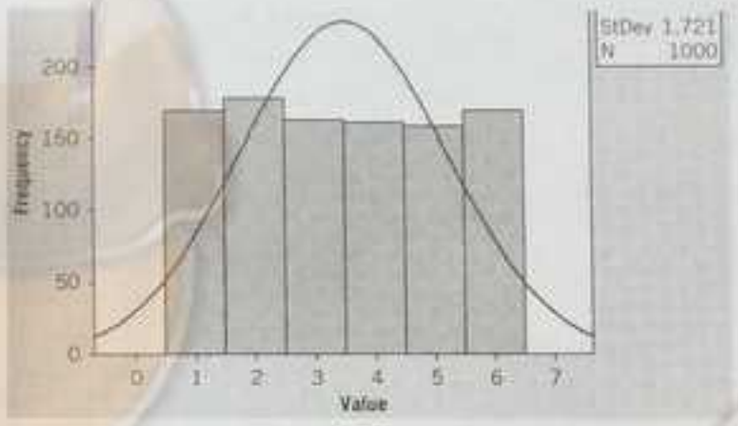
توزیع‌های تجمعی احتمال نرمال همین‌طور می‌توانند به‌طور مستقیم از طریق Excel با استفاده از دو تابع متفاوت به‌دست بیایند:

NORMDIST(Z)

باید زمانی استفاده شود که Z محاسبه شده است. با استفاده از داده‌های مثال فوق، NORMDIST(0.833) برابر با ۰/۷۹۸ خواهد بود.

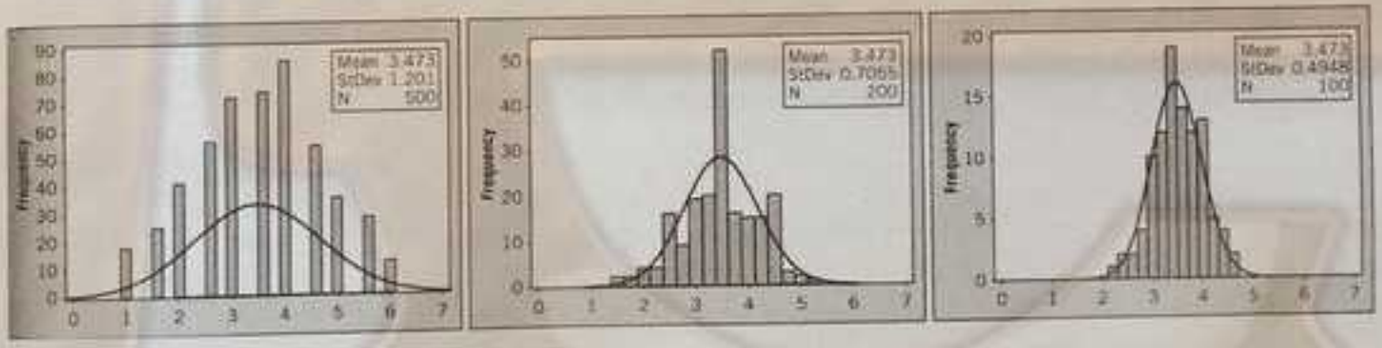
(X, Mean, NORMDIST Standard Deviation, TRUE)

قدمی بیشتر برداشته و z را محاسبه می‌کند. برای مثال NORMDIST (65,60,6,TRUE) برابر با ۰/۷۹۸ خواهد بود.



شکل ۴-۱۹ نمونهٔ داده از یک توزیع غیرنرمال.

در عمل زمانی که داده‌ها مشاهده می‌شوند، اگر هر داده از دادهٔ قبلی مستقل باشد آن‌گاه انتظار نخواهیم داشت مقادیر زیاد و یا کم متعددی داشته باشیم. بلکه انتظار برخی مقادیر کم و برخی مقادیر زیاد را خواهیم داشت. برای مثال اگر یک تاس را پرتاب کنیم، به نظر غیرمعمولی خواهد بود که در پنج بار پرتاب، پنج ۶ بیاید. اما آمدن تعدادی مقدار کم یا میانی و تعدادی مقدار زیاد رایج‌تر خواهد بود (البته در صورت سالم بودن تاس). با توجه به این موضوع انتظار می‌رود که مقادیر یک توزیع نرمال را نتیجه دهند که حول میانگین اصلی توزیع پراکنده شده است. البته هرچه تعداد داده‌ها بیشتر باشد نوسانات کمتری وجود خواهند داشت و توزیع نرمال نتیجه شده همان‌طور که در شکل ۲۰.۴ نمایش داده شده است پهن‌تر خواهد بود.



شکل ۴-۲۰ توزیع‌های ایجاد شده با استفاده از محاسبهٔ میانگین ۲، ۵ و ۱۰ تا از مقادیر.

توزیع میانگین نمونه می‌تواند با استفاده از روابط زیر در مورد میانگین و انحراف از معیار زیر توصیف شود:

$$E(\bar{x}) = \mu \qquad (۶-۴)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (۷-۴)$$

این نتایج یکی از مهمترین روابط در آمار می‌باشند با توجه به اینکه برای بکارگیری بسیاری از تکنیک‌های آماری روی داده‌هایی که از توزیع غیر نرمال پیروی می‌کنند قابل استفاده خواهند بود.

مثال ۴-۹ محاسبه میانگین و انحراف از معیار توزیع میانگین نمونه

یک تاس سالم شش وجهی دارای میانگین ۳/۵ و انحراف از معیار ۱/۷ می‌باشد. اگر این تاس را ۱۰۰۰ بار پرتاب کنیم اما با میانگین گرفتن از هر چهار بار پرتاب ۲۵۰ داده تولید کنیم، آنگاه میانگین و انحراف از معیار توزیع این میانگین‌های نمونه چه خواهد بود؟

میانگین توزیع همان مقدار ۳/۵ باقی خواهد ماند اما انحراف از معیار برابر خواهد بود با:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{۱/۷}{\sqrt{۴}} = ۰/۸۵$$

اگر تعداد اعداد در هر نمونه را به ۱۰ تا افزایش دهیم (یعنی ۱۰۰ داده داشته باشیم) آنگاه دوباره میانگین همان ۳/۵ و انحراف از معیار برابر خواهد بود با:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{۱/۷}{\sqrt{۱۰}} = ۰/۵۴$$

۴-۳-۲ منحنی احتمال نرمال

نکته Excel
NORMSINV مقدار Z مرتبط مقدار احتمال داده شده را پیدا خواهد کرد.

چگونه می‌توان تشخیص داد که آیا یک مجموعه از داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشد؟ می‌توان شباهت شکل هیستوگرام به شکل توزیع نرمال را بررسی کرد. اما این یک تکنیک ذهنی است و تعداد سلول‌های یک هستوگرام می‌توانند شکل آن را تغییر دهند.

رسم نمودار راهکار خوبی برای این موضوع خواهد بود. این کار به شکل زیر انجام خواهد شد:

۱. داده‌ها را به‌صورت صعودی مرتب کنید.

۲. احتمال تجمعی را برای هر داده به‌صورت زیر محاسبه کنید:

تعداد داده‌ها/(۰/۵-رتبه آن داده)

۳. مقدار z را برای هر احتمال به‌دست آورید. توجه کنید که این به معنای خواندن منحنی به‌صورت رو به عقب است. یک احتمال تجمعی ۵۰%منجر به مقدار صفر برای z می‌شود.

۴. مقادیر مشاهده شده را بر حسب مقادیر z رسم نمائید.

نتیجه باید یک خط مستقیم باشد که نشان می‌دهد احتمالات تجمعی محاسبه شده از طریق داده‌ها با مقادیر پیش‌بینی شدهٔ احتمال برای توزیع نرمال مطابقت دارند. اما اگر نقاط رسم شده از خط مستقیم به‌طور معناداری فاصله گرفته باشند، توزیع نرمال توزیع مناسبی نمی‌باشد.

مثال ۴-۱۰ رسم یک نمودار احتمال

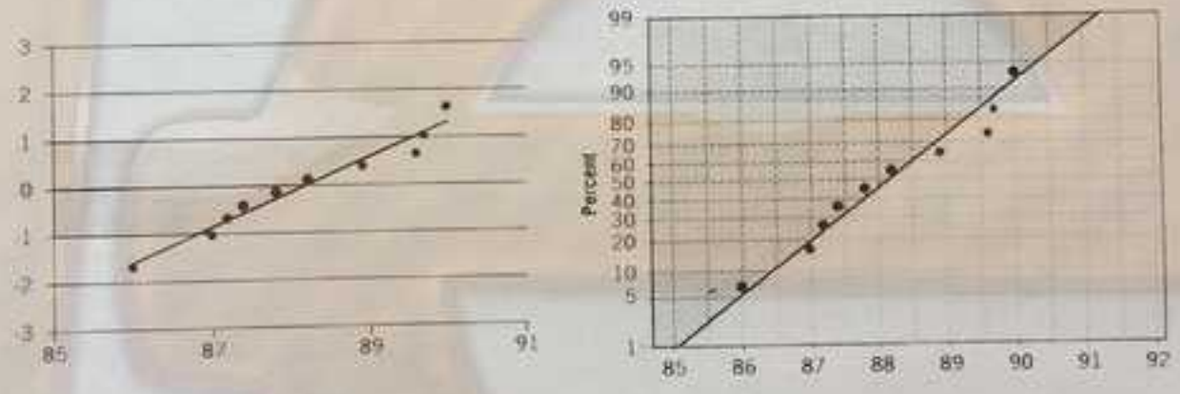
مشاهدات صورت گرفته روی عدد اکتان ۱۰ مخلوط بنزین به این شکل می‌باشند: ۸۸/۹ ،۸۷/۰ ،۹۰/۰ ،۸۸/۲ ،۸۷/۲ ،۸۷/۴ ،۸۷/۸ ،۸۶/۰ و ۸۹/۶ می‌خواهیم این داده‌ها را با استفاده از یک توزیع نرمال مدل‌سازی کنیم. آیا این کار منطقی است؟

برای ایجاد یک نمودار احتمال نرمال، ابتدا داده‌ها را به ترتیب صعودی مرتب کرده (تابع sort از نرم‌افزار Excel در اینجا کارا خواهد بود) و احتمالات تجمعی مشاهده شدهٔ آن‌ها را محاسبه می‌کنیم. برای نقطهٔ اول، این مقدار به‌صورت ۱۰ / (۰/۵ − ۱) = ۰/۰۵ محاسبه شده است.

سپس تابع NORMSINV(probability) استفاده شد تا احتمالات تجمعی را به مقادیر z تبدیل نماید.

رتبه	مقدار	احتمال تجمعی	مقدار Z
۱	۸۶/۰	۰/۰۵	-۱/۶۴
۲	۸۷/۰	۰/۱۵	-۱/۰۴
۳	۸۷/۲	۰/۲۵	-۰/۶۷
۴	۸۷/۴	۰/۳۵	-۰/۳۹
۵	۸۷/۸	۰/۴۵	-۰/۱۳
۶	۸۸/۲	۰/۵۵	۰/۱۳
۷	۸۸/۹	۰/۶۵	۰/۳۹
۸	۸۹/۶	۰/۷۵	۰/۶۷
۹	۸۹/۷	۰/۸۵	۱/۰۴
۱۰	۹۰/۰	۰/۹۵	۱/۶۴

نمودار نتیجه شده در شکل ۴-۲۱ با استفاده از دو نرم‌افزار Excel و Minitab نشان داده شده است. Minitab این نمودار را به‌صورت خودکار تولید می‌کند و نقاط را به جای مقادیر z بر اساس احتمال مقیاس‌بندی می‌کند.



شکل ۴-۲۱ نمودارهای احتمال نرمال رسم شده توسط **Minitab , Excel**.

نمودارهای نتیجه شده یک خط مستقیم معناداری را نشان می‌دهند، بنابراین استفاده از توزیع نرمال برای این داده‌ها منطقی می‌باشد.

۴-۴ استنباط آماری

تاکنون نکات مفیدی را یاد گرفتیم از جمله آماده‌سازی نمودارهایی که توزیع‌ها را توضیح می‌دادند، طرز محاسبهٔ سنجه‌های توصیفی مانند میانگین، میانه و صدک، انواع توزیع‌ها و اینکه قضیهٔ حد مرکزی می‌تواند منجر به توزیع میانگین نمونه که به‌طور تقریبی به توزیع نرمال میل می‌کند شود.

اما جهت حل مسائل باید بتوانیم با اطمینان به نتیجه‌گیری از اطلاعات جمع‌آوری شده بپردازیم. این موضوع استنباط آماری نامیده می‌شود. همانند دستگاه قضایی، تکنیک‌های استنباط آماری طراحی شده‌اند تا این شک را به وجود بیاورند که یک چیزی احتمالاً درست است و ما باید

مدرکی بیاوریم که توجیه می‌کند که آن چیز درست نیست. معادل این موضوع این است که بگوئیم یک فرد بی‌گناه است تا اینکه ثابت شود گناهکار است.

در زمان استفاده از روش‌های آماری برای نتیجه‌گیری باید از وجود دو نوع خطا آگاه باشیم: خطای نوع اول و نوع دوم.

خطای نوع اول زمانی رخ می‌دهد که ما نتیجه می‌گیریم یک مجموعه از داده‌ها دارای معیار خاصی نمی‌باشد، در صورتی که واقعاً آن مجموعه آن معیار را داراست. معادل این موضوع این است که نتیجه‌گیری کنیم یک فرد گناهکار است در صورتی که وقعاً بی گناه است.

خطای نوع دوم زمانی رخ می‌دهد که ما نتیجه می‌گیریم یک مجموعه از داده‌ها دارای معیار خاصی می‌باشد در صورتی که واقعاً آن مجموعه آن معیار را ندارد. معادل این موضوع این است که نتیجه‌گیری کنیم یک فرد بی گناه است در صورتی که واقعاً گناهکار بوده است.

در فرآیند قضاوت جرم، هرگز نمی‌توان مطمئن بود که یک فرد گناهکار یا بی‌گناه است (تنها خود آن فرد حقیقت را می‌داند). به‌طور مشابه با توجه به اینکه در حال نمونه‌گیری از یک جمعیت بزرگتر هستیم، هرگز نمی‌توانیم با اطمینان ۱۰۰٪ بدانیم که یک نتیجه نهایتاً با جمعیت واقعی تطابق خواهد داشت. اما خطای نوع اول با استفاده از استنباط آماری به‌طور خوبی می‌تواند کنترل شود. خطای نوع دوم نیز با اطمینان‌سازی از اینکه اندازهٔ نمونه‌ها برای فرآیند نمونه‌گیری به‌طور مناسب انتخاب شده‌اند محدود خواهند شد.

خطای نوع اول
خطای در نظر نگرفتن زمانی اتفاق می‌افتد که ما نتیجه می‌گیریم داده‌ای دارای معیار خاصی نیست در صورتی که آن داده واقعاً دارای آن معیار می‌باشد.

خطای نوع دوم
خطای در نظر گرفتن زمانی اتفاق می‌افتد که ما نتیجه می‌گیریم داده‌ای دارای معیار خاصی است در صورتی که آن داده واقعاً دارای آن معیار نمی‌باشد.

فاصلهٔ اطمینان
بازه‌ای که حول میانگین نمونه با استفاده از انحراف از معیار نمونه ساخته می‌شود.

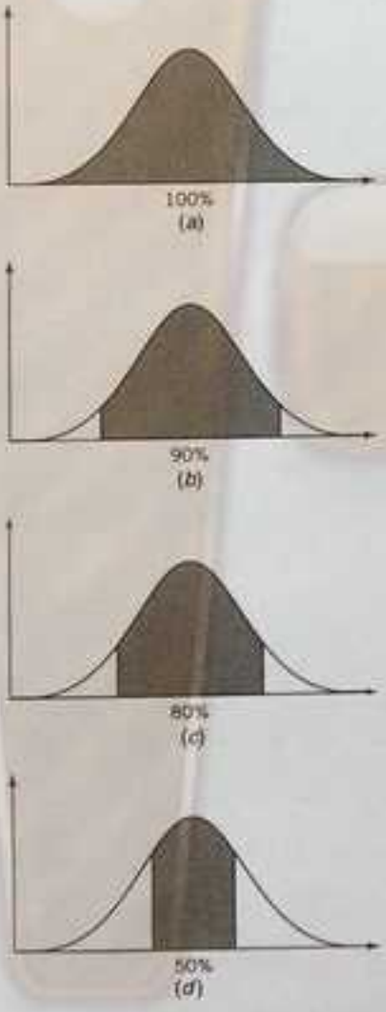
۴-۵ استنباط آماری برای یک نمونه

یکی از مهمترین ابزار استنباط آماری نتیجه گرفتن از داده‌های جمع‌آوری شده دربارهٔ جمعیت کل می‌باشد. یک **فاصلهٔ اطمینان** بازه‌ای حول پارامتر یک توزیع، مانند میانگین آن است. این بازه با استفاده از میزان انحراف از معیار حول میانگین ایجاد می‌شود. وازهٔ اطمینان در فاصلهٔ اطمینان مربوط به سطح ریسک استفاده شده برای ایجاد بازه می‌باشد.

حالت برنامه‌ریزی ظرفیت را در نظر بگیرید. فرض کنید تقاضای چند ماه گذشته با میانگین ۱۰۰ واحد به ازای هر ماه با انحراف معیاری معادل ۲۰ واحد بوده است. می‌خواهیم تعداد لازم کارگران مورد نیاز را برای پوشش دادن تقاضا مشخص کنیم.

یک روش می‌تواند ایجاد یک فاصلهٔ اطمینان باشد که تقریباً تمامی مقادیر ممکن تقاضا را نمایش می‌دهد. این بازه یک فاصلهٔ اطمینان ۹۹/۹۷٪ ای خواهد بود و دامنهٔ ± 4 برابر انحراف از معیار حول میانگین را پوشش می‌دهد. این فاصلهٔ اطمینان برابر خواهد بود با ۱۸۰–۲۰؛ البته این مقدار از جنبهٔ برنامه‌ریزی عملی نمی‌باشد.

حل یک بازهٔ ۹۰٪ای را امتحان می‌کنیم. این بازه بدین معنی است که اگر شرایط کسب و کار را مشابه قبل نگه داریم انگاه یک مقدار ۹۰ بار در فاصلهٔ اطمینان قرار می‌گیرد و ۱۰ بار قرار نمی‌گیرد. برخی این موضوع را به‌عنوان شانس ۹۰٪ ای داشتن یک تقاضا در فاصلهٔ اطمینان تشریح می‌کنند. این کار فاصلهٔ اطمینان را به ۱۳۲/۹–۶۷/۱ کاهش می‌دهد که کاربرد بیشتری برای ما دارد. به همین ترتیب فاصلهٔ اطمینان ۸۰٪ای برابر با ۱۲۵/۶–۷۴/۴ خواهد بود. این دامنه‌ها در شکل ۴-۲۲ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴-۲۲ نمایش فواصل اطمینان.

می‌توان فواصل اطمینان را برای تمامی داده‌ها همان‌طور که توضیح داده شد توسعه داد. همین‌طور می‌توان از فواصل اطمینان برای تخمین میانگین‌ها، انحراف از معیارها، نسبت‌ها (برای مثال ۵۰٪ مشتریان محصول ما را نسبت به رقبا ترجیح می‌دهند) و واریانس‌ها نیز استفاده نمود. هرکدام از این‌ها در این بخش توضیح داده خواهند شد.

تعریف یک فاصلهٔ اطمینان (CI)

فاصلهٔ اطمینان فاصلهٔ تصادفی است که پارامتر مورد نظر را با احتمال مشخصی پوشش می‌دهد به این معنا که یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصدی برای میانگین یک توزیع نرمال بازه‌ای است که اگر نمونه‌های تکراری زیادی را از جمعیت بگیریم انگاه ۹۵ درصد بازه‌های ساخته شده مقدار واقعی میانگین را در بر خواهند داشت.

عدم معتبر بودن فاصلهٔ اطمینان

یک فاصله اطمینان زمانی معتبر می‌باشد که نمونه‌های آن به‌صورت تصادفی باشند.

۴-۵-۱ فاصلهٔ اطمینان برای یک میانگین زمانی که بیش از ۳۰ داده داریم

فاصلهٔ اطمینان میانگین، دامنه‌ای را نشان می‌دهد که ما انتظار داریم میانگین واقعی جمعیت در آن واقع باشد. زمانی که بیش از ۳۰ داده در دسترس باشد می‌توانیم از تخمین خود از میانگین و انحراف از معیار اطمینان بیشتری داشته باشیم و از فرمول زیر استفاده نمائیم:

$$\bar{x} - z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x} + z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (۸-۴)$$

که در اینجا $\bar{x}$ میانگین نمونه، σ انحراف از معیار، n تعداد داده‌های مورد استفاده برای محاسبهٔ میانگین، α سطح اطمینان و $z_{\alpha/2}$ مقدار z مربوطه می‌باشد. توجه کنید که این فرمول توضیح نخواهد داد که همهٔ داده‌ها کجا خواهند بود. بلکه تنها تخمینی از اینکه میانگین کجا خواهد بود را برای ما ارائه می‌دهد همان‌طور که انحراف از معیار بر مجذور تعداد داده‌ها تقسیم گشته است. این موضوع مستقیماً از قضیهٔ حد مرکزی نتیجه می‌شود.

این فرمول فرض می‌کند که ریسک نبودن در فاصلهٔ اطمینان (α) در دو طرف بازه پراکنده شده است. بنابراین اگر یک ریسک ۱۰٪ی را در نظر بگیریم، ۵٪ در طرف چپ و ۵٪ در طرف راست قرار خواهد داشت. به این دلیل α بر دو تقسیم می‌شود. همین‌طور می‌توان یک فاصلهٔ اطمینان یک طرفه ایجاد نمود که در آن همهٔ ریسک در طرف تمرکز دارد.

$$\mu \le \bar{x} + z_{\alpha}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (۹-۴)$$

کران بالای فاصلهٔ اطمینان =

$$\bar{x} - z_{\alpha}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \mu \qquad (۱۰-۴)$$

کران پایین فاصلهٔ اطمینان =

فاصلهٔ اطمینان دو طرفه

ریسک را به‌طور مساوی در هر دو طرف پخش می‌کند. برای مثال یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰ درصدی زمانی طراحی می‌شود که صدک ۵ ام پایین و صدک ۹۵ ام بالا را در نظر بگیرد. (مجموعاً ۱۰ درصد)

فاصلهٔ اطمینان یک طرفه

ریسک تنها در یک طرف متمرکز است. برای مثال یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰ درصدی بالا صدک ۹۰ ام و بیشتر از آن را در نظر نمی‌گیرد.

مثال ۴-۱۱ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای میانگین زمانی که بیش از ۳۰ داده داریم

یک کافی‌شاپ تجهیزات جدیدی را خریداری کرده است تا سرعت ساخت نوشیدنی‌های خاص خود را افزایش دهد. قبل از این میانگین زمان خدمت به ازای هر مشتری ۹۰ ثانیه بود. سیستم جدید دو هفته پیش راه‌اندازی شده و ۱۰۰ مشتری به‌عنوان نمونه، میانگین زمان خدمت‌دهی برابر ۸۰ با انحراف از معیاری برابر با ۴ داشته‌اند. یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۰٪ی ایجاد کنید که نشان‌دهندهٔ زمان خدمت به مشتریان باشد.

برای ایجاد یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۰٪ی، ۵٪ ریسک را به سمت مقادیر کمتر و ۵٪ دیگر را به سمت مقادیر بیشتر توزیع می‌کنیم (۲ / ۱۰٪). بنابراین باید مقادیر z را برای ۰/۰۵ به‌دست آورده و آن را به عددی مثبت تبدیل نمائیم. این مقدار

۱/۶۵می‌باشد. بنابراین فاصلهٔ اطمینان به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\bar{x} - z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x} + z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

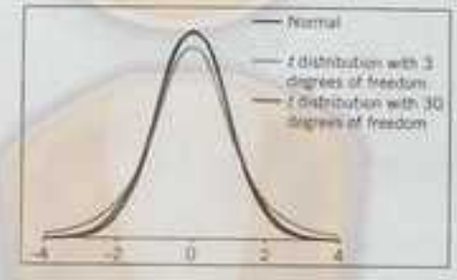
$$۸۰ - ۱/۶۵\frac{۴}{\sqrt{۱۰۰}} \le \mu \le ۸۰ + ۱/۶۵\frac{۴}{\sqrt{۱۰۰}}$$

$$۷۹/۳۴ \le \mu \le ۸۰/۶۶$$

بنابراین نتیجه می‌گیریم میانگین زمان خدمت‌دهی بین ۷۹/۳۴ و ۸۰/۶۶ می‌باشد. اما می‌توان نتیجهٔ دیگری هم گرفت. قبل از این میانگین برابر با ۹۰ثانیه به ازای هر مشتری بود. به این دلیل که فاصلهٔ اطمینان به‌دست آمده عدد ۹۰ را دربرنمی‌گیرد می‌توانیم نتیجه بگیریم که خرید دستگاه جدید منجر به ایجاد بهبود در زمان خدمت‌دهی به مشتریان گشته است.

۴-۵-۲ فاصلهٔ اطمینان برای یک میانگین زمانی که کمتر از ۳۰ داده داریم

زمانی که کمتر از ۳۰ داده در دسترس می‌باشند، باید تغییر کوچکی در روابط رخ دهد. به یاد آورید که انحراف از معیار تفاضل یک داده را با میانگین نمونه محاسبه می‌کرد. اگر تنها تعداد کمی داده وجود داشته باشد، به نظر منطقی می‌رسد که این داده‌ها بیشتر در حول مرکز توزیع قرار داشته باشند تا در فاصله‌ای دور از آن. توزیع t برای توصیف چنین داده‌هایی مناسب می‌باشد. این موضوع در شکل ۴-۲۳ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۲۳ شکل توزیع **T** در مقایسه با توزیع نرمال.

توزیع t دارای یک پارامتر مهم با نام درجهٔ آزادی (df) می‌باشد. درجه آزادی برابر است با تعداد داده‌ها منهای یک. درجهٔ آزادی می‌تواند پس از حل مسأله تغییر یابد اما در محاسبهٔ فواصل اطمینان آن را به‌صورت تعداد داده‌ها منهای یک محاسبه می‌کنیم.

توجه کنید که برای داده‌های کوچک در مقایسه با داده‌های بزرگتر، توزیع t دارای نسبت بیشتری از داده‌ها را در دو انتهای خود در بر دارد. همچنین توجه کنید که برای زمانی که ۳۰ درجهٔ آزادی وجود دارد توزیع t تقریبی برای توزیع نرمال می‌باشد. این چیزی است که ما می‌خواهیم به‌دست آوریم. در واقع می‌خواهیم یک فاصلهٔ اطمینان کمی کوچکتر برای داده‌های کوچکتر تولید نمائیم.

فرمول‌های مورد استفاده برای محاسبهٔ یک فاصلهٔ اطمینان میانگین زمانی که کمتر از ۳۰ داده داریم عبارتند از:

دوطرفه: $\bar{x} - t_{\alpha/۲,n-۱}\frac{s}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x} + t_{\alpha/۲,n-۱}\frac{s}{\sqrt{n}}$ (۱۱-۴)

کران بالا: $\mu \le \bar{x} + t_{\alpha,n-۱}\frac{s}{\sqrt{n}}$ (۱۲-۴)

کران پایین: $\bar{x} - t_{\alpha,n-۱}\frac{s}{\sqrt{n}} \le \mu$ (۱۳-۴)

که در اینجا $\bar{x}$ میانگین نمونه، s انحراف از معیار نمونه، n تعداد داده‌ها، α سطح اطمینان و $t_{\alpha,n-1}$ مقدار t مربوطه می‌باشد.

نکتهٔ Excel

TINV(Probability, degrees of freedom)

یک t- مقدار متناظر با مقدار احتمال داده شده و تعداد درجات آزادی پیدا خواهد کرد

نکته: Excel فرض می‌کند که شما مقدار t را برای آزمون دو طرفه می‌خواهید. بنابراین مقدار کل احتمال (و نه نصف آن، یعنی $\alpha/۲$) را وارد کنید. در صورتی که علاقمند به محاسبهٔ یک احتمال یک طرفه هستید مقدار ۲α را وارد نمائید.

مثال: محاسبهٔ t برای مثال مدت زمان خدمت. می‌خواهیم یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰ درصدی دو طرفه با درجهٔ آزادی ۹ داشته باشیم. بنابراین عبارت tinv (۹و۰/۱) را وارد می‌کنیم که مقدار ۱/۸۳ را نتیجه می‌دهد.

مثال ۴-۱۲ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای میانگین زمانی که کمتر از ۳۰ داده داریم

فرض کنید که در مثال کافی‌شاپ تنها ۱۰ داده نمونه‌گیری کنیم و این داده‌ها دارای میانگین ۸۰ و انحراف از معیار ۴ باشند. این موضوع فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۰٪ای برای میانگین زمان خدمت‌دهی را چگونه تغییر می‌دهد؟

برای ایجاد یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۰٪ای، ۵٪ ریسک را به سمت مقادیر کمتر و ۵٪ دیگر را به سمت مقادیر بیشتر توزیع می‌کنیم (۲ / ۱۰٪). بنابراین فاصلهٔ اطمینان به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2,n-1}\frac{s}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x} + t_{\alpha/2,n-1}\frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$۸۰ - ۱/۸۳\frac{۴}{\sqrt{۱۰}} \le \mu \le ۸۰ + ۱/۸۳\frac{۴}{\sqrt{۱۰}}$$

$$۷۷/۷ \le \mu \le ۸۲/۳$$

بنابراین نتیجه می‌گیریم میانگین زمان خدمت‌دهی بین ۷۷/۷ و ۸۲/۳ ثانیه می‌باشد. این مقادیر به‌طور قابل‌توجهی از مقادیر به‌دست آمده برای جمعیت بیشتر بزرگتر هستند و نشان‌دهندهٔ استفادهٔ تعداد کمتری از داده‌ها برای تخمین انحراف از معیار می‌باشند. اما با توجه به اینکه میانگین زمان خدمت‌دهی بین ۷۷/۷ و ۸۲/۳ ثانیه می‌باشد هنوز می‌توان نتیجه گرفت که خرید دستگاه جدید منجر به ایجاد بهبود در زمان خدمت‌دهی به مشتریان گشته است.

۴-۵-۳ فاصلهٔ اطمینان برای نسبت‌ها

همچنین می‌توان فاصلهٔ اطمینان را برای نسبت جمعیت، p محاسبه نمود. این موضوع برای ارزیابی داده‌های بازار و عدم مطابقت‌های محصول خیلی کمک کننده خواهد بود. البته توجه کنید که فرمول زیر تنها زمانی قابل استفاده خواهد بود که بیش از ۳۰ داده نمونه‌گیری شده باشند و نسبت بیش از ۱۰٪ باشد.

دوطرفه: $$\hat{p} - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \le p \le \hat{p} + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \qquad (۱۴-۴)$$

کران بالا: $$p \le \hat{p} + z_{\alpha}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \qquad (۱۵-۴)$$

کران پایین: $$\hat{p} - z_{\alpha}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \le p \qquad (۱۶-۴)$$

مثال ۴-۱۳ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای نسبت

در یک نمونهٔ تصادفی ۸۰تایی درخواست وام مسکن از یک سیستم تصمیم‌گیری خودکار، ۱۵ درخواست مورد پذیرش قرار نگرفتند. تخمین نقطه‌ای نسبتی که پذیرفته نشده است برابر است با:

$$\hat{p} = \frac{۱۵}{۸۰} = ۰/۱۸۷۵$$

با فرض اینکه تقریب نرمال برای توزیع دوجمله‌ای تقریب مناسبی می‌باشد یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای فاصلهٔ اطمینان روی نسبت درخواست‌هایی که در فرآیند عدم مطابقت دارند را به‌دست آورید.

فاصلهٔ اطمینان مورد نظر از فرمول ۴-۱۴ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$۰/۱۸۷۵-۱/۹۶\sqrt{\frac{۰/۱۸۷۵(۰/۸۱۲۵)}{۸۰}} \le p \le ۰/۱۸۷۵+۱/۹۶\sqrt{\frac{۰/۱۸۷۵(۰/۸۱۲۵)}{۸۰}}$$

که به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$۰/۱۰۲۰ \le p \le ۰/۲۷۳۰$$

بنابراین انتظار می‌رود بین ۱۰ الی ۲۷ درصد درخواست‌های وام با توجه به این داده‌ها رد شوند.

۴-۵-۴ فاصلهٔ اطمینان برای واریانس‌ها

واریانس
واریانس توان دوم انحراف معیار است.

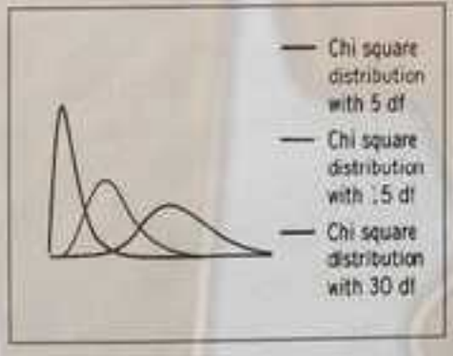
در کاربردهای کنترل کیفیت، تمرکز روی واریانس فرآیندها به اندازهٔ میانگین آن‌ها پراهمیت است. در واقع، کاهش نوسانات به خصوص در سیستم‌هایی که زیاد مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند گاهی خیلی مهمتر است. با کاهش نوسانات اغلب منفعت‌های عملکردی خیلی خوبی را به‌دست می‌آوریم که منجر به فرآیندهای سازگارتری می‌شوند.

فواصل اطمینان اغلب برای توصیف واریانس فرآیندهای متنوع استفاده می‌شوند:

$$\text{دوطرفه:} \quad \frac{(n-۱)s^۲}{\chi^۲_{\alpha/۲,n-۱}} \le \sigma^۲ \le \frac{(n-۱)s^۲}{\chi^۲_{۱-\alpha/۲,n-۱}} \qquad (۱۷-۴)$$

$$\text{کران بالا:} \quad \sigma^۲ \le \frac{(n-۱)s^۲}{\chi^۲_{۱-\alpha,n-۱}} \qquad (۱۸-۴)$$

$$\text{کران پایین:} \quad \frac{(n-۱)s^۲}{\chi^۲_{\alpha,n-۱}} \le \sigma^۲ \qquad (۱۹-۴)$$



شکل ۴-۲۴ توزیع مربع کای

که در اینجا $\bar{x}$ میانگین نمونه، s انحراف از معیار نمونه و $\chi^۲_{\alpha,n-۱}$ مقدار صدک توزیع مربع کای می‌باشد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند آنگاه توزیع مربع کای برای توصیف توزیع احتمال نسبت واریانس نمونه به واریانس جمعیت مناسب خواهد بود.

توزیع مربع کای متقارن نیست و شکل آن همان‌طور که در شکل ۴-۲۴ می‌بینید بستگی به تعداد درجات آزادی دارد.

مثال ۴-۱۴ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای واریانس‌ها

برای مثال کافی‌شاپ، داده‌های خام زمان خدمت‌دهی برای ۲۵ مشتری داده شده‌اند. انحراف از معیار قبل از راه‌اندازی دستگاه جدید برابر با ۵ ثانیه بوده است. یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای برای کران بالا ایجاد کنید تا بتوان توسط آن تشخیص داد که آیا توانسته‌ایم با راه‌اندازی دستگاه جدید انحراف از معیار را کاهش دهیم یا خیر.

۸۳/۳۵	۸۲/۱۳	۷۶/۶۴	۷۶/۶۴	۷۱/۱۸
۷۹/۸۵	۷۸/۰۰	۷۶/۷۵	۸۰/۲۹	۸۳/۱۸
۸۱/۸۱	۷۶/۲۳	۸۴/۹۰	۷۲/۷۰	۸۳/۷۱
۷۸/۰۹	۸۰/۶۰	۸۱/۲۳	۸۳/۲۱	۸۰/۳۷
۷۷/۲۲	۷۶/۲۳	۸۷/۸۲	۸۱/۶۴	۸۷/۵۷

با استفاده از مجموعه از داده‌ها انحراف از معیار ۴/۰۰۸ خواهد بود. با توجه به اینکه ۲۵ داده داریم بنابراین ۲۴ درجهٔ آزادی داریم. با توجه به اینکه در حال ایجاد یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای هستیم داریم $\alpha = ۱۰\%$ و

$$\sigma^۲ \le \frac{(n-۱)s^۲}{\chi^۲_{۱-\alpha,n-۱}}$$

$$\sigma^۲ \le \frac{(۲۵-۱)(۴/۰۰۸)^۲}{\chi^۲_{۰.۹,۲۴}}$$

$$\sigma^۲ \le \frac{(۲۵-۱)(۴/۰۰۸)^۲}{۱۵/۵۶}$$

$$\sigma^۲ \le ۲۵/۵۴$$

$$\sigma \le ۵/۰۵$$

بنابراین کران بالای ۹۰٪ای انحراف از معیار از ۵/۰۵ کمتر می‌باشد. با توجه به این نتیجه نمی‌توانیم عنوان کنیم که بهبودی در انحراف از معیار سیستم حاصل شده است. انحراف از معیار سیستم قبل از این ۵ ثانیه بود که در فاصلهٔ اطمینان جدید ما قراردارد. بنابراین نمی‌توانیم نتیجه بگیریم که راه‌اندازی دستگاه جدید باعث کاهش انحراف از معیار شده است.

نکتهٔ Excel

CHINV(Probability,degrees of freedom)

یک مقدار مربع کای متناظر با مقدار احتمال داده شده و تعداد درجات آزادی پیدا خواهد کرد.

مثال: در محاسبهٔ مقدار مربع کای در مثال مدت زمان خدمت...

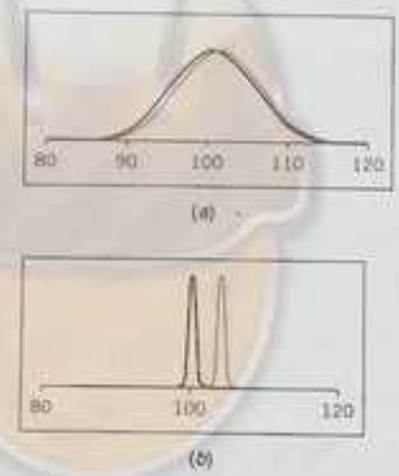
۴-۶ استنباط آماری برای دو نمونه

در بخش گذشته روی ایجاد فواصل اطمینان برای یک جمعیت تمرکز داشتیم. اما بسیاری وضعیت‌های کسب و کاری هستند که در آن‌ها باید دو جمعیت مورد مقایسه قرار گیرند و به بررسی وجود یا عدم وجود تفاوت بین آن‌ها پرداخته شود. برای مثال آیا داروهای گیاهی تأثیر بیشتری روی دانشجویان دارند یا نوجوانان؟ این یک سوال عملکردی همانند اطلاعات بازاری می‌باشد. مثال‌های دیگر سوددهی طرح دو سیستم متفاوت، پرتفولیوهای محصولات و یا کمپین‌های بازار می‌باشند.

زمانی که دو قلم و یا گروه متفاوت را مقایسه می‌کنیم می‌خواهیم متوجه شویم که آیا آن‌ها یکسان هستند و یا با هم تفاوت دارند. در حالت مقایسهٔ میانگین عملکرد، می‌توانیم داده‌های زیادی را از هر گروه به‌دست اورده، میانگین آن‌ها را محاسبه کنیم و ببینیم که آیا فاضل میانگین‌ها صفر است یا خیر. اگر این تفاضل برابر با صفر بود نتیجه می‌گیریم که بین دو گروه هیچ تفاوتی وجود ندارد (اگر پرتفولیوی A دارای عملکرد متوسط ۵MM و پرتفولیوی B دارای عملکرد متوسط ۵/۰۵MM باشد، می‌توانیم بگوییم تفاوت ۵/۰۵ MM قابل صرف‌نظر کردن است و هیچ تفاوتی بین این دو وجود ندارد).

اما با توجه به اینکه تنها تعداد کمی داده از جمعیت بزرگ موجود جمع‌آوری می‌شوند بهتر است که یک فاصلهٔ اطمینان حول تفاضل میانگین‌ها ایجاد شود. این موضوع می‌تواند نوسانات موجود در هر جمعیت، و همچنین تعداد داده‌های جمع‌آوری شده را توجیه کنید.

نمودار بالایی در شکل ۴-۲۵ دو توزیع دارد. هر دو توزیع دارای انحراف از معیاری معادل ۵ می‌باشند. اما میانگین منحنی تیره رنگ برابر ۱۰۰ و میانگین منحنی روشن‌تر برابر ۱۰۱ می‌باشد. برای نمودار پایینی در این شکل میانگین‌ها برابر با حالت قبلی بوده اما انحراف معیارها به ۰/۵ تغییر یافته‌اند. از لحاظ تصویری دیدن اختلاف بین نمودار سمت چپ با نمودار سمت راست بسیار ساده تر شده است. فواصل اطمینان به‌صورت عددی، وجود نوسانات در دو گروه و اینکه تعداد داده‌ها ممکن است متفاوت باشند را توضیح می‌دهند. این محاسبات در زیر توضیح داده شده‌اند.



شکل۴-۲۵مقایسهٔ میانگین دو جمعیت.

۴-۶-۱ فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو میانگین برای زمانی که بیش از ۳۰ داده داریم

زمانی که می‌خواهیم دو جمعیت را که هرکدام بیش از ۳۰ داده دارند، مقایسه کنیم آنگاه فاصلهٔ اطمینان برای یک میانگین تغییر می‌یابد از مقدار

فاصله اطمینان برای میانگین

$$\bar{x} - z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x} + z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (۸-۴)$$

به

فاصله اطمینان برای اختلاف دو میانگین

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}} \le \mu_1 - \mu_2 \le \bar{x}_1 - \bar{x}_2 + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}} \qquad (۲۰-۴)$$

این روابط تا حدودی شبیه هم هستند. توجه کنید که این بار $\bar{x}$ با تفاضل میانگین‌های نمونه‌های جمعیت ۱ و ۲ جایگزین شده است. همچنین عبارت $\sigma/\sqrt{n}$ نیز با معادل ریاضی آن به‌صورت $\sqrt{\sigma^2/n}$ جایگزین شده، اما این معادل بسط داده شده تا نشان‌دهندهٔ انحراف از معیار تفاضل نمونه‌ها باشد.

مثال ۴-۱۵ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو میانگین برای زمانی که بیش از ۳۰ داده داریم

یک دانشجو می‌خواهد به بررسی این موضوع بپردازد که آیا برای خدمات آمادگی برای آزمون ثبت نام کند یا خیر. این خدمات نسبتاً جدید می‌باشند و برای دلایل بازاریابی، در حال جمع‌آوری داده می‌باشند.

عملکرد دانشجویانی که در کلاس‌های آمادگی آزمون شرکت نکردند:

میانگین=۱۰۵۰، انحراف از معیار=۱۴۸

تعداد دانشجویان نمونه‌گیری شده=۱۰۰

عملکرد دانشجویانی که در کلاس‌های آمادگی آزمون شرکت کردند:

میانگین=۱۲۵۰، انحراف از معیار=۱۸۰

تعداد دانشجویان نمونه‌گیری شده=۵۰

شرکت خدمات آمادگی برای آزمون ادعا می‌کند که کلاس‌های آن منفعت‌های قابل‌توجهی را در آزمون اصلی برای دانشجویان به همراه خواهد داشت. آیا این ادعا صحیح است؟ برای جواب دادن به این سوال، باید منبع ایجاد این داده‌ها را در نظر گرفت. این شرکت چگونه این داده‌ها را به‌دست آورده است؟ (برای مثال آیا از این موضوع اطمینان حاصل کرده‌اند که تمامی دانشجویان بار اولشان بوده که در آزمون اصلی شرکت می‌کردند؟)

با فرض اینکه این داده‌ها معتبر هستند، می‌توانیم تحلیل خود را برای فاصلهٔ اطمینان دوطرفهٔ مثلاً ۹۵٪ای آغاز کنیم. افرادی که در کلاس‌های آمادگی آزمون شرکت کردند را جمعیت ۱ خطاب می‌کنیم تا تفاضل بین دو جمعیت مثبت باشد (البته این یک تصمیم دلخواه است).

$$۱۲۵۰-۱۰۵۰-۱/۹۶\sqrt{\frac{۱۸۰^۲}{۵۰}+\frac{۱۴۸^۲}{۱۰۰}} \le \mu_۱-\mu_۲ \le ۱۲۵۰-۱۰۵۰+۱/۹۶\sqrt{\frac{۱۸۰^۲}{۵۰}+\frac{۱۴۸^۲}{۱۰۰}}$$

$$۱۴۲/۳ \le \mu_۱-\mu_۲ \le ۲۵۷/۷$$

بنابراین با استفاده از فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای تفاضل عملکرد متوسط برای دو جمعیت بین ۱۴۲/۳ و ۲۵۷/۷ می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دو جمعیت فوق وجود دارد.

۴-۶-۲ فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو میانگین برای زمانی که کمتر از ۳۰ داده داریم

زمانی که دو جمعیت را که هرکدام کمتر از ۳۰ داده دارند مقایسه می‌کنیم باید از توزیع t استفاده نمائیم. فاصلهٔ اطمینان برای میانگین در اینجا از مقدار زیر

فاصله اطمینان برای یک میانگین وقتی کمتر از ۳۰ مشاهده در اختیار باشد.

$$\bar{x}-t_{\alpha/۲,n-۱}\frac{s}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x}+t_{\alpha/۲,n-۱}\frac{s}{\sqrt{n}} \qquad (۴-۱۱)$$

به مقدار زیر تغییر می‌یابد:

فاصله اطمینان برای اختلاف میانگین‌ها وقتی کمتر از ۳۰ مشاهده در اختیار باشد

$$\bar{x}_۱-\bar{x}_۲-t_{\alpha/۲,\nu}\sqrt{\frac{s_۱^۲}{n_۱}+\frac{s_۲^۲}{n_۲}} \le \mu_۱-\mu_۲ \le \bar{x}_۱-\bar{x}_۲+t_{\alpha/۲,\nu}\sqrt{\frac{s_۱^۲}{n_۱}+\frac{s_۲^۲}{n_۲}} \qquad (۴-۲۱)$$

که در اینجا υ درجهٔ آزادی مخلوط می‌باشد و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\upsilon = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(s_1^2/n_1\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(s_2^2/n_2\right)^2}{n_2 - 1}} \qquad (۴-۲۲)$$

اگر υ عددی صحیح نباشد به پایین گرد می‌شود.

مثال ۱۶.۴ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو میانگین برای زمانی که کمتر از ۳۰ داده داریم

دو پروسهٔ آرتروسکوپی توسط یک مجموعهٔ کلینیک مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. گروه کلینیک A تعداد ۱۰ بیمار را ثبت کرده است که به‌طور میانگین زمان بهبود آن‌ها ۶۰ روز و انحراف از معیار آن ۱۰ روز بوده است. گروه کلینیک B تعداد ۱۵ بیمار را با میانگین زمان بهبود ۵۰ روز انحراف از معیار ۱۵ روز ثبت کرده است. با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۹٪ای، آیا می‌توان گفت بین این دو گروه تفاوتی وجود دارد؟

ابتدا مقدار υ یعنی درجهٔ آزادی را محاسبه می‌کنیم. برای ساده‌سازی محاسبات ابتدا $\frac{s_1^2}{n_1}$ و $\frac{s_2^2}{n_2}$ را محاسبه می‌کنیم. مقادیر این دو عبارت به ترتیب ۱۰ و ۱۵ می‌باشند.

$$\upsilon = \frac{(۱۰+۱۵)^2}{\frac{(۱۰)^2}{۹} + \frac{(۱۵)^2}{۱۴}} = ۲۲/۹۷ = ۲۲$$

سپس داریم $t_{۰/۰۰۵,۲۲} = ۱/۷۱۷$، فاصلهٔ اطمینان به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$۶۰-۵۰-۱/۷۱۷\sqrt{\frac{۱۰^2}{۱۰} + \frac{۱۵^2}{۱۵}} \le \mu_1 - \mu_2 \le ۶۰-۵۰+۱/۷۱۷\sqrt{\frac{۱۰^2}{۱۰} + \frac{۱۵^2}{۱۵}}$$

$$۱/۴۲ \le \mu_1 - \mu_2 \le ۱۸/۵۹$$

بنابراین به نظر می‌رسد که بهبودی در بازهٔ ۱/۴۲ و ۱۸/۵۹در زمان بهبود بیماران رخ داده است.

۳.۶.۴ فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو نسبت

فواصل اطمینان همین‌طور می‌توانند برای نسبت‌های جمعیت، p محاسبه شوند. البته توجه کنید که فرمول زیر تنها برای زمانی کارا می‌باشد که بیش از ۳۰ داده در دسترس هستند و نسبت بزرگتر از ۱۰% می‌باشد. فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو نسبت تقریباً مشابه فاصلهٔ اطمینان برای یک نسبت می‌باشد.

نکته

زمان محاسبهٔ فواصل اطمینان برای تفاوت میانگین‌ها فرض می‌کنیم که جمعیت‌ها مستقل هستند اگر قبل و بعد از این موضوع آزمون صورت گیرد، یک آزمون زوجی باید استفاده گردد. به خوانندگان پیشنهاد می‌گردد جهت اطلاعات بیشتر در خصوص این موضوع به مونت گومری و رانگر (۲۰۰۷) مراجعه کنند.

فاصله اطمینان برای یک نسبت

$$\hat{p} - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \le p \le \hat{p} + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \qquad (۴-۱۴)$$

فاصله اطمینان برای
تفاضل دو نسبت

$$\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} \le p_1 - p_2 \le \hat{p}_1 - \hat{p}_2 + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} \qquad (۲۳-۴)$$

مثال ۱۷.۴ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای تفاضل دو نسبت

یک شرکت در حال نزدیک شدن به مراحل نهایی آماده‌سازی خود در خصوص عرضهٔ محصول جدیدش می‌باشد. این شرکت به‌طور تصادفی از ۱۰۰ مشتری در غرب و ۲۰۰ مشتری در شرق جهان در خصوص آگاهی آن‌ها از محصول جدید سوال پرسیده است. ۸۵% مشتریان غرب و ۹۰% مشتریان شرق از وجود این محصول آگاه بوده‌اند. آیا با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۸۰%ای می‌توان گفت که بین آگاهی این دو بخش بازاری تفاوتی وجود دارد؟

$$\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} \le p_1 - p_2 \le \hat{p}_1 - \hat{p}_2 + z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}}$$

$$۰/۸۵ - ۰/۹ - ۱/۲۸\sqrt{\frac{۰/۸۵(۰/۱۵)}{۱۰۰} + \frac{۰/۹(۰/۱)}{۲۰۰}} \le p_1 - p_2 \le ۰/۸۵ - ۰/۹ + ۱/۲۸\sqrt{\frac{۰/۸۵(۰/۱۵)}{۱۰۰} + \frac{۰/۹(۰/۱)}{۲۰۰}}$$

$$-۰/۱ \le p_1 - p_2 \le ۰/۰۰۳$$

با توجه به اینکه فاصلهٔ اطمینان تفاضل دو نسبت دارای نقطهٔ صفر می‌باشد نمی‌توانیم نتیجه بگیریم که بین آگاهی دو بخش بازاری تفاوتی وجود دارد.

۴.۶.۴ فاصلهٔ اطمینان برای نسبت دو واریانس

تا اینجا یاد گرفتیم چگونه برای تفاضل دو میانگین و دو نسبت فواصل اطمینان را بنویسیم. حال به چگونگی توسعهٔ یک فاصلهٔ اطمینان برای نسبت دو واریانس می‌پردازیم. در بخش‌های گذشته زمانی که تفاوت بین دو میانگین و یا دو نسبت را محاسبه کردیم، آن‌ها را با استفاده از تفاضل ارزیابی نمودیم. اما برای ارزیابی واریانس‌ها، تفاوت را به‌صورت نسبت واریانس جمعیت ۱ به جمعیت ۲ به‌دست می‌آوریم. اگر این واریانس‌ها برابر باشند، آنگاه نسبت آن‌ها باید برابر با یک باشد. این موضوع به ما اجازه می‌دهد که از توزیع F استفاده نمائیم، زیرا یک متغیر تصادفی با توزیع F به‌صورت نسبت دو انحراف از معیار می‌باشد.

فاصلهٔ اطمینان برای نسبت دو انحراف از معیار برابر است با:

$$\frac{s_1^2}{s_2^2} F_{1-\alpha/2,n_2-1,n_1-1} \le \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \le \frac{s_1^2}{s_2^2} F_{\alpha/2,n_1-1,n_2-1} \qquad (۲۷-۴)$$

با توجه به رابطهٔ بالا، اگر تفاوتی بین دو واریانس نباشد، آنگاه بازهٔ فوق باید عدد ۱ را در بر داشته باشد.

نکتهٔ Excel

FINV(Probability, degrees of freedom 1, degrees of freedom 2)

یک F- مقدار متناظر با مقدار احتمال داده شده و تعداد درجات آزادی پیدا خواهد کرد.

مثال: محاسبهٔ مقدار F برای مثال DMV

از توابع FINV(0.05,49,24) و FINV(0.95,49,24) استفاده می‌کنیم که به ترتیب مقادیر ۱/۸۶ و ۰/۵۷ به‌دست می‌آیند.

مثال ۱۸.۴ محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان برای تفاوت در واریانس‌ها

شرکت DMV یک پروسهٔ جدید را برای ارزیابی قدرت بینایی اجرا نموده است. انحراف از معیار زمانی که برای ارزیابی بینایی طول می‌کشد، قبل از این ۱۰ ثانیه بوده است که توسط یک نمونهٔ ۵۰ تایی از مشتریان به‌دست آمده است. انحراف از معیار جدید که از یک نمونهٔ ۲۵ تایی مشتریان به‌دست آمده برابر با ۸ ثانیه می‌باشد. آیا با استفاده از فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای می‌توان گفت بهبودی در واریانس ایجاد شده است؟

$$\frac{s_1^2}{s_2^2}F_{1-\alpha/2,n_2-1,n_1-1} \le \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \le \frac{s_1^2}{s_2^2}F_{\alpha/2,n_2-1,n_1-1}$$

$$\frac{10^2}{8^2}(0/57) \le \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \le \frac{10^2}{8^2}(1/86)$$

$$0.89 \le \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \le 2/91$$

با توجه به اینکه فاصلهٔ اطمینان دارای عدد ۱ می‌باشد نمی‌توانیم نتیجه بگیریم که تفاوتی در واریانس پروسه ایجاد شده است. بنابراین بهبودی در واریانس حاصل نشده است.

۵.۶.۴ ارتباط بین فواصل اطمینان و آزمون فرض

در بخش‌های قبلی از فواصل اطمینان برای آزمایش برخی فرض‌ها استفاده کردیم. به‌طور خاص نتیجه گرفتیم که میانگین‌ها، نسبت‌ها و واریانس‌ها می‌توانند مقادیر خاصی داشته باشند. اما با استفاده از آزمون‌های فرض و p -مقدارها نیز می‌توان چنین نتیجه‌گیری‌هایی داشت. این موضوع توسط مثال زیر توضیح داده خواهد شد.

مثال ۱۹.۴ مقایسهٔ فواصل اطمینان و آزمون‌های فرض

دپارتمان مدیریت زنجیرهٔ تأمین دانشگاه باور دارد که میانگین GPA دانشجویانش برابر با ۳/۱ می‌باشد. این دپارتمان می‌خواهد این موضوع را با استفاده از یک آزمون فرض مورد آزمایش قرار دهد.

۱. فرض صفر H_0 و فرض یک H_1 را بنویسید.

فرض صفر بیان می‌کند که یک پارامتر همواره برابر با مقداری خاص است. فرض یک همواره عکس فرض صفر می‌باشد (نابرابر، کوچکتر، یا بزرگتر از آن مقدار).

برای این مثال فرض صفر به این ترتیب خواهد بود که میانگین GPA = ۳/۱ و فرض یک اینطور خواهد بود که میانگین GPA ≠ ۳/۱. این موضوع به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$H_0 : \mu = 3/1$$
$$H_1 : \mu \neq 3/1$$

۲. سطح اطمینان را مشخص کنید.

این مقدار همان خطای نوع اول می‌باشد. همچنین این مقدار همان مقداری است که مورد استفادهٔ فاصلهٔ اطمینان قرار می‌گیرد. برای این حالت خطای نوع اول ۵٪ی یا $\alpha = ۰.۰۵$ را استفاده می‌کنیم.

۳. آمارهٔ آزمون را انتخاب کنید.

آماره‌های آزمون برای میانگین‌ها، واریانس‌ها، نسبت‌ها، تفاضل دو میانگین، تفاضل دو نسبت و نسبت دو واریانس در دسترس می‌باشند. آماره‌های آزمون در ضمیمهٔ 5 تعریف شده‌اند. آمارهٔ آزمون مناسب برای این مثال برابر است با:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

۴. داده‌های نمونه را جمع‌آوری و مقدار آمارهٔ آزمون را محاسبه کنید.

۳/۴۴	۳/۰۶	۳/۱۰	۲/۸۵	۳/۳۳	۲/۹۳	۲/۷۸	۲/۷۷	۳/۸۱	۳/۳۰
۳/۰۵	۳/۴۴	۳/۴۱	۳/۲۷	۳/۱۱	۳/۶۲	۳/۰۶	۳/۱۷	۳/۴۵	۳/۸۴
۳/۰۰	۳/۳۹	۲/۹۲	۳/۲۷	۳/۶۵	۳/۴۸	۳/۶۱	۳/۰۹	۳/۵۰	۳/۵۹
۲/۵۹	۲/۷۰	۲/۷۶	۳/۳۹	۳/۳۶	۳/۴۳	۳/۳۲	۳/۴۱	۳/۰۵	۲/۸۲
۳/۵۶	۳/۱۸	۳/۱۵	۲/۴۷	۲/۹۵	۳/۳۹	۳/۶۴	۳/۵۹	۳/۹۴	۲/۷۲

با استفاده از این داده‌های خام شاخص GPA برابر با ۳/۲۱ و انحراف از معیار آن برابر با ۰/۳۴۴ محاسبه می‌شود. مقدار آمارهٔ آزمون برابر است با:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} = \frac{۳/۲۱ - ۳/۱۰}{۰/۳۴۴ / \sqrt{۵۰}} = ۲/۲۶$$

۵. p – مقدار را بر اساس آمارهٔ آزمون به‌دست آورید.

p – مقدار برابر با احتمال مربوط به آمارهٔ آزمون می‌باشد که میزان وزن عدم صحت فرض صفر را نشان می‌دهد. یک p – مقدار کم بر قدرت عدم صحت فرض صفر تأکید می‌کند.

z – مقدار در اینجا برابر با ۲/۲۶ است. با استفاده از نرم‌افزار Excel احتمال مربوطه برابر است با ۰/۹۸۸. این بدین معناست که به احتمال ۰/۰۱۲مقدار z بزرگتر از ۲/۲۶ به‌دست خواهد آمد. با توجه به اینکه فرض آماری ما دو طرفه است (به‌عبارتی دیگر یا میانگین برابر با ۳/۱ است یا نیست) این احتمال را دو برابر می‌کنیم، ۰/۰۲۴ = (۰/۰۱۲)۲. بنابراین p – مقدار برابر با ۰/۰۲۴ خواهد بود که مدرکی قوی بر علیه فرض صفر می‌باشد و تنها شانس ۲/۴٪ی وجود دارد که اگر نتیجه بگیریم $\mu \neq ۳/۱$ اشتباه کرده باشیم.

۶. نتیجه‌گیری مناسب را بر اساس p – مقدار انجام دهید.

الف. اگر p – مقدار کمتر از α باشد فرض H_0 را رد کنید.

ب. اگر p – مقدار بزرگتر از α باشد فرض H_0 را قبول کنید.

با توجه به اینکه p - مقدار به‌دست آمده از سطح اطمینان یعنی ۵% کمتر می‌باشد فرض H_0 را رد می‌کنیم. بنابراین مدرک کافی برای این موضوع وجود دارد که میانگین واقعی GPA از مقدار داده شده بزرگتر است.

این محاسبات می‌توانند در نرم‌افزار Minitab انجام شوند. نتایج در جدول ۴-۴ نمایش داده شده است:

جدول ۴-۴

Test of mu = 3.1 vs not = 3.1
The assumed standard deviation = 0.344

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	CI ٪۹۵	Z	P
C1	۵۰	۳/۲۰۹۸	۰/۳۴۴۰	۰/۰۴۸۶	(۳/۱۱۴۴ ،۳/۳۰۵۲)	۲/۲۶	۰/۰۲۴

با استفاده از فواصل اطمینان نیز می‌توانستیم نتایج مشابهی را دریافت کنیم. با توجه به اینکه ۵۰ داده وجود دارند در واقع فاصلهٔ اطمینان را در حالتی که بیش از ۳۰ داده داریم برای میانگین محاسبه می‌کنیم:

$$\bar{x} - z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{x} + z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$۳/۲۰۹۸ - ۱/۹۵\frac{۰/۳۴۴}{\sqrt{۵۰}} \le \mu \le ۳/۲۰۹۸ + ۱/۹۵\frac{۰/۳۴۴}{\sqrt{۵۰}}$$

$$۳/۱۱۴۴ \le \mu \le ۳/۳۰۵۲$$

با توجه به اینکه فاصلهٔ اطمینان مقدار ۳/۱ را در برنمی‌گیرد، می‌توانیم نتیجه بگیریم که GPA دانشجویان این دپارتمان برابر با ۳/۱ نیست. همین‌طور می‌توانیم نتیجه بگیریم که GPA آن‌ها بزرگتر از ۳/۱ است.

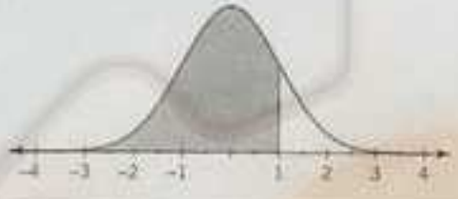
همان‌طور که در مثال فوق نشان داده شده است، هر دو روش نتایج یکسانی را به وجود می‌آورند. فاصلهٔ اطمینان، دامنه‌ای را فراهم می‌کند که پارامتر مورد نظر تمایل دارد در آن دربرگرفته شود. این موضوع در خیلی از وضعیت‌ها کمک کننده است. از طرفی دیگر آزمون فرض، ساختار بیشتر و اطلاعات کمتری را از طریق p - مقدار ایجاد می‌کند. آزمون فرض و p - مقدار در طرح‌های تجربی این متن بیشتر استفاده خواهد شد.

مکمل یک؛ خواندن یک جدول توزیع تجمعی نرمال

یک جدول خلاصه شده از توزیع نرمال استاندارد در زیر ارائه شده است. ستون z همان نمای است که می‌خواهیم احتمال مربوط به آن ($G(z)$) را پیدا کنیم.

برای مثال، احتمال مربوط به مقدار z برابر با ۱/۶۴ را پیدا کنید. برای به‌دست آوردن این مقدار ستون z را جستجو کنید تا مقدار ۱/۶۴ را پیدا کنید. این احتمال برابر است با ۹۴/۵%.

برعکس می‌توان مقدار z را برای یک احتمال خاص به‌دست آورد. برای مثال، مقدار z مربوط به احتمال ۵۰% را پیدا کنید. در این حالت ستون $G(z)$ را جستجو کرده تا مقدار ۰/۵ را پیدا کنید. مقدار z مربوط به این احتمال برابر با صفر است.



z	G(z)	z	G(z)	z	G(z)	z	G(z)	z	G(z)
−4	0.00003	−2.4	0.00820	−0.8	0.21186	0.8	0.78814	2.4	0.99180
−3.9	0.00005	−2.3	0.01072	−0.7	0.24196	0.9	0.81594	2.5	0.99379
−3.8	0.00007	−2.2	0.01390	−0.6	0.27425	1.0	0.84134	2.6	0.99534
−3.7	0.00011	−2.1	0.01786	−0.5	0.30854	1.1	0.86433	2.7	0.99653
−3.6	0.00016	−2.0	0.02275	−0.4	0.34458	1.2	0.88493	2.8	0.99744
−3.5	0.00023	−1.9	0.02872	−0.3	0.38209	1.3	0.90320	2.9	0.99813
−3.4	0.00034	−1.8	0.03593	−0.2	0.42074	1.4	0.91924	3.0	0.99865
−3.3	0.00048	−1.7	0.04457	−0.1	0.46017	1.5	0.93319	3.1	0.99903
−3.2	0.00069	−1.6	0.05480	0.0	0.50000	1.6	0.94520	3.2	0.99931
−3.1	0.00097	−1.5	0.06681	0.1	0.53983	1.7	0.95543	3.3	0.99952
−3	0.00135	−1.4	0.08076	0.2	0.57926	1.8	0.96407	3.4	0.99966
−2.9	0.00187	−1.3	0.09680	0.3	0.61791	1.9	0.97128	3.5	0.99977
−2.8	0.00256	−1.2	0.11507	0.4	0.65542	2.0	0.97725	3.6	0.99984
−2.7	0.00347	−1.1	0.13567	0.5	0.69146	2.1	0.98214	3.7	0.99989
−2.6	0.00466	−1.0	0.15866	0.6	0.72575	2.2	0.98610	3.8	0.99993
−2.5	0.00621	−0.9	0.18406	0.7	0.75804	2.3	0.98928	3.9	0.99995

مکمل دو: خواندن یک جدول t

قسمتی از یک جدول توزیع t در زیر آورده شده است. مقدار α درصدی از داده‌هاست که پایین‌تر از انتهای بالایی توزیع قرار می‌گیرند. مقدار ν درجهٔ آزادی می‌باشد.

برای مثال، $t_{\alpha,\nu}$ مقدار مربوط به ۵% و ۹ درجهٔ آزادی را به‌دست آورید. برای به‌دست آوردن این مقدار ستون ۰/۰۵ را جستجو کنید و مقداری را پیدا کنید که در ردیف ۹ درجهٔ آزادی قرار دارد. این مقدار برابر است با ۱/۸۳۳.

	α									
ν	0.40	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.265	0.727	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.49	4.019	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781

مکمل سه: خواندن یک جدول مربع کای

جدول مربع کای شباهت زیادی به جدول توزیع t دارد. مقدار α درصدی از داده‌هاست که پایین‌تر از بالایی توزیع قرار می‌گیرند. مقدار υ درجهٔ آزادی می‌باشد.

البته جدول مربع کای متقارن نیست. بنابراین مقدار مربوط به ۵% به مقدار مربوط به ۹۵% بستگی نخواهد داشت.

برای مثال، مقدار مربع کای مربوطه برای ۵% و ۹۵% را با ۹ درجهٔ آزادی به‌دست آورید. برای به‌دست آوردن این مقدار در ستون ۰/۰۵ و ۰/۹۵ مقدار مربوط به ردیف ۹ درجهٔ آزادی را پیدا کنید. این مقادیر به ترتیب ۱۶/۹۲ و ۳/۳۳ می‌باشند.

	α								
υ	0.995	0.990	0.975	0.950	0.500	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00+	0.00+	0.00+	0.00+	0.45	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	1.39	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	2.37	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	3.36	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	4.35	11.07	12.38	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	5.35	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	6.35	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	7.34	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	8.34	16.92	19.02	21.67	23.59

مکمل چهار؛ خواندن یک جدول F

جدول F به دانستن سه پارامتر نیاز دارد: α، درجهٔ آزادی ۱ و درجهٔ آزادی ۲. درجات آزادی ۱ و ۲ توزیع آزمون آماری مشخص می‌شوند. مقدار F به‌صورت $F_{\alpha,df1,df2}$ نشان داده می‌شود.

جداول F مختلفی برای احتمالات مختلف وجود دارند. جدول نشان داده شده در اینجا برای α =۰/۲۵ می‌باشد. تمامی مقادیر F در این جدول دارای احتمال ۰/۲۵ می‌باشند. برای به‌دست آوردن مقدار $F_{0.25,5,10}$ ابتدا باید جدول F برای ۰/۲۵ را پیدا کرد. سپس در ستون مربوط به ۵ درجهٔ آزادی (υ_1) به دنبال مقدار مربوط به ۱۰ درجهٔ آزادی (υ_2) می‌گردیم. این مقدار برابر است با ۱/۵۹.

$F_{0.25,\upsilon_1,\upsilon_2}$

υ_2 \ υ_1	Degrees of Freedom for the Numerator (υ_1)												
Degrees of Freedom for the Denominator (υ_2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	5.83	7.50	8.20	8.58	8.82	8.98	9.10	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.5
2	2.57	3.00	3.15	3.28	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.4
3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.4
4	1.81	2.00	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.0
5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.8
6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.7
7	1.57	1.70	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.69	1.68	1.68	1.6
8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.6
9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.5
10	1.49	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.5
11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.4
12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	1.4
13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.4
14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.4
15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.4
16	1.42	1.51	1.51	1.50	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.4
17	1.42	1.51	1.50	1.40	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.3
18	1.41	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.40	1.39	1.3
19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.38	1.3
20	1.40	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.37	1.3
21	1.40	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.3
22	1.40	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.39	1.37	1.36	1.3
23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.3
24	1.39	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.3

$F_{0.25,\upsilon_1,\upsilon_2}$

υ_2 \ υ_1	Degrees of Freedom for the Numerator (υ_1)												
Degrees of Freedom for the Denominator (υ_2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.3
26	1.38	1.46	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.35	1.34	1.3
27	1.38	1.46	1.45	1.43	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.3
28	1.38	1.46	1.45	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.3
29	1.38	1.45	1.45	1.43	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.3
30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.3
40	1.36	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.2
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.2
120	1.34	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.2
∞	1.32	1.39	1.37	1.38	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.21	1.22	1.1

مکمل پنج؛ آماره‌های آزمون فرض

آزمون آماری	آمارهٔ آزمون
میانگین، بیش از ۳۰ داده	$z=\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$
میانگین، کمتر از ۳۰ داده	$t=\frac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}}$
واریانس	$\chi^2=\frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$
نسبت	$z=\frac{\hat{p}-p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}}$
تفاوت میانگین‌ها، بیش از ۳۰ داده	$z=\frac{\bar{x}_1-\bar{x}_2-D_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$
تفاوت میانگین‌ها، کمتر از ۳۰ داده	$t=\frac{\bar{x}_1-\bar{x}_2-D_0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}}}$ $v=\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(s_1^2/n_1\right)^2}{n_1-1}+\frac{\left(s_2^2/n_2\right)^2}{n_2-1}}$
تفاوت در واریانس‌ها	$F_0=\frac{s_2^2}{s_1^2}$
تفاوت در نسبت‌ها	$z_p=\frac{\hat{p}_1-\hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}}$

مکمل شش: ایجاد نمودار با نرم‌افزارهای Minitab و SPC XL

MINITAB

۱. داده‌ها را در ستون‌ها قرار داده و ستون را با کلیک بر عنوان زیر ردیف CX نامگذاری کنید.

۲. نمودارها توسط نوار منوی Graphs ایجاد می‌شوند. گزینه‌های مهم در این منو عبارتند از:

نمودار شاخه و برگ

- گزینهٔ graph و سپس stem & leaf plot

را انتخاب نمائید. روی ستون داده‌های خود دابل کلیک کرده تا بتوانید آن را به ناحیهٔ متغیرهای نمودار جابه‌جا کنید. مورد خاصی را در صورت نیاز اضافه نموده و ok را برای ایجاد نمودن نمودار کلیک کنید.

- هیستوگرام

گزینهٔ graph و سپس histogram را انتخاب نمائید. گزینهٔ simple را با fit یا بدون fit انتخاب کنید. روی ستون داده‌های خود دابل کلیک کرده تا بتوانید آن را به ناحیهٔ متغیرهای نمودار جابه‌جا کنید. ok را برای ایجاد نمودن نمودار کلیک کنید.

- نمودار جعبه‌ای

گزینهٔ graph و سپس box plot را انتخاب نمائید. گزینهٔ simple را انتخاب کنید. همین‌طور می‌توان گزینهٔ groups را برای مقایسه چنگانه مقادیر داده‌ها انتخاب کرد. ok را برای ایجاد نمودن نمودار کلیک کنید.

- نمودار احتمال

گزینهٔ graph و سپس box plot را انتخاب نمائید. گزینهٔ simple را انتخاب کنید. همین‌طور می‌توان گزینهٔ groups را برای مقایسه چندگانه مقادیر داده‌ها انتخاب کرد. ok را برای ایجاد نمودن نمودار کلیک کنید.

SPC XL

۱. داده‌ها را در ستون‌ها قرار دهید.

۲. نمودارها توسط قسمت Analysis Diagrams ایجاد می‌شوند. گزینه‌های مهم در این منو عبارتند از:

- نمودار شاخه و برگ

در SPC XL موجود نمی‌باشد.

- هیستوگرام

گزینهٔ Analysis Diagrams و سپس histogram را انتخاب نمائید. SPC XL یک ناحیه برای تحلیل پیشنهاد می‌دهد. درست بودن آن را تایید کنید. سپس SPC XL تعدادی کلاس و توزیع برازش پیشنهاد می‌دهد. می‌توان آن‌ها را ویرایش کرده و یا next را انتخاب کنید تا از تنظیمات پیشنهاد شدهٔ نرم افزار استفاده شود. سپس می‌توانید قبل از کلیک کردن بر گزینهٔ finish عنوان محورها را تغییر دهید.

- نمودار جعبه‌ای

گزینهٔ Analysis Diagrams و سپس box plot را انتخاب نمائید. SPC XL یک ناحیه برای تحلیل پیشنهاد می‌دهد. درست بودن آن را تایید کنید. سپس SPC XL نمودار را ایجاد می‌کند.

- نمودار احتمال

در SPC XL موجود نمی‌باشد.

مکمل هفت؛ ایجاد آمار توصیفی در نرم‌افزارهای Minitab و SPC XL

MINITAB
۱. داده‌ها را در ستون‌ها قرار داده و ستون را با کلیک بر عنوان زیر ردیف C# نامگذاری کنید. ۲. در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics سپس Display Descriptive Statistics را انتخاب نمائید. Minitab یک صفحه کاربر محور برای نمودارها باز می‌کند. روی ستون داده‌های خود دابل کلیک کرده تا بتوانید آن را به ناحیهٔ متغیرهای نمودار جابه‌جا کنید. برای ایجاد یک نمودار جعبه ای و یا هیستوگرام روی گزینهٔ graphs وارد شده و سپس ok را انتخاب کنید. روی گزینهٔ statistics کلیک کرده تا انتخاب کنید که می‌خواهید کدام آماره‌های توصیفی محاسبه شوند و سپس ok را انتخاب کنید. بعد از اتمام، ok را انتخاب کرده تا آماره‌ها و نمودارها ایجاد شوند.

SPC XL
۱. داده‌ها را از طریق Excel در ستون‌ها قرار دهید. ۲. قسمت Analysis Diagrams و سپس گزینهٔ Summary Stats (Dot plot) را انتخاب نمائید. نوع تحلیلی که می‌خواهید اجرا شود را انتخاب کنید (dot plot only یا summary stats only و یا هر دو). SPC XL سپس تحلیل را اجرا و نتایج را نمایش خواهد داد. نکته: چارک‌ها و ضرایب تغییرات در این نتایج ارائه نمی‌شوند. در صورت نیاز چارک‌ها می‌توانند در استفاده از نمودار جعبه‌ای به‌دست بیایند.

مکمل هشت: ایجاد فواصل اطمینان با نرم‌افزارهای Minitab و SPC XL

MINITAB

۱. داده‌ها را در ستون‌ها قرار داده و ستون را با کلیک بر عنوان زیر ردیف C# نامگذاری کنید.

۲. آزمون‌های فرض و فواصل اطمینان با استفاده از نوار منوی Stat ایجاد می شوند. توضیحات مهم در این زمینه از قرار زیر می‌باشند:

• میانگین، بیش از ۳۰ داده

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۱ Sample Z را انتخاب نمائید. روی نام ستون مناسب برای تحلیل دابل کلیک کنید. میانگین و انحراف از معیار مورد فرض برای مجموعهٔ داده‌ها را وارد نمائید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید.

• میانگین، کمتر از ۳۰ داده

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۱ Sample t را انتخاب نمائید. روی نام ستون مناسب برای تحلیل دابل کلیک کنید و میانگین مفروض را وارد کنید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید.

• واریانس

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۱Variance را انتخاب نمائید.در بالای صفحه کاربری نمودارها، مشخص کنید که آیا نتایج را به‌صورت انحراف از معیار و یا واریانس می خواهید. سپس ستون مناسب را برای تحلیل انتخاب کرده و واریانس مورد فرض را وارد کنید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید

• نسبت

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۱ Proportion را انتخاب نمائید. نکته: داده‌های نسبت باید تنها در دو گروه وارد شود (مثلا مذکر و مونث). روی نام ستون مناسب برای تحلیل دابل کلیک کنید و نسبت مورد فرض را وارد کنید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید.

• تفاوت میانگین‌ها

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۲ Sample t را انتخاب نمائید. دو ستون مناسب برای تحلیل کلیک کنید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید.

• تفاوت واریانس‌ها

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۲ Variances را انتخاب نمائید. دو ستون مناسب برای تحلیل کلیک کنید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید.

• تفاوت نسبت‌ها

در نوار منو، Stat سپس Basic Statistics و سپس ۲ Proportions را انتخاب نمائید. دو ستون مناسب برای تحلیل کلیک کنید. دکمهٔ options را برای تغییر نوع فرض و وارد کردن مقدار خطای نوع اول (که به‌طور پیش فرض ۵% می‌باشد.) کلیک کنید. OK را برای ایجاد کردن نمودار انتخاب کنید

SPC XL

۱. داده‌ها را توسط Excel در ستون‌ها قرار دهید. میانگین و واریانس نمونه را برای داده‌های خود محاسبه کنید. در صورتی که می‌خواهید به تحلیل نسبت‌ها بپردازید، تعداد اتفاق‌های مطلوب در داده‌های خود را مشخص کنید.

۲. آزمون‌های فرض و فواصل اطمینان با استفاده از Analysis Tools ایجاد می شوند. توضیحات مهم در این زمینه از قرار زیر می‌باشند:

- میانگین

در نوار منو Analysis Tools سپس Confidence Interval سپس Mean را انتخاب نمائید. SPC XL یک برگه کار برای تحلیل بوجود می‌آورد. نوع فاصلهٔ اطمینان مورد نظر (که به‌طور پیش فرض ۹۵% است) را وارد کنید، تعداد داده‌ها، میانگین نمونه، انحراف از معیار نمونه را وارد کنید. SPC XL فاصله اطمینان را به‌دست خواهد آورد. (نکته: این روش از توزیع *t* استفاده می کند.)

- واریانس

در نوار منو Analysis Tools سپس Confidence Interval سپس Std Deviation را انتخاب نمائید. SPC XL یک برگه کار برای تحلیل بوجود می‌آورد. نوع فاصلهٔ اطمینان مورد نظر (که به‌طور پیش فرض ۹۵% است) را وارد کنید، تعداد داده‌ها، میانگین نمونه، انحراف از معیار نمونه را وارد کنید. SPC XL فاصله اطمینان را به‌دست خواهد آورد.

- نسبت

در نوار منو Analysis Tools سپس Confidence Interval سپس Proportion را انتخاب نمائید. SPC XL یک برگه کار برای تحلیل بوجود می‌آورد. نوع فاصلهٔ اطمینان مورد نظر (که به‌طور پیش فرض ۹۵% است) را وارد کنید، تعداد داده‌ها، میانگین نمونه، انحراف از معیار نمونه را وارد کنید. SPC XL فاصله اطمینان را به‌دست خواهد آورد.

- تفاوت میانگن‌ها

در نوار منو Analysis Tools سپس Confidence Interval سپس T-Test Matrix را انتخاب نمائید. سپس SPC XL مکان ذخیره‌سازی داده‌ها را از شما می‌پرسد. این ناحیه را تعریف کرده و OK را انتخاب کنید. پنجره‌ای دیگر ظاهر می‌شود که از شما می‌پرسد داده‌ها در ردیف و یا ستون وارد شده‌اند. انتخاب کنید که داده‌ها در ستون وارد شده و OK را انتخاب کنید. در نهایت نوع فرض مورد نظر برای آزمون را انتخاب کنید. SPC XL سپس آمارهای خلاصه‌ای برای داده‌هایتان و یک p–مقدار برای آزمون *t* به‌دست می‌آورد. اگر p–مقدار بین ۵ الی ۱۰ درصد رنگ آبی و اگر کمتر از ۵ درصد باشد رنگ قرمز ظاهر می‌شود.

- تفاوت واریانس‌ها

در نوار منو Analysis Tools سپس Confidence Interval سپس *F*-Test Matrix را انتخاب نمائید. سپس SPC XL مکان ذخیره‌سازی داده‌ها را از شما می‌پرسد. این ناحیه را تعریف کرده و OK را انتخاب کنید. پنجره‌ای دیگر ظاهر می‌شود که از شما می‌پرسد، داده‌ها در ردیف و یا ستون وارد شده‌اند. انتخاب کنید که داده‌ها در ستون وارد شده و OK را انتخاب کنید. در نهایت نوع فرض مورد نظر برای آزمون را انتخاب کنید. SPC XL سپس آمارهای خلاصه‌ای برای داده‌هایتان و یک p–مقدار برای آزمون *F* به‌دست می‌آورد. اگر p– مقدار بین ۵ الی ۱۰ درصد رنگ آبی و اگر کمتر از ۵ درصد باشد رنگ قرمز ظاهر می‌شود.

- تفاوت نسبت‌ها

در نوار منو Analysis Tools سپس Confidence Interval سپس *T*-Test Matrix را انتخاب نمائید. سپس SPC XL مکان ذخیره‌سازی داده‌ها را از شما می‌پرسد. این ناحیه را تعریف کرده و OK را انتخاب کنید. پنجره‌ای دیگر ظاهر می‌شود که از شما می‌پرسد داده‌ها در ردیف و یا ستون وارد شده‌اند. انتخاب کنید که داده‌ها در ستون وارد شده و OK را انتخاب کنید. در نهایت نوع فرض مورد نظر برای آزمون را انتخاب کنید. SPC XL سپس آمارهای خلاصه‌ای برای داده‌هایتان و یک p–مقدار برای آزمون *F* به‌دست می‌آورد. اگر p–مقدار بین ۵ الی ۱۰ درصد رنگ آبی و اگر کمتر از ۵ درصد باشد رنگ قرمز ظاهر می‌شود.

واژه‌ها و مفاهیم مهم

فرض گزینه‌ای
توزیع دوجمله‌ای
بررسی فرضیات برای روش‌های استنباط آماری
فاصلهٔ اطمینان برای میانگین‌ها، با واریانس(های) معلوم
فاصلهٔ اطمینان برای واریانس‌های دو توزیع نرمال
ناحیهٔ بحرانی برای آمارهٔ آزمون
توزیع نمایی
آزمون فرض
میانه
نمودار احتمال نرمال
جمعیت
رسم احتمال
نمونه تصادفی
توزیع نمونه‌ای
آمار
آمارهٔ آزمون
آزمون فرضیات روی نسبت‌ها
نمودار سری زمانی
توزیع یکنواخت
فرض گزینه‌ای
توزیع دوجمله‌ای
بررسی فرضیات برای روش‌های استنباط آماری

تحلیل واریانس (ANOVA)
نمودار جعبه‌ای
توزیع مربع کای
فاصلهٔ اطمینان برای نسبت‌ها
توزیع پیوسته
آمار توصیفی
توزیع F
دامنهٔ میان‌چارکی
توزیع دوجمله‌ای منفی
پارامترهای یک توزیع
توان آزمون آماری
p-مقدار
متغیر تصادفی
انحراف از معیار
نمایش شاخه و برگ
آزمون فرضیات روی میانگین‌ها، با واریانس‌های معلوم
آزمون فرضیات روی واریانس توزیع نرمال
خطای نوع I
واریانس یک توزیع
تحلیل واریانس (ANOVA)
نمودار جعبه‌ای
توزیع مربع کای

تقریب احتمالات توزیع‌ها
قضیهٔ حد مرکزی
فاصلهٔ اطمینان
فاصلهٔ اطمینان برای واریانس یک توزیع نرمال
قضیهٔ حد کنترل
توزیع گسسته
هیستوگرام
میانگین یک توزیع
توزیع نرمال
صدک-توزیع پواسون
توزیع احتمال
چارک
تحلیل باقیمانده
توزیع نرمال استاندارد
توزیع t
آزمون فرضیات روی میانگین‌ها، با واریانس‌های مجهول
آزمون فرضیات روی واریانس‌های دو توزیع نرمال
خطای نوع II
تقریب احتمالات توزیع‌ها
قضیهٔ حد مرکزی

تمرین‌ها

۱.۴ حجم پر شدهٔ یک بطری مایع ظرف‌شویی مورد بررسی قرار گرفته است. دوازده بطری به‌طور تصادفی از فرآیند تولید انتخاب شده، حجم پر آن‌ها اندازه‌گیری شده و نتایج زیر به‌دست آمده (بر حسب واحد مربوطه): ۱۶/۰۵، ۱۶/۰۳، ۱۶/۰۲، ۱۶/۰۴، ۱۶/۰۵، ۱۶/۰۱، ۱۶/۰۲، ۱۶/۰۲، ۱۶/۰۳، ۱۶/۰۱، ۱۶/۰۰، ۱۶/۰۷.

الف) میانگین نمونه را به‌دست آورید.

ب) انحراف از معیار نمونه را به‌دست آورید.

۲-۴ فروش ماهیانهٔ دستمال کاغذی در منطقه، بر حسب هزار، به این صورت می‌باشد: ۵۰/۰۰۱، ۵۰/۰۰۲، ۴۹/۹۹۸، ۵۰/۰۰۶، ۵۰/۰۰۵، ۴۹/۹۹۶، ۵۰/۰۰۳، ۵۰/۰۰۴.

الف) میانگین نمونه را به‌دست آورید.

ب) انحراف از معیار نمونه را به‌دست آورید.

۳-۴ زمان انتظار مشتریان در یک سیستم رزرو هواپیمایی (بر حسب ثانیه) به‌صورت زیر می‌باشد: ۹۵۳، ۹۵۵، ۹۴۸، ۹۵۱، ۹۵۷، ۹۴۹، ۹۵۴، ۹۵۰، ۹۵۹.

الف) میانگین نمونه را به‌دست آورید.

ب) انحراف از معیار نمونه را به‌دست آورید.

۴-۴ داده‌های زمان انتظار مشتریان را در تمرین قبل در نظر بگیرید.

الف) میانهٔ نمونه را به‌دست آورید.

ب) چه میزان می‌توان بزرگترین زمان انتظار را افزایش داد به‌طوری که تغییری در میانهٔ داده‌ها رخ ندهد؟

۵-۴ زمان‌های تکمیل یک سفارش بر حسب ثانیه به این صورت می‌باشند: ۹۶، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۰۸، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۵۰، ۱۵۶.

الف) میانگین نمونه را به‌دست آورید.

ب) انحراف از معیار نمونه را به‌دست آورید.

۶-۴ زمان‌های خرابی یک قطعهٔ الکترونیکی در جدول ۴E-۱ نمایش داده شده‌اند. برای انجام آزمایش خرابی قطعه‌ها در دمای در حال افزایش بررسی شدند. (داده‌ها را به‌صورت عمودی و سپس افقی بخوانید)

الف) میانگین و انحراف از معیار نمونه را به‌دست آورید.

ب) نمودار هیستوگرام را رسم نمائید.

ج) نمودار شاخه و برگ را رسم نمائید.

د) میانه، چارک پایین و بالای داده‌ها را به‌دست آورید.

جدول ۴E-۱

زمان خرابی قطعهٔ الکترونیکی

۱۲۷	۱۲۴	۱۲۱	۱۱۸
۱۲۵	۱۲۳	۱۳۶	۱۳۱
۱۳۱	۱۲۰	۱۴۰	۱۲۵
۱۲۴	۱۱۹	۱۳۷	۱۳۳
۱۲۹	۱۲۸	۱۲۵	۱۴۱
۱۲۱	۱۳۳	۱۲۴	۱۲۵
۱۴۲	۱۳۷	۱۲۸	۱۴۰
۱۵۱	۱۲۴	۱۲۹	۱۳۱
۱۶۰	۱۴۲	۱۳۰	۱۲۹
۱۲۵	۱۲۳	۱۲۲	۱۲۶

۷-۴ یک مقاله در مجلهٔ *کوالیتی اینجینیرینگ* در سال ۱۹۹۲ میلادی داده‌های ویسکوزیته یک دسته فرآیند شیمیایی را بیان می‌کند. نمونه‌ای از این داده‌ها در جدول ۴E-۲ نمایش داده شده‌اند. (داده‌ها را به‌صورت عمودی و سپس افقی بخوانید)

الف) یک نمودار شاخه و برگ برای داده‌های ویسکوزیته رسم کنید.

ب) یک توزیع فراوانی و هیستوگرام برای داده‌ها ایجاد نمائید.

ج) نمودار شاخه و برگ قسمت الف را به یک نمودار شاخه و برگ ترتیبی تبدیل نموده و از آن برای پیدا کردن میانه، چارک پایین و بالای داده‌ها استفاده نمائید.

د) صدک ۱۰ام و ۹۰ام داده‌ها چند است؟

جدول ۴E-۲

ویسکوزیته

۱۳/۳	۱۴/۹	۱۵/۸	۱۶/۰
۱۴/۵	۱۳/۷	۱۳/۷	۱۴/۹
۱۵/۳	۱۵/۲	۱۵/۱	۱۳/۶
۱۵/۳	۱۴/۵	۱۳/۴	۱۵/۳
۱۴/۳	۱۵/۳	۱۴/۱	۱۴/۳
۱۴/۸	۱۵/۶	۱۴/۸	۱۵/۶
۱۵/۲	۱۵/۸	۱۴/۳	۱۶/۱
۱۴/۵	۱۳/۳	۱۴/۳	۱۳/۹
۱۴/۶	۱۴/۱	۱۶/۴	۱۵/۲
۱۴/۱	۱۵/۴	۱۶/۹	۱۴/۴
۱۴/۳	۱۵/۲	۱۴/۲	۱۴/۰
۱۶/۱	۱۵/۲	۱۶/۹	۱۴/۴
۱۳/۱	۱۵/۹	۱۴/۹	۱۳/۷
۱۵/۵	۱۶/۵	۱۵/۲	۱۳/۸
۱۲/۶	۱۴/۸	۱۴/۴	۱۵/۶
۱۴/۶	۱۵/۱	۱۵/۲	۱۴/۵
۱۴/۳	۱۷/۰	۱۴/۶	۱۲/۸
۱۵/۴	۱۴/۹	۱۶/۴	۱۶/۱
۱۵/۲	۱۴/۸	۱۴/۲	۱۶/۶
۱۶/۸	۱۴/۰	۱۵/۷	۱۵/۶

۴-۸ یک نمودار احتمال نرمال برای حجم ها در تمرین ۱.۴ ایجاد و تحلیل نمائید.

۴-۹ یک نمودار احتمال نرمال برای زمان‌های انتظار در تمرین ۴-۳ ایجاد و تحلیل نمائید.

۴-۱۰ یک نمودار احتمال نرمال برای زمان‌های خرابی در تمرین ۴-۶ ایجاد نمائید. آیا فرض نرمال بودن توزیع داده‌های زمان‌های خرابی منطقی به نظر می‌رسد؟

۴-۱۱ یک نمودار احتمال نرمال برای داده‌های فرآیند شیمیایی در تمرین ۷.۴ ایجاد نمائید. آیا فرض نرمال بودن توزیع داده‌های ویسکوزیته منطقی به نظر می‌رسد؟

۴-۱۲ داده‌های یک فرآیند شیمیایی در جدول ۴E-۳ را در نظر بگیرید. نمودار سری زمانی این داده‌ها را رسم و آن را تحلیل نمائید.

جدول ۴E-۳

شاخص فرآیند					
۹۴/۱	۸۷/۳	۹۴/۱	۹۲/۴	۸۴/۶	۸۵/۴
۹۳/۲	۸۴/۱	۹۲/۱	۹۰/۶	۸۳/۶	۸۶/۶
۹۰/۶	۹۰/۱	۹۶/۴	۸۹/۱	۸۵/۴	۹۱/۷
۹۱/۴	۹۵/۲	۸۸/۲	۸۸/۸	۸۹/۷	۸۷/۵
۸۸/۲	۸۶/۱	۸۶/۴	۸۶/۴	۸۷/۶	۸۴/۲
۸۶/۱	۹۴/۳	۸۵/۰	۸۵/۱	۸۵/۱	۸۵/۱
۹۵/۱	۹۳/۲	۸۴/۹	۸۴/۰	۸۹/۶	۹۰/۵
۹۰/۰	۸۶/۷	۸۷/۳	۹۳/۷	۹۰/۰	۹۵/۶
۹۲/۴	۸۳/۰	۸۹/۶	۸۷/۷	۹۰/۱	۸۸/۳
۸۷/۳	۹۵/۳	۹۰/۳	۹۰/۶	۹۴/۳	۸۴/۱
۸۶/۶	۹۴/۱	۹۳/۱	۸۹/۴	۹۷/۳	۸۳/۷
۹۱/۲	۹۷/۸	۹۴/۶	۸۸/۶	۹۶/۸	۸۲/۹
۸۶/۱	۹۳/۱	۹۶/۳	۸۴/۱	۹۴/۴	۸۷/۳
۹۰/۴	۸۶/۴	۹۴/۷	۸۲/۶	۹۶/۱	۸۶/۴
۸۹/۱	۸۷/۶	۹۱/۱	۸۳/۱	۹۸/۰	۸۴/۵

۴-۱۳ داده‌های تمرین ۴-۱۲ را در نظر بگیرید. میانگین و انحراف از معیار آن‌ها را به‌دست آورید.

۴-۱۴ داده‌های تمرین ۴-۱۲ را در نظر بگیرید. یک نمودار شاخه و برگ و هیستوگرام برای آن ایجاد نمائید. کدام نمودار اطلاعات بیشتری از داده‌ها را فراهم می‌نماید؟

۴-۱۵ یک نمودار جعبه‌ای برای داده‌های تمرین ۴-۱ رسم نمائید.

۴-۱۶ یک نمودار جعبه‌ای برای داده‌های تمرین ۴-۲ رسم نمائید.

۴-۱۷ فرض کنید دو تاس سالم انداخته می‌شوند و مجموع اعداد روی آن‌ها محاسبه می‌گردد. توزیع احتمال مجموع اعداد تاس‌ها که آن را با x نمایش می‌دهیم را به‌دست آورید.

۴-۱۸ میانگین و انحراف از معیار x در تمرین قبلی را به‌دست آورید.

۴-۱۹ قدرت کششی یک قطعهٔ فلزی دارای میانگین ۴۰ lb و انحراف از معیار ۵ lb می‌باشد. اگر ۵۰۰۰۰ قطعه تولید شده باشند انتظار می‌رود چندتا از آن‌ها دارای حداقل کشش ۳۰lb نباشند؟ چندتا از آن‌ها دارای کشش بیشتر از ۴۸lb خواهند بود؟

۴-۲۰ ولتاژ خروجی نیروگاه‌ها از توزیع نرمال با میانگین 5 ولت و انحراف از معیار ۰/۰۲ ولت پیروی می‌کند. اگر کران پایین و بالای یک ولتاژ مناسب به ترتیب ۴/۹۵ و ۵/۰۵ ولت باشند، احتمال اینکه یک نیروگاه که به‌طور تصادفی انتخاب شده است با خصوصیات ولتاژ مناسب مطابقت داشته باشد چقدر است؟

۴-۲۱ ادامهٔ تمرین ۴-۲۰. فرآیند تولید منبع قدرت را در تمرین ۴-۲۰ دوباره در نظر بگیرید. فرض کنید که قصد بهبود فرآیند را داریم. آیا تغییر میانگین می‌تواند تعداد عدم مطابقت‌ها را کاهش دهد؟ چقدر باید نوسانات فرآیند را کاهش داد تا از بین ۱۰۰۰ واحد همگی به غیر از یک واحد با خصوصیات مورد نظر مطابقت داشته باشند؟

۴-۲۲ عمر مفید یک باتری خودرو از توزیع نرمال با میانگین ۹۰۰ روز و انحراف از معیار ۳۵ روز پیروی می‌کند. انتظار می‌رود چند درصد از این باتری‌ها بیشتر از ۱۰۰۰ روز دوام بیاورند؟

۴-۲۳ روشنایی یک لامپ حبابی دارای توزیع نرمال با میانگین ۵۰۰۰ و انحراف از معیار ۵۰ می‌باشد. یک حد کران پایین پیدا کنید به‌طوری که تنها ۰/۵% از لامپ‌ها از این حد تجاوز نکنند.

۴-۲۴ خصوصیات یک قطعهٔ الکترونیکی مربوط به یک سیستم این است که باید دارای عمر مفیدی بین ۵۰۰۰ الی ۱۰۰۰۰ ساعت باشد. عمر مفید این قطعه معمولاً دارای توزیع نرمال با میانگین ۷۵۰۰ ساعت می‌باشد. تولیدکننده قیمتی معادل $۱۰ به ازای هر قطعه تعیین کرده است. اما قطعات خراب با هزینه‌ای معادل $۵ باید توسط تولیدکننده جایگزین شوند.

دو فرآیند تولید متفاوت که هر دو منجر به عمر مفید متوسط یکسانی می‌شوند می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. انحراف از معیار فرآیند ۱ برابر با ۱۰۰۰ ساعت و انحراف از معیار فرآیند ۲ برابر با ۵۰۰ ساعت است.

هزینه‌های تولید برای فرآیند ۲، دو برابر فرآیند ۱ می‌باشند. مقدار هزینه‌های تولید چقدر باشد تا بتوان بین انتخاب فرآیند ۱ یا ۲ تصمیم‌گیری نمود؟

۴-۲۵ قدرت کشش فیبر مورد استفاده در یک پوشاک تولیدی برای خریدار اهمیت دارد. تجربیات گذشته نشان داده که انحراف از معیار این قدرت کشش برابر با psi ۲ می‌باشد. یک نمونه تصادفی به اندازهٔ ۸ از موردهای آزمایشی فیبر انتخاب شده است و میانگین قدرت کشش آن‌ها برابر با psi ۱۲۷بوده است.

الف. فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای یک طرفهٔ پایین را برای میانگین قدرت کشش به‌دست آورید.

ب. از این اطلاعات چه نتیجه‌گیری می‌توان داشت؟

۴-۲۶ زمان پرداخت ۱۰۰ مشتری در این ماه دارای میانگین۳۵ روز بوده است. انحراف از معیار این گروه نیز برابر با ۲ روز است.

الف. فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ دو طرفه را برای میانگین زمان پرداخت به‌دست آورید.

ب. فاصلهٔ اطمینان ۹۹٪ دو طرفه را برای میانگین زمان پرداخت به‌دست آورید.

ج. آیا می‌توان نتیجه گرفت که میانگین زمان پرداخت ۳۰ روز است؟

۴-۲۷ فرض شده است که عمر خدمت مفید یک باتری مورد استفاده در یک دستگاه تنظیم‌کنندهٔ ضربان قلب دارای توزیع نرمال می‌باشد. یک نمونهٔ تصادفی به اندازهٔ ۱۰ باتری در یک تست شتاب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند به این ترتیب که آن‌ها را در یک دمای در حال افزایش نگه می‌دارند تا خراب شوند. نتایج زیر برای عمر آن‌ها در این آزمایش (بر حسب ساعت) به‌دست آمده‌اند: ۲۵/۵، ۲۶/۱، ۲۶/۸، ۲۳/۲، ۲۴/۲، ۲۸/۴، ۲۵/۰، ۲۷/۸، ۲۷/۳ و ۲۵/۷. تولیدکننده ادعا می‌کند که عمر این باتری در این آزمایش از ۲۵ ساعت بیشتر است و می‌خواهد از این موضوع اطمینان حاصل گردد.

الف. فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ دو طرفه را برای میانگین عمر باتری در آزمایش شتاب به‌دست آورید.

ب. یک نمودار احتمال نرمال برای داده‌های عمر باتری رسم نمائید. چه نتایجی می‌توان گرفت؟

۴-۲۸ اخیراً تعدادی دست‌انداز در یک محلهٔ جدید برای کاهش سرعت ماشین‌ها نصب شده است. دو هفته پس از این نصب‌ها، راهنمایی و رانندگی سرعت‌های زیر را پس از مسافت ۵۰۰ فوت بعد از آخرین دست‌انداز گزارش کرده است: ۲۹، ۲۹، ۳۱، ۴۲، ۳۰، ۲۴، ۳۰، ۲۷، ۳۳، ۴۴، ۲۸، ۳۲، ۳۰، ۲۴، ۳۵، ۳۴، ۳۰، ۲۳، ۳۵، ۲۷.

الف. فاصلهٔ اطمینان ۹۹٪ای یک طرفه را روی میانگین سرعت‌ها به‌دست آورید و ارزیابی کنید که آیا میانگین سرعت‌ها از ۲۵ کوچکتر یا مساوی است، یا خیر؟ فرض کنید که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

ب. آیا به‌کار بردن توزیع نرمال برای این داده‌ها منطقی می‌باشد؟

۴-۲۹ یک شرکت به تازگی یکی از بیلبوردهای نزدیک آزادراه را خریداری کرده است. فروش ۱۰ روز گذشته به‌صورت ۴۸۳، ۵۳۲، ۴۴۴، ۵۱۰، ۴۶۷، ۴۶۱، ۴۵۰، ۴۴۴، ۵۴۰ و ۴۹۹. فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای دو طرفه را برای فروش‌ها به‌دست آورید. آیا مدرکی دال بر این موضوع وجود دارد که این بیلبورد فروش را نسبت به میانگین گذشتهٔ خود که ۴۷۵ به ازای هر روز بوده، افزایش داده است؟

۴-۳۰ یک ماشین برای پر کردن مخزن‌ها با یک محصول مایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرض شده حجم این مخزن از توزیع نرمال پیروی می‌کند. تعداد ۱۰ مخزن به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند که محتوای خالص آن‌ها به ترتیب زیر است: ۱۲/۰۳، ۱۲/۰۱، ۱۲/۰۴، ۱۲/۰۲، ۱۲/۰۵، ۱۱/۹۸، ۱۱/۹۶، ۱۲/۰۲، ۱۲/۰۵ و ۱۱/۹۹. فرض کنید که تولیدکننده می‌خواهد از این موضوع که محتوای مخزن‌ها از 12 بیشتر است اطمینان حاصل گرداند. با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای دو طرفه برای میانگین حجم چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

۴-۳۱ یک شرکت در حال ارزیابی رل‌های آلیاژ آلومینیوم دریافت شده اخیر می‌باشد. قطر این رل‌ها که با استفاده یک ماشین تزریق تولید شده‌اند دارای انحراف از معیار ۰/۰۰۰۰۱ اینچ می‌باشند. یک نمونه تصادفی به اندازهٔ ۲۵ رل دارای میانگین قطر ۰/۵۰۴۶ اینچ بودند. با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان

۹۵٪ای دو طرفه بررسی کنید که آیا میانگین قطر رل‌ها برابر با ۰/۵۰۲۵ می‌باشد یا خیر.

۴-۳۲ فرض شده است که ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه دارای توزیع نرمال می‌باشد. شانزده مشاهده به‌صورت تصادفی از ولتاژها گرفته شده‌اند که به‌صورت زیر می‌باشند: ۱۰/۳۵، ۹/۳۰، ۱۰/۰۰، ۹/۹۶، ۱۱/۶۵، ۱۲/۰۰، ۱۱/۲۵، ۹/۵۸، ۱۱/۵۴، ۹/۹۵، ۱۰/۲۸، ۸/۳۷، ۱۰/۴۴، ۹/۲۵، ۹/۸۳ و ۱۰/۸۵.

الف. فرض اینکه میانگین ولتاژها برابر با ۱۲ ولت می‌باشد را با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفه بررسی کنید.

ب. فرض این را که واریانس ولتاژها برابر با ۱۱ ولت می‌باشد را با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفه بررسی کنید.

۴-۳۳ زمان بازپرداخت برای یک بانک ملی بزرگ در ماه گذشته دارای میانگین ۳۳ روز و انحراف از معیار ۴روز بوده است. در ماه جاری میانگین زمان بازپرداخت برابر با ۳۳/۵ روز با انحراف از معیار ۴ روز بوده است. این بانک در هر دو ماه ۱۰۰۰ مشتری داشته است.

فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای تفاضل میانگین‌های زمان بازپرداخت در دو ماه را به‌دست آورید. آیا زمان بازپرداخت‌ها در حال افزایش است؟

۴-۳۴ دو نوع ماشین برای پر کردن بطری‌های شیشه‌ای با نوشابه استفاده می‌شوند. فرآیندهای پر کردن دارای انحراف از معیارهای $\sigma_1 = ۰.۰۱۰$ و $\sigma_2 = ۰.۰۱۵$ لیتر می‌باشند. یک نمونهٔ تصادفی به اندازهٔ $n_1 = ۲۵$ بطری از ماشین ۱ و $n_2 = ۲۰$ بطری از ماشین ۲ گرفته شده است که میانگین‌های ۲/۰۴ لیتر و ۲/۰۷ لیتر را به ترتیب برای ماشین ۱ و ۲ نتیجه داده است. فرض اینکه هر دو ماشین محتوای یکسانی را پر می‌کنند را با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای دو طرفه برای تفاضل میانگین‌های حجم پر شده بررسی کنید. چه نتایجی به‌دست می‌آید؟

۴-۳۵ یک عرضه‌کننده نتایجی را روی سختی‌سنجی یک فلز با استفاده از دو فرآیند سختی سازی ۱) اطفاء آب نمک و ۲) اطفاء نفت به‌دست آورده است. این نتایج در جدول 4E-۴ نشان داده شده‌اند.

جدول 4E-۴

آب نمک	نفت
۱۴۵	۱۵۲
۱۵۰	۱۵۰
۱۵۳	۱۴۷
۱۴۸	۱۵۵
۱۴۱	۱۴۰
۱۵۲	۱۴۶
۱۴۶	۱۵۸
۱۵۴	۱۵۲
۱۳۹	۱۵۱
۱۴۸	۱۴۳

الف. یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای برای تفاضل میانگین‌های سختی به‌دست آورید.

ب. یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای برای نسبت واریانس‌های سختی به‌دست آورید.

ج. آیا فرض نرمال بودن برای این داده‌ها منطقی است؟

د. چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

۴-۳۶ یک نمونهٔ تصادفی به اندازهٔ ۲۰۰ از تخته مدارهای چاپی که دارای ۱۸ نقص یا واحدهایی با عدم مطابقت هستند گرفته شده است. درصد عدم مطابقتی‌های فرآیند را تخمین زده و با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای دو طرفه فرض اینکه آیا درصد عدم مطابقت‌های واقعی در این فرآیند برابر با ۱۰٪ است یا خیر را بررسی کنید.

۴-۳۷ یک نمونهٔ تصادفی به اندازهٔ ۵۰۰ از پین‌های میله‌ای دارای ۶۵ عدم مطابقت هستند. درصد عدم مطابقت‌های فرآیند را تخمین زده و یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای یک طرفهٔ کران بالا برای درصد عدم مطابقت‌های واقعی ایجاد کنید. آیا می‌توان نتیجه گرفت که این درصد برابر با ۱۰٪ است؟

۴-۳۸ در حین تست حمل و نقل، برای شبیه‌سازی ۴ پرواز و نشست، محصول از ایندیاپولیس به سیاتل و دوباره برگشت به ایندیاپولیس داشت. که این موضوع با توجه به تغییر فشارهای متعدد می‌تواند موجب باز شدن درب

کنسروها شود. ۱۰۰ واحد نمونه حمل و نقل شده بودند که درب ۱۵تای آن‌ها پس از فرآیند باز شده بود. با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای دو طرفه مشخص کنید که آیا می‌توان نتیجه گرفت که میانگین نرخ شکست برابر با ۱۱٪ است یا خیر.

۳۹-۴ ادامهٔ تمرین ۴-۳۸ شرکت بهبودهایی را در فرآیندها ایجاد کرده و آزمایش فوق را تکرار نموده است. در این تکرار، درب ۱۲ کنسرو باز شد. با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای دو طرفه برای تفاضل دو نسبت، آیا می‌توان نتیجه گرفت که بهبودی در سایت حمل و نقل ایجاد شده است؟

۴۰-۴ بین ۱۰۰۰ مشتری در ماه گذشته، ۲۰۰تای آن‌ها بازپرداخت‌های خود را پس از ۳۰ روز تکمیل نموده‌اند. در ماه جاری ۱۱۰۰ مشتری وجود داشتند که ۲۳۰تای آن‌ها بازپرداخت‌های خود را پس از ۳۰ روز تکمیل نموده‌اند.

الف. نرخ دیرکرد را برای ماه گذشته و ماه جاری تخمین بزنید.

ب. فاصلهٔ اطمینان ۹۰٪ای تفاضل درصدهای بازپرداخت‌های دیر را به‌دست آورید.

ج. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۴۱-۴ یک دستگاه تصفیه در فرآیندی شیمیایی راه‌اندازی شده است. داده‌هایی مربوط به درصد ناخالصی تصفیه قبل و بعد از راه‌اندازی جمع‌آوری شده است که به ترتیب زیر می‌باشند:

قبل: میانگین نمونه = ۹/۸۵ واریانس نمونه = ۶/۷۹ اندازهٔ نمونه = ۱۰

بعد: میانگین نمونه = ۸/۰۸ واریانس نمونه = ۶/۱۸ اندازهٔ نمونه = ۸

الف. آیا با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای دو طرفه می‌توان نتیجه گرفت که دو واریانس با هم برابرند؟

ب. آیا با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ای دو طرفه می‌توان نتیجه گرفت که دستگاه تصفیه جدید میانگین درصد ناخالصی را کاهش داده است؟

۴۲-۴ دو نوع متفاوت بطری‌های شیشه‌ای برای استفادهٔ یک دستگاه مناسب می‌باشند. مقاومت فشار داخلی (بر حسب psi) بطری یک شاخص کیفیتی مهم است. می‌دانیم که $\sigma_1 = \sigma_2 = ۳\,psi$. میانگین مقاومت فشار مشاهده شدهٔ دو نمونهٔ تصادفی از بطری‌ها به اندازه‌های $n_1 = n_2 = ۱۶$ برابر با $\bar{x}_1 = ۱۷۵.۸\,psi$ و $\bar{x}_2 = ۱۸۱.۳\,psi$ می‌باشند. شرکت از بطری نوع دوم استفاده نمی‌کند مگر اینکه مقاوت فشاری آن از بطری نوع اول به اندازهٔ حداقل psi۵ بیشتر باشد. در صورتی که بطری نوع دوم واقعاً این خاصیت را داشته باشد این شرکت مایل است با خطای کمتر از یا مساوی ۵٪ آن را رد کند. با توجه به نمونهٔ داده‌ها آیا این شرکت باید از بطری نوع دوم استفاده کند؟

۴۳-۴ قطر یک میلهٔ فلزی توسط ۱۲ بازرس اندازه‌گیری شده که هرکدام از یک کالیبر میکرومتری و یک کالیبر ورنیه استفاده کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده در جدول ۴E-۵ ثبت شده‌اند. آیا تفاوتی بین میانگین اندازه‌گیری‌های انجام شده برای دو نوع کالیبر وجود دارد؟ از α=۰/۰۱ استفاده نمائید.

جدول ۴E-۵

	اندازه‌گیری‌های بازرس‌ها	
بازرس	کالیبر میکروکتر	کالیبر ورنیه
۱	۰/۱۵۰	۰/۱۵۱
۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰
۳	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱
۴	۰/۱۵۲	۰/۱۵۰
۵	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱
۶	۰/۱۵۰	۰/۱۵۱
۷	۰/۱۵۱	۰/۱۵۳
۸	۰/۱۵۳	۰/۱۵۵
۹	۰/۱۵۲	۰/۱۵۴
۱۰	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱
۱۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰
۱۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۲

۴۴-۴ یک آزمایش برای بررسی توانایی پر کردن یک تجهیزات در یک کارخانهٔ نوشابه سازی انجام شده است. بیست بطری نوشابه زرد به‌طور تصادفی انتخاب شده و حجم پر شده در آن‌ها بر حسب میلیمتر محاسبه شده است. فرض کنید که حجم پر شده دارای توزیع نرمال می‌باشد. داده‌ها به‌صورت زیر هستند: ۷۵۳، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۳، ۷۵۳، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۴، ۷۵۴، ۷۵۲، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۰، ۷۵۳، ۷۵۵، ۷۵۳، ۷۵۶، ۷۵۱ و ۷۵۰.

الف) با استفاده از یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۵٪ای، آیا داده‌های داده شده از فرض برابری انحراف از معیار حجم‌ها با یک میلیمتر پشتیبانی می‌کند؟
ب) آیا به نظر منطقی می‌رسد که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند؟

۴-۴۵ شرکت R در حال بررسی نتایج موفقیت بیماران را در واحد شمال و جنوب خود می‌باشد. هرکدام از واحدها ۱۰ بیمار را در طی سال پیش مورد بررسی قرار دادند. مجموع زمان ریکاوری و درصد ROM به‌دست آمده در جدول ۴E-۴ لیست شده است.
الف) یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۵٪ای برای تفاوت میانگین زمان‌ها ایجاد نمائید. آیا مدرکی دال بر متفاوت بودن تسهیلات شمال و جنوب وجود دارد؟
ب) یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۵٪ای برای تفاوت واریانس زمان‌ها ایجاد نمائید. آیا مدرکی دال بر متفاوت بودن تسهیلات شمال و جنوب وجود دارد؟
ج) یک فاصلهٔ اطمینان دو طرفهٔ ۹۵٪ای برای تفاوت درصدهای ROM ایجاد نمائید. آیا مدرکی دال بر متفاوت بودن تسهیلات شمال و جنوب وجود دارد؟

جدول ۴E-۶

واحد شمال		واحد جنوب	
زمان ریکاوری	درصد ROM	زمان ریکاوری	درصد ROM
۱۴۸/۸۱	۰/۶۹	۱۳۵/۲۵	۰/۹۸
۱۸۸/۷۲	۰/۸۹	۱۷۴/۹۹	۰/۴۷
۱۸۶/۷۷	۰/۶۵	۱۴۴/۱۵	۰/۸۵
۱۵۲/۷۲	۰/۷۳	۱۶۱/۸۱	۰/۷۱
۱۹۷/۸۰	۰/۷۹	۱۵۱/۳۵	۰/۹۴
۱۶۲/۷۸	۰/۸۱	۱۴۹/۶۹	۰/۵۶
۱۹۲/۱۸	۰/۶۴	۱۳۶/۱۷	۰/۵۷
۲۰۰/۱۷	۰/۸۸	۱۴۶/۲۵	۰/۲۰
۱۸۱/۳۲	۰/۶۷	۱۶۲/۸۸	۰/۸۴
۱۹۳/۰۳	۰/۷۴	۱۸۳/۹۵	۰/۶۲

۴-۴۶ یک مقاله در روزنامهٔ *سالید استیت* در سال ۱۹۸۷ میلادی آزمایشی را توصیف می‌کند که منجر به مشخص نمودن تأثیر نرخ جریان یک ماده در مقاومت سیلیکون در یک فرآیند تولیدی را بیان می‌کند. سه نرخ جریان مورد آزمایش قرار گرفته و تأثیر نتیجه شده بر حسب درصد، در شش واحد آزمایشگاهی برای هر نرخ جریان مشاهده شده است. داده‌ها در جدول ۴E-۷ نمایش داده شده‌اند.
الف) آیا نرخ جریان روی این ماده تأثیر دارد؟ این سوال را با استفاده از یک تحلیل واریانس جواب دهید.
ب) یک نمودار جعبه‌ای برای داده‌ها رسم نمایید. از این نمودار همراه با تحلیل واریانس قسمت قبل برای مشخص سازی بهترین نرخ جریان گاز بر حسب تأثیرها استفاده نمائید. (هرچه درصد تأثیر کمتر باشد بهتر است)
ج) باقیماندها را در برابر جریان پیش بینی شده رسم و این نمودار را بررسی نمائید.
د) آیا فرض نرمال بودن در اینجا منطقی به نظر می‌آید؟

جدول ۴E-۷

جریان C_2F_6	مشاهدات					
(SCCM)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱۲۵	۲/۷	۲/۶	۴/۶	۳/۲	۳/۰	۳/۸
۱۶۰	۴/۶	۴/۹	۵/۰	۴/۲	۳/۶	۴/۲
۲۰۰	۴/۶	۲/۹	۳/۴	۳/۵	۴/۱	۵/۱

۴-۴۷ یک مقاله در مجلهٔ *مواد ACI* در سال ۱۹۸۷ میلادی آزمایشات زیادی را در بررسی میله کردن بتن جهت حذف هوای محبوس در آن توصیف می‌کند. یک استوانه به قطر ۳ اینچ استفاده شد و تعداد زمان‌هایی که این میله برای عملیات استفاده شده متغیر طراحی می‌باشد. مقاومت فشاری قطعهٔ بتن نتیجه به‌دست آمده می‌باشد. داده‌های این نتایج در جدول ۴E-۴ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۴E-۸

سطح میله‌کاری	مقاومت فشاری		
۱۰	۱۵۳۰	۱۵۳۰	۱۴۴۰
۱۵	۱۶۱۰	۱۶۵۰	۱۵۰۰
۲۰	۱۵۶۰	۱۷۳۰	۱۵۳۰
۲۵	۱۵۰۰	۱۴۹۰	۱۵۱۰

۴-۴۸ یک مقاله در مجلهٔ *اینوایرومنت اینترنشنال* در سال ۱۹۹۲ میلادی آزمایشی را که در آن میزان رادون تشعشع یافته در حمام‌ها بررسی شده توصیف می‌کند. آب غنی

یافته با رادون در این آزمایش همراه با شش قطر متفاوت برای روزنه‌های سرشیرحمام استفاده شد. داده‌های آزمایش در جدول ۴E-۹ نمایش داده شده‌اند.

الف) آیا سایز روزنه‌ها روی میانگین میزان رادون تشعشع یافته تأثیرگذار است؟ از تحلیل واریانس استفاده نمائید.
ب) نتایج این آزمایش را تحلیل نمائید.

جدول ۴E-۹

قطر روزنه	رادون تشعشع شده (%)			
۰/۳۷	۸۰	۸۳	۸۳	۸۵
۰/۵۱	۷۵	۷۵	۷۹	۷۹
۰/۷۱	۷۴	۷۳	۷۶	۷۷
۱/۰۲	۶۷	۷۲	۷۴	۷۴
۱/۴۰	۶۲	۶۲	۶۷	۶۹
۱/۹۹	۶۰	۶۱	۶۴	۶۶

فصل پنجم نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر

کنترل فرآیند آماری[1] راز موفقیت کوکاکولا محسوب می‌شود

اگر به نقاط مختلف جهان سفر کنیم با مناظر، زبان‌ها، رایحه‌ها و طعم‌های متفاوتی مواجه می‌شویم. ولی یک چیز همیشه ثابت است و آن طعم کوکاکولا است. کوکاکولا موفقیت خود را مرهون دو چیز می‌داند: (۱) فرمول محرمانهٔ خود که همیشه در مکانی امن نگهداری می‌شود و (۲) تأکید وصف‌ناپذیر بر کیفیت فرآیند و محصول با تمرکز بر کنترل فرآیند آماری. اجازه دهید دقیق‌تر بررسی کنیم که چگونه SPC در این تصویر جای می‌گیرد.

تولیدکنندگان نوشابه با افزودن آب و دی‌اکسید کربن به شربت کوکاکولا آن را به محصول نهایی تبدیل می‌کنند. آنها برای اطمینان از اینکه تلاش‌های انجام شده منجر به طعم واقعی کوکاکولا می‌شود، مجبور هستند طعم محصول را چندین بار در حین فرآیند مخلوط کردن بچشند. استفاده از کنترل فرآیند آماری این اطمینان را فراهم می‌سازد که پارامترهای بحرانی نظیر نسبت شربت به آب در حد قابل‌قبول خود قرار دارد. از طرف دیگر، کنترل فرآیند آماری کمک می‌کند تا از کیفیت خوب بسته‌بندی محصولات کوکاکولا نظیر ارتفاع سطح نوشابه در شیشه‌ها، نحوهٔ بسته‌بندی و الصاق برچسب‌ها اطمینان حاصل شود.

با توجه به این اصل که کیفیت را نمی‌توان از طریق بازرسی در محصول ایجاد کرد، کوکاکولا تلاش می‌کند تا با اتکاء به فرهنگ سازمانی خود "کار را در بار اول درست انجام دهد". فرآیندها به روشنی تعریف و ورودی‌های فرآیند به شدت کنترل می‌شوند تا تولیدکنندگان بتوانند کیفیت محصول‌نهایی خود را به‌طور دقیق پیش‌بینی کنند. به‌عنوان آخرین گام، تولیدکنندگان آزمایش‌های متعددی را برای صحه‌گذاری یا تأیید نتایج مورد انتظار انجام می‌دهند. بنابراین، فارغ از اینکه نوشابه در امریکا، هند، چین، آلمان، آفریقا، تایوان یا سایر نقاط جهان تولید می‌شود، کوکاکولا به دلیل تأکید بر وجود فرآیند یکسان توانسته است طعم اصیل نوشابهٔ خود را حفظ کند.

رئوس مطالب فصل

۵-۱ مقدمه
۵-۲ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R
۵-۳ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S
۵-۴ نمودار کنترل شوهارت برای اندازه‌گیری‌های انفرادی
۵-۵ خلاصه‌ای از رویه‌های مربوط به نمودارهای کنترل $\bar{X}$، R، S و مشاهدات انفرادی
۵-۶ کاربرد مثال‌هایی از نمودارهای کنترل و مشاهدات انفرادی R ،S ،۱۲۲۲۲
۵-۷ نمودارهای کنترل جمع تجمعی
۵-۸ نمودارهای کنترل میانگین متحرک موزون نمایی
۵-۹ استفاده از نمودار کنترل برای تحلیل قابلیت فرآیند
پیوست یک: تهیهٔ یک نمودار کنترل $\bar{X}-R$ با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست دو: تهیهٔ یک نمودار کنترل $\bar{X}-S$ با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست سه: تهیهٔ یک نمودار کنترل دامنهٔ متحرک با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست چهار: تهیهٔ یک نمودار جمع تجمعی با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست پنج: تهیهٔ یک نمودار میانگین متحرک موزون نمایی با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست شش: انجام تحلیل قابلیت فرآیند با استفاده از SPC XL و Minitab

1- Statistical Process Control - SPC

مرور فصل و اهداف یادگیری

این فصل سه هدف اصلی دارد. هدف اول، تشریح اصول آماری نمودار کنترل شوهارت است. خواننده با تأثیر اندازهٔ نمونه، فاصلهٔ نمونه‌گیری و مکان قرار گرفتن حدود کنترل بر عملکرد یک نمودار کنترل آشنا می‌شود. سایر مفاهیم شامل زیرگروه‌های منطقی، تفسیر هشدارها و روندها بر روی نمودار کنترل می‌شود. هدف دوم، تشریح و استفاده از سایر نمودارهای کنترل مناسب برای داده‌های متغیر نظیر طول یا عرض، دما و حجم است. هدف سوم، معرفی مفهوم قابلیت فرآیند یا نحوهٔ مقایسهٔ تغییرپذیری ذاتی فرآیند با مشخصات یا الزامات محصول.

بعد از مطالعهٔ دقیق این فصل باید بتوانید موارد زیر را انجام دهید:

۱- انحراف‌های تصادفی و با دلیل تغییرپذیری در یک فرآیند را درک کنید.

۲- اصول آماری نمودار کنترل شوهارت شامل انتخاب اندازهٔ نمونه، حدود کنترل و فاصله نمونه‌گیری را توضیح دهید.

۳- مفهوم زیرگروه منطقی را توضیح دهید.

۴- نحوهٔ استفاده از قانون‌های حساس‌سازی و تشخیص روند برای نمودارهای کنترل را توضیح دهید.

۵- بدانید چگونه می‌توان نمودارهای کنترل متغیر را طراحی و استفاده کرد.

۶- بدانید چگونه می‌توان نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R را طراحی و استفاده کرد.

۷- بدانید چگونه می‌توان نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S را طراحی و استفاده کرد.

۸- بدانید چگونه می‌توان نمودارهای کنترل برای اندازه‌گیری‌های انفرادی طراحی و استفاده کرد.

۹-اهمیت فرض نرمال برای نمودارهای کنترل انفرادی را درک کنید و بدانید چگونه باید این فرض را ارزیابی کرد.

۱۰- بدانید چگونه می‌توان نمودارهای کنترل جمع تجمعی برای پایش میانگین فرآیند طراحی و استفاده کرد.

۱۱- بدانید چگونه می‌توان نمودارهای کنترل میانگین متحرک موزون نمایی برای پایش میانگین فرآیند طراحی و استفاده کرد.

۱۲- تفاوت بین قابلیت بالفعل فرآیند و قابلیت بالقوهٔ فرآیند را درک کنید.

۱۳- نسبت‌های قابلیت فرآیند را محاسبه و به‌طور مناسب تفسیر کنید.

۱۴- نقش توزیع نرمال در تفسیر اغلب نسبت‌های قابلیت فرآیند را درک کنید.

۵-۱ مقدمه

در هر فرآیند، علی‌رغم طراحی خوب یا نگهداری مناسب همیشه مقداری تغییرپذیری ذاتی وجود دارد. این تغییرپذیری ذاتی یا اغتشاش پس‌زمینه[1]، حاصل اثر تجمعی تعداد زیادی از انحرافات کوچک و غیرقابل اجتناب است. در چارچوب کنترل کیفیت آماری، این تغییرپذیری ذاتی را معمولاً به‌عنوان یک سیستم پایدار "انحرافات تصادفی" می‌شناسیم. فرآیندی که فقط در حضور انحرافات تصادفی عمل کند را فرآیند تحت کنترل آماری می‌نامند. به‌عبارت دیگر، انحرافات تصادفی بخش جدایی‌ناپذیر فرآیند محسوب می‌شود.

---

1. background noise

در برخی مواقع ممکن است انواع دیگری از تغییرپذیری نیز در خروجی یک فرآیند مشاهده شود. تغییرپذیری در مشخصه‌های کیفی کلیدی معمولاً از سه منبع ناشی می‌شود: تنظیم نادرست دستگاه، خطاهای اپراتور و یا مواد اولیه معیوب. به‌طورکلی، یک چنین تغییرپذیری در مقایسه با اغتشاشات ذاتی موجود در فرآیند بزرگ‌تر است و معمولاً بیانگر سطح غیر قابل‌قبولی برای عملکرد فرآیند است. این منابع تغییرپذیری که بخشی از انحرافات تصادفی محسوب نمی‌شود را به‌عنوان انحرافات با دلیل[1] می‌شناسیم. فرآیندی که در حضور انحرافات با دلیل عمل می‌کند را فرآیند خارج از کنترل می‌نامند. برخی از مثال‌های مربوط به انحراف‌های تصادفی و با دلیل در جدول ۵ -۱ نشان داده شده است.

فرآیندها غالباً طی یک مدت زمان نسبتاً طولانی در حالت تحت کنترل به سر می‌برند و محصولات قابل قبول تولید می‌کنند. با این وجود، در بعضی مواقع انحرافات با دلیل (معمولاً به‌صورت اتفاقی) در فرآیند ظاهر می‌شود و آن‌را به حالت خارج از کنترل تغییر می‌دهد. در چنین شرایطی، درصد زیادی از خروجی فرآیند با خواسته‌های مورد نظر انطباق نخواهند داشت. یکی از اهداف اصلی کنترل فرآیند آماری، شناسایی سریع انحرافات با دلیل یا تغییرات در فرآیند است تا از تولید تعداد زیادی محصول معیوب اجتناب و علل ایجاد چنین انحرافاتی بررسی و اقدامات اصلاحی لازم انجام شود. نمودار کنترل یکی از روش‌های کنترل فرآیند در حین تولید است که برای این منظور مناسب خواهد بود.

نمودارهای کنترل را نیز می‌توان برای برآورد پارامترهای یک فرآیند تولید استفاده کرد و اطلاعات حاصل را برای تعیین قابلیت فرآیند به کار برد. نمودار کنترل را همچنین می‌توان به منظور تهیه اطلاعات مفید برای بهبود فرآیند استفاده کرد. نهایتاً باید به خاطر داشت که هدف اصلی کنترل فرایند آماری حذف تغییرپذیری فرایند است. گرچه این امکان وجود ندارد که بتوان کل تغییرپذیری فرآیند را حذف کرد ولی نمودار کنترل را می‌توان به‌عنوان ابزار مؤثری برای کاهش تغییرپذیری فرآیند استفاده کرد.

فرایند تحت کنترل
فرایندی که در حضور فقط انحرافات تصادفی عمل می‌کند.

انحراف بادلیل
یک منبع تغییرپذیری قابل شناسایی در یک فرآیند. این انحراف بخشی متداول از انحراف تصادفی تغییرپذیری یک فرآیند نیست. به‌عنوان مثال، یک تصادف رانندگی می‌تواند باعث ایجاد تأخیر قابل‌ملاحظه‌ای شود.

فرایند خارج از کنترل
فرآیندی که در حضور انحرافات بادلیل عمل می‌کند.

جدول ۵-۱

مثال‌هایی از انحرافات تصادفی و با دلیل

مشخصه‌های فرآیند / کیفیت	انحراف تصادفی	انحراف با دلیل
شستن لباس/ سفیدی ملحفه	تغییر جزئی در پودر لباس‌شویی، دمای آب، حجم لباس	مهمانی، پودر لباس شویی متفاوت، تامین کنندهٔ متفاوت
شرکت برق / تعداد قطعی برق	تعداد طوفان‌ها در سال، تعداد خانه‌های نو ساخته شده	ساختن تجهیزات در مجاورت جاده (سوانح)، عدم هرس درختهای نزدیک خطوط برق
فرآیند تولید / قطر سوراخ	تغییرات کم در سختی فلز، تغییر پذیری در سیستم اندازه گیری	مته‌های سوراخکاری کُند، متهٔ سوراخکاری نامناسب

1. assignable causes

شکل ۵-۱ یک نمودار کنترل متداول.

یک نمودار کنترل متداول در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. معمولاً مقادیر یک مشخصهٔ کیفی بر حسب زمان بر روی نمودار کنترل رسم می‌شود. غالباً نمونه‌های مورد نظر در فواصل زمانی نظیر هر یک ساعت انتخاب می‌شود. نمودار کنترل شامل یک خط مرکز[1] است که مقدار متوسط مشخصهٔ کیفی در حالت تحت کنترل و یا به‌عبارت دیگر حالتی که فقط انحراف‌های تصادفی در فرایند حضور دارند را نشان می‌دهد. دو خط افقی دیگر نیز که حد کنترل بالا[2] و حد کنترل پایین[3] نامیده می‌شوند بر روی این نمودار نشان داده شده است. این حدود کنترل به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که اگر فرایند تحت کنترل باشد، آنگاه تقریباً کلیهٔ نقاطی که بر اساس اطلاعات نمونه محاسبه شده‌اند بین این حدود واقع می‌شوند. به‌طورکلی، تا زمانی‌که نقاط بین حدود کنترل قرار می‌گیرند، فرض می‌شود که فرایند تحت کنترل است و نیازی به اقدام اصلاحی نیست. با این وجود، اگر نقطه‌ای خارج از حدود کنترل رسم شود، آنگاه نتیجه‌گیری می‌شود که فرایند در شرایط خارج از کنترل به سر می‌برد و اقدام اصلاحی برای شناسایی منبع ایجاد انحراف یا انحرافات با دلیل و حذف آنها ضروری است. معمولاً مرسوم است که نقاط رسم شده بر روی نمودار کنترل به وسیله خط راست به یکدیگر متصل شوند تا راحت‌تر بتوان توالی نقاط در طول زمان را مشاهده کرد.

حتی اگر کلیهٔ نقاط در داخل حدود کنترل واقع شوند ولی دارای یک روند غیرتصادفی یا نظام‌مند باشند، آنگاه آن را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از فرایند خارج از کنترل در نظر گرفت. به‌عنوان مثال، اگر ۱۸ نقطه از ۲۰ نقطهٔ آخر بین خط مرکز و حد کنترل بالا قرار گیرد آنگاه نتیجه‌گیری می‌شود که اشکالی در فرایند وجود دارد. اگر فرایند تحت کنترل باشد انگاه روند تمامی نقاط بر روی نمودار کنترل باید تصادفی باشد و تقریباً نیمی از نقاط در بالای خط مرکز و نیمی دیگر در پایین آن رسم شود. روش‌های بررسی توالی یا روندهای غیرتصادفی نقاط بر روی نمودارهای کنترل را می‌توان برای پی بردن به حالت خارج از کنترل استفاده کرد. معمولاً دلیلی برای پدیدار شدن یک روند غیرتصادفی خاص بر روی نمودارهای کنترل وجود دارد و اگر بتوان آن را شناسایی و حذف کرد آنگاه عملکرد فرایند بهبود می‌یابد.

مدل عمومی برای یک نمودار کنترل

فرض کنید مشخصهٔ کیفی موردنظر به وسیله آمارهٔ W اندازه‌گیری می‌شود. همچنین فرض کنید میانگین و انحراف معیار W به ترتیب برابر μ_W و σ_W باشد. در این صورت، خط مرکز، حد کنترل بالا و حد کنترل پایین برابر است با:

$$UCL = \mu_W + k\sigma_W \qquad (۱-۵)$$

$$CL = \mu_W \qquad (۲-۵)$$

$$LCL = \mu_W - k\sigma_W \qquad (۳-۵)$$

در رابطهٔ فوق، k فاصلهٔ حدود کنترل از خط مرکز را برحسب واحد انحراف معیار نشان می‌دهد

1. Center line - CL
2. Upper control limit - UCL
3. Lower control limit - LCL

ارتباط تنگاتنگی بین نمودارهای کنترل و آزمون فرض وجود دارد. اساساً نمودار کنترل، یک آزمون فرض برای پی بردن به شرایط تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن فرآیند است. نقطه‌ای که تحت کنترل رسم می‌شود معادل "عدم رد فرض برقراری شرایط کنترل آماری" و نقطه‌ای که خارج از کنترل رسم می‌شود معادل "رد فرض برقراری شرایط کنترل آماری" فرآیند است. یک مدل عمومی برای نمودار کنترل در جدول مقابل ارائه شده است.

انتخاب متداول برای پهنای حدود کنترل بر حسب ضریبی از انحراف معیار برابر۳ = k است. بدیهی است این بازه ۹۹/۷٪ از نقاط یک توزیع نرمال را در بر می‌گیرد. این تئوری عمومی نمودارهای کنترل، بار اول توسط دکتر والتر شوهارت ارائه شد و نمودارهای کنترلی که از چنین قانونی پیروی می‌کنند را نمودارهای کنترل شوهارت می‌نامند.

نمودار کنترل ابزاری برای ارائه تعریف دقیقی از معنای کنترل آماری است که در این صورت می‌توان از آن به‌صورت مختلف استفاده کرد. بیشترین کاربرد این نمودارها برای پایش و کنترل فرآیند حین تولید است. به‌عبارت دیگر، داده‌های نمونه برای تهیه نمودار کنترل جمع‌آوری می‌شود و اگر مقادیر (به فرض) $\bar{x}$ حاصل بین حدود کنترل قرار گیرند و روند خاصی از خود نشان ندهند، نتیجه می‌گیریم که فرآیند در سطح نشان داده شده تحت کنترل قرار دارد. همچنین ممکن است علاقه‌مند باشیم که بدانیم آیا داده‌های قبلی از فرایندی تحت کنترل جمع‌آوری شده و آیا نمونه‌های آتی که از این فرآیند تهیه می‌شود تحت کنترل آماری خواهند بود یا خیر؟

بهبود وضعیت موجود در یک فرآیند را می‌توان به‌عنوان مهمترین دلیل استفاده از یک نمودار کنترل نام برد. به‌طور کلی می‌دانیم که:

۱- اغلب فرایندها در شرایط کنترل آماری به سر نمی‌برند و بنابراین، استفاده دقیق و مستمر از نمودارهای کنترل به شناسایی انحرافات با دلیل کمک می‌کند. اگر این انحرافات با دلیل را بتوان از فرایند حذف کرد آنگاه تغییرپذیری کاهش و فرایند بهبود می‌یابد. این‌گونه فعالیت‌های بهبود فرآیند که با استفاده از نمودارهای کنترل انجام می‌شود در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.

۲- نمودار کنترل فقط انحرافات با دلیل را شناسایی می‌کند. معمولاً حذف انحرافات با دلیل نیاز به اقدامات مدیریتی، مهندسی و اپراتوری دارد.

به منظور شناسایی و حذف انحرافات با دلیل، باید ابتدا منابع اصلی ایجاد مشکل شناسایی و حذف شود. هرگونه راه حل مقطعی باعث بهبود کامل فرآیند در بلندمدت نخواهد شد. بنابراین، ارائه یک سیستم مؤثر برای انجام اقدامات اصلاحی یکی از مؤلفه‌های ضروری یک سیستم SPC مؤثر محسوب می‌شود.

شکل ۵-۲ بهبود فرآیند با استفاده از نمودار کنترل.

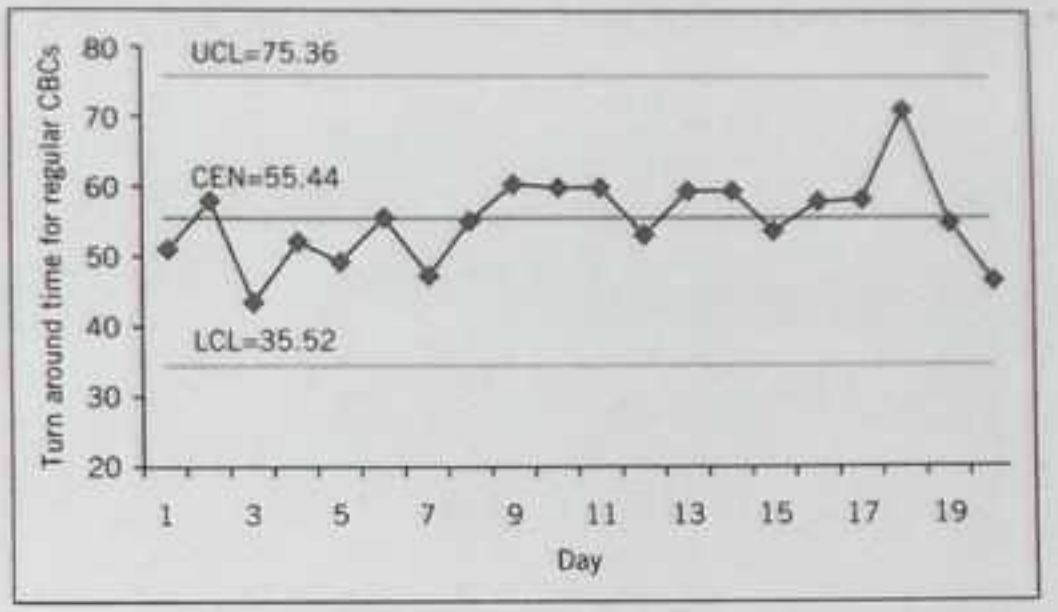
نمودار کنترل را همچنین ممکن است بخواهیم به‌عنوان ابزاری برای برآورد یک پارامتر استفاده کنیم. به‌عبارت دیگر، از نمودار کنترلی که شرایط تحت کنترل بودن را نشان می‌دهد می‌توان پارامترهای خاصی از فرآیند نظیر میانگین، انحراف معیار، نسبت اقلام معیوب و غیره را برآورد کرد. در این صورت می‌توان این برآوردها را برای تعیین قابلیت فرآیند به منظور تولید محصولات قابل قبول استفاده کرد. انجام این‌گونه مطالعات، بر روی اغلب تصمیمات مدیریتی که در طول عمر یک محصول اتخاذ می‌شود اثر قابل‌توجهی خواهد داشت. این تصمیمات می‌تواند شامل تصمیماتی نظیر ساخت یا خرید یک قطعه، بهبود فرآیند یا شرایط کار و در نتیجه کاهش تغییرپذیری در فرآیند و توافقات قراردادی با مشتریان یا تأمین‌کنندگان در مورد کیفیت محصول باشد.

نمودارهای کنترل را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد. اگر بتوان یک مشخصه کیفی را اندازه‌گیری و به‌صورت عدد در مقیاس پیوسته بیان کرد آن‌گاه آن را یک متغیر می‌نامند. در این صورت، به راحتی می‌توان مشخصهٔ کیفی مورد نظر را براساس معیار تمایل مرکزی و تغییرپذیری توصیف کرد. نمودارهای کنترل مربوط به تمایل مرکزی و تغییرپذیری را نمودارهای کنترل برای متغیرها[1] می‌نامند. نمودار $\bar{x}$ یکی از نمودارهایی است که کاربرد فراوانی در کنترل تمایل مرکزی دارد. در حالی‌که نمودارهای کنترلی که بر اساس دامنهٔ نمونه یا انحراف معیار نمونه طراحی می‌شوند، برای کنترل تغییرپذیری فرآیند استفاده می‌گردند. اغلب مشخصه‌های کیفی را ممکن است نتوان در مقیاس پیوسته یا حتی مقیاس کمّی اندازه‌گیری کرد. در چنین شرایطی ممکن است بتوان هر محصول را بر اساس معیار منطبق یا نامنطبق و یا شمارش تعداد عدم انطباق‌های آن گروه‌بندی کرد. نمودارهای کنترل برای چنین مشخصه‌های کیفی را نمودارهای کنترل وصفی[2] می‌نامند که در فصل ۶ بحث خواهد شد.

نمودارهای کنترل، از سابقهٔ نسبتاً طولانی در صنایع امریکا و صنایع دریایی برخوردار است. حداقل پنج علت برای شهرت نمودارهای کنترل وجود دارد:

نمودارهای کنترل یک روش اثبات شده برای بهبود بهره‌وری محسوب می‌شود.	استفادهٔ موفقیت‌آمیز از نمودارهای کنترل باعث کاهش دوباره‌کاری‌ها و ضایعاتی می‌شود که برای هر برنامهٔ بهبود کیفیت خطری جدی محسوب می‌گردد. اگر ضایعات و دوباره‌کاری‌ها کاهش یابد بهره‌وری افزایش، هزینه کاهش و ظرفیت تولید (که به‌صورت اقلام سالم تولید شده در واحد زمان اندازه‌گیری می‌شود) افزایش می‌یابد.
نمودارهای کنترل، در پیشگیری از تولید عیب مؤثر هستند.	نمودار کنترل کمک می‌کند تا فرآیند تحت کنترل قرار گیرد و این با فلسفهٔ "انجام درست کار در بار اول" سازگاری دارد. جداسازی محصولات خوب از بد در مراحل بعد هرگز از انجام درست آن در ابتدا ارزان‌تر نیست. اگر از روش کنترل فرآیند مناسبی استفاده نکنید مانند این است که کارگری را استخدام کرده‌اید تا محصول نامنطبق تولید کند.
نمودارهای کنترل از تنظیم‌های غیر ضروری فرآیند پیشگیری می‌کند.	یک نمودار کنترل می‌تواند تفاوت بین انحرافات تصادفی و تغییرات غیرعادی را تشخیص دهد. این در حالی است که هیچ‌گونه ابزار دیگری (حتی اپراتورها) نمی‌تواند به‌طور مؤثر چنین تفاوتی را تشخیص دهد. اگر اپراتورها، فرآیند را براساس آزمایش‌های دوره‌ای غیرمرتبط با برنامهٔ نمودار کنترل تنظیم کنند، آن‌گاه در اغلب موارد آنها نسبت به وجود انحرافات با دلیل از خود بیش از حد عکس‌العمل نشان داده و بی‌دلیل فرآیند را تنظیم می‌کنند. یک چنین تنظیم‌های غیرضروری می‌تواند باعث بروز اشکال در عملکرد فرآیند شود. به‌عبارت دیگر، نمودار کنترل با فلسفهٔ "اگر خراب نشده درستش نکن" سازگاری دارد.
نمودارهای کنترل اطلاعات تشخیصی فراهم می‌سازند.	روند نقاط بر روی نمودار کنترل معمولاً اطلاعاتی را آشکار می‌سازد که ارزش خاصی برای مهندسان و اپراتورهای با تجربه دارد. وجود این‌گونه اطلاعات به ما اجازه می‌دهد تا بتوانیم تغییرات مورد نیاز را برای بهبود عملکرد فرآیند اجراء کنیم.
نمودارهای کنترل اطلاعاتی در مورد قابلیت فرآیند فراهم می‌سازند.	نمودار کنترل اطلاعاتی در مورد پارامترهای مهم فرآیند و میزان ثبات آنها در طول زمان به ما می‌دهد. این‌گونه اطلاعات کمک می‌کند تا بتوان برآوردی از قابلیت فرآیند به‌دست آورد. این اطلاعات ارزش زیادی برای طراحان فرآیند و محصول دارد.

1. variables control charts
2. attribute control charts



شکل ۵-۳ نمودار کنترل میانگین برای زمان شمارش کامل سلول‌های خون.

نمودارهای کنترل از اثربخش‌ترین ابزارهای کنترل مدیریتی محسوب می‌شوند که از لحاظ اهمیت با کنترل‌های هزینه و مواد در یک سطح قرار می‌گیرند. فن‌آوری نوین رایانه‌ای، این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان هرگونه نمودار کنترلی را برای هر نوع فرآیندی جهت انجام تحلیل‌های مختلف در زمان حقیقی در محل کار استفاده کرد.

طراحی یک نمودار کنترل

در یک بیمارستان، مدت زمان شمارش کامل سلول‌های خون[1] به‌عنوان یکی از مشخصه‌های بحرانی محسوب می‌شود. مدیر تیمی که مسئولیت تهیهٔ این شاخص را بر عهده داشت تصمیم گرفت درخواست‌های اورژانسی را از درخواست‌های معمول جدا و نمودار کنترل ارائه شده در شکل ۵-۳ را تهیه کند.

هر روز یک نمونهٔ تصادفی پنج‌تایی از زمان صرف شده برای شمارش کامل سلول‌های خون انتخاب و میانگین ($\bar{x}$) آن محاسبه و بر روی نمودار رسم می‌شود. از آنجایی‌که این نمودار کنترل از میانگین نمونه برای پایش میانگین فرآیند استفاده می‌کند آن‌را نمودار $\bar{X}$ می‌نامند. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید تمام نقاط در داخل حدود کنترل قرار می‌گیرند و بنابر این نتیجه‌گیری می‌شود که زمان شمارش کامل سلول‌های خون تحت کنترل آماری قرار دارد.

حال اجازه دهید نحوهٔ تعیین حدود کنترل را شرح دهیم. میانگین و انحراف معیار این فرآیند به ترتیب ۵۵/۴۴ و ۱۴/۸۵ دقیقه است. حال اگر نمونه‌هایی به اندازهٔ ۵ از این فرآیند انتخاب شود آنگاه انحراف معیار میانگین نمونه $\bar{x}$ برابر خواهد بود با:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{۱۴/۸۵}{\sqrt{۵}} = ۶/۶۴$$

حدود کنترل
حدود کنترل سه انحراف معیار تقریباً ۹۹/۷۳ درصد داده‌ها را شامل می‌شود.

بنابراین، اگر فرآیند با میانگین زمان شمارش کامل سلول‌های خون ۵۵/۴۴ دقیقه تحت کنترل باشد آنگاه باید انتظار داشت که تقریباً $۱۰۰(۱-\alpha)\%$ از میانگین‌های زمان‌های شمارش کامل سلول‌های خون بین $۵۵/۴۴ - Z_{\alpha/۲}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ و $۵۵/۴۴ + Z_{\alpha/۲}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ قرار گیرند (این

1. Complete blood counts - CBC

رابطه باید آشنا به‌نظر رسد. اگر این چنین نیست، بخش مربوط به فاصله اطمینان در فصل ۴ را مرور کنید).

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، مقدار $Z_{\alpha/2}$ معمولاً ۳ انتخاب می‌شود که در این صورت حدود کنترل بالا و پایین به ترتیب برابر خواهند بود با:

$$UCL = ۵۵/۴۴ + ۳(۶/۶۴) = ۷۵/۳۶$$

$$LCL = ۵۵/۴۴ - ۳(۶/۶۴) = ۳۵/۵۲$$

این حدود همان حدودی هستند که بر روی نمودار نشان داده شده است. باید توجه داشت که استفاده از حدود سه انحراف معیار بدین معنا است که $\alpha = ۰/۰۰۲۷$ و یا به‌عبارت دیگر احتمال واقع شدن یک نقطه خارج از حدود کنترل، وقتی فرآیند تحت کنترل قرار دارد برابر ۰/۰۰۲۷ و یا ۰/۲۷ درصد است.

همان‌گونه که در این مثال نشان داده شد، در زمان تهیهٔ یک نمودار کنترل طراحی نیز باید اندازه نمونه (تعداد نقاطی که باید میانگین گرفته شود) و فراوانی نمونه‌گیری (نظیر هر روز) مشخص شود. به‌طور کلی، اندازه نمونه‌های بزرگتر کمک می‌کند تا بتوان تغییرات کوچک در فرآیند را راحتر شناسایی کرد. در زمان انتخاب اندازه نمونه باید اندازهٔ تغییر مورد نظر که علاقمند به شناسایی آن هستیم را در نظر داشته باشیم. اگر بخواهیم تغییرات بزرگی را در فرآیند شناسایی کنیم آنگاه می‌توان از اندازه نمونه‌های نسبتاً کوچکی استفاده کرد، ولی اگر علاقمند به شناسایی تغییرات کوچکی در فرآیند باشیم آنگاه نیاز است که از اندازه نمونه‌های نسبتاً بزرگتری استفاده شود.

همچنین باید فراوانی نمونه‌گیری را تعیین کرد. بهترین حالت از منظر شناسایی تغییرات آن است که غالباً از اندازه نمونه‌های بزرگ استفاده شود ولی معمولاً انجام این‌کار از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. به‌طور کلی، این مسئله از نوع تخصیص نمونه‌گیری است. به‌عبارت دیگر، آیا نیاز است از نمونه‌های کوچک در فواصل زمانی کوتاه‌تر یا از نمونه‌های بزرگ در فواصل زمانی طولانی‌تر استفاده شود. شرایط فعلی حاکم در صنعت، مخصوصاً در فرآیندهای تولید با حجم بالا یا فرآیندهایی که فرصت ایجاد انحراف‌هایی بادلیل در آنها زیاد است، نشان می‌دهد که علاقمندی به سمت استفاده از اندازه نمونه‌های کوچک در فواصل زمانی کوتاه‌تر است. از طرف دیگر، با توسعهٔ فن‌آوری‌های حس‌گر و اندازه‌گیری خودکار این فرصت فراهم شده است تا بتوان فراوانی نمونه‌گیری را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد. در نهایت اینکه می‌توان هر محصول را به محض تولید آزمایش کرد. این توانمندی می‌تواند اثربخشی فعالیت‌های کنترل فرآیند و بهبود کیفیت را افزایش دهد.

زیر گروه منطقی
یک زیر گروه یا نمونهٔ انتخاب شده به‌گونه‌ای که در صورت وجود انحرافات با دلیل، شانس وجود اختلاف بین زیر گروه‌ها حداکثر در حالی که شانس وجود اختلاف ناشی از انحراف بادلیل در یک زیر گروه حداقل خواهد شد.

زیرگروه‌های منطقی

جمع‌آوری داده‌های نمونه بر اساس مفهومی که شوهارت آن را زیرگروه منطقی نامید یک اصل بنیادی محسوب می‌شود که باید آن را در زمان استفاده از نمودار کنترل مورد توجه قرار داد. به

منظور تشریح این مفهوم فرض کنید قرار است از یک نمودار کنترل برای تشخیص تغییرات میانگین یک فرآیند استفاده شود. بنابراین، مفهوم زیرگروه منطقی بدین‌معنا است، که زیرگروه‌ها یا نمونه‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود تا اگر انحرافات با دلیل وجود داشته باشد آنگاه اختلاف‌های بین زیرگروه‌ها حداکثر و اختلاف‌های درون زیرگروه‌ها حداقل شود. این موضوع مهمی است، زیرا حدود کنترل بر اساس تغییرپذیری درون نمونه تعیین می‌شود. اگر انحراف‌های بادلیل در درون یک نمونه ظاهر شود آنگاه این انحراف‌ها باعث می‌شود، تا حدود کنترل بیش از حد لازم از یکدیگر فاصله داشته باشند و در نهایت این امر منجر به کاهش قابلیت فرآیند نسبت به شناسایی تغییرات در فرآیند خواهد شد.

رویکردهای تهیهٔ زیر گروه‌های منطقی

۱- واحدهای زیر گروه حدوداً تولید شده در یک زمان.

۲- یک نمونهٔ تصادفی از تمام واحدهای تولید شده در یک بازهٔ نمونه‌گیری.

معمولاً دو رویکرد برای تهیه زیرگروه‌های منطقی استفاده می‌شود. در رویکرد اول هر نمونه شامل واحدهایی است که به‌طور هم زمان (یا از لحاظ زمانی خیلی نزدیک به هم) تولید شده‌اند. این رویکرد زمانی استفاده می‌شود که هدف اصلی نمودارهای کنترل تشخیص تغییرات فرآیند باشد. از این طریق شانس ایجاد تغییرات در داخل هر نمونه حداقل و شانس ایجاد تغییرات بین نمونه‌ها در صورت وجود انحراف با دلیل حداکثر خواهد شد. از طرف دیگر، این رویکرد برآورد بهتری برای انحراف معیار فرآیند زمانی که نمودارهای کنترل برای متغیرها استفاده می‌شود فراهم می‌سازد. این رویکرد زیرگروه‌های منطقی، اساساً تصویری از فرآیند در هر مقطعی که نمونه تهیه می‌شود ایجاد می‌کند.

در رویکرد دوم، هر نمونه به‌عنوان نماینده‌ای از کلیه واحدهایی که از زمان تهیهٔ آخرین نمونه تا به حال تولید شده است، در نظر گرفته می‌شود. اساساً هر زیرگروه یک نمونه تصادفی از کلیه خروجی‌های فرآیند در طول فاصلهٔ نمونه‌گیری است. این روش تهیه زیرگروه‌های منطقی غالباً زمانی کاربرد دارد که از نمودارهای کنترل به منظور تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد کلیه اقلام تولید شده از زمان آخرین نمونه تا به حال استفاده می‌شود. با این وجود، اگر فرآیند در فاصلهٔ بین دو نمونه‌گیری از حالت کنترل به حالت خارج از کنترل و مجدداً به حالت کنترل برگردد، آنگاه رویکرد اول که اصطلاحاً رویکرد عکس فوری[1] نیز نامیده می‌شود، شاید روش مناسبی برای پی بردن به وجود چنین تغییراتی نباشد.

اگر زیرگروه منطقی یک نمونهٔ تصادفی از کلیه محصولات تولید شده در فاصلهٔ نمونه‌گیری باشد آنگاه باید نمودار کنترل را با دقت تفسیر کرد. اگر میانگین فرآیند در طول فاصلهٔ نمونه‌گیری بین مقادیر متعددی تغییر کند آنگاه این امکان وجود دارد که دامنهٔ مشاهدات یک نمونه نسبتاً وسیع باشد و در نتیجه فاصلهٔ بین حدود کنترل نمودار افزایش یابد. پهنای حدود کنترل یک نمودار $\bar{X}$ بر اساس تغییرپذیری درون نمونه تعیین می‌شود. بنابر این، چنین نگرشی باعث پهن‌تر شدن حدود خواهد شد. در چنین شرایطی شناسایی تغییر بوسیلهٔ نمودار کنترل میانگین دشوار می‌شود. در حقیقت هر فرآیندی را می‌توان با افزایش فاصلهٔ بین مشاهدات یک نمونه مجبور کرد تا تحت کنترل آماری قرار گیرد. از طرف دیگر، تغییرات در میانگین ممکن است باعث شود تا نقاط رسم شده بر روی نمودارهای کنترل دامنه یا انحراف معیار حتی اگر تغییری در تغییر پذیری ایجاد نشده باشد خارج از کنترل رسم شوند.

1. snapshot view

روش‌های دیگری برای تشکیل زیرگروه‌های منطقی نیز وجود دارد. به‌عنوان مثال، فرض کنید در یک فرآیند چندین دستگاه مشابه استفاده و خروجی آنها در یک محل جمع‌آوری می‌شود. اگر از این خروجی مشترک نمونه‌ای تهیه شود شاید نتوان به سادگی تعیین کرد که کدام یک از دستگاه‌ها با اشکال مواجه شده است. در چنین شرایطی روش منطقی کنترل دستگاه‌ها، استفاده از نمودار کنترل برای هر یک از آنها است. این اصل را می‌توان برای تفکیک محصولات اپراتورهای مختلف، کلگی‌های مختلف یک دستگاه، ایستگاه‌های کاری مختلف و غیره استفاده کرد. در اغلب مواقع زیرگروه منطقی شامل یک مشاهده است. این حالت در صنایع شیمیایی و فرآیندی که مشخصهٔ کیفی محصول به‌طور نسبتاً آهسته‌ای تغییر می‌کند و نمونه‌های انتخاب شده از لحاظ زمانی بر یکدیگر خیلی نزدیک و تقریباً یکسان هستند (بدون در نظر گرفتن خطاهای اندازه‌گیری و محاسباتی) رخ می‌دهد.

موضوع زیرگروه منطقی، موضوع حائز اهمیتی است. انتخاب صحیح نمونه‌ها مستلزم توجه خاص به فرآیند است تا از این طریق بتوان اطلاعات مفیدی از تحلیل نمودار کنترل به‌دست آورد.

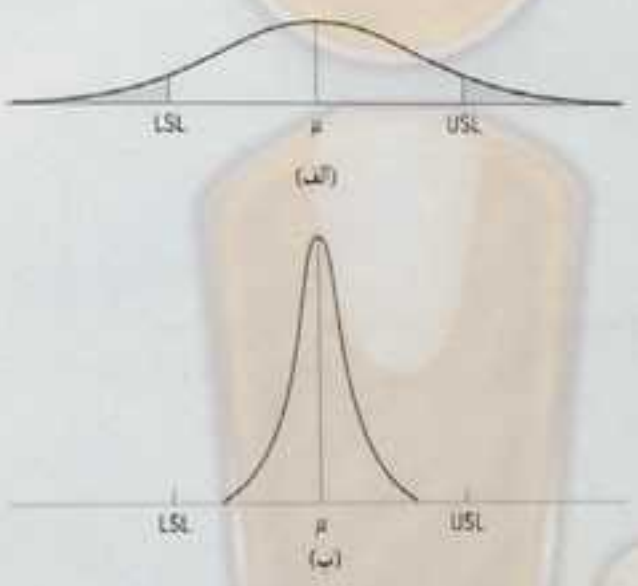
تحلیل روندها در نمودارهای کنترل

یک نمودار کنترل ممکن است با رسم یک یا چند نقطه خارج از حدود کنترل و یا وجود یک روند غیرتصادفی، حالت خارج از کنترل را نشان دهد. به‌عنوان مثال، نمودار کنترل در شکل ۵-۴ را در نظر گیرید. گرچه تمامی ۲۵ نقطه داخل حدود کنترل رسم شده‌اند ولی به دلیل روند غیرتصادفی که از خود نشان می‌دهند فرآیند خارج از کنترل آماری محسوب می‌شود. مخصوصاً اینکه ۱۹ نقطه از ۲۵ نقطه در پایین خط مرکز و ۶ نقطه در بالای آن رسم شده است. اگر نقاط واقعاً تصادفی باشند آنگاه باید انتظار داشت که توزیع نقاط در بالا و پایین خط مرکز از یکنواختی بیشتری برخوردار باشد. از طرف دیگر، می‌توان مشاهده کرد که بعد از نقطه شماره چهار، پنج نقطهٔ متوالی روند صعودی را طی می‌کنند. این ترتیب قرار گرفتن نقاط را یک تسلسل می‌نامند. از آنجایی‌که مشاهدات افزایشی هستند آن را می‌توان یک تسلسل صعودی[1] نامید. به همین صورت نقاطی که از روند کاهشی برخوردار باشند را یک تسلسل نزولی[2] می‌نامند. نمودار ارائه شده در اینجا دارای یک دنبالهٔ غیر معمولی صعودی (که از نقطه شمارهٔ چهار شروع می‌شود) و دارای یک دنبالهٔ غیر معمولی نزولی (که از نقطهٔ شماره هجده شروع می‌شود) است. به‌طور کلی، یک سلسله از مشاهدات یکسان را تسلسل یا دنباله می‌نامند.

شکل ۵-۴ نمودار کنترل برای یک فرآیند خارج از کنترل.

1. run up
2. run down

شکل ۵-۵ یک نمودار کنترل با روند تناوبی.



شکل ۵-۶ الف- تغییرپذیری ناشی از روند تناوبی ب- تغییرپذیری پس از حذف روند تناوبی.

علاوه بر تسلسل‌های صعودی و نزولی می‌توان مشاهدات را به دو دسته تقسیم کرد: مشاهداتی که در بالای خط مرکز و مشاهداتی که در پایین خط مرکز واقع شده‌اند. به‌عنوان مثال، دو نقطه که به‌طور متوالی در بالای خط مرکز رسم شود یک تسلسل به طول ۲ را تشکیل می‌دهد. در یک نمونهٔ تصادفی احتمال ایجاد یک تسلسل به طول ۸ بسیار کم است. بنابراین، هرگونه تسلسل به طول ۸ یا بیشتر بیانگر حالت خارج از کنترل است. به‌عنوان مثال، رسم هشت نقطهٔ متوالی در یک سمت خط مرکز بدین معنا است که فرآیند در حالت خارج از کنترل به سر می‌برد.

با وجود این‌که تسلسل‌ها در نمودارهای کنترل به‌عنوان معیاری مهم برای پی بردن به حالت خارج از کنترل استفاده می‌شوند ولی معیارهای دیگری نیز وجود دارد که می‌توان برای شناسایی حالت خارج از کنترل استفاده کرد. به‌عنوان مثال، نمودار کنترل در شکل ۵-۵ را در نظر گیرید. گرچه هیچ یک از میانگین‌های رسم شده خارج از حدود کنترل نیست ولی طریقهٔ رسم آنها بر روی این نمودار حاکی از وجود یک رفتار تناوبی[1] یا دوره‌ای است. اینگونه روندها معمولاً بیانگر وجود مشکلاتی از قبیل خستگی اپراتور، تحویل مواد اولیه، اثر گرما و غیره در فرآیند است. گرچه فرآیند عملاً در حالت خارج از کنترل قرار ندارد ولی با کاهش یا حذف منبع تغییرپذیری که منجر به رفتار تناوبی نمونه‌ها بر روی نمودار کنترل می‌شود می‌توان محصولات بیشتری بین حدود مشخصات پایین و بالا تولید کرد (شکل ۵-۶ ملاحظه شود).

مشکل اصلی در نمودارهای کنترل، تشخیص روند یا به‌عبارت دیگر تشخیص روندهای نظام‌مند و غیرتصادفی و شناسایی علل ایجاد آنها است. دستنامهٔ وسترن الکتریک[2] (۱۹۵۶) یکسری از قوانین را برای شناسایی روندهای غیرتصادفی در نمودارهای کنترل پیشنهاد می‌کند. این قوانین عبارتند از:

۱- رسم یک نقطه خارج از حدود سه انحراف معیار.

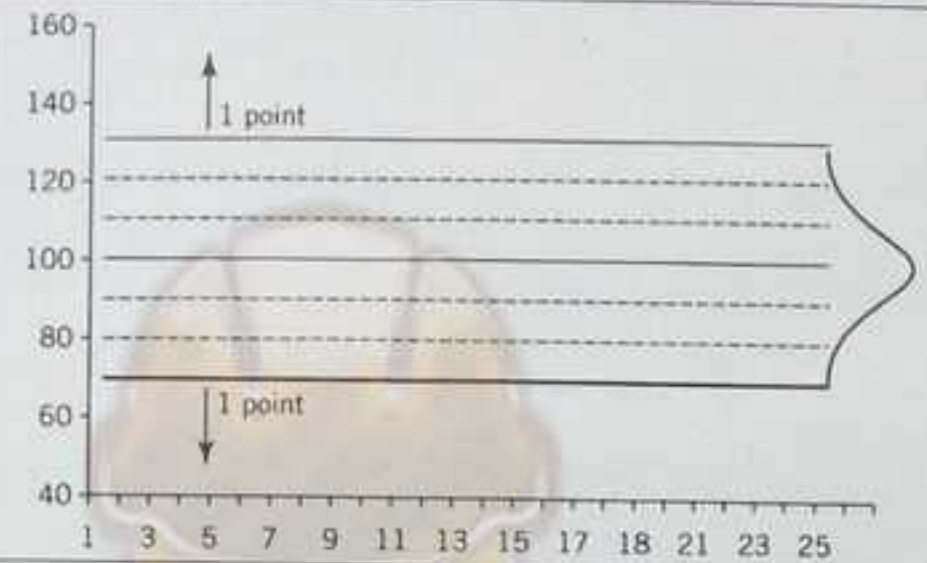
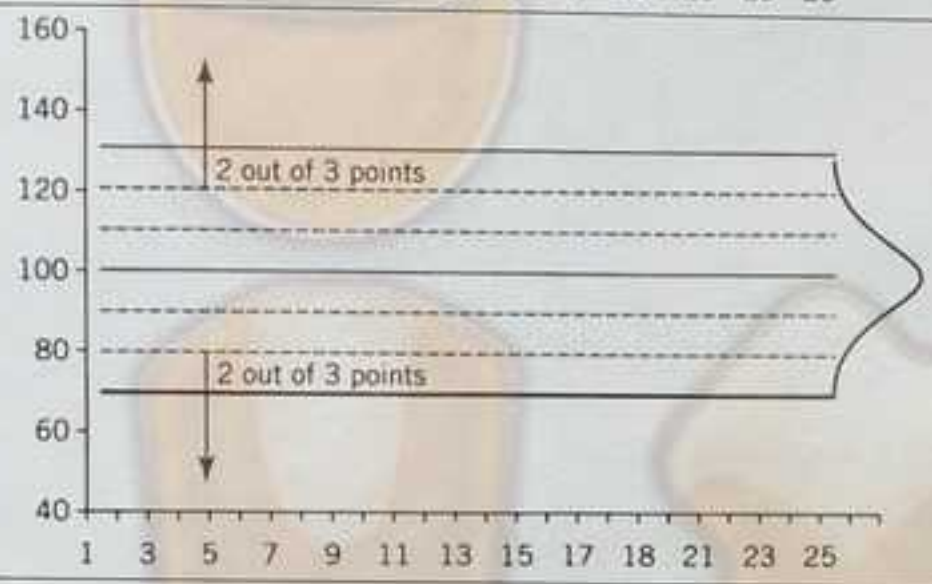
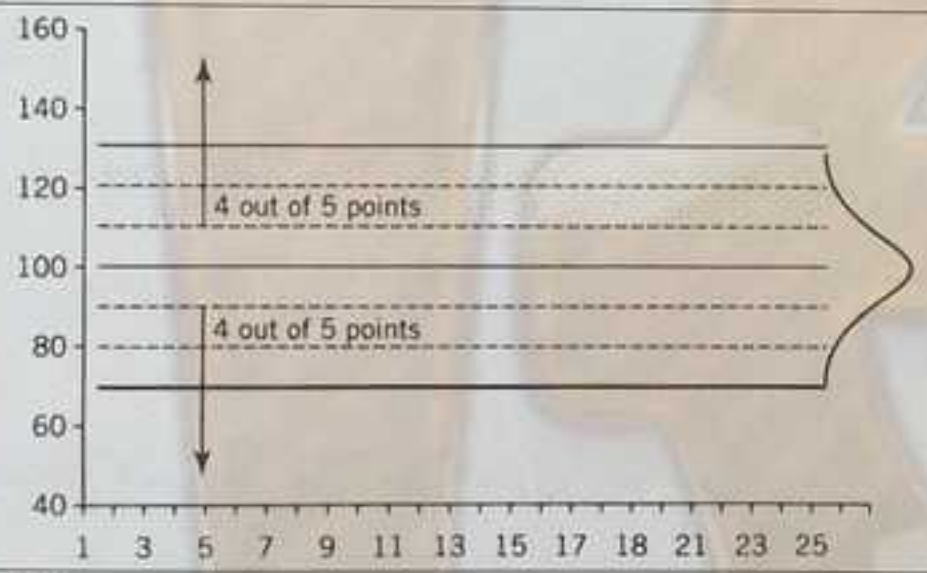
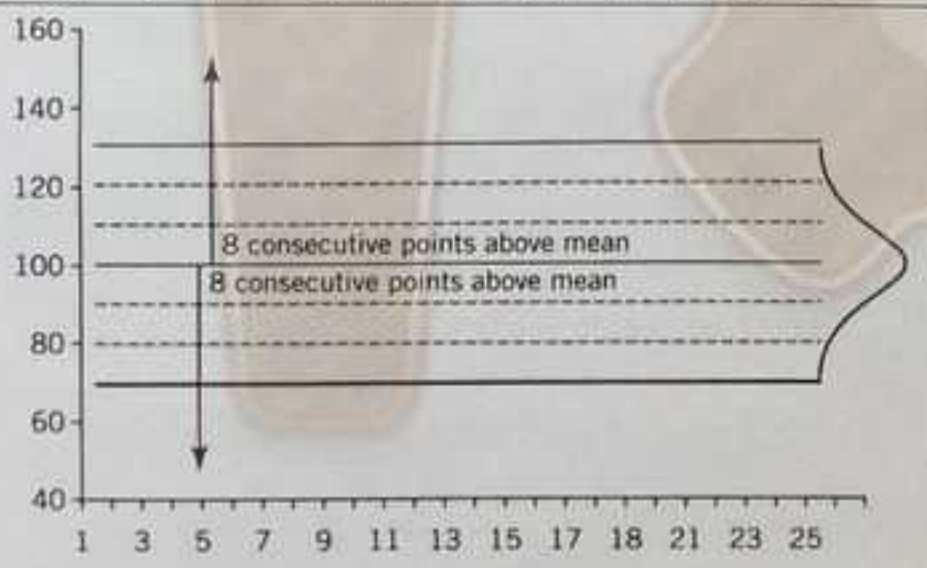
۲- رسم دو از سه نقطه متوالی خارج از حدود هشدار دو انحراف معیار.

۳- رسم چهار از پنج نقطه متوالی خارج از حدود یک انحراف معیار.

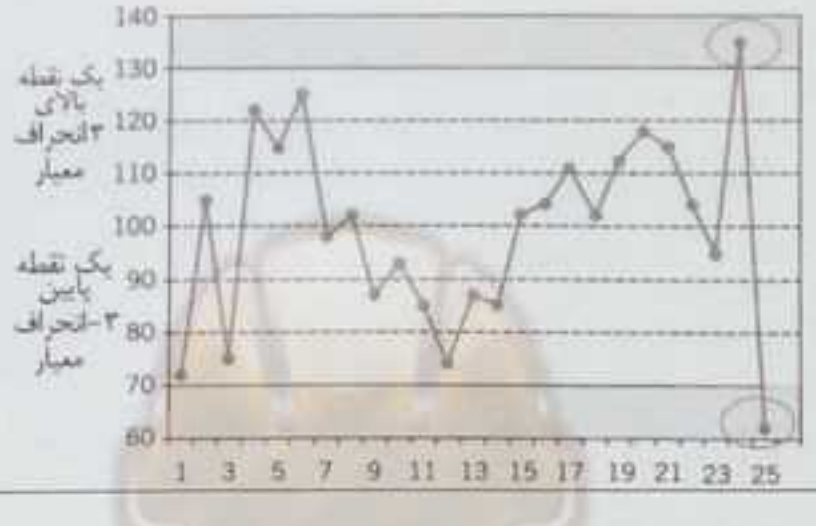
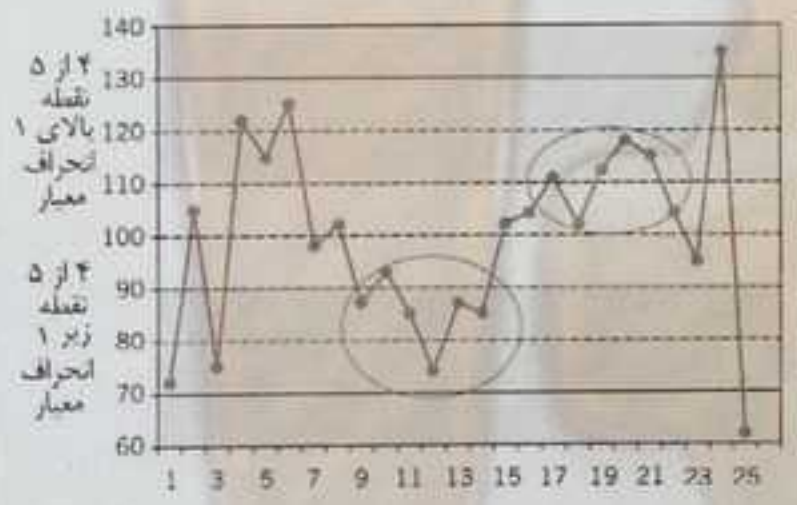
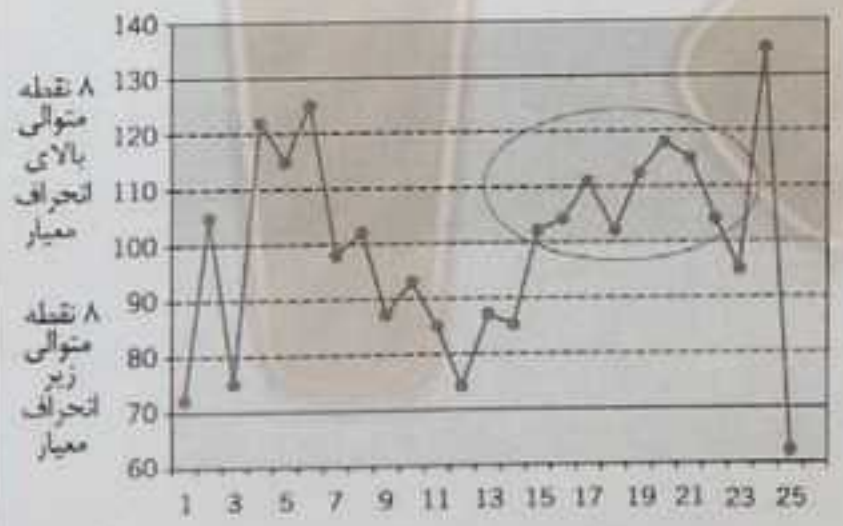
۴- رسم هشت نقطه متوالی در یک طرف خط مرکز.

این نواحی در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

1. cycile pattern
2. western electric handbook

قانون	شرح بصری
۱- رسم یک نقطه خارج از حدود کنترل سه انحراف معیار	
۲- رسم دو از سه نقطهٔ متوالی خارج از حدود هشدار دو انحراف معیار	
۳- رسم چهار از پنج نقطهٔ متوالی در فاصلهٔ یک انحراف معیار از خط مرکز یا فراتر	
۴- رسم هشت نقطهٔ متوالی در یک طرف خط مرکز	

شکل ۵-۷ شرح نموداری قوانین وسترن الکتریک.

قانون	شرح بصری
۱- رسم یک نقطه خارج از حدود کنترل سه انحراف معیار	
۲- رسم دو از سه نقطهٔ متوالی خارج از حدود هشدار دو انحراف معیار	
۳- رسم چهار از پنج نقطهٔ متوالی در فاصلهٔ یک انحراف معیار از خط مرکز یا فراتر	
۴- رسم هشت نقطهٔ متوالی در یک طرف خط مرکز	

شکل ۵-۸ نمایش قوانین وسترن الکتریک برای داده‌های نمودار کنترل.

تجربه نشان داده است که استفاده از این قوانین در عمل برای حساس سازی نمودارهای کنترل بسیار مفید است. قوانین ۲و ۳ برای یک طرف خط مرکز نمودار کنترل استفاده می‌شود. به‌عبارت دیگر، یک نقطه در بالای حد دو انحراف معیار که فوراً بوسیلهٔ یک نقطه در پایین حد دو انحراف معیار دنبال می‌شود منجر به یک هشدار خارج از کنترل نخواهد شد. شکل ۵-۸ این قوانین را در عمل برای یک فرآیند با میانگین ۱۰۰ و انحراف معیار ۱۰ نشان می‌دهد.

در بعضی مواقع از قوانین وسترن الکتریک برای افزایش حساسیت نمودارهای کنترل نسبت به تغییرات کوچک در فرآیند و واکنش سریع‌تر نسبت به انحرافات بادلیل استفاده می‌شود. زمانی‌که هر چهار قانون به‌طور هم زمان استفاده می‌شود غالباً واکنش ما نسبت به هشدارهای خارج از کنترل تدریجی خواهد بود. به‌عنوان مثال، اگر یک نقطه از حد کنترل تجاوز کند فوراً به دنبال انحراف بادلیل خواهیم گشت ولی اگر یک یا دو نقطهٔ متوالی از حد هشدار دو انحراف معیار تجاوز کند ممکن است بخواهیم فراوانی نمونه‌گیری را به‌عنوان مثال از هر ساعت به هر ده دقیقه افزایش دهیم. چنین واکنشی در قالب نمونه‌گیری انطباق‌پذیر ممکن است به شدت جستجوی کامل برای یک انحراف بادلیل نباشد ولی اگر فرآیند واقعاً خارج از کنترل باشد احتمال شناسایی چنین وضعیتی سریع‌تر از روش نمونه‌گیری با فواصل طولانی‌تر استفاده است.

با این وجود، استفادهٔ هم زمان از این چهار قانون می‌تواند دارای نقطه ضعفی نیز باشد. بخاطر دارید که در زمان استفاده از یک نقطه خارج از حدود کنترل انتظار داریم که نرخ زنگ خطرهای اشتباهی حدود ۰/۲۷ درصد باشد که این معادل ۱ زنگ خطر اشتباهی در ۳۷۰ نقطه است. نرخ زنگ خطرهای اشتباهی (که همچنین متوسط طول تسلسل یا دنباله نیز نامیده می‌شود) برای نمودار کنترل شوهارت مجهز به قوانین وسترن الکتریک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق انجام شده حاکی از آن است که استفادهٔ هم زمان از این چهار قانون باعث کاهش متوسط طول تسلسل به ۹۱/۲۵ می‌شود. بنابر این، حتی اگر فرآیند تحت کنترل باشد، باید انتظار داشت که به‌طور متوسط بعد از هر ۹۲ نقطه یک نقطهٔ خارج از کنترل مشاهده شود.

در ادامه این فصل، در مورد نحوهٔ تهیهٔ نمودارهای کنترل برای داده‌های کمّی صحبت خواهد شد و نحوهٔ تهیهٔ نمودارهای کنترل برای داده‌های وصفی به فصل ۶ موکول خواهد شد.

۵-۲ نمودارهای $\bar{X}$ و R

نمودار $\bar{X}$
یک نمدار کنترل که میانگین نمونه را نسبتبه زمان به تصویر می‌کشد.

نمودار R
یک نمودار کنترل که چگونگی تغییر کردن دامنهٔ تغییرات هر زیر گروه را به تصویر می‌کشد.

در زمان کار با یک مشخصهٔ کیفی قابل اندازه‌گیری متداول است که میانگین و تغییرپذیری به‌طور هم زمان پایش شوند. میانگین از این لحاظ مهم است که نشان می‌دهد آیا فرآیند در حول مقدار هدف عمل می‌کند یا خیر و تغییرپذیری از این لحاظ مهم است که نشان می‌دهد آیا فرآیند یکسان عمل می‌کند یا خیر. نمودار $\bar{X}$ برای پایش متوسط کیفیت محصول و نمودار دامنه غالباً برای پایش انحراف معیار استفاده می‌شود.

اگر میانگین μ و انحراف معیار σ فرآیند معلوم باشد و بتوان فرض کرد که توزیع نرمال برقرار است آنگاه می‌توان μ را به‌عنوان خط مرکز نمودار کنترل و حدود کنترل سه انحراف معیار بالا و پایین را به ترتیب در مکان‌های $UCL = \mu + 3\sigma/\sqrt{n}$ و $LCL = \mu - 3\sigma/\sqrt{n}$ در نظر گرفت.

با این وجود، شرایط معمولاً اینگونه نیست. وقتی میانگین و انحراف معیار معلوم نباشد معمولاً آنها را بر اساس داده‌های اولیه زمانی‌که تصور می‌شود فرآیند تحت کنترل قرار دارد برآورد می‌کنیم. برای انجام اینکار پیشنهاد می‌شود حداقل از ۲۰ تا ۲۵ نمونهٔ اولیه با اندازه زیر گروه n استفاده شود.

اگر از نمودار کنترل صرفاً برای شناسایی تغییرات متوسط و بزرگ (مثلاً به اندازهٔ 2σ یا بزرگ‌تر) استفاده می‌شود آن‌گاه اندازهٔ نمونه‌های نسبتاً کوچک به اندازهٔ ۴، ۵، ۶ $=n$ مناسب خواهد بود. اگر هدف شناسایی تغییرات کوچک باشد آن‌گاه احیاناً نیاز به اندازهٔ نمونه‌های بزرگ‌تر به اندازهٔ ۲۵ تا ۱۵$=n$ خواهد بود. با این وجود، وقتی از اندازهٔ نمونه‌های بزرگ‌تر استفاده می‌شود احتمال ایجاد تغییر در فرآیند در حین نمونه‌گیری بیشتر است. اگر در حین نمونه‌گیری تغییری ایجاد شود آن‌گاه میانگین نمونه می‌تواند این تغییر را در خود محو سازد. با توجه به این نکته باید سعی شود تا حد امکان از اندازهٔ نمونهٔ کوچک ولی متناسب با اندازهٔ تغییر مورد نظر که باید شناسایی شود استفاده کرد. اگر علاقمند به کشف تغییرات کوچک هستید بهتر است از نمودارهای کنترل جمع تجمعی[1] و میانگین متحرک موزون‌نمایی[2] که در این فصل توضیح داده می‌شوند استفاده کرد.

نمودار R در زمان استفاده از اندازهٔ نمونه‌های کوچک نسبت به شناسایی تغییرات کوچک در انحراف معیار فرآیند حساس نیست. به‌عنوان مثال، اگر از اندازهٔ نمونه‌های ۵$=n$ استفاده شود فقط ۴۰٪ شانس شناسایی تغییر در انحراف معیار از σ به 2σ به وسیلهٔ نمونهٔ اول وجود دارد. اندازهٔ نمونه‌های بزرگ‌تر اثربخش‌تر به نظر می‌رسد ولی می‌دانیم که با افزایش اندازهٔ کارایی روش دامنه در برآورد انحراف معیار به شدت کاهش می‌یابد. در نتیجه، برای اندازهٔ نمونه‌های نسبتاً بزرگ (مثلاً ۱۲ یا ۱۰$<n$) احیاناً بهتر است از نمودارهای کنترل S یا S^2 به جای نمودار کنترل R استفاده شود. جزئیات تهیهٔ این نمودارها در این فصل ارائه خواهد شد.

با آماده شدن داده‌های اولیه نیاز است که میانگین کل یا $\bar{\bar{x}}$ (یا میانگین میانگین‌ها) دامنهٔ متوسط $\bar{R}$ (که متوسط دامنه‌های زیرگروه‌ها است به طوری که دامنهٔ هر زیرگروه براساس اختلاف بین بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین دادهٔ هر زیرگروه تعیین می‌گردد). دامنهٔ متوسط به دلیل کاربرد آن در برآورد انحراف معیار از طریق رابطهٔ زیر بسیار حائز اهمیت است:

برآورد انحراف معیار با استفاده از دامنهٔ متوسط:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \qquad (۴-۵)$$

در رابطهٔ فوق، d_2 از جدول ضرایب تهیهٔ نمودارهای کنترل (پیوست ۶) تعیین می‌شود.

1. cumulative sum- cusum
2. Exponentially Weighted Moving Average- EWMA

مثال ۵-۱ محاسبهٔ میانگین کل، دامنهٔ متوسط و برآورد انحراف معیار

سه زیرگروه به اندازهٔ ۴ تهیه شده است. با استفاده از داده‌های زیر، میانگین کل دامنهٔ متوسط را محاسبه کنید:

	شماره نمونه			
زیرگروه	۱	۲	۳	۴
۱	۱۱	۱۳	۱۳	۸
۲	۱۲	۱۱	۹	۵
۳	۱۵	۱۴	۱۲	۱۱

اولین گام در انجام این محاسبه، محاسبهٔ میانگین زیرگروه‌ها و دامنهٔ هر زیرگروه است. این محاسبات در زیر نشان داده شده است.

دامنهٔ زیرگروه‌ها		میانگین زیرگروه‌ها	
$۱۳-۸=۵$	: زیرگروه ۱	$(۱۱+۱۳+۱۳+۸)/۴=۱۱/۲۵$	: زیرگروه ۱
$۱۲-۵=۷$	: زیرگروه ۲	$(۱۲+۱۱+۹+۵)/۴=۹/۲۵$	: زیرگروه ۲
$۱۵-۱۱=۴$	: زیرگروه ۳	$(۱۵+۱۴+۱۲+۱۱)/۴=۱۱/۱۷$	: زیرگروه ۳
$(\bar{R})=۱۵+۷+۴)/۲=۵/۳۳$	: دامنهٔ متوسط	$\bar{\bar{x}}=(۱۱/۲۵+۹/۲۵+۱۳)/۳=۱۱/۱۷$	: میانگین کل

به منظور محاسبهٔ برآورد انحراف معیار ابتدا به پیوست شش مراجعه و به ازای اندازهٔ زیرگروه ۴ مقدار $d_۲=۲/۰۵۹$ تعیین می‌شود. در این صورت، انحراف معیار $۲/۵۹=۲/۰۵۹\div۵/۳۳$ برآورد می‌شود.

پس از محاسبهٔ میانگین کل و دامنهٔ متوسط می‌توان حدود کنترل نمودار $\bar{x}$ را با استفاده از رابطه‌های زیر تعیین کرد:

حدود کنترل برای نمودار $\bar{x}$

$$UCL=\bar{\bar{x}}+A_۲\bar{R} \quad (۵-۵)$$

$$CL=\bar{\bar{x}} \quad (۶-۵)$$

$$LCL=\bar{\bar{x}}-A_۲\bar{R} \quad (۷-۵)$$

ثابت $A_۲$ به ازای مقادیر مختلف n در پیوست شش ارائه شده است.

از آنجایی‌که ثابت $A_۲=\frac{۳}{d_۲\sqrt{n}}$ است لذا رابطه‌های فوق به صورت زیر ساده می‌شود:

$$UCL=\bar{\bar{x}}+A_۲\bar{R}=\bar{\bar{x}}+۳\frac{\bar{R}}{d_۲\sqrt{n}}=\bar{\bar{x}}+۳\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

$$LCL=\bar{\bar{x}}+A_۲\bar{R}=\bar{\bar{x}}-۳\frac{\bar{R}}{d_۲\sqrt{n}}=\bar{\bar{x}}-۳\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

مکان خطوط یک و دو انحراف معیار به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} \pm \frac{A_۲\bar{R}}{۳}$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} \pm ۲\frac{A_۲\bar{R}}{۳}$$

حدود کنترل نمودار دامنه از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

حدود کنترل نمودار R

$$UCL = D_۴\bar{R} \quad (۵-۸)$$

$$CL = \bar{R} \quad (۵-۹)$$

$$LCL = D_۳\bar{R} \quad (۵-۱۰)$$

ثابت‌های $D_۳$ و $D_۴$ به ازای مقادیر مختلف n در پیوست شش ارائه شده است.

به روشی مشابه می‌توان حدود بالا و پایین نمودار دامنه را با استفاده از انحراف معیار دامنه که براساس حاصل ضرب ضریب ساده‌سازی $d_۳$ در برآورد انحراف معیار به‌دست می‌آید و همچنین استفاده از رابطه‌های $D_۴ = ۱+۳(d_۳/d_۲)$ و $D_۳ = ۱-۳(d_۳/d_۲)$ تهیه کرد.

مکان خطوط یک و دو انحراف معیار به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \bar{R} \pm \frac{D_۴\bar{R} - \bar{R}}{۳}$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \bar{R} \pm ۲\frac{D_۴\bar{R} - \bar{R}}{۳}$$

شاید توجه کرده باشید که این رابطه‌ها با فرض توزیع نرمال ارائه شده‌اند. در اغلب مواقع، احیاناً در مورد برقراری فرض نرمال ابهام وجود داشته باشد. به‌عنوان مثال، ممکن است به دلیل تهیهٔ تعداد زیادی داده به این نتیجه رسیده باشیم که فرض توزیع نرمال برقرار نیست. مؤلفان متعددی تأثیر فاصله گرفتن از توزیع نرمال بر عملکرد نمودارهای کنترل را بررسی و نتیجه‌گیری کرده‌اند که نمودار کنترل $\bar{x}$ نسبتاً به عدم برقراری توزیع نرمال مقاوم است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در اغلب مواقع اندازهٔ نمونه‌های ۴ یا ۵ برای اطمینان از برقراری فرض نرمال کفایت می‌کند. با این وجود، نمودار R نسبت به داده‌های غیرنرمال از حساسیت بیشتری برخوردار است.

مثال ۵-۲ تهیهٔ نمودارهای $\bar{x}$ و R

واحد فناوری اطلاعات یک شرکت بزرگ علاقمند به کسب اطلاعاتی در مورد مدت زمان مورد نیاز برای بارگذاری یک برنامه در شبکه است. آنها علاقمند به استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و R برای پایش و بهبود زمان بارگذاری هستند. آنها طی ۲۵ روز گذشته به‌صورت تصادفی پنج نمونه از بارگذاری‌های انجام شده را تهیه و زمان شروع تا پایان را ثبت کرده‌اند. این داده‌ها در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۵-۲

داده‌های بارگذاری برنامه رایانه‌ای.

روز	۱	۲	۳	۴	۵	میانگین زیرگروه‌ها	دامنه زیرگروه‌ها
۱	۱۳/۲۳۵۰	۱۴/۱۲۸۰	۱۶/۷۴۴۰	۱۴/۵۷۳۰	۱۵/۹۱۴۰	۱۵/۱۱۸۸	۳/۶۷۹۰
۲	۱۴/۳۱۴۰	۱۳/۵۹۲۰	۱۶/۰۷۵۰	۱۴/۶۶۶۰	۱۶/۱۰۹۰	۱۴/۹۵۱۲	۲/۵۱۷۰
۳	۱۴/۲۸۴۰	۱۴/۸۷۱۰	۱۴/۹۳۲۰	۱۴/۳۲۴۰	۱۵/۶۷۴۰	۱۴/۸۱۷۰	۱/۳۹۰۰
۴	۱۵/۰۲۸۰	۱۶/۳۵۲۰	۱۳/۸۴۱۰	۱۲/۸۳۱۰	۱۵/۵۰۷۰	۱۴/۷۱۱۸	۳/۵۲۱۰
۵	۱۵/۶۰۴۰	۱۲/۷۳۵۰	۱۵/۲۶۵۰	۱۴/۳۶۳۰	۱۶/۴۴۱۰	۱۴/۸۸۱۶	۳/۷۰۶۰
۶	۱۵/۹۵۵۰	۱۵/۴۵۱۰	۱۳/۵۷۴۰	۱۳/۲۸۱۰	۱۴/۱۹۸۰	۱۴/۴۹۱۸	۲/۶۷۴۰
۷	۱۶/۲۷۴۰	۱۵/۰۶۴۰	۱۸/۳۶۶۰	۱۴/۱۷۷۰	۱۵/۱۴۴۰	۱۵/۸۰۵۰	۴/۱۸۹۰
۸	۱۴/۱۹۰۰	۱۴/۳۰۳۰	۱۶/۶۳۷۰	۱۶/۰۶۷۰	۱۵/۵۱۹۰	۱۵/۳۴۳۲	۲/۴۴۷۰
۹	۱۳/۸۸۴۰	۱۷/۲۷۷۰	۱۵/۳۵۵۰	۱۵/۱۷۶۰	۱۳/۶۸۸۰	۱۵/۰۷۶۰	۳/۵۸۹۰
۱۰	۱۴/۰۳۹۰	۱۶/۶۹۷۰	۱۵/۰۸۹۰	۱۴/۶۲۷۰	۱۵/۲۲۰۰	۱۵/۱۳۴۴	۲/۶۵۸۰
۱۱	۱۴/۱۵۸۰	۱۷/۶۶۷۰	۱۴/۲۷۸۰	۱۵/۹۲۸۰	۱۴/۱۸۱۰	۱۵/۲۴۲۴	۳/۵۰۹۰
۱۲	۱۵/۸۲۱۰	۱۳/۳۵۵۰	۱۵/۷۷۷۰	۱۳/۹۸۰۰	۱۷/۵۵۹۰	۱۵/۲۹۸۴	۴/۲۰۴۰
۱۳	۱۲/۸۵۹۰	۱۴/۱۰۶۰	۱۴/۴۴۷۰	۱۶/۳۹۸۰	۱۱/۹۲۸۰	۱۳/۹۴۷۰	۴/۴۷۰۰
۱۴	۱۴/۹۵۱۰	۱۴/۰۳۶۰	۱۵/۸۹۳۰	۱۶/۴۵۸۰	۱۴/۹۶۹۰	۱۵/۲۶۱۴	۲/۴۲۲۰
۱۵	۱۳/۵۸۹۰	۱۲/۸۶۳۰	۱۵/۹۹۶۰	۱۲/۴۹۷۰	۱۵/۴۷۱۰	۱۴/۰۸۳۲	۳/۴۹۹۰
۱۶	۱۵/۷۴۷۰	۱۵/۳۰۱۰	۱۵/۱۷۱۰	۱۱/۸۳۹۰	۱۸/۶۶۲۰	۱۵/۳۴۴۰	۶/۸۲۳۰
۱۷	۱۳/۶۸۰۰	۱۷/۲۶۹۰	۱۳/۹۵۷۰	۱۵/۰۱۴۰	۱۴/۴۴۹۰	۱۴/۸۷۳۸	۳/۵۸۹۰
۱۸	۱۴/۱۶۳۰	۱۳/۸۶۴۰	۱۳/۰۵۷۰	۱۶/۲۱۰۰	۱۵/۵۷۳۰	۱۴/۵۷۳۴	۳/۱۵۳۰
۱۹	۱۵/۷۹۶۰	۱۴/۱۸۵۰	۱۶/۵۴۱۰	۱۵/۱۱۶۰	۱۷/۲۴۷۰	۱۵/۷۷۷۰	۳/۰۶۲۰
۲۰	۱۷/۱۰۶۰	۱۴/۴۱۲۰	۱۲/۳۶۱۰	۱۳/۸۲۰۰	۱۷/۶۰۱۰	۱۵/۰۶۰۰	۵/۲۴۰۰
۲۱	۱۴/۳۷۱۰	۱۵/۰۵۱۰	۱۳/۴۸۵۰	۱۵/۶۷۰۰	۱۴/۸۸۰۰	۱۴/۶۹۱۴	۲/۱۸۵۰
۲۲	۱۴/۷۳۸۰	۱۵/۹۳۶۰	۱۶/۵۸۳۰	۱۴/۹۷۳۰	۱۴/۷۲۰۰	۱۵/۳۹۰۰	۱/۸۶۳۰
۲۳	۱۵/۹۱۷۰	۱۴/۳۳۳۰	۱۵/۵۵۱۰	۱۵/۲۹۵۰	۱۵/۸۶۶۰	۱۵/۵۹۲۴	۲/۵۳۳۰
۲۴	۱۶/۳۹۹۰	۱۵/۲۴۳۰	۱۵/۷۰۵۰	۱۵/۵۶۳۰	۱۵/۵۳۰۰	۱۵/۶۸۸۰	۱/۱۵۶۰
۲۵	۱۵/۷۹۷۰	۱۳/۶۶۳۰	۱۶/۲۴۰۰	۱۳/۷۳۲۰	۱۶/۸۸۷۰	۱۵/۲۶۳۸	۳/۲۲۴۰

در زمان تهیهٔ نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و R بهتر است ابتدا نمودار R تهیه شود. از آنجایی‌که حدود کنترل نمودار بستگی به پراکندگی فرآیند دارد لذا اگر پراکندگی تحت کنترل نباشد این حدود مفهوم خاصی نخواهند داشت.

خط مرکز نمودار R برای داده‌های جدول ۵-۲برابر ۳/۲۵۲ است. با مراجعه به پیوست شش به ازای $n=5$ ثابت‌های $D_3=0$ و $D_4=114/2$ به‌دست می‌آید که در این صورت حدود کنترل نمودار R دارای مقادیر زیر خواهد بود:

$$UCL = D_4\bar{R} = ۲/۱۱۴(۳/۲۵۲۱) = ۶/۸۷۴۹$$
$$CL = \bar{R} = ۳/۲۵۲۱$$
$$LCL = ۰(۲/۱۱۴) = ۰$$

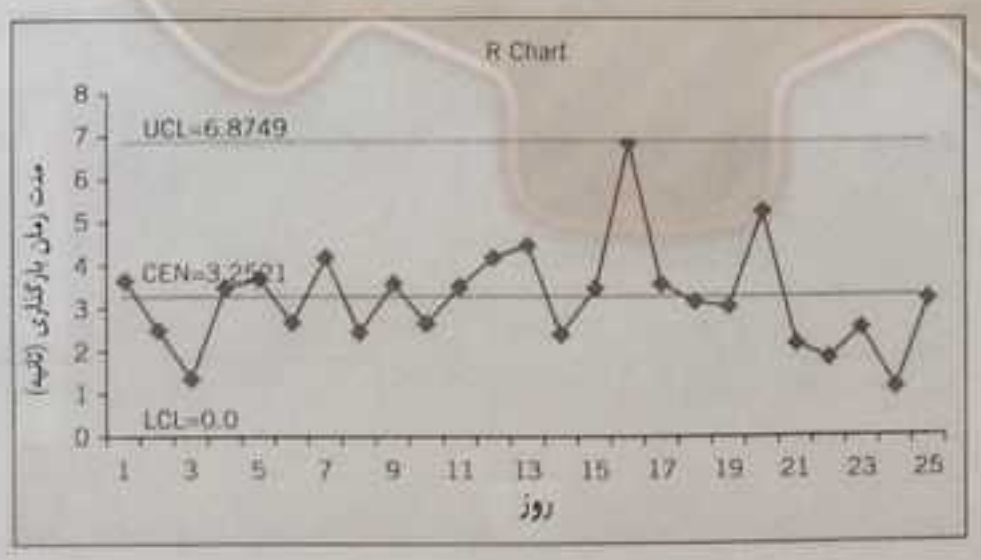
$$\text{خطوط یک سیگما} = \bar{R} \pm \frac{D_4\bar{R} - \bar{R}}{۳} = ۳/۲۵۲۱ \pm \frac{۲/۱۱۴ + ۳/۲۵۲۱ - ۳/۲۵۲۱}{۳}$$
$$= ۴/۴۵۹۷ \text{ و } ۲/۰۴۴۵$$

$$\text{خطوط دو سیگما} = \bar{R} \pm ۲(\frac{D_4\bar{R} - \bar{R}}{۳}) = ۳/۲۵۲۱ \pm ۲(\frac{۲/۱۱۴ + ۳/۲۵۲۱ - ۳/۲۵۲۱}{۳})$$
$$= ۵/۶۶۷۳ \text{ و } ۰/۸۳۶۹$$

نمودار R حاصل که به وسیلهٔ نرم‌افزار SPC XL تهیه شده در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. با بررسی این نمودار هیچ نشانه‌ای از وضعیت خارج از کنترل مشاهده نمی‌شود. از آنجایی‌که نمودار R شرایط تحت کنترل را برای پراکندگی نشان می‌دهد می‌توان اقدام به تهیهٔ نمودار $\bar{x}$ کرد.

قبل از محاسبهٔ حدود کنترل نمودار $\bar{x}$ باید ابتدا مقدار A_2 (ثابت حد کنترل) را تعیین کرد. در پیوست شش، به ازای اندازهٔ نمونه‌های n=۵ مقدار ثابت $A_2 = ۰/۵۷۷$ ارائه شده است. در این صورت حدود کنترل برابر خواهد بود با:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = ۱۵/۰۵۶۷ + ۰/۵۷۷(۳/۲۵۲۱) = ۱۶/۹۳۳۱$$
$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = ۱۵/۰۵۶۷ - ۰/۵۷۷(۳/۲۵۲۱) = ۱۳/۱۸۰۲$$



شکل ۵-۹ نمودار R برای مدت زمان بارگذاری.

مکان خطوط یک و دو انحراف معیار از رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

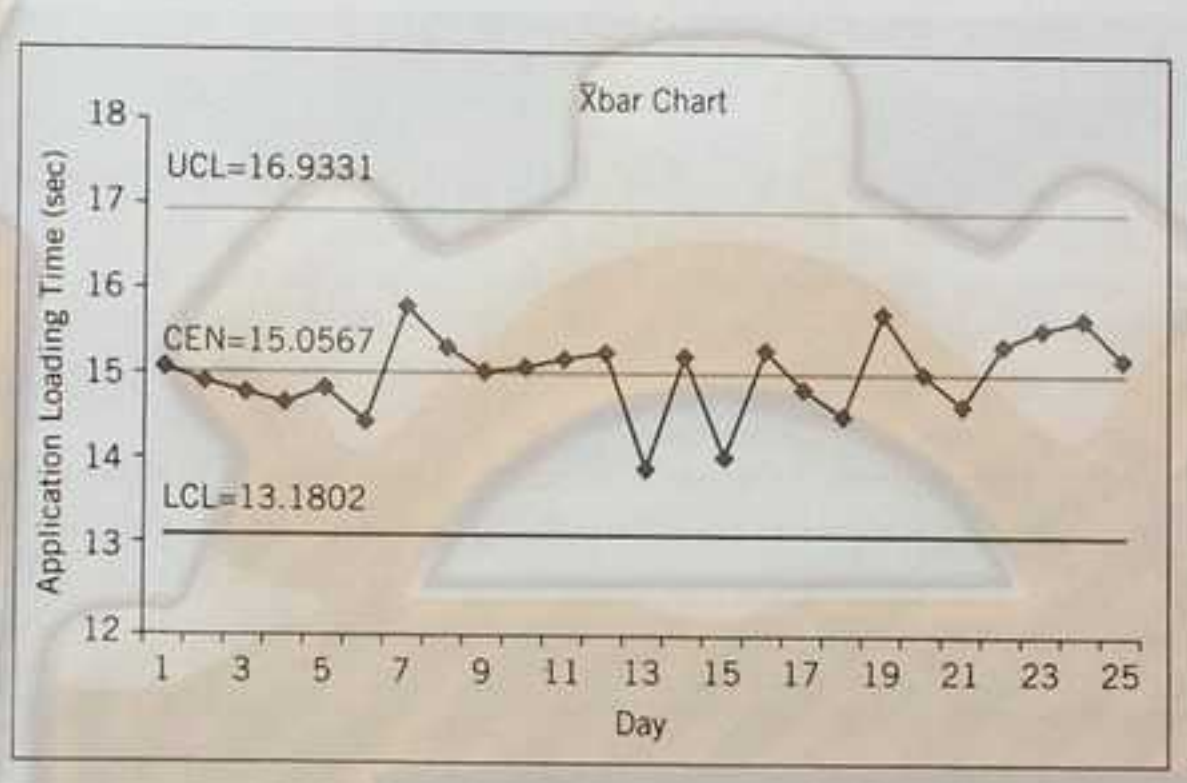
$$\text{خط یک انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} \pm \frac{A_2 \bar{R}}{3} = ۱۵/۰۵۶۷ \pm \frac{۰/۵۷۷(۳/۲۵۲۱)}{۳}$$

$$= ۱۴/۴۳۱۲ \text{ و } ۱۵/۶۸۲۲$$

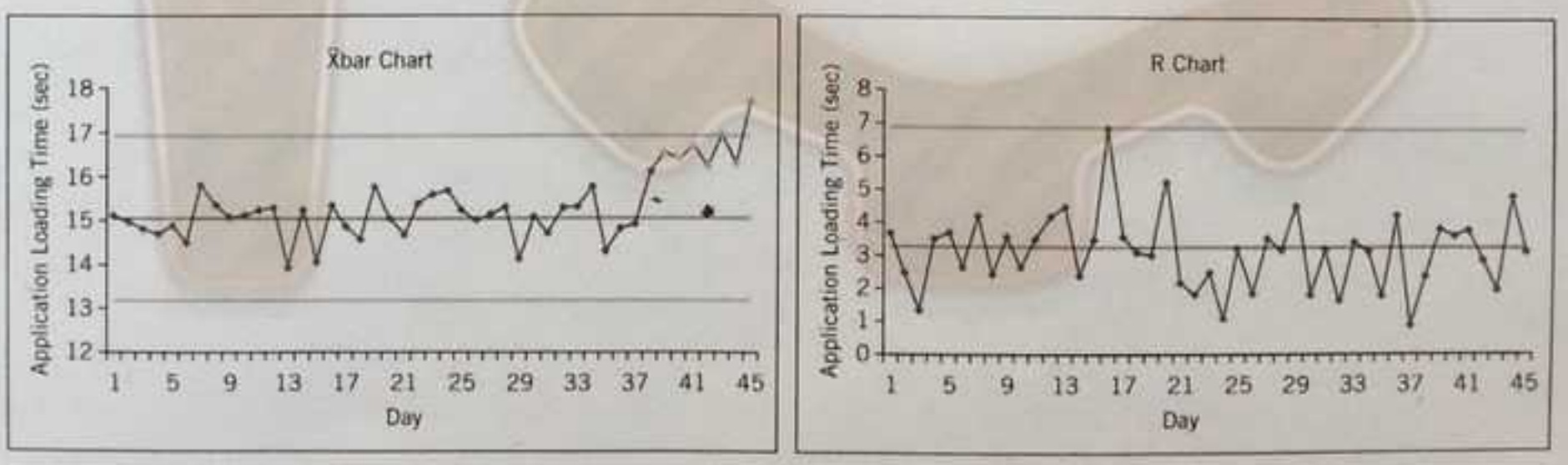
$$\text{خط دو انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} \pm ۲(\frac{A_2 \bar{R}}{3}) = ۱۵/۰۵۶۷ \pm ۲(\frac{۰/۵۷۷(۳/۲۵۲۱)}{۳})$$

$$= ۱۳/۸۰۵۷ \text{ و } ۱۶/۳۰۲۷$$

نمودار $\bar{x}$ حاصل که به وسیلهٔ نرم‌افزار SPC XL تهیه شده در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است. زمانی‌که میانگین نمونه‌های اولیه بر روی این نمودار رسم می‌شود هیچ اثری از وضعیت خارج از کنترل مشاهده نمی‌شود. بنابراین، از آنجایی‌که هر دو نمودار $\bar{x}$ و R شرایط تحت کنترل را نشان می‌دهند نتیجه‌گیری می‌شود که فرآیند در سطح تعیین شده تحت کنترل و حدود کنترل آزمایشی برای پایش زمان‌های بارگذاری آتی قابل استفاده است.



شکل ۵-۱۰ نمودار $\bar{x}$ برای زمان بارگذاری.



شکل ۵-۱۱ نمودارهای $\bar{x}$ و R برای زمان بارگذاری (SPC XL).

با تهیهٔ حدود کنترل قابل اطمینان می‌توان از نمودار کنترل برای پایش تولیدات آتی استفاده کرد. این مرحله را فاز II نمودار کنترل می‌نامند. در مثال قبل، واحد فناوری اطلاعات شرکت با استفاده از حدود کنترل محاسبه شده و نمونه‌های پنج‌تایی که هر روز تهیه می‌شود مدت زمان بارگذاری نرم‌افزار را پایش می‌کند. داده‌ها به صورت لحظه‌ای پایش و نمودارهای کنترل به صورت روزانه به روز می‌شود. نتایج حاصل در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است.

نمودارهای کنترل حاکی از تحت کنترل بودن فرآیند تا نمونهٔ ۴۱ است. روند کلی نقاط بر روی نمودار کنترل از نمونهٔ شمارهٔ ۳۸ به بعد حاکی از یک تغییر به سمت بالا در میانگین فرآیند است. شرکت باید یک نوع طرح اقدام خارج از کنترل[1] را برای شناسایی انحراف با دلیل فعال سازد.

۵-۳ نمودارهای $\bar{x}$ و S

نمودار S
یک نمودار کنترل که نشان می‌دهد انحراف معیار نمونه چگونه در طول زمان تغییر می کند.

گرچه نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و R به طور گسترده‌ای در عمل استفاده می‌شوند ولی در بعضی مواقع علاقمند به برآورد مستقیم انحراف معیار به جای برآورد آن از طری دامنهٔ R هستیم. این نگرش منجر به نمودارهای کنترل σ و S (انحراف معیار نمونه) می‌شود. بعضی از مؤلفان به نمودار S نمودار σ نیز می‌گویند. به‌طورکلی، در هر یک از حالت‌های زیر نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و S به نمودارهای کنترل معادل خود یعنی $\bar{x}$ و R ترجیح داده می‌شوند. نمودار S یک نمودار کنترل که نحوهٔ تغییر انحراف معیار نمونه را در طول زمان نشان می‌دهد.

۱- اندازهٔ نمونهٔ n نسبتاً بزرگ است (مثلاً ۱۲ یا $n>۱۰$).

۲- اندازهٔ نمونهٔ n متغیر است.

در این بخش، نحوهٔ تهیه و استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{x}$و S توضیح داده می‌شود. همچنین نحوهٔ کار با اندازهٔ نمونهٔ متغیر شرح داده خواهد شد. مراحل تهیه و استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{x}$و S همانند مراحل نمودارهای کنترل $\bar{x}$و R است با این تفاوت که برای هر نمونه باید میانگین نمونهٔ $\bar{x}$ و انحراف معیار نمونهٔ S محاسب شود.

داده‌های مربوط به مدت زمان بارگذاری در جدول ۵-۲ ارائه شده است. هر نمونه یا زیرگروه شامل پنج مدت زمان بارگذاری در یک روز است. میانگین نمونه و انحراف معیار نمونه برای هر یک از ۲۵ نمونه محاسبه شده است. از این داده‌ها برای نمایش نحوهٔ تهیه و استفاده از نمودارهای $\bar{x}$و S استفاده می‌شود.

فرض می‌کنیم میانگین و انحراف معیار نامعلوم و قرار است از طریق داده‌های اولیه برآورد شوند. برآورد میانگین از روش قبل انجام می‌شود. با این وجود، به خاطر داشته باشید که وقتی فقط تعداد کمی مشاهده از یک جامعه انتخاب می‌شود این مشاهدات معمولاً به سمت مرکز توزیع متمایل هستند تا به سمت دنباله‌های آن. هرچه تعداد داده‌ها افزایش یابد شانس مشاهدهٔ داده در دنبالهٔ توزیع افزایش خواهد یافت. این پدیده علت استفاده از توزیع t برای محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان زمانی که تعداد داده‌ها کمتر از ۳۰ است را توضیح می‌دهد. در تهیهٔ نمودار S از اصل نمونه‌گیری استفاده می‌شود. به‌عبارت دیگر، زمانی که تعداد مشاهدات یک نمونه کمتر از ۲۵ است از ضریب C_4 برای برآورد انحراف معیار استفاده می‌شود. بنابراین، با تقسیم انحراف معیار متوسط بر C_4 انحراف معیار جامعه برآورد می‌شود. مقادیر C_4 به ازای اندازهٔ نمونه‌های مختلف از پیوست شش ارائه شده است.

---
1. Out of Control Action Plan- OCAP

به منظور تهیهٔ یک نمودار $\bar{x}$ به رابطه‌های اولیهٔ زیر باز می‌گردیم:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + ۳(\frac{\sigma}{\sqrt{n}})$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - ۳(\frac{\sigma}{\sqrt{n}})$$

با جایگزین کردن برآورد انحراف معیار در رابطه‌های فوق نتایج زیر حاصل می‌شود:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + ۳(\frac{\bar{S}}{C_۴\sqrt{n}})$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} - ۳(\frac{S}{C_۴\sqrt{n}})$$

اگر $A_۴ = \frac{۳}{C_۴\sqrt{n}}$ تعریف شود آن‌گاه رابطه‌های فوق به رابطه‌های زیر ساده می‌شود:

محاسبهٔ حدود کنترل نمودار $\bar{x}$ با استفاده از S

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_۴\bar{S} \quad (۱۱-۵)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (۱۲-۵)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_۴\bar{S} \quad (۱۳-۵)$$

در رابطه‌های فوق، مقدار $A_۴$ از جدول ضرایب نمودارهای کنترل متغیر در پیوست شش تعیین می‌شود.

مکان خطوط یک و دو انحراف معیار از رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} + \frac{A_۴\bar{S}}{۳}$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} - ۲(\frac{A_۴\bar{S}}{۳})$$

از رابطه‌های زیر برای تهیهٔ یک نمودار S استفاده می‌شود:

محاسبهٔ حدود کنترل برای نمودار S

$$UCL = B_۴\bar{S} \quad (۱۴-۵)$$

$$CL = \bar{S} \quad (۱۵-۵)$$

$$LCL = B_۳\bar{S} \quad (۱۶-۵)$$

در رابطه‌های فوق، مقادیر $B_۳$ و $B_۴$ از جدول ضرایب نمودارهای کنترل متغیر در پیوست شش تعیین می‌شود. از این ضرایب برای ساده کردن محاسبات استفاده می‌شود.

مکان خطوط یک و دو انحراف معیار برای نمودار S از رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \bar{S} \pm \frac{B_۴\bar{S} - \bar{S}}{۳}$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \bar{S} \pm ۲(\frac{B_۴\bar{S} - \bar{S}}{۳})$$

مثال ۵-۳ تهیهٔ نمودارهای $\bar{x}$ و S

تکرار مثال ۵-۲با استفاده از نمودارهای $\bar{x}$ و S

جدول ۵-۳

داده‌های مدت زمان بارگذاری ($\bar{x}$ و S).

							میانگین	دامنه استاندارد
روز	۱	۲	۳	۴	۵	زیرگروه‌ها	زیرگروه‌ها	
۱	۱۳/۲۳۵۰	۱۴/۱۲۸۰	۱۶/۷۴۴۰	۱۴/۵۷۳۰	۱۶/۹۱۴۰	۱۵/۱۱۸۸	۱/۶۳۵۰	
۲	۱۴/۳۱۴۰	۱۴/۵۹۲۰	۱۶/۰۷۵۰	۱۴/۶۶۶۰	۱۶/۱۰۹۰	۱۴/۹۵۱۲	۱/۱۱۱۱	
۳	۱۴/۲۸۴۰	۱۴/۸۷۱۰	۱۴/۹۳۲۰	۱۴/۳۲۴۰	۱۵/۶۷۴۰	۱۴/۸۱۷۰	۰/۵۶۵۲	
۴	۱۵/۶۰۴۰	۱۶/۳۵۲۰	۱۳/۸۴۱۰	۱۲/۸۳۱۰	۱۵/۵۰۷۰	۱۴/۷۱۱۸	۱/۳۸۹۱	
۵	۱۵/۰۲۸۰	۱۲/۷۳۵۰	۱۲/۲۶۵۰	۱۴/۳۶۳۰	۱۶/۴۴۱۰	۱۴/۸۸۱۶	۱/۴۱۲۲	
۶	۱۵/۹۵۵۰	۱۵/۴۵۱۰	۱۳/۵۷۴۰	۱۳/۲۸۱۰	۱۴/۱۹۸۰	۱۴/۴۹۱۸	۱/۱۶۷۹	
۷	۱۶/۲۷۴۰	۱۵/۰۶۴۰	۱۸/۳۶۶۰	۱۴/۱۷۷۰	۱۵/۱۴۴۰	۱۵/۸۰۵۰	۱/۶۱۳۶	
۸	۱۴/۱۹۰۰	۱۴/۳۰۳۰	۱۶/۶۳۷۰	۱۶/۰۶۷۰	۱۵/۵۱۹۰	۱۵/۳۴۳۲	۱/۰۷۷۱	
۹	۱۳/۸۸۴۰	۱۷/۲۷۷۰	۱۵/۳۵۵۰	۱۶/۱۷۶۰	۱۳/۶۸۸۰	۱۵/۰۷۶۰	۱/۴۳۸۷	
۱۰	۱۴/۰۳۹۰	۱۶/۶۹۷۰	۱۵/۰۸۹۰	۱۴/۶۲۷۰	۱۵/۲۲۰۰	۱۵/۱۳۴۴	۰/۹۸۸۵	
۱۱	۱۴/۱۵۸۰	۱۷/۶۶۷۰	۱۴/۲۷۸۰	۱۵/۹۲۸۰	۱۴/۱۸۱۰	۱۵/۲۴۲۴	۱/۵۴۷۷	
۱۲	۱۵/۸۲۱۰	۱۳/۳۵۵۰	۱۵/۷۷۷۰	۱۳/۹۸۰۰	۱۷/۵۵۹۰	۱۵/۲۹۸۴	۱/۶۶۷۹	
۱۳	۱۲/۸۵۶۰	۱۴/۱۰۶۰	۱۴/۴۴۷۰	۱۶/۳۹۸۰	۱۱/۹۲۸۰	۱۳/۹۴۷۰	۱/۶۹۹۲	
۱۴	۱۴/۹۵۱۰	۱۴/۰۳۶۰	۱۵/۸۹۳۰	۱۶/۴۵۸۰	۱۴/۹۶۹۰	۱۵/۲۶۱۴	۰/۹۳۷۳	
۱۵	۱۳/۵۸۹۰	۱۲/۸۶۳۰	۱۵/۹۹۶۰	۱۲/۴۹۷۰	۱۵/۴۷۱۰	۱۴/۰۸۳۲	۱/۵۶۸۰	
۱۶	۱۵/۷۴۷۰	۱۵/۳۰۱۰	۱۵/۱۷۱۰	۱۱/۸۳۹۰	۱۸/۶۶۲۰	۱۵/۳۴۴۰	۲/۴۲۳۲	
۱۷	۱۳/۶۸۰۰	۱۷/۲۶۹۰	۱۳/۹۵۷۰	۱۵/۰۱۴۰	۱۴/۴۴۹۰	۱۴/۸۷۳۸	۱/۴۳۲۰	
۱۸	۱۴/۱۶۳۰	۱۳/۸۶۴۰	۱۳/۰۵۷۰	۱۶/۲۱۰۰	۱۵/۵۷۳۰	۱۴/۵۷۳۴	۱/۲۸۹۳	
۱۹	۱۵/۷۹۶۰	۱۴/۱۸۵۰	۱۶/۵۴۱۰	۱۵/۱۱۶۰	۱۷/۲۴۷۰	۱۵/۷۷۷۰	۱/۱۹۵۴	
۲۰	۱۷/۱۰۶۰	۱۴/۴۱۲۰	۱۲/۳۶۱۰	۱۳/۸۲۰۰	۱۷/۶۰۱۰	۱۵/۰۶۰۰	۲/۲۲۹۶	
۲۱	۱۴/۳۷۱۰	۱۵/۰۵۱۰	۱۳/۴۸۵۰	۱۵/۶۷۰۰	۱۴/۸۸۰۰	۱۴/۶۹۱۴	۰/۸۱۸۶	
۲۲	۱۴/۷۳۸۰	۱۵/۹۳۶۰	۱۶/۵۸۳۰	۱۴/۹۷۳۰	۱۴/۷۲۰۰	۱۵/۳۹۰۰	۰/۸۳۲۱	
۲۳	۱۵/۹۱۷۰	۱۴/۳۳۳۰	۱۵/۵۵۱۰	۱۵/۲۹۵۰	۱۶/۸۶۶۰	۱۵/۵۹۲۴	۰/۹۲۲۵	
۲۴	۱۶/۳۹۹۰	۱۵/۲۴۳۰	۱۵/۷۰۵۰	۱۵/۵۶۳۰	۱۵/۵۳۰۰	۱۵/۶۸۸۰	۰/۴۳۱۴	
۲۵	۱۵/۷۹۷۰	۱۳/۶۶۳۰	۱۶/۲۴۰۰	۱۳/۷۳۲۰	۱۶/۸۸۷۰	۱۵/۲۶۳۸	۱/۴۸۱۶	
						۱۵/۰۵۶۷	۱/۳۱۵۰	

ابتدا حدود کنترل نمودار S محاسبه می‌شود. از آنجایی که اندازهٔ زیرگروه ۵ است لـذا از پیوسـت شـش $B_3 = 0$ و $B_4 = ۲/۰۸۹$ به‌دست می‌آید. در این صورت

$$UCL = B_4\bar{S} = ۲/۰۸۹(۱/۳۱۵۰) = ۲/۷۴۷۰$$
$$CL = \bar{S} = ۱/۳۱۵۰$$
$$LCL = B_3\bar{S} = ۰(۱/۱۳۵۰) = ۰$$

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = ۱/۳۱۵۰ \pm \frac{۲/۷۴۷۰ - ۱/۳۱۵۰}{۳} = ۰/۸۳۷۶ \ , \ ۱/۷۹۲۳$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = ۱/۳۱۵۰ \pm ۲(\frac{۲/۷۴۷۰ - ۱/۳۱۵۰}{۳}) = ۰/۳۶۰۳ \ , \ ۲/۲۶۹۷$$

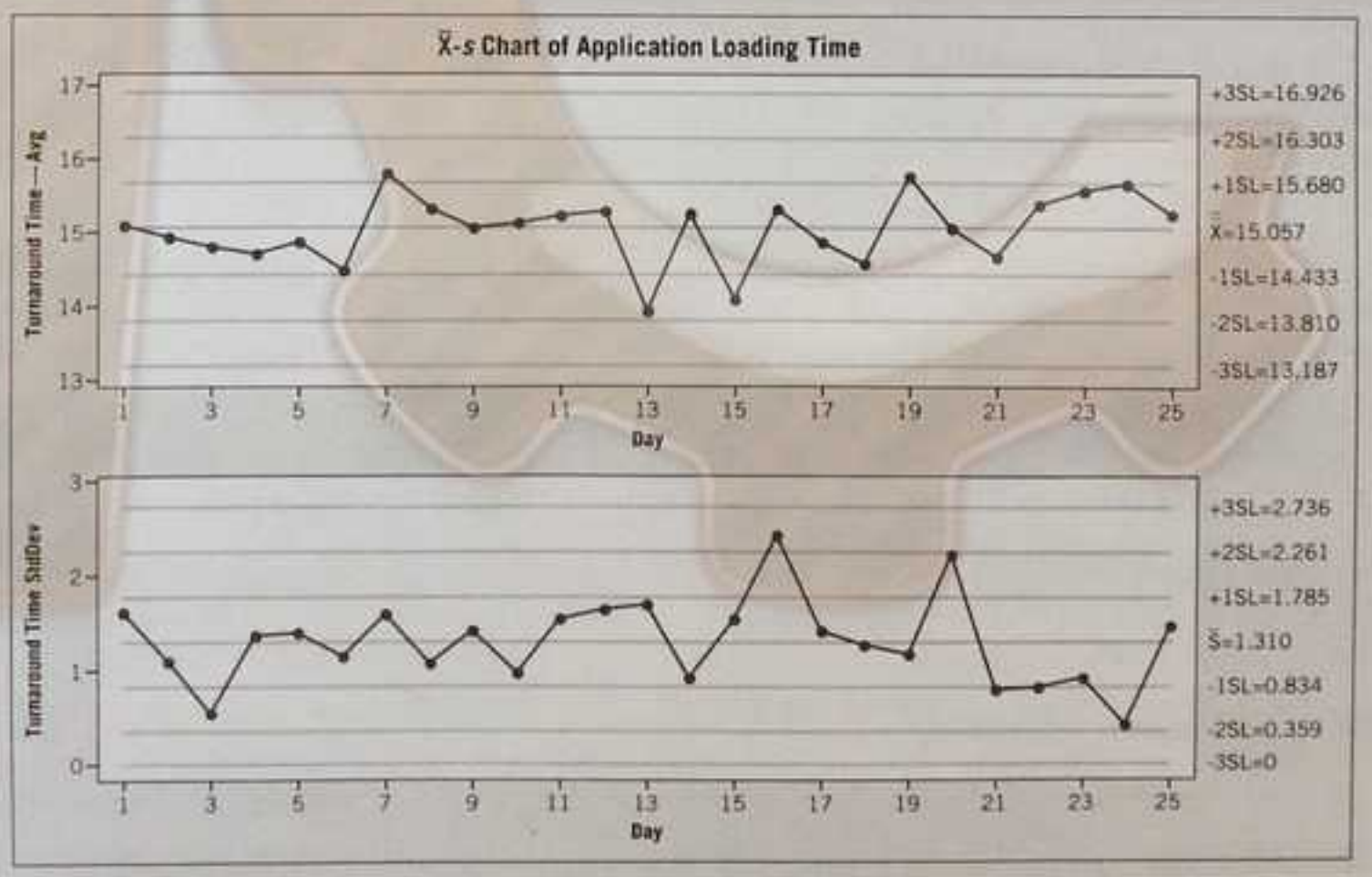
حال حدود کنترل نمودار $\bar{x}$ را محاسبه می‌کنیم. از آنجایی‌که اندازهٔ نمونه ۵ است لذا از پیوست شش $A_3 = ۰/۵۷۷$ به‌دست می‌آید. در این صورت

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{S} = ۱۵/۰۵۶۷ + ۱/۴۲۷(۱/۳۱۵۰) = ۱۶/۹۳۳۱$$
$$CL = \bar{\bar{x}} = ۱۵/۰۵۶۷$$
$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{S} = ۱۵/۰۵۶۷ - ۱/۴۲۷(۱/۳۱۵۰) = ۱۳/۱۸۰۲$$

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} \pm \frac{A_3\bar{S}}{۳} = ۱۵/۰۵۶۷ \pm \frac{۱/۴۲۷(۱/۳۱۵۰)}{۳} = ۱۴/۴۲۱۲ \ , \ ۱۵/۶۸۲۲$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \bar{\bar{x}} \pm ۲(\frac{A_3\bar{S}}{۳}) = ۱۵/۰۵۶۷ \pm ۲(\frac{۱/۴۲۷(۱/۳۱۵۰)}{۳}) = ۱۳/۸۰۵۷ \ , \ ۱۶/۳۰۷۷$$

نمودارهای کنترل حاصل که به وسیلهٔ نرم‌افزار Minitab تهیه شده‌اند در شکل ۵-۱۲نشان داده شده است. همان‌گونه که مشـاهده می‌کنید اختلاف‌های جزئی در اعداد وجود دارد که ناشی از تعداد اعشار استفاده شده در محاسبات است.



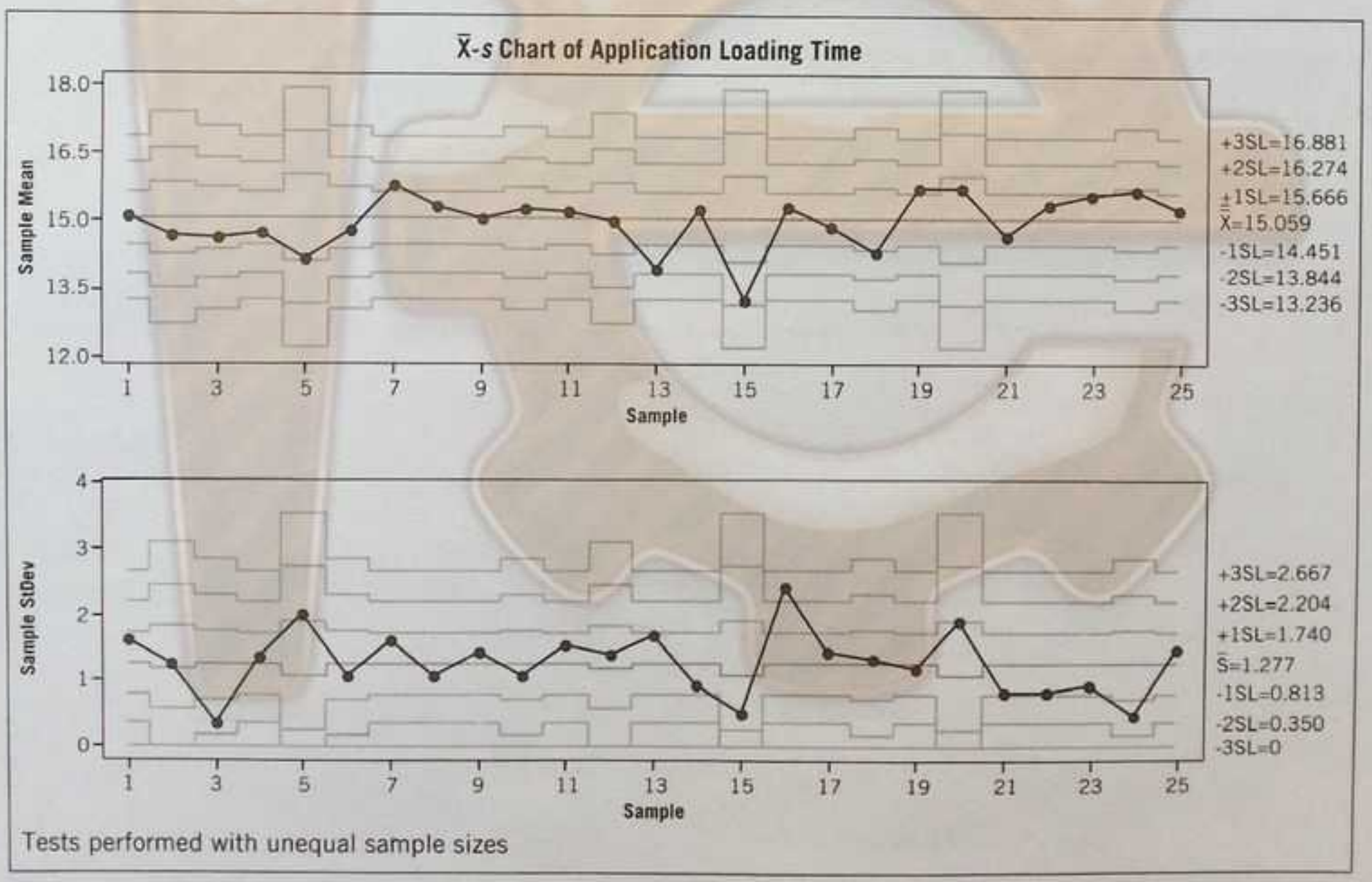
شکل ۵-۱۲نمودارهای S- $\bar{x}$ برای داده‌های مدت زمان بارگذاری (Minitab).

این امکان وجود دارد که بتوان حدود کنترل را با هدف استفاده از اندازهٔ نمونه‌های متغیر تعدیل کرد. با این وجود، این کار نیاز به محاسبهٔ حدود کنترل برای هر زیرگروه با استفاده از ضریب اندازهٔ زیرگروه دارد.

به‌عنوان مثال، فرض کنید میانگین کل ۱۵/۰۵۷ و انحراف معیار متوسط ۱/۳۱۰ و اندازهٔ نمونه ۵ باشد. در این صورت $A_3 = 1/427$ و حد کنترل بالا برای زیرگروه اول ۱۶/۹۲۶ خواهد بود. فرض کنید اندازهٔ زیرگروه دوم ۳ باشد. در این صورت، A_3 به ۱/۹۵۴ و حد کنترل بالا به ۱۷/۶۱۷ تغییر می‌کند.

در این روش، حدود کنترل برای هر زیرگروه تعدیل می‌شود. یک نمونه از نمودارهای $\bar{x}$-S با استفاده از اندازهٔ نمونه‌های متغیر در شکل ۵-۱۳ نشان داده شده است. این نمودار براساس داده‌های مدت زمان بارگذاری تهیه شده و برخی از داده‌ها به منظور نشان دادن تاثیر اندازهٔ نمونه‌های متفاوت حذف شده است.

تفسیر این نمودار بسیار مشکل‌تر و محاسبات آن بسیار پیچیده‌تر از نمودارهای کنترل متداول است. همچنین درک آن برای کارکنان تولید و خدمت دشوارتر است. بنابراین، استفاده از آن توصیه نمی‌شود.



شکل ۵-۱۳ نمودارهای $\bar{x}$-S برای مدت زمان بارگذاری با اندازهٔ نمونه‌های متغیر (Minitab).

استفاده از اندازهٔ نمونهٔ متوسط می‌تواند جایگزینی برای حدود کنترل متغیر باشد. اگر اندازه نمونه‌ها زیاد متفاوت نباشند آنگاه نتایج حاصل از این روش می‌تواند رضایت‌بخش باشد. از آنجایی‌که اندازهٔ نمونهٔ متوسط ممکن است یک عدد صحیح نباشد جایگزین مفیدتر می‌تواند محاسبهٔ حدود کنترل براساس اندازه نمونه متداول‌تر باشد.

۵-۴ نمودار کنترل شوهارت برای اندازه‌گیری انفرادی

در اغلب مواقع ممکن است بخواهیم پایش فرآیند را به کمک نمونه‌هایی با اندازهٔ یک انجام دهیم. به‌عبارت دیگر، نمونه فقط شامل یک مشاهده است. برخی از مثال‌های مربوط به چنین شرایطی عبارت است از:

۱- از فناوری بازرسی و اندازه‌گیری خودکار استفاده می‌شود و هر واحد تولیدشده یا خدمت ارائه شده تحلیل می‌شود. بنابراین، زیرگروه منطقی مفهومی نخواهد داشت.

۲- داده‌ها با سرعت نسبتاً آهسته‌ای فراهم می‌شود و جمع‌آوری اندازهٔ نمونه‌های بزرگ‌تر از یک برای تحلیل امکان‌پذیر نیست. فواصل طولانی بین مشاهدات نیز باعث ایجاد اشکال برای زیرگروه‌های منطقی می‌شود. این شرایط معمولاً هم در تولید و هم در خدمت مشاهده می‌شود.

۳- هزینهٔ تهیهٔ مشاهده بسیار گران است.

نمودار مشاهدات انفرادی
نموداری که مکان فرآیند را در طول زمان وقتی اندازهٔ زیرگروه $n=1$ است پایش می‌کند.

در چنین شرایطی، نمودار کنترل برای مشاهدات انفرادی مفید خواهد بود. به منظور تهیهٔ یک نمودار کنترل انفرادی از دامنهٔ متحرک (یا اختلاف بین دو مشاهدهٔ متوالی) به‌عنوان مبنایی برای برآورد تغییرپذیری فرآیند استفاده می‌شود. این امکان نیز وجود دارد که بتوان یک نمودار کنترل دامنهٔ متحرک تهیه کرد. روش تهیهٔ این نمودارهای کنترل در مثال زیر تشریح شده است:

محاسبهٔ حدود کنترل برای نمودار مشاهدات انفرادی

$$UCL = \bar{x} + ۳\frac{\bar{MR}}{d_۲} \qquad (۱۷-۵)$$

$$CL = \bar{x} \qquad (۱۸-۵)$$

$$LCL = \bar{x} - ۳\frac{\bar{MR}}{d_۲} \qquad (۱۹-۵)$$

در رابطه‌های فوق، مقدار $d_۲$ از جدول ضرایب نمودارهای کنترل متغیر در پیوست شش تعیین می‌شود.

مکان خطوط یک و دو انحراف معیار از رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \bar{x} \pm \frac{\bar{MR}}{d_۲}$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \bar{x} \pm ۲\frac{\bar{MR}}{d_۲}$$

محاسبهٔ حدود کنترل نمودار MR (دامنهٔ متحرک)

$$UCL = D_4 \overline{MR} \quad (۲۰-۵)$$

$$CL = \overline{MR} \quad (۲۱-۵)$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} \quad (۲۲-۵)$$

در رابطه‌های فوق، مقادیر D_4 و D_3 از جدول ضرایب نمودارهای کنترل متغیر در پیوست شش تعیین می‌شود.

نمودار دامنهٔ متحرک نموداری که تغییرپذیری بین زیرگروه‌های متوالی را در طول زمان پایش می‌کند. مکان خطوط یک و دو انحراف معیار از رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

$$\text{خطوط یک انحراف معیار} = \overline{MR} \pm \frac{D_4 \overline{MR} - \overline{MR}}{3}$$

$$\text{خطوط دو انحراف معیار} = \overline{MR} \pm 2\left(\frac{D_4 \overline{MR} - \overline{MR}}{3}\right)$$

مثال ۵-۴ تهیهٔ نمودارهای کنترل برای مشاهدات انفرادی

واحد رسیدگی به درخواست‌های وام یک بانک می‌خواهد هزینه‌های رسیدگی به درخواست‌های وام را پایش کند. کمّیت مورد نظر متوسط هزینه‌های هفتگی رسیدگی به درخواست‌های وام است که از طریق تقسیم هزینه‌های هفتگی کل بر تعداد وام‌های رسیدگی شده در طول هفته محاسبه می‌شود. هزینه‌های رسیدگی به درخواست‌های وام برای ۲۰ هفتهٔ اخیر در جدول ۵-۴ نشان داده شده است. نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی و دامنهٔ متحرک را برای این داده‌ها تهیه کنید.

جدول ۵-۴

هزینه‌های رسیدگی به درخواست‌های وام.

هفته	هزینه -x	دامنه متحرکMR
۱	۳۱۰	
۲	۲۸۸	۲۲
۳	۲۹۷	۹
۴	۲۹۸	۱
۵	۳۰۷	۹
۶	۳۰۳	۴
۷	۲۹۴	۹
۸	۲۹۷	۳
۹	۳۰۸	۱۱
۱۰	۳۰۶	۲
۱۱	۲۹۴	۱۲
۱۲	۲۹۹	۵
۱۳	۲۹۷	۲
۱۴	۲۹۹	۲
۱۵	۳۱۴	۱۵
۱۶	۲۹۵	۱۹
۱۷	۲۹۳	۲
۱۸	۳۰۶	۱۳
۱۹	۳۰۱	۵
۲۰	۳۰۴	۳
MR=۷/۷۹	x=۳۰۰/۵	

به منظور تهیهٔ یک نمودار کنترل برای مشاهدات انفرادی از میانگین ۳۰۰/۵ حاصل از ۲۰ مشاهده و میانگین دامنه‌های متحرک ۷/۷۹ حاصل از ۱۹ دامنه استفاده می‌شود.

به منظور تهیهٔ نمودار دامنهٔ متحرک به ازای n=۲ از $d_۲ = ۱/۱۲۸$، $D_۳ = ۰$ و $D_۴ = ۳/۲۶۷$ استفاده می‌شود. بنابراین، نمودارهای مشاهدات انفرادی و دامنهٔ متحرک دارای حدود کنترل زیر خواهند بود:

حدود کنترل	دامنهٔ متحرک	مشاهدات انفرادی
UCL	$D_۴\overline{MR} = ۳/۲۶۷(۷/۷۹) = ۲۵/۴۵$	$\bar{x} + ۳\frac{\overline{MR}}{d_۲} = ۳۰۰/۵ + ۳\frac{۷/۷۹}{۱/۱۲۸} = ۳۲۱/۲۲$
CL	$\overline{MR} = ۷/۷۹$	$\bar{x} = ۳۰۰/۵$
LCL	$D_۳\overline{MR} = ۰(۷/۷۹) = ۰$	$\bar{x} - ۳\frac{\overline{MR}}{d_۲} = ۳۰۰/۵ - ۳\frac{۷/۷۹}{۱/۱۲۸} = ۲۷۹/۷۸$

نمودارهای کنترل تهیه‌شده براساس نرم‌افزار Minitab در شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید هیچ نقطه‌ای خارج از کنترل رسم نشده است. تفسیر نمودار کنترل مشاهدات انفرادی بسیار شبیه به تفسیر نمودار کنترل عادی است. با این وجود، ممکن است در برخی مواقع یک نقطه بر روی هر دو نمودار مشاهدات انفرادی و دامنهٔ متحرک خارج از حدود کنترل رسم شود. غالباً چنین حالتی به دلیل مقادیر بزرگ x که منجر به مقادیر بزرگ دامنهٔ متحرک می‌شود نرخ می‌دهد. این رفتار برای نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی و دامنهٔ متحرک بسیار عادی است. احیاناً این رفتار بیانگر خارج از کنترل بودن میانگین است و لزوماً حاکی از خارج از کنترل بودن هر دو پارامتر میانگین و واریانس نیست.

شکل ۵-۱۴ نمودارهای کنترل برای الف) مشاهدات انفرادی هزینه ب) دامنهٔ متحرک.

توضیحات ارائه‌شده در این بخش مبتنی بر فرض نرمال بودن مشاهدات بود. عملکرد

نمودار کنترل شوهارت برای داده‌های انفرادی وقتی داده‌های فرآیند غیرنرمال است در مرجع (۱۸) مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مرجع از توزیع‌های مختلف که بیانگر داده‌های چوله و متقارن است استفاده شده است. تحلیل‌های انجام شده حاکی از تحت تأثیر قرار گرفتن شدید عملکرد نمودار کنترل حتی برای فاصله گرفتن متوسط توزیع از توزیع نرمال است. بنابراین، استفاده از نمودار احتمال نرمال برای بررسی فرض نرمال بودن مشاهدات قبل از استفاده از نمودار کنترل مشاهدات انفرادی پیشنهاد می‌شود. اگر فاصله گرفتن از فرض نرمال مشاهده می‌شود آن‌گاه استفاده از نمودار میانگین متحرک موزون‌نمایی که نسبت به فرض نرمال بودن مشاهدات غیرحساس است پیشنهاد می‌شود (در مورد این نمودار در این فصل توضیح داده خواهد شد).

۵-۵ خلاصه‌ای از نمودارهای کنترل $\bar{X}$، R و S و مشاهدات انفرادی

در این بخش به منظور ایجاد سهولت در انجام محاسبات، کلیهٔ رابطه‌های مربوط به پارامترهای نمودارهای کنترل اصلی که تا به حال مطرح شد به‌طور خلاصه ارائه شده است. جدول ۵-۵ رابطه‌های مورد نیاز برای تهیهٔ نمودارهای کنترل $\bar{x}$، R و S را وقتی مقادیر استانداردی برای μ و σ وجود دارد نشان می‌دهد. اگر مقادیر استانداردی برای μ و σ وجود نداشته باشد و مجبور باشیم حدود کنترل آزمایشی را بر اساس تحلیل داده‌های گذشته تعیین کنیم آنگاه می‌توان رابطه‌های ارائه شده در جدول ۵-۶ را استفاده کرد. مقادیر مربوط به تمامی ثابت‌های استفاده شده در نمودارهای کنترل در پیوست شش ارائه شده است.

جدول ۵-۵

رابطه‌های مربوط به نمودارهای کنترل، مقادیر استاندارد معلوم.

نمودار	خط مرکز	حدود کنترل
$\bar{x}$ (μ و σ معلوم)	μ	$\mu \pm A\sigma$
R (σ معلوم)	$d_2\sigma$	$\text{UCL} = D_2\sigma, \text{LCL} = D_1\sigma$
S (σ معلوم)	$c_4\sigma$	$\text{UCL} = B_6\sigma, \text{LCL} = B_5\sigma$

جدول ۵-۶

رابطه‌های مربوط به نمودارهای کنترل مبتنی بر داده‌های گذشته، مقادیر استاندارد نامعلوم.

نمودار	خط مرکز	حدود کنترل
$\bar{x}$ (استفاده از R)	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_2\bar{R}$
$\bar{x}$ (استفاده از s)	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_3 S$
R	$\bar{R}$	$\text{UCL} = D_4\bar{R}, \text{LCL} = D_3\bar{R}$
S	$\bar{s}$	$\text{UCL} = B_4\bar{s}, \text{LCL} = B_3\bar{s}$

۵-۶ کاربردهای نمودارهای کنترل $\bar{X}$، R، S و مشاهدات انفرادی

کاربردهای جالب متعددی برای نمودارهای کنترل متغیر وجود دارد. در این بخش به منظور ایجاد درک بهتر از نحوهٔ استفاده از نمودارهای کنترل و همچنین کاربردهای آتی آنها چند مثال ارائه می‌شود.

مثال ۵-۵ بهبود فرآیندهای تأمین‌کنندگان با استفاده از نمودارهای کنترل

یک شرکت بزرگ هواپیماسازی، قطعه‌ای از هواپیما را از دو تأمین‌کننده خریداری می‌کند. تغییرات زیادی در یکی از ابعاد کلیدی این قطعات مشاهده می‌شود. وجود این تغییرات باعث می‌شود که نتوان قطعهٔ مورد نظر را در مونتاژ نهایی محصول استفاده کرد. بروز این مشکل همیشه هزینه‌های سنگین دوباره‌کاری را به همراه دارد و بعضی مواقع نیز باعث تأخیر در برنامهٔ مونتاژ هواپیما می‌شود.

تیمی که مسئول دریافت این قطعات است به منظور بهبود وضعیت موجود، این قطعات را مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار می‌دهد. آنها از نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R برای کنترل مشخصهٔ کلیدی قطعهٔ خریداری‌شده از دو تأمین‌کننده استفاده می‌کنند. آنها نتیجه‌گیری کردند که نسبت اقلام معیوب تولید شده توسط هر دو تأمین‌کننده به دلایل مختلف یکسان بوده است. تأمین‌کنندهٔ A می‌توانست در حالی که فرآیند تولید او در حالت خارج از کنترل آماری قرار دارد قطعات را طوری تولید کند که میانگین مشخصه مورد نظر با اندازهٔ درخواست شده برابر باشد. تأمین‌کنندهٔ B می‌توانست فرآیند را به خوبی تحت کنترل آماری قرار دهد و قطعاتی تولید کند که از تغییرپذیری نسبتاً کمتری در مقایسه با قطعات تولیدشده توسط تأمین‌کنندهٔ A برخوردار باشد. با این حال، فرآیند او در جایی متمرکز بود که با مقدار اسمی مشخصهٔ مورد نظر تفاوت زیادی داشت به‌طوری‌که بسیاری از قطعات تولیدشده خارج از حدود مشخصات قرار می‌گرفت.

وضعیت موجود باعث می‌شد تا بخش تدارکات شرکت هواپیماسازی سعی در متقاعد ساختن تأمین‌کنندهٔ A برای استفاده از روش‌های SPC نماید تا فرآیند او به‌طور مستمر بهبود یابد. همچنین بخش تدارکات تصمیم گرفت که تأمین‌کنندهٔ B را یاری کند تا علت عدم تمرکز صحیح فرآیند او شناسایی شود. مشکل تأمین‌کنندهٔ B نهایتاً استفاده از کد اشتباهی یک دستگاه کنترل عددی شناسایی شد و استفاده از SPC در فرآیند تأمین‌کنندهٔ A طی مدت شش ماه باعث کاهش تغییرپذیری شد. این فعالیت‌ها منجر به حذف کامل مشکلات موجود در رابطه با این قطعات شد.

مثال ۵-۶ استفاده از SPC برای خرید یک تجهیز

مقاله‌ای که در نشریه مهندسی ساخت[1] (۱۹۸۹) تحت‌عنوان "انتخاب ایده‌آل‌ترین برای شرکت دییر" منتشر گردید روش‌های SPC که توسط شرکت جان دییر[2] برای انتخاب دستگاه‌های تولید به‌کار گرفته می‌شد را توضیح می‌داد. وقتی‌که یک تجهیز خریداری می‌شود قبل از حمل به کارخانه باید اثبات شود که این دستگاه می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی آزمایش کارایی را پشت سر گذارد. این آزمایش نشان می‌دهد که آیا تجهیز خریداری شده قادر است معیارهای عملکردی مورد نظر را تأمین کند یا خیر. این روش در مورد یک دستگاه ارّهٔ تسمه‌ای قابل برنامه‌ریزی استفاده شد. شرکت عرضه‌کننده این دستگاه تعداد ۴۶ قطعه را به وسیله دستگاه مورد نظر قطع و اطلاعات حاصل را به وسیله نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R برای اثبات وجود شرایط کنترل آماری و انجام تحلیل قابلیت فرآیند استفاده کرد. ارّه ثابت کرد که قابلیت لازم را دارد و شرکت عرضه‌کننده نیز چیزهای زیادی در مورد عملکرد دستگاه خود یاد گرفت. در بسیاری از شرکت‌ها، آزمون‌های کنترل و قابلیت (مانند مثال فوق) برای انتخاب دستگاه‌ها و تجهیزات استفاده می‌شود.

---

1. manufacturing engineering
2. John Deere

مثال ۵-۷ اجرای SPC در یک کارگاه تولیدات کوتاه مدت

یکی از جنبه‌های جالب دیگر SPC، استفادهٔ موفقیت‌آمیز نمودارهای کنترل در محیط یک کارگاه تولیدات کوتاه مدت است. اغلب این کارگاه‌ها دارای تولیدات کوتاه مدت و بیشتر قطعات تولید شده در این کارگاه‌ها کمتر از ۵۰ عدد هستند. در چنین مواردی، استفاده از نمودارهای کنترل متداول، به دلیل کافی نبودن تعداد محصولات تولیدشده برای محاسبهٔ حدود کنترل، کاری چالش برانگیز است.

این مشکل را معمولاً می‌توان به راحتی برطرف کرد. از آنجایی‌که روش‌های کنترل فرآیند آماری معمولاً برای یک مشخصهٔ محصول استفاده می‌شود می‌توان با تمرکز بر مشخصهٔ فرآیند در هر محصول تولید شده، روش‌های SPC را به محیط‌های کارگاهی تعمیم داد. به‌عنوان مثال، عملیات سوراخ‌کاری را در یک کارگاه تولیدات کوتاه مدت در نظر گیرید. اپراتور سوراخ‌هایی به اندازه‌های متفاوت در قطعات تولید شده ایجاد می‌کند. بعضی قطعات فقط به یک سوراخ و بقیه به بیش از یک سوراخ با اندازه‌های مختلف نیاز دارند. تهیهٔ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R برای کنترل قطر سوراخ به علت تغییرات بالقوه‌ای که قطعات می‌توانند داشته باشند تقریباً غیرممکن است. در چنین شرایطی روش صحیح، تمرکز بر مشخصهٔ مورد نظر در فرآیند است. در مثال فوق، تولیدکننده می‌خواهد سوراخ‌هایی با قطر مناسب در قطعات ایجاد کند. بنابراین، باید سعی شود که میزان تغییرات در قطر سوراخ به حداقل ممکن رسد. این کار را می‌توان از طریق نمودار کنترلی که انحراف بین قطر واقعی سوراخ و قطر اسمی آن را در نظر می‌گیرد کنترل کرد. با توجه به نرخ تولید فرآیند و تنوع قطعات تولید شده می‌توان از یک نمودار کنترل مشاهدات انفرادی و یک نمودار کنترل دامنهٔ متحرک یا نمودارهای کنترل متداول $\bar{X}$ و R استفاده کرد. در این‌گونه کاربردها، علامت‌گذاری شروع هر انباشته یا محموله بر روی نمودار کنترل از اهمیت خاصی برخوردار است. اگر اندازه، محل و یا تعداد سوراخ‌های ایجاد شده در یک قطعه بر روی فرآیند تأثیری داشته باشد آن‌گاه این علامت‌گذاری کمک می‌کند تا بتوان به راحتی روند ایجاد شده در نمودارهای کنترل را تفسیر کرد.

مثال ۵-۸ کاربرد نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R در سازمان‌های خدماتی تراکنشی

نمودارهای کنترل متغیر از کاربردهای متعددی در محیط‌های تولیدی و غیرتولیدی برخوردار است. یک نظریهٔ متداول ولی اشتباه در مورد این نمودارهای کنترل کاربردی نبودن آنها در محیط‌های غیرتولیدی به علت "متفاوت بودن محصول" است. در حقیقت، اگر بتوان اندازه‌گیری‌هایی در مورد محصول به‌دست آورد که بیانگر کیفیت، کار یا عملکرد آن باشد آن‌گاه نوع محصول دیگر اثری بر قابلیت کاربرد نمودارهای کنترل نخواهد داشت. با این حال دو اختلاف بین محیط‌های تولیدی و خدماتی/تراکنشی وجود دارد: (۱) در محیط‌های غیرتولیدی حدود مشخصات به ندرت برای محصول در نظر گرفته می‌شود و غالباً قابلیت فرآیند اینجا تعریفی ندارد و (۲) انتخاب متغیر یا متغیرهای مناسبی برای اندازه‌گیری نیاز به قوهٔ تصور بیشتری دارد.

یکی از کاربردهای نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R در محیط‌های غیرتولیدی استفاده از آنها توسط یک گروه مالی برای کاهش زمان پرداخت حساب‌های قابل پرداخت است. بخشی از شرکت که با این مشکل مواجه شده بود اخیراً افزایش عملیات بازرگانی داشته و در کنار این افزایش، زمان مورد نیاز تا پرداخت صورت حساب‌ها نیز با افزایش تدریجی مواجه

شده بود. در نتیجه، بسیاری از تأمین‌کنندگان هزینهٔ مربوط به فروش محصولات خود را بعد از مدت زمان معمول (۳۰ روز) دریافت می‌کردند و شرکت تخفیف‌های ویژه‌ای که از طرف تأمین‌کنندگان برای پرداخت به موقع در نظر گرفته بود را از دست می‌داد. گروه بهبود کیفیت تخصیص داده شده به این پروژه، زمان مورد نیاز تا آماده شدن چک را به‌عنوان متغیر برای استفاده در تحلیل نمودار کنترل در نظر گرفت. هر روز، پنج چک انتخاب و میانگین و دامنهٔ زمان تا آماده شدن چک‌ها بر روی نمودارهای $\bar{x}$ و R رسم شد. گرچه این مشکل قبلاً توسط مدیریت و پرسنل عملیات بررسی شده بود ولی استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و R سبب بهبودهای قابل ملاحظه‌ای شد. در عرض مدت نه ماه، بخش مالی شرکت درصد صورت حساب‌هایی که دیر پرداخت می‌شد را از حدود ۹۰٪ به چیزی کمتر از ۳۰٪ کاهش داد و در نتیجه شرکت مشمول تخفیفات ویژه گردید و صرفه‌جویی‌های قابل ملاحظه‌ای از این طریق محقق شد.

۵-۷ نمودارهای کنترل جمع تجمعی

نمودارهای کنترل ارائه‌شده در بخش‌های قبل، نمودارهای اولیهٔ SPC محسوب می‌شوند. این نمودارها در مراحل اولیهٔ استقرار SPC زمانی که فرآیند احیاناً در شرایط خارج از کنترل به سر می‌برد و حضور انحرافات با دلیل باعث ایجاد تغییرات بزرگ در پارامترهای مورد نظر می‌شود بسیار مفید است. همچنین این نمودارها از منظر اقدامات تشخیصی نظیر تحلیل روند بر روی نمودارها که منجر به شناسایی نوع انحراف بادلیل و تحت کنترل در آوردن یک فرآیند سرکش می‌شود بسیار مفید هستند.

یکی از ضعف‌های اصلی این نمودارهای کنترل استفاده از اطلاعات موجود در مشاهدهٔ آخرین نمونه و نادیده گرفتن اطلاعات موجود در زنجیرهٔ مشاهدات قبلی است. این ویژگی باعث حساسیت کم نمودار نسبت به تغییرات کوچک (مثلاً $1/5\sigma$ و کمتر) در فرآیند می‌شود؛ مگر اینکه از هر چهار قانون وسترن الکتریک استفاده شود. این کار باعث می‌شود که این نمودارها کمتر برای پایش یک فرآیند تحت کنترل، زمانی که برآوردهای قابل اطمینان برای میانگین و انحراف معیار فرآیند موجود است و انحرافات بادلیل لزوماً منجر به تغییرات با انحرافات بزرگ در فرآیند نمی‌شود، مفید باشند.

دو جایگزین بسیار مؤثر برای نمودار کنترل شوهارت که می‌توان از آنها در صورت تمایل به بررسی تغییرات کوچک در فرآیند استفاده کرد، عبارتند از: نمودار کنترل جمع تجمعی (CUSUM) و نمودار کنترل میانگین متحرک موزون‌نمایی (EWMA) که در این بخش معرفی می‌شوند.

همان‌گونه که از نام نمودار مشخص است، نمودار کنترل جمع‌تجمعی اختلاف و مشاهده را از برآورد پارامتر فرآیند محاسبه و مجموع آنها را تعیین می‌کند. اگر فرآیند به‌طور تصادفی و بدون انعکاس، تغییری در مقدار پارامتر عمل کند. آن‌گاه باید انتظار داشت که مقادیر بالای میانگین و مقادیر پایین میانگین یکدیگر را خنثی و جمع تجمعی صفر را در طول زمان نتیجه دهند. افزایش یا کاهش تدریجی جمع تجمعی حاکی از وجود این روند است.

نمودار CUSUM
یک نمودار کنترل با قابلیت شناسایی تغییرات کوچک در فرایند این نمودار از طریق محاسبهٔ جمع تجمعی کار می‌کند.

۳۰ دادهٔ ارائه‌شده در جدول ۵-۷ را در نظر بگیرید. مقادیر ۲۰-۱ از یک توزیع نرمال با میانگین ۱۰ و انحراف معیار ۱ تهیه شده‌اند. بنابراین، باید انتظار داشت که اغلب مشاهدات در ناحیهٔ ۷ و ۱۳ (با در نظر گرفتن دامنهٔ ۳ انحراف معیار) قرار گیرند. مقادیر ۳۰-۲۱ از یک توزیع نرمال با میانگین ۱۱ و انحراف معیار ۱ تهیه شده‌اند. بنابراین، باید انتظار داشت که اغلب

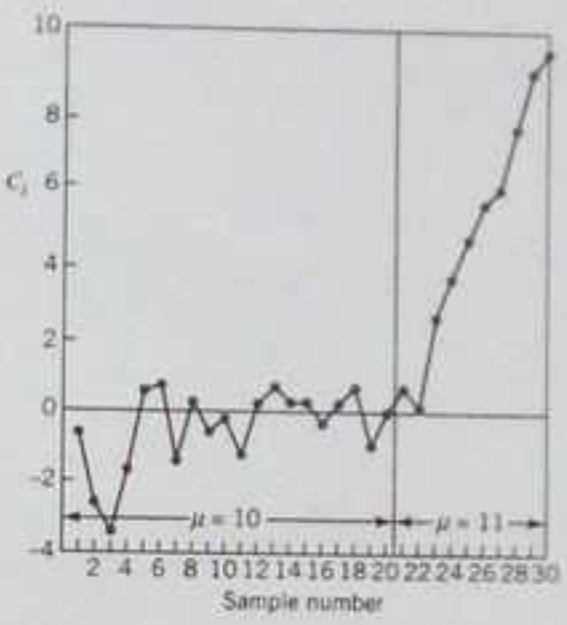
مشاهدات در ناحیهٔ ۸ و ۱۴ قرار گیرند. شناسایی این تغییر کوچک به وسیلهٔ نمودارهای کنترل متداول شاید دشوار باشد. با این وجود، اگر انحراف‌های تجمعی از مبدأ ۱۰ را در نظر گیریم آن‌گاه می‌تواند به وضوح وجود چنین تغییری را مشاهده کرد.

نمودار جمع‌تجمعی، نموداری است که می تواند تغییرات کوچک در فرآیند را شناسایی کند. این نمودار براساس محاسبهٔ یک جمع تجمعی عمل می‌کند.

جدول ۵-۷

داده‌های مربوط به محاسبات جمع تجمعی.

نمونه	مقدار دادهٔ i	مقدار دادهٔ $i-10$	جمع تجمعی
۱	۹/۴۵	-۰/۵۵	-۰/۵۵
۲	۷/۹۹	-۲/۰۱	-۲/۵۶
۳	۹/۲۹	-۰/۷۱	-۳/۲۷
۴	۱۱/۶۶	۱/۶۶	-۱/۶۱
۵	۱۲/۱۶	۲/۱۶	۰/۵۵
۶	۱۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۷۳
۷	۸/۰۴	-۱/۹۶	-۱/۲۳
۸	۱۱/۴۶	۱/۴۶	۰/۲۳
۹	۹/۲۰	-۰/۸۰	-۰/۵۷
۱۰	۱۰/۳۴	۰/۳۴	-۰/۲۳
۱۱	۹/۰۳	-۰/۹۷	-۱/۲۰
۱۲	۱۱/۴۷	۱/۴۷	۰/۲۷
۱۳	۱۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۷۸
۱۴	۹/۴۰	-۰/۶۰	۰/۱۸
۱۵	۱۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۲۶
۱۶	۹/۳۷	-۰/۶۳	-۰/۳۷
۱۷	۱۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۲۵
۱۸	۱۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۵۶
۱۹	۸/۵۲	-۱/۴۸	-۰/۹۲
۲۰	۱۰/۸۴	۰/۸۴	-۰/۰۸
۲۱	۱۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۲
۲۲	۹/۳۳	-۰/۶۷	۰/۱۵
۲۳	۱۲/۲۹	۲/۲۹	۲/۴۴
۲۴	۱۱/۵۰	۱/۵۰	۳/۹۴
۲۵	۱۰/۶۰	۰/۶۰	۴/۵۴
۲۶	۱۱/۰۸	۱/۰۸	۵/۶۲
۲۷	۱۰/۳۸	۰/۳۸	۶/۰۰
۲۸	۱۱/۶۲	۱/۶۲	۷/۶۲
۲۹	۱۱/۳۱	۱/۳۱	۸/۹۳
۳۰	۱۰/۵۲	۰/۵۲	۹/۴۵



شکل ۵-۱۵ نمودار جمع تجمعی برای جدول ۵-۷.

این نتایج در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که در مشاهدات ۲۰-۱ مشاهده می‌شود، مقدار جمع تجمعی اولیه دارای یک روند تصادفی یا میانگین صفر است. این بدین معنا است که فرآیند تحت کنترل است. در نقطهٔ ۲۱ (زمانی‌که میانگین از ۱۰ به ۱۱ تغییر می‌کند) یک انحراف بزرگ در روند قبلی مشاهده می‌شود. یک روند صعودی حاکی از تغییر در میانگین فرآیند است.

نمودار ارائه‌شده در شکل ۵-۱۵ یک نمودار کنترل نیست، ولی می‌توان آن را به یک نمودار کنترل تعمیم داد. نمودار جمع تجمعی متداول معمولاً به‌صورت جدولی است که محاسبات مربوط به انحراف‌های بالا و پایین میانگین در آن منعکس شده است، ارائه می‌شود. در انجام این محاسبات از یک ضریب کمکی (k) که مقدار آن برابر نصف فاصلهٔ بین مقدار هدف و تغییر در میانگین که علاقمند به شناسایی آن هستیم جهت ایجاد حساسیت در نمودار استفاده می‌شود. در این مثال، k (به دلیل اینکه می‌خواهیم تغییری به مقدار یک واحد از میانگین را شناسایی کنیم) برابر ۲/(۱۰-۱۱) و یا ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

انحراف‌های به سمت بالا برای انحراف‌های بالای میانگین+ ضریب کمکی یا ۱۰/۵ محاسبه می‌شود. این مقادیر تجمعی فقط برای مقادیر بزرگ‌تر از صفر گزارش می‌شود. انحراف‌های به سمت پایین برای انحراف‌های زیر میانگین- ضریب کمکی یا ۹/۵ محاسبه می‌شود. این مقادیر تجمعی فقط برای مقادیر کوچک‌تر از صفر گزارش می‌شود. اگر انحراف‌های چندگانه (به سمت بالا یا پایین) مشاهده شود تعداد آنها شمارش می‌شود. این کار به شناسایی زمان ایجاد حالت خارج از کنترل کمک می‌کند.

محاسبات مربوط به چهار مشاهدهٔ اول در زیر تشریح می‌شود:

۹/۴۵ = مقدار دادهٔ نمونهٔ ۱

۱/۰۵- =۵ /۱۰-۹/۴۵ = انحراف به سمت بالا

(این مقدار صفر گزارش می‌شود. انحراف‌های به سمت بالا فقط زمانی گزارش می‌شوند که بزرگ‌تر از صفر باشند)

۰/۰۵ = ۹/۵-۹/۴۵ = انحراف به سمت پایین

(این مقدار ۰/۰۵ گزارش می‌شود. انحراف‌های به سمت پایین فقط زمانی گزارش می‌شوند که بزرگ‌تر از صفر باشند)

۷/۹۹ = مقدار دادهٔ نمونهٔ ۲

۲/۵۱- = ۷/۹۹-۱۰/۵ = انحراف به سمت بالا

۲/۵- = (۲/۵۱-)+ ۰ = انحراف تجمعی به سمت بالا

این مقدار صفر گزارش می‌شود.

۱/۵۱ = ۹/۵-۷/۹۹ = انحراف به سمت پایین

۱/۵۶ = ۰/۰۵+۱/۵۱ = انحراف تجمعی به سمت پایین

۹/۲۹ = مقدار دادهٔ نمونهٔ ۳

۱/۲۱- =۵ /۱۰-۹/۲۹ = انحراف به سمت بالا

۱/۲۱- = (۱/۲۱-)+ ۰= انحراف تجمعی به سمت بالا

این مقدار صفر گزارش می‌شود.

۰/۲۱ = ۹/۵-۹/۲۹ = انحراف به سمت پایین

۱/۷۷ = ۱/۵۶+۰/۲۱ = انحراف تجمعی به سمت پایین

۱۱/۶۶ = مقدار دادهٔ نمونهٔ ۴

۱/۱۶ = ۱۰/۵-۱۱/۶۶ = انحراف به سمت بالا

۰+۱/۱۶=۱/۱۶ = انحراف تجمعی به سمت بالا

۲/۱۶- =۹/۵-۱۱/۶۶ = انحراف به سمت پایین

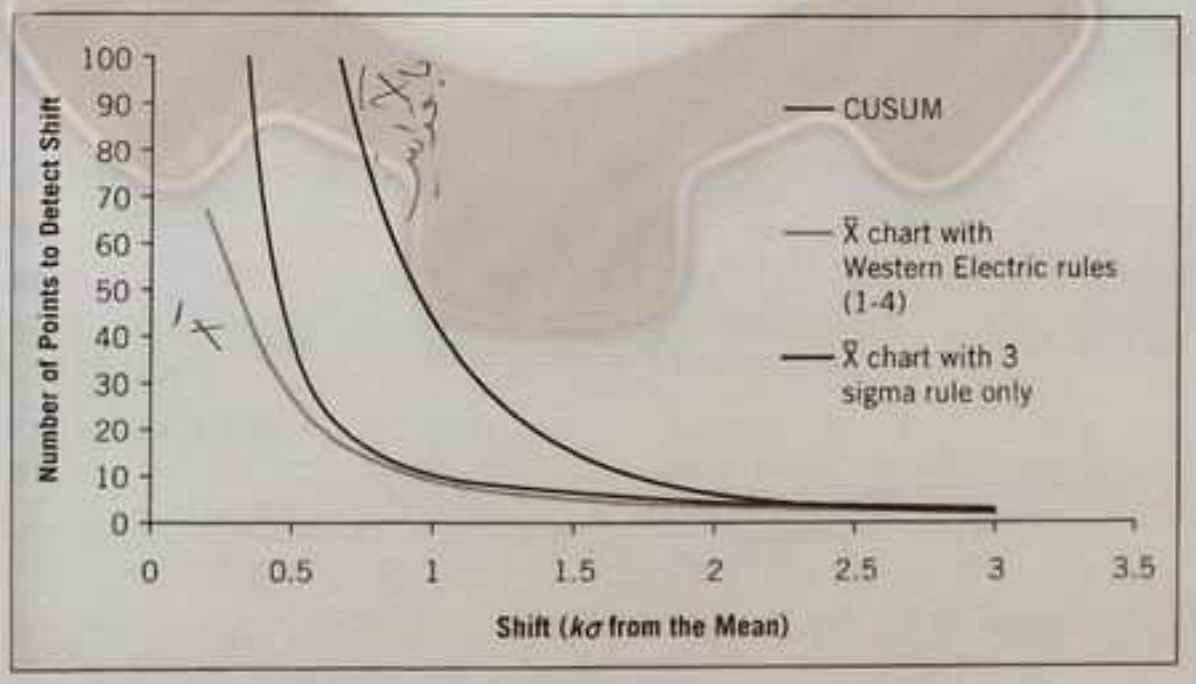
۰/۳۹- = (۲/۱۶-)+۱/۷۷ = انحراف تجمعی به سمت پایین

این مقدار صفر گزارش می‌شود.

اگر مقدار جمع تجمعی تقریباً از پنج برابر انحراف معیار فرآیند بیشتر شود آن‌گاه فرآیند خارج از کنترل اعلام می‌شود. از آنجایی‌که انحراف معیار یک است لذا فرآیند در صورتی که مقدار جمع تجمعی از ۵ بیشتر شود خارج از کنترل اعلام خواهد شد. باید توجه داشت که آزمون‌های تسلسل و سایر قوانین حساس‌سازی نظیر قوانین منطقه‌ای را نمی‌توان با اطمینان خاطر در مورد نمودار جمع تجمعی به کار برد. محاسبات کامل مربوط به این مثال در جدول ۵-۹ ارائه شده است.

گرچه در قسمت بالا روش تهیهٔ جمع تجمعی جدولی برای حالت مشاهدات انفرادی (n=۱) ارائه شد ولی این امکان وجود دارد که بتوان این روش را به میانگین زیرگروه‌های منطقی با اندازهٔ نمونه‌های n>۱ نیز تعمیم داد.

در این صورت کافی است مقادیر انفرادی با میانگین زیرگروه‌ها و حد نمودار کنترل که به‌صورت پنج برابر انحراف معیار محاسبه می‌شد با پنج برابر انحراف معیار مشاهدهٔ انفرادی تقسیم بر جذر اندازهٔ زیرگروه جایگزین شود.



شکل ۵-۱۶ عملکرد نمودار CUSUM.

جدول ۵-۸

محاسبات جدولی CUSUM.

نمونه	مقدار داده	انحراف x-10.5	اختلاف تجمعی	تعداد	انحراف x-9.5	اختلاف تجمعی	تعداد
۱	۹/۴۵	-۱/۰۵	۰		-۰/۰۵	-۰/۰۵	۱
۲	۷/۹۹	-۲/۵۱	۰		-۰/۵۱	-۱/۵۶	۲
۳	۹/۲۹	-۱/۲۱	۰		-۰/۲۱	-۱/۷۷	۳
۴	۱۱/۶۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱	۰/۱۶	۰	
۵	۱۲/۱۶	۱/۶۶	۳/۸۲	۲	۲/۶۶	۰	
۶	۱۰/۱۸	-۰/۳۲	۳/۵	۳	۰/۶۸	۰	
۷	۸/۰۴	-۲/۴۶	۰/۰۴	۴	-۱/۴۶	-۱/۴۶	۱
۸	۱۱/۴۶	۰/۹۶	۱	۵	۰/۹۶	۰	
۹	۹/۲۰	-۱/۳۰	۰		-۰/۳۰	-۰/۳	۱
۱۰	۱۰/۳۴	-۰/۱۶	۰		۰/۸۴	۰	
۱۱	۹/۰۳	-۱/۴۷	۰		-۰/۴۷	-۰/۴۷	۱
۱۲	۱۱/۴۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۱	۱/۹۷	۰	
۱۳	۱۰/۵۱	۰/۰۱	۰/۹۸	۲	۱/۰۱	۰	
۱۴	۹/۴۰	-۱/۱۰	۰		-۱/۱۰	-۰/۱	۱
۱۵	۱۰/۰۸	-۰/۴۲	۰		۰/۵۸	۰	
۱۶	۹/۳۷	-۱/۱۳	۰		-۰/۱۳	-۰/۱۳	۱
۱۷	۱۰/۶۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۱	۰/۱۲	۰	
۱۸	۱۰/۳۱	-۰/۱۹	۰		۰/۸۱	۰	
۱۹	۸/۵۲	-۰/۹۸	۰		-۰/۹۸	-۰/۹۸	۱
۲۰	۱۰/۸۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۱	۱/۳۴	۰	
۲۱	۱۰/۹۰	۰/۴۰	۰/۷۴	۲	۱/۴۰	۰	
۲۲	۹/۳۳	-۱/۱۷	۰		-۰/۱۷	-۰/۱۷	۱
۲۳	۱۲/۲۹	۱/۷۹	۱/۷۹	۱	۲/۷۹	۰	
۲۴	۱۱/۵۰	۱/۰۰	۲/۷۹	۲	۲/۰۰	۰	
۲۵	۱۰/۶۰	۰/۱	۲/۸۹	۳	۱/۱۰	۰	
۲۶	۱۱/۰۸	۰/۵۸	۳/۴۷	۴	۱/۵۸	۰	
۲۷	۱۰/۳۸	-۰/۱۲	۳/۳۵	۵	۰/۸۸	۰	
۲۸	۱۱/۶۲	۱/۱۲	۴/۴۷	۶	۲/۱۲	۰	
۲۹	۱۱/۳۱	۰/۸۱	۵/۲۸	۷	۱/۸۱	۰	
۳۰	۱۰/۵۲	۰/۰۲	۵/۳	۸	۱/۰۲	۰	

با این وجود باید در مورد این انتخاب بسیار دقت شود. در نمودارهای کنترل شوهارت استفاده از میانگین زیرگروه باعث بهبود قابل توجهی در عملکرد نمودار می‌شود ولی این موضوع لزوماً همیشه در مورد نمودار CUSUM صادق نیست. به‌عنوان مثال، عملکرد یک نمودار CUSUM که از اندازهٔ نمونهٔ $n=1$ در هر نیم ساعت استفاده می‌کنند به مراتب بهتر از یک نمودار CUSUM که از اندازهٔ نمونهٔ $n=5$ هر ۲/۵ ساعت استفاده می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید هر دو نمودار در کل از یک حجم نمونه استفاده می‌کنند. بنابراین، فقط زمانی استفاده از نمودار CUSUM با $n>1$ مناسب خواهد بود که یک توجیح اقتصادی بادلیل منطقی خوبی برای این کار وجود داشته باشد.

عملکرد نمودار CUSUM در مقایسه با نمودار $\bar{x}$ و بدون قوانین وسترن الکتریک در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید نمودار CUSUM به مراتب بهتر از نمودار $\bar{x}$ بدون قوانین وسترن الکتریک عمل می‌کند. عملکرد نمودار CUSUM برای تغییرات کوچک‌تر از یک انحراف معیار قدری بدتر از نمودار $\bar{x}$ با قوانین وسترن الکتریک است. با این وجود، نرخ زنگ خطرهای اشتباهی نمودار CUSUM به مراتب کمتر است (۱ در ۴۶۵ برای نمودار CUSUM در مقایسه با ۱ در ۹۲ برای نمودار $\bar{x}$ با قوانین وسترن الکتریک).

۵-۸ نمودارهای کنترل میانگین متحرک موزون‌نمایی

EWMA
یک نمودار کنترل مفید برای شناسایی تغییرات کوچک در فرایند با کنار تا داده‌های غیرنرمال.

اگر علاقمند به شناسایی تغییرات کوچک در فرآیند و یا با داده‌های غیرنرمال سروکار داشته باشیم، نمودار کنترل میانگین متحرک موزون‌نمایی (EWMA) نیز می‌تواند جایگزین مناسبی برای نمودار کنترل شوهارت باشد. نمودار EWMA تقریباً یک روش غیرپارامتری (توزیع آزاد) محسوب می‌شود که می‌توان از آن در شرایط مختلف استفاده کرد.

عملکرد نمودار کنترل EWMA تقریباً معادل نمودار کنترل جمع تجمعی است و از جهاتی تهیه و استفاده از آن نیز ساده‌تر است. نمودار EWMA همانند نمودار CUSUM معمولاً با مشاهدات انفرادی استفاده می‌شود ولی همانند نمودار CUSUM می‌توان آن را به سادگی با جایگزین کردن مشاهدات انفرادی x_i با میانگین زیرگروه $\bar{x}_i$ و انحراف معیار σ با $\sigma/\sqrt{n}$ به حالت نمونه بیش از یک تعمیم داد.

در نمودار EWMA به هر مشاهدهٔ وزنی تخصیص داده می‌شود به‌طوری که مشاهدهٔ اخیر وزن بیشتری نسبت به مشاهدات قبل می‌گیرد. وزن تخصیص داده شده به وسیلهٔ پارامتر λ که مقداری بین ۰/۰۵ و ۰/۲۵ دارد کنترل می‌شود. به علاوه، یک ضریب L پهنای حدود کنترل را کنترل می‌کند. حدود کنترل نمودار EWMA از رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

نمودار کنترل EWMA

$$UCL = \mu + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]} \qquad (۲۳-۵)$$

$$CL = \mu \qquad (۲۴-۵)$$

$$UCL = \mu - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]} \qquad (۲۵-۵)$$

به‌طورکلی، انتخاب مقادیر λ بین ۰/۰۵ و ۰/۲۵ در عمل مناسب است ولی مقادیر $\lambda = ۰/۰۵$، $\lambda = ۰/۱۰$ و $\lambda = ۰/۲۰$ انتخاب‌های متداولی هستند. یک قانون سرانگشتی خاکی از آن است که از مقادیر کوچک λ برای شناسایی تغییرات کوچک استفاده شود. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مقدار $L = ۳$ (حدود سه انحراف معیار متداول) مخصوصاً در کنار مقدار λ بزرگ انتخاب مناسبی است. اگر مقدار λ کوچک باشد (مثلاً $\lambda \leq ۰/۱$) انگاه مناسب است که با انتخاب مقدار L بین ۲/۶ و ۲/۸ پهنای حدود کنترل را کاهش دهیم. جزئیات این موضوع در جدول ۵-۹ که تعداد نقاط انتظاری تا شناسایی یک تغییر در میانگین را نشان می‌دهد ارائه شده است.

جدول ۵-۹

تعداد نقاط تا شناسایی یک تغییر در میانگین به وسیلهٔ نمودار EWMA (مرجع (xx)).

	L = ۰/۰۵۴	L = ۲/۹۹۸	L = ۲/۹۶۲	L = ۲/۸۱۴	L = ۲/۶۱۵
	$\lambda = ۰/۴$	$\lambda = ۰/۲۵$	$\lambda = ۰/۲$	$\lambda = ۰/۱$	$\lambda = ۰/۰۵$
۰/۲۵	۲۲۴	۱۷۰	۱۵۰	۱۰۶	۸۴/۱
۰/۵	۷۱/۲	۴۸/۲	۴۱/۸	۳۱/۳	۲۸/۸
۰/۷۵	۲۸/۴	۲۰/۱	۱۸/۲	۱۵/۹	۱۶/۴
۱	۱۴/۳	۱۱/۱	۱۰/۵	۱۰/۳	۱۱/۴
۱/۵	۵/۹	۵/۵	۵/۵	۶/۱	۷/۱
۲	۳/۵	۳/۶	۳/۷	۴/۴	۵/۲
۲/۵	۲/۵	۲/۷	۲/۹	۳/۴	۳/۵
۳	۲	۲/۳	۲/۴	۲/۹	۳/۵
۴	۱/۴	۱/۷	۱/۹	۲/۲	۲/۷

یک نگرانی بالقوه در مورد نمودار EWMA با مقدار λ کوچک وجود دارد. اگر مقدار EWMA در یک طرف خط مرکز باشد و تغییری در میانگین در طرف مقابل آن ظاهر شود آنگاه چندین دوره طول می‌کشد تا EWMA نسبت به این تغییر از خود واکنش نشان دهد. علت آن است که مقدار کوچک λ وزن زیادی به مشاهدهٔ جدید نمی‌دهد. این ویژگی را اثر اینرسی[1] می‌نامند که می‌تواند اثربخشی EWMA نسبت به شناسایی تغییر را کاهش دهد.

مثال ۵-۹ تهیهٔ یک نمودار EWMA

با استفاده از داده‌های جدول ۵-۷، $\lambda = ۰/۱۰$ و $L = ۲/۷$ یک نمودار کنترل EWMA تهیه کنید. این ترکیب مقادیر λ و L باعث می‌شود تا نمودار EWMA عملکردی شبیه به نمودار CUSUM قبل داشته باشد.

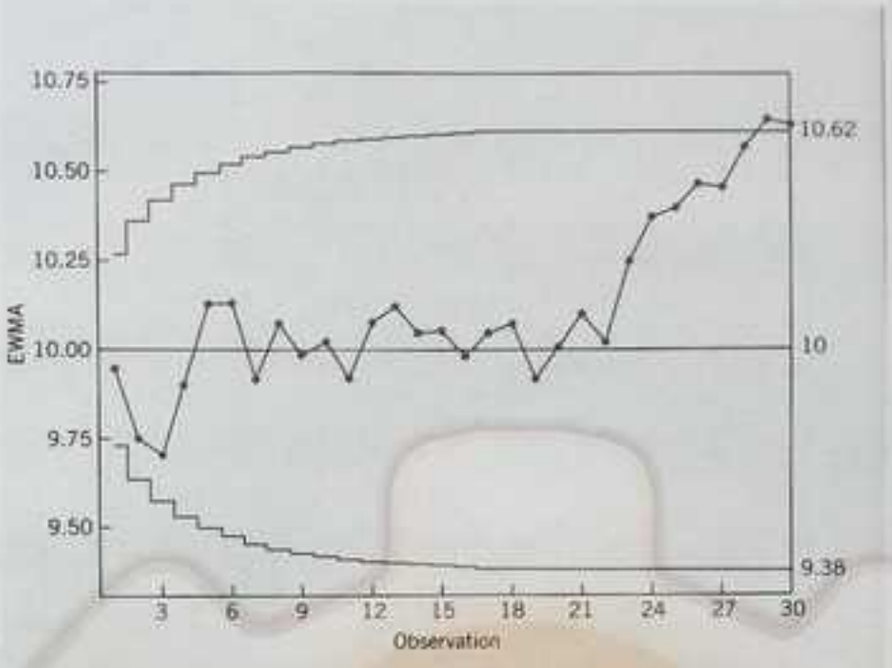
به خاطر دارید که مقدار هدف برای میانگین ۱۰ و انحراف معیار آن ۱ در نظر گرفته شده بود. محاسبات مربوط به نمودار کنترل EWMA، به‌طور خلاصه در جدول ۵-۱۱ و نمودار کنترل آن که به وسیلهٔ نرم‌افزار Minitab تهیه شده در شکل ۵-۱۷ ارائه شده است.

1. inertia effect

جدول ۵-۱۰

نتایج محاسبات مثال ۵-۹.

نمونه	مقدار داده		LCL	CL	UCL
۱	۹/۴۵	۹/۹۵	۹/۷۳	۱۰/۰۰	۱۰/۲۷
۲	۷/۹۹	۹/۷۵	۹/۶۴	۱۰/۰۰	۱۰/۳۶
۳	۹/۲۹	۹۰/۷۰	۹/۵۸	۱۰/۰۰	۱۰/۴۲
۴	۱۱/۶۶	۹/۹۰	۹/۵۳	۱۰/۰۰	۱۰/۴۷
۵	۱۲/۱۶	۱۰/۱۳	۹/۵۰	۱۰/۰۰	۱۰/۵۰
۶	۱۰/۱۸	۱۰/۱۳	۹/۴۸	۱۰/۰۰	۱۰/۵۲
۷	۸/۰۴	۹/۹۲	۹/۴۶	۱۰/۰۰	۱۰/۵۴
۸	۱۱/۴۶	۱۰/۰۸	۹/۴۴	۱۰/۰۰	۱۰/۵۶
۹	۹/۲	۹/۹۹	۹/۴۳	۱۰/۰۰	۱۰/۵۷
۱۰	۱۰/۳۴	۱۰/۰۲	۹/۴۲	۱۰/۰۰	۱۰/۵۸
۱۱	۹/۰۳	۹/۹۲	۹/۴۱	۱۰/۰۰	۱۰/۵۹
۱۲	۱۱/۴۷	۱۰/۰۸	۹/۴۱	۱۰/۰۰	۱۰/۵۹
۱۳	۱۰/۵۱	۱۰/۱۲	۹/۴۰	۱۰/۰۰	۱۰/۶۰
۱۴	۹/۴	۱۰/۰۵	۹/۴۰	۱۰/۰۰	۱۰/۶۰
۱۵	۱۰/۰۸	۱۰/۰۵	۹/۳۹	۱۰/۰۰	۱۰/۶۱
۱۶	۹/۳۷	۹/۹۸	۹/۳۹	۱۰/۰۰	۱۰/۶۱
۱۷	۱۰/۶۲	۱۰/۰۵	۹/۳۹	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۱۸	۱۰/۳۱	۱۰/۰۷	۹/۳۹	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۱۹	۸/۵۲	۹/۹۲	۹/۳۹	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۰	۱۰/۸۴	۱۰/۰۱	۹/۳۹	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۱	۱۰/۹	۱۰/۱۰	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۲	۹/۳۳	۱۰/۰۲	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۳	۱۲/۲۹	۱۰/۲۵	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۴	۱۱/۵	۱۰/۳۷	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۵	۱۰/۶	۱۰/۴۰	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۶	۱۱/۰۸	۱۰/۴۷	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۷	۱۰/۳۸	۱۰/۴۶	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۸	۱۱/۶۲	۱۰/۵۷	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۲۹	۱۱/۳۱	۱۰/۶۵	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲
۳۰	۱۰/۵۲	۱۰/۳۶	۹/۳۸	۱۰/۰۰	۱۰/۶۲



شکل ۵-۱۷ نمودار EWMA برای مثال ۵-۹.

به منظور نشان دادن نحوهٔ انجام محاسبات، مشاهدهٔ اول ۹/۴۵ را در نظر گیرید. برای این مشاهده باید مقادیر نقطهٔ رسم‌شده، حد کنترل بالا و حد کنترل پایین را محاسبه کنیم. این محاسبات به‌صورت زیر است:

$$\text{مقدار نقطه رسم‌شده} = \text{میانگین موزون‌نمایی} = (۰/۱)(۹/۴۵) + (۱-۰/۱)(۱۰) = ۹/۹۴۵$$

$$\text{حد کنترل بالا} = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(۲-\lambda)}\left[۱-(۱-\lambda)^{۲i}\right]}$$

$$= ۱۰ + (۲/۷)(۱)\sqrt{\frac{۰/۱}{(۲-۰/۱)}\left[۱-(۱-۰/۱)^{(۲)(۱)}\right]} = ۱۰/۲۷$$

$$\text{حد کنترل پایین} = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(۲-\lambda)}\left[۱-(۱-\lambda)^{۲i}\right]}$$

$$= ۱۰ - (۲/۷)(۱)\sqrt{\frac{۰/۱}{(۲-۰/۱)}\left[۱-(۱-۰/۱)^{(۲)(۱)}\right]} = ۱۰/۲۷$$

مشاهدهٔ دوم ۷/۹۹ است. برای این مشاهده باید مقادیر نقطهٔ رسم‌شده، حد کنترل بالا و حد کنترل پایین را محاسبه کنیم. این محاسبات به‌صورت زیر است:

$$\text{مقدار نقطهٔ رسم‌شده} = (۰/۱)(۹/۹۴۵) + (۰/۹)(۷/۹۹) = ۹/۷۴۹۵$$

$$\text{حد کنترل بالا} = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$$

$$= \mu_0 + (2/7)(1)\sqrt{\frac{0/1}{(2-0/1)}\left[1-(1-0/1)^{(2)(2)}\right]} = 10/36$$

$$\text{حد کنترل پایین} = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$$

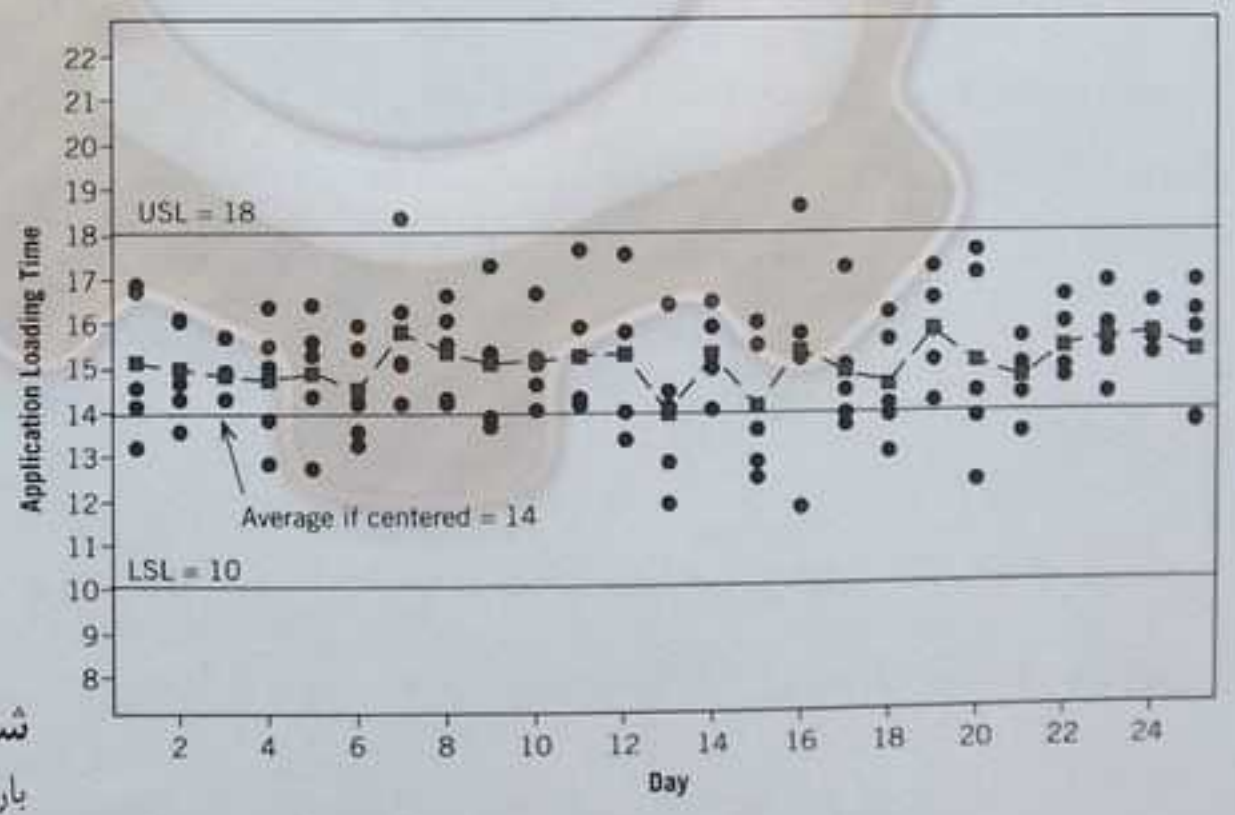
$$= 10-(2/7)(1)\sqrt{\frac{0/1}{(2-0/1)}\left[1-(1-0/1)^{(2)(1)}\right]} = 9/64$$

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید حدود کنترل به‌طور تدریجی در مراحل اولیه در حال افزایش است ولی بعد از حدوداً ۲۰ نقطه ثابت می‌شود. علت آن است که مقدار $\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]$ با افزایش i به سمت یک میل می‌کند.

۵-۹ تحلیل قابلیت فرآیند با استفاده از نمودارهای کنترل

ضروری است در مورد قابلیت یک فرآیند و یا به‌عبارت دیگر عملکرد فرآیند زمانی که فرآیند تحت کنترل است معمولاً اطلاعاتی تهیه شود. استفاده از دو ابزار گرافیکی، نمودار تلرانس و هیستوگرام برای ارزیابی قابلیت فرآیند مفید است.

در شکل ۵-۱۸ یک نمودار تلرانس برای ۲۵ نمونهٔ اول داده‌های مدت زمان بارگذاری (مثال ۵-۲) که حدود مشخصات بالا[1] و پایین[2] برای مدت‌زمان بارگذاری در آن نیز لحاظ شده



شکل ۵-۱۸ نمودار تلرانس برای داده‌های مدت‌زمان بارگذاری .

1. Upper Specification Limit- USL
2 . Lower Specification Limit- LSL

نشان داده شده است. این حدود مشخصات شرایط مورد نیاز برای عملکرد موفقیت‌آمیز را تعریف می‌کند و ارتباطی با حدود کنترل ندارد. تحت این شرایط، اگر مدت‌زمان بارگذاری بیش از ۱۸ ثانیه باشد آن‌گاه واحد کسب و کار زیانی را از لحاظ بهره‌وری و ارائه خدمت به مشتری تجربه خواهد کرد و اگر مدت‌زمان بارگذاری سریع‌تر از ۱۰ ثانیه باشد آن‌گاه فرآیندهای کلیدی کسب و کار تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت. زمان‌های ۱۸ و ۱۰ ثانیه را حدود مشخصات بالا و پایین می‌نامند. در حالت ایده‌آل، میانگین فرآیند دقیقاً بین این دو مقدار قرار خواهد داشت. در مثال فوق، میانگین فرآیند در حالت ایده‌آل باید در حول مقدار ۱۴ ثانیه متمرکز باشد.

نمودار تلرانس برای آشکارسازی روند مشاهدات در طول زمان مناسب است. همچنین این نمودار می‌تواند تغییرات غیرعادی در میانگین یا دامنه که ممکن است ناشی از یک یا دو مشاهدهٔ نمونه باشد را آشکار سازد. از آنجایی‌که این نمودار برای مشاهدات انفرادی طراحی شده است لذا می‌توان حدود مشخصات را بر روی آن رسم کرد. باید توجه داشت که هیچ‌گاه رسم حدود مشخصات بر روی یک نمودار کنترل مناسب نیست و هرگز نباید از حدود مشخصات برای تعیین حدود کنترل استفاده کرد. حدود مشخصات و حدود کنترل به یکدیگر مرتبط نیستند ولی در حالت ایده‌آل حدود کنترل باید در داخل حدود مشخصات قرار گیرند تا از دوباره‌کاری و ارائه خدمات نامناسب اجتناب شود.

یک روش متداول‌تر برای توصیف قابلیت فرآیند استفاده از هیستوگرام است. هیستوگرام مدت‌زمان بارگذاری در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است. برداشت کلی از این نمودار آن است که مدت‌زمان بارگذاری آهسته‌تر از (بیشتر از ۱۸) مدت‌زمان مورد نظر است. اگر میانگین این توزیع جابه‌جا و دقیقاً در وسط حدود مشخصات قرار گیرد آن‌گاه قابلیت فرآیند برای تأمین اهداف کسب‌وکار بهبود خواهد یافت.

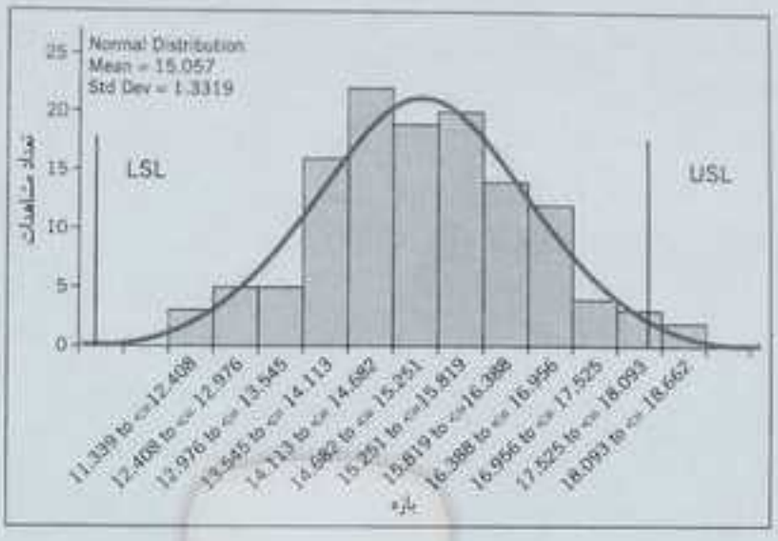
نسبت قابلیت فرآیند، C_P نسبت پراکندگی بین حدود مشخصات به پراکندگی فرایند

وجود یک روش ساده برای بیان قابلیت فرآیند می‌تواند در بعضی مواقع باعث ایجاد سهولت شود. یک راه انجام این کار استفاده از نسبت قابلیت فرآیند[1] یا C_p است که برای یک مشخصهٔ کیفی با حدود مشخصات بالا و پایین به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{۶\sigma} \qquad (۲۶-۵)$$

باید توجه داشت که گسترهٔ ۶σ فرآیند تعریف اولیهٔ قابلیت فرآیند است. از آنجایی که σ نامعلوم است لذا باید آن را با برآورد کردن آن جایگزین کرد. معمولاً از $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_۲}$ به‌عنوان برآورد کردن σ که منجر به $\hat{C}_{\bar{P}}$ به‌عنوان برآورد C_p می‌شود استفاده می‌گردد.

1. process capability ration- pcr



شکل ۵-۱۹ هیستوگرام داده‌های بارگذاری.

برای مثال مدت زمان بارگذاری، $USL = ۱۸$، $LSL = ۱۰$ و $\bar{R} = ۳/۲۵۱$ است. در این صورت، مقدار انحراف معیار $d_۲ = ۳/۳۲۶$ برآورد می‌شود. براساس این محاسبه، نسبت قابلیت فرآیند از رابطهٔ زیر معادل ۰/۹۵ به‌دست می‌آید:

$$۳/۲۵۱ \div ۲/۳۲۶ = ۱/۳۹۸$$

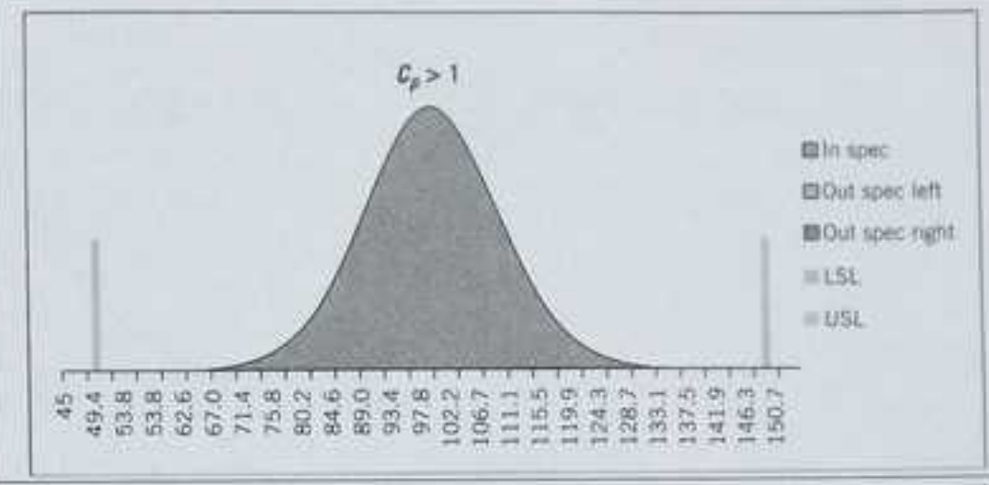
$$\hat{C}_p = \frac{۱۸ - ۱۰}{۶(۱/۳۹۸)} = ۰/۹۵$$

اگر C_p کمتر از یک باشد، توزیع در داخل حدود مشخصات قرار نمی‌گیرد. در مثال فوق، مقدار C_p نزدیک به یک و بیانگر آن است که برخی از مدت‌زمان‌های بارگذاری بیشتر از مدت-زمان تعریف شده است. نسبت قابلیت فرآیند C_p را می‌توان به‌صورت دیگری نیز تفسیر کرد. کمّیت

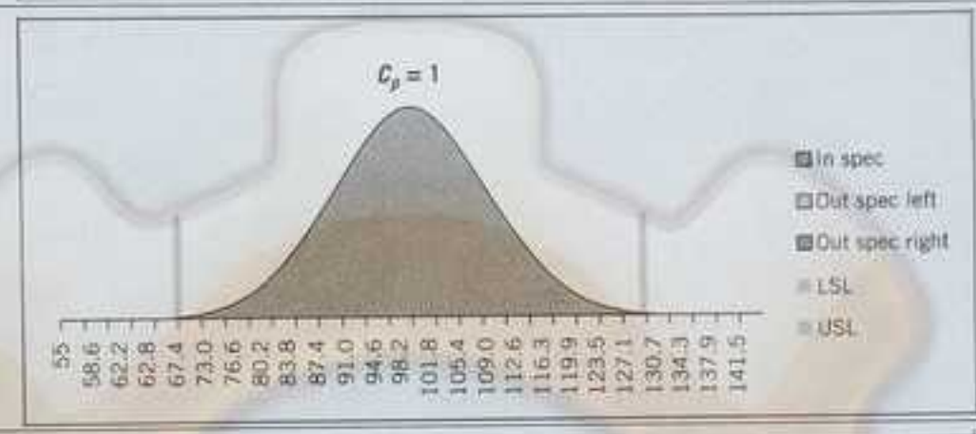
$$P = \left(\frac{۱}{C_p}\right)۱۰۰ \qquad (۲۷-۵)$$

درصدی از دامنهٔ حدود مشخصات را نشان می‌دهد که در فرآیند استفاده کرده است. برای فرآیند بارگذاری، این کمّیت برابر $۱۰۵ = ۱۰۰(۰/۹۵ \div ۱)$ است. این بدین‌معنا است که فرآیند حدود ۱۰۵ درصد بازهٔ مشخصات را استفاده کرده است. از آنجایی‌که این بازه بیشتر از ۱۰۰٪ است، لذا نتیجه می‌گیریم که تغییرپذیری فرآیند کاهش یابد تا اطمینان حاصل گردد که مدت‌زمان بارگذاری در زمان مورد نظر صورت گرفته است.

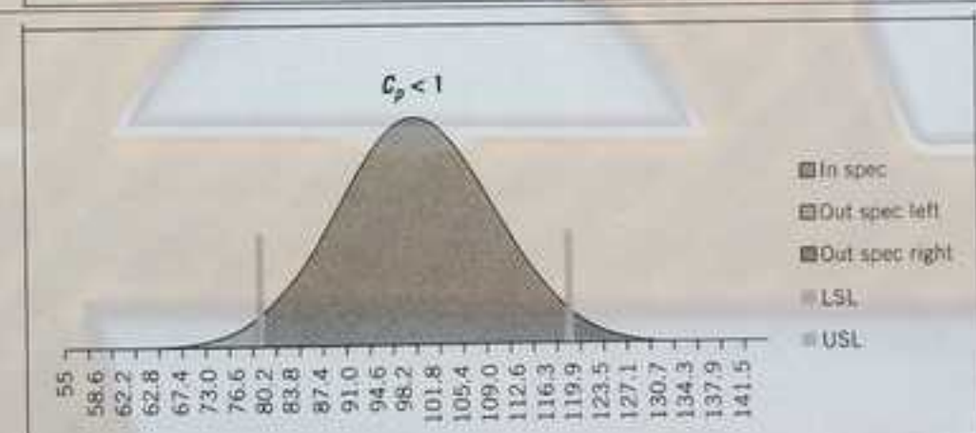
در شکل ۵-۲۰ سه حالت مختلف نسبت قابلیت فرآیند C_p و حدود مشخصات فرآیند نسبت به یکدیگر نشان داده شده است. در تمامی حالت‌ها، میانگین فرآیند ۱۰۰ و انحراف معیار ۱۰ در نظر گرفته شده است.



حدود مشخصات ۵۰ و ۱۵۰ است. بنابراین، C_p بزرگ‌تر از یک (مقدار واقعی آن ۱/۶۷) است. این بدین‌معنا است که فرآیند دامنه‌ای کمتر از ۱۰۰٪ دامنهٔ مشخصات را استفاده کرده است. در نتیجه، تعداد نسبتاً کمی محصول نامنطبق توسط این فرآیند تولید می‌شود.



حدود مشخصات ۷۰ و ۱۳۰ است. بنابراین، C_p برابر یک است. این بدین معنا است که فرآیند کل دامنهٔ مشخصات را استفاده کرده است. برای یک توزیع نرمال، این بیانگر تولید حدود ۰/۲۷ درصد (یا ۲۷۰۰ جزء در میلیون[1]) محصول نامنطبق



حدود مشخصات ۸۰ و ۱۲۰ است. بنابراین، C_p کوچک‌تر از یک (مقدار واقعی آن ۰/۶۷) است. این بدین معنا است که فرآیند دامنه‌ای بیشتر از ۱۰۰٪ حدود مشخصات را استفاده کرده است. تحت این شرایط، تعداد زیادی محصول نامنطبق تولید خواهد شد.

شکل ۵-۲۰ نمایش C_p

در شکل ۵-۲۰ فرض شده که میانگین فرآیند دقیقاً در وسط دامنهٔ مشخصات واقع شده است. گرچه این حالت ایده‌آل است ولی تحقق این کار در عمل همیشه امکان‌پذیر نیست. بنابراین، نیاز است که نسبت‌های قابلیت یک‌طرفه برای ارزیابی عملکرد فرآیند نیز محاسبه شود.

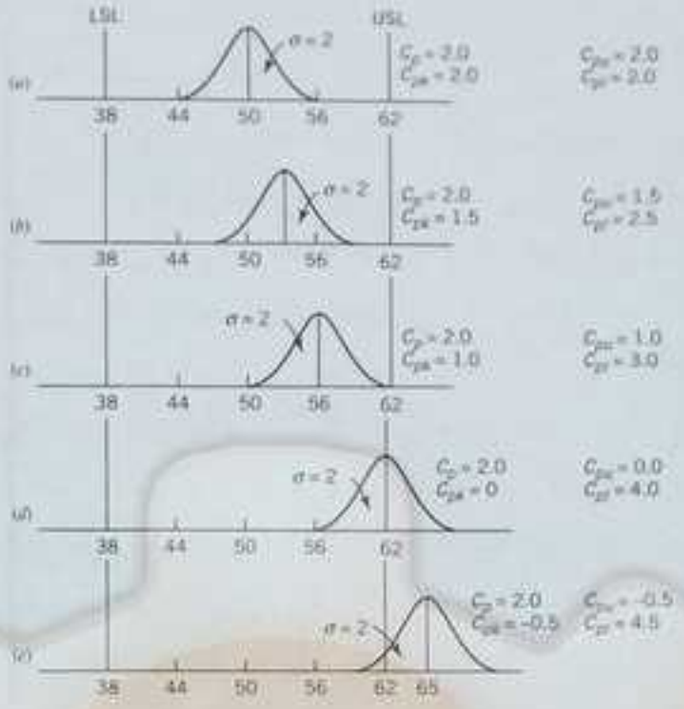
$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \qquad \text{نسبت قابلیت فرآیند برای حد مشخصهٔ بالا} \qquad (۲۸-۵)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \qquad \text{نسبت قابلیت فرآیند برای حد مشخصهٔ پایین} \qquad (۲۹-۵)$$

$$C_{pk} = min(C_{pl}, C_{pu}) \qquad \text{عملکرد بدترین حالت} \qquad (۳۰-۵)$$

$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$

1. Parts Per Million- PPM



شکل ۵-۲۱ رابطهٔ بین C_p و C_{pk}

همانند C_p، برآوردهای $\hat{C}_{Pu}$ و $\hat{C}_{PL}$ را نیز می‌توان با جایگزین کردن σ به وسیلهٔ برآورد آن (نظیر $\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$) به‌دست آورد.

زمانی که میانگین فرآیند دقیقاً در وسط یا مرکز حدود مشخصات قرار داشته باشد مقدار C_{Pu} یا C_{PL} برابر خواهد بود. اگر میانگین فرآیند دقیقاً در مرکز حدود مشخصات واقع نشده باشد آنگاه یک نامرکزی ایجاد می‌شود. اندازهٔ C_{pk} نسبت به C_p معیار مستقیمی برای میزان نامرکزی یا خارج از مرکز واقع شدن میانگین فرآیند محسوب می‌شود. چندین حالت متداول در شکل ۵-۲۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱۱چندین مقدار نسبت قابلیت فرآیند C_p را همراه با مقادیر خارج از حدود تولیدشده که برحسب تعداد معیوب‌ها یا نامنطبق‌ها در میلیون بیان شده است را نشان می‌دهد. برای حدود مشخصات دوطرفه وقتی میانگین در وسط قرار داشته باشد ستون مربوط به حدود مشخصات دوطرفه استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، $C_p = ۱$ بیانگر تولید بیش از ۲۷۰۰ppm محصول نامنطبق است در حالی که نسبت قابلیت فرآیند $C_p = ۱/۵۰$ برای همین فرآیند حاکی از تولید ۷ppm محصول نامنطبق است. زمانی‌که فرآیند دقیقاً در وسط حدود مشخصات واقع نشده باشد نیاز است از حدود مشخصات یک‌طرفهٔ $\hat{C}_{Pu}$ و $\hat{C}_{PL}$ برای تعیین میزان خارج از حدود تولیدشدهٔ محصولات استفاده کرد. به‌عنوان مثال، اگر $C_{pu} = ۱/۵$ و $C_{pL} = ۲/۵$ باشد آن‌گاه برای حد مشخصهٔ بالا ۴ppm و برای حد مشخصهٔ پایین صفر ppm به‌دست می‌آید. با افزودن این دو مقدار به یکدیگر میزان ۴ppm کل برای فرآیند حاصل می‌شود.

کمیت‌های ppm محاسبه‌شده با در نظر گرفتن مفروضات مهم زیر به‌دست آمده است:

۱- مشخصهٔ کیفی دارای توزیع نرمال است.

۲ - فرآیند تحت کنترل آماری است.

۳- برای حالت حدود مشخصات دوطرفه، میانگین فرایند دقیقاً در وسط حدود مشخصات بالا و پایین قرار دارد.

این مفروضات کاملاً برای صحت و اعتبار اعداد گزارش‌شده ضروری است و در صورت عدم برقراری این مفروضات کمیت‌های گزارش‌شده ممکن است شدیداً دچار خطا باشند. به‌عنوان مثال، اگر توزیع متقارن ولی دنباله‌های ضخیم‌تری نسبت به توزیع نرمال (نظیر توزیع t) داشته باشد آن‌گاه خطای قابل توجهی ایجاد می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود نمودار احتمال نرمال برای تأیید برقراری فرض نرمال رسم شود.

ثبات یا تحت کنترل آماری بودن فرایند نیز برای تفسیر صحیح نسبت قابلیت فرایند ضروری است. متأسفانه در عمل متداول است که براساس یک نمونهٔ قبلی از داده‌ها و بدون توجه به اهمیت تحت کنترل آماری قرار داشتن فرایند اقدام به محاسبهٔ نسبت قابلیت فرایند می‌شود. اگر فرایند تحت کنترل آماری نباشد، بدیهی است که پارامترهای آن فاقد ثبات بوده و مقادیر این پارامترها در آینده از قطعیت لازم برخوردار نیست. بنابراین، جنبه‌های پیش‌بینی نسبت قابلیت فرایند از لحاظ عملکرد ppm نامنطبق‌ها از بین خواهد رفت.

جدول ۵-۱۱

مقادیر نسبت قابلیت فرایند (C_p) و میزان نامنطبقه‌ها (برحسب ppm) برای یک توزیع نرمال زمانی که فرایند تحت کنترل آماری است.

PCR	حدود مشخصات یک‌طرفه	حدود مشخصات دوطرفه
۰/۲۵	۲۲۶۶۲۸	۴۵۳۲۵۵
۰/۵۰	۶۶۸۰۷	۱۳۳۶۱۴
۰/۶۰	۳۵۹۳۱	۷۱۸۶۱
۰/۷۰	۱۷۸۶۵	۳۵۷۲۹
۰/۸۰	۸۱۹۸	۱۶۳۹۵
۰/۹۰	۳۴۶۷	۶۹۳۴
۱/۰۰	۱۳۵۰	۲۷۰۰
۱/۱۰	۴۸۴	۹۶۷
۱/۲۰	۱۵۹	۳۱۸
۱/۳۰	۴۸	۹۶
۱/۴۰	۱۴	۲۷
۱/۵۰	۴	۷
۱/۶۰	۱	۲
۱/۷۰	۰/۱۷	۰/۳۴
۱/۸۰	۰/۰۳	۰/۰۶
۲/۰۰	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۸

در جدول ۵-۱۲خطوط راهنمایی برای مقادیر حداقل شاخص‌های قابلیت فرآیند پیشنهاد شده است. باید به این نکته توجه داشت که مقادیر ارائه‌شده در این جدول فقط حداقل‌هاست. در سال‌های اخیر، اغلب شرکت‌ها معیارهایی برای ارزیابی فرآیندهای خود که شامل اهداف قابلیت فرآیند که بسیار سخت‌گیرانه است در نظر گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، از منظر یک سازمان شش سیگما زمانی که فرآیند تحت کنترل است نباید فاصلهٔ میانگین تا نزدیک‌ترین حد مشخصهٔ آن کمتر از شش انحراف معیار باشد. این بدین معنا است که حداقل مقدار قابل‌قبول برای نسبت قابلیت فرآیند نباید کمتر از ۲/۰ باشد.

جدول ۱۲.۵

مقادیر حداقل پیشنهادی برای نسبت توانایی فرآیند

	حداقل مقدار شاخص توانایی فرآیند (Cpk) برای فرایندهایی که دارای حدود (کران) مشخصاتی بالا و پایین می‌باشند.	حداقل مقدار توانایی فرآیند (Cpu یا Cpl) برای فرآیندهایی که دارای یک حد مشخصاتی (بالا یا پایین) می‌باشند.
فرایندهای موجود	۱٫۳۳	۱٫۲۵
فرآیندهای جدید	۱٫۵	۱٫۴۵
ایمنی، قدرت و یا پارامتر بحرانی فرآیند موجود	۱٫۵	۱٫۴۵
ایمنی، قدرت و یا پارامتر بحرانی فرآیند جدید	۱٫۶۷	۱٫۶۰

مثال ۱۰-۵ مطالعهٔ قابلیت فرآیند

شرکت سالسا[1] در نظر دارد از یک ظرف جدید برای سالسا خود استفاده کند. براساس تحقیق انجام شده، ظرف شیشه‌ای سالسا باید از مقاومتی بین ۱۸۵psi و ۳۲۵psi برخوردار باشد. تأمین‌کنندهٔ ظروف این شرکت داده‌های زیر را با هدف انجام ارزیابی ارائه کرده است. آیا شواهدی در مورد تحت کنترل بودن فرآیند وجود دارد؟ آیا این فرآیند قابلیت تولید ظروف شیشه‌ای با مقاومت بین ۱۸۵psi و ۳۲۵psi را دارد؟

از آنجایی‌که هر نمونه شامل پنج ظرف است لذا $A_2 = ۰/۵۷۷$ ،$D_2 = ۲/۱۱۵$ ،$D_1 = ۰$ و $d_2 = ۲/۳۲۶$ به‌دست می‌آید. در نتیجه

نمودار $\bar{x}$:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = ۲۶۴/۰۶ \pm (۰/۵۷۷)(۷۷/۳) = ۳۰۸/۶۶$$
$$CL = \bar{\bar{x}} = ۲۶۴/۰۶$$
$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = ۲۶۴/۰۶ - (۰/۵۷۷)(۷۷/۳) = ۲۱۹/۴۶$$

نمودار R:

$$UCL = D_2\bar{R} = (۲/۱۱۵)(۷۷/۳) = ۱۶۳/۴۹$$
$$CL = \bar{R} = ۷۷/۳$$
$$LCL = D_1\bar{R} = (۰)(۷۷/۳) = ۰$$

1. joes salsa company

جدول ۵-۱۳

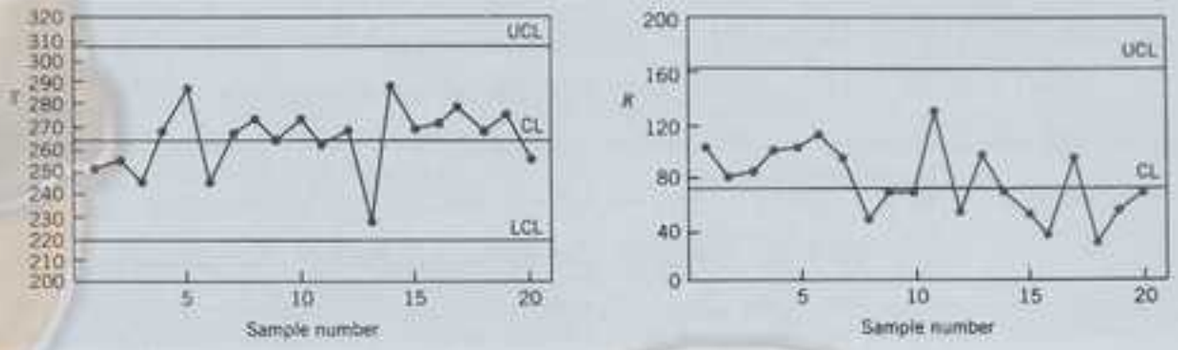
مقاومت ظرف شیشه‌ای.

نمونه	روز					$\bar{x}$	R
۱	۲۶۵	۲۰۵	۲۶۳	۳۰۷	۲۲۰	۲۵۲/۰	۱۰۲
۲	۲۶۸	۲۶۰	۲۳۴	۲۹۹	۲۱۵	۲۵۵/۲	۸۴
۳	۱۹۷	۲۸۶	۲۷۴	۲۴۳	۲۳۱	۲۴۶/۲	۸۹
۴	۲۶۷	۲۸۱	۲۶۵	۲۱۴	۳۱۸	۲۶۹/۰	۱۰۴
۵	۳۴۶	۳۱۷	۲۴۲	۲۵۸	۲۷۶	۲۸۷/۸	۱۰۴
۶	۳۰۰	۲۰۸	۱۸۷	۲۶۴	۲۷۱	۲۴۶/۰	۱۱۳
۷	۲۸۰	۲۴۲	۲۶۰	۳۲۱	۲۲۸	۲۶۶/۲	۹۳
۸	۲۵۰	۲۹۹	۲۵۸	۲۶۷	۲۹۳	۲۷۳/۴	۴۹
۹	۲۶۵	۲۵۴	۲۸۰	۲۹۴	۲۲۳	۲۶۳/۴	۷۱
۱۰	۲۶۰	۳۰۸	۲۳۵	۲۸۳	۲۷۷	۲۷۲/۶	۷۳
۱۱	۲۰۰	۲۳۵	۲۴۶	۳۲۸	۲۹۶	۲۶۱/۰	۱۲۸
۱۲	۲۷۶	۲۶۴	۲۶۹	۲۳۵	۲۹۰	۲۶۶/۸	۵۵
۱۳	۲۲۱	۱۷۶	۲۴۸	۲۶۳	۲۳۱	۲۲۷/۸	۸۷
۱۴	۳۳۴	۲۸۰	۲۶۵	۲۷۲	۲۸۳	۲۸۶/۸	۶۹
۱۵	۲۶۵	۲۶۲	۲۷۱	۲۴۵	۳۰۱	۲۶۸/۸	۵۶
۱۶	۲۸۰	۲۷۴	۲۵۳	۲۸۷	۲۵۸	۲۷۰/۴	۳۴
۱۷	۲۶۱	۲۴۸	۲۶۰	۲۷۴	۲۳۷	۲۷۶/۰	۸۹
۱۸	۲۵۰	۲۷۸	۲۵۴	۲۷۴	۲۷۵	۲۶۶/۲	۲۸
۱۹	۲۷۸	۲۵۰	۲۶۵	۲۷۰	۲۹۸	۲۷۲/۲	۴۸
۲۰	۲۵۷	۲۱۰	۲۸۰	۲۶۹	۲۵۱	۲۵۳/۴	۷۰
						$\bar{\bar{x}}$ =۲۶۴/۰۶	$\bar{R}$=۷۷/۳

شکل ۵-۲۲ نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و R را برای داده‌های مقاومت ظروف شیشه‌ای در مقابل فشار نشان می‌دهد. هر دو نمودار شرایط تحت کنترل آماری را نشان می‌دهند. حال می‌توان پارامترهای فرآیند را از طریق این نمودارهای کنترل برآورد کرد:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = ۲۶۴/۰۶$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{۷۷/۳}{۲/۳۲۶} = ۳۳/۲۳$$



شکل ۵-۲۲ نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و R برای مقاومت ظروف شیشه‌ای.

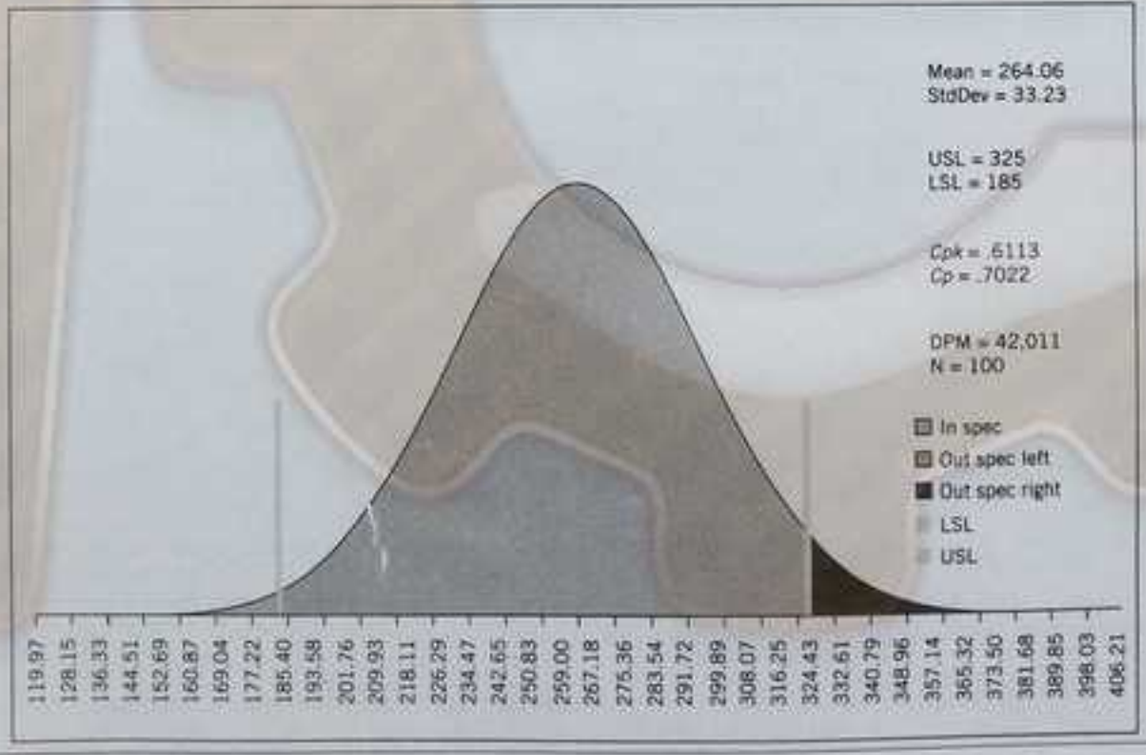
با استفاده از برآوردهای میانگین و انحراف معیار، شاخص‌های قابلیت فرآیند به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{۶\hat{\sigma}} = \frac{۳۲۵ - ۱۸۵}{۶(۳۳/۲۳)} = ۰/۷۰$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \hat{\mu}}{۳\hat{\sigma}} = \frac{۳۲۵ - ۲۶۴/۰۶}{۳(۳۳/۲۳)} = ۰/۶۱$$

$$C_{pl} = \frac{\hat{\mu} - LSL}{۳\hat{\sigma}} = \frac{۲۶۴/۰۶ - ۱۸۵}{۳(۳۳/۲۳)} = ۰/۷۹$$

$$C_{pk} = min(C_{pu}, C_{pk}) = min(۰/۶۱, ۰/۷۹) = ۰/۶۱$$



با استفاده از جدول ۱۱-۵، نرخ عدم انطباق برحسب ppm برابر ۳۵۹۳۱ (برای $C_{pk} = ۰/۶$) به اضافهٔ ۸۱۹۸ (برای $C_{pk} = ۰/۷۱$) جمعاً ۴۴۱۲۹ است. این نتیجه را می‌توان با مراجعه به تحلیل انجام شده به وسیلهٔ SPC XL نیز مشاهده نمود. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید SPC XL میزان نقص‌ها را برحسب جزء در میلیون به دلیل فقط تعداد اعشار بیشتر معادل ۴۲۰۱۱ppm محاسبه می‌کند. در صورت عدم وجود مقدار خاصی در جدول ۵-۱۱می‌توان از روش‌های فصل ۴ برای محاسبهٔ نرخ ppm نقص‌ها استفاده کرد.

این مثال فرایندی که در شرایط تحت کنترل ولی در سطح غیرقابل قبولی عمل می‌کند را نشان می‌دهد. به علاوه، اشتباه متداول استفاده از حدود کنترل و مقایسهٔ آنها با حدود مشخصات نیز در این مثال به تصویر کشیده شده است.

از آنجایی‌که حدود کنترل مبتنی بر میانگین زیرگروه‌ها است لذا فاصلهٔ بین این حدود (به دلیل قضیهٔ حد مرکزی) کمتر از فاصلهٔ بین حدود کنترل مبتنی بر مشاهدات انفرادی است. بنابراین، این طور به نظر می‌رسد که فرآیند از منظر تولید محصولات انفرادی از قابلیت مناسبی برخوردار است در حالی که در عمل این‌طور نیست (به خاطر داشته باشید که اگر میانگین پنج مشاهده ۳۲۵ باشد آنگاه تقریباً نیمی از آنها مقادیری بیشتر از ۳۲۵ خواهند داشت).

تحت چنین شرایطی، هیچ‌گونه شواهدی در مورد وجود انحراف بادلیل برای کاهش تغییرپذیری سیستم وجود ندارد. بنابراین، برای بهبود فرآیند یا باید اقتراعی صورت گیرد و یا الزامات تغییر کنند تا بتوان از این ظروف استفاده کرد. هدف انجام این‌گونه اقدامات افزایش نسبت قابلیت فرآیند به میزان حداقل سطح قابل قبول است. نمودار کنترل را می‌توان به‌عنوان ابزاری برای پایش یا ثبت سوابق تغییرات در فرآیند استفاده کرد.

به خاطر داشته باشید که قابلیت فرآیند فقط باید برای سیستم‌هایی که تحت کنترل هستند محاسبه شود. آن‌گاه محاسبهٔ شاخص‌های قابلیت فرآیند غیرمعقول خواهد بود. در چنین شرایطی اولین اقدام باید شناسایی و حذف انحرافات بادلیل باشد.

پیوست یک: تهیهٔ یک نمودار $\bar{x}$ -R به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

۱- داده‌ها را به‌صورت ستونی مرتب کنید به‌گونه‌ای که مشاهدات یک زیرگروه در یک ردیف ولی در ستون‌های مختلف قرار گیرد. به‌عنوان مثال، زیرگروه ۱ شامل اعداد ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و زیرگروه ۲ شامل اعداد ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ است. در این صورت، داده‌ها این‌گونه وارد می‌شوند.

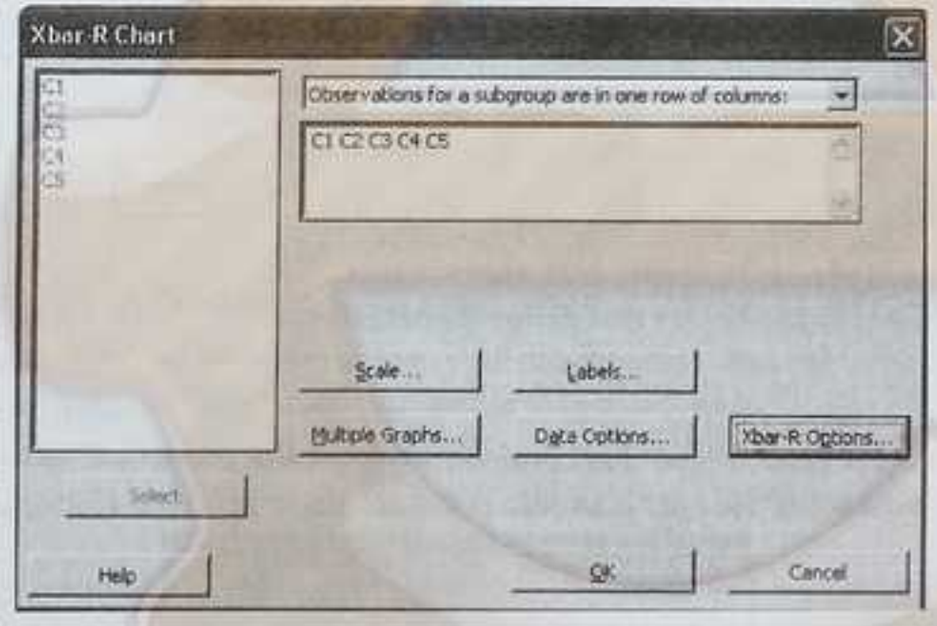
Worksheet 1 ***

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	2	3	4	5	
2	6	7	8	9	10	
3						

۲- از قسمت نوار منو گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Stat->Control Charts->Variable Carts for Subgroups->$\bar{x}$ -R

سپس Minitab یک صفحه باز می‌کند در قسمت بالا، از قسمت بازشو گزینهٔ Observations for a subgroup are in one row of columns را انتخاب و سپس بر روی نام ستون‌های مورد نظر دوبار کلیک کنید تا آنها به ناحیهٔ متغیرهای منتخب برای رسم انتقال یابند.

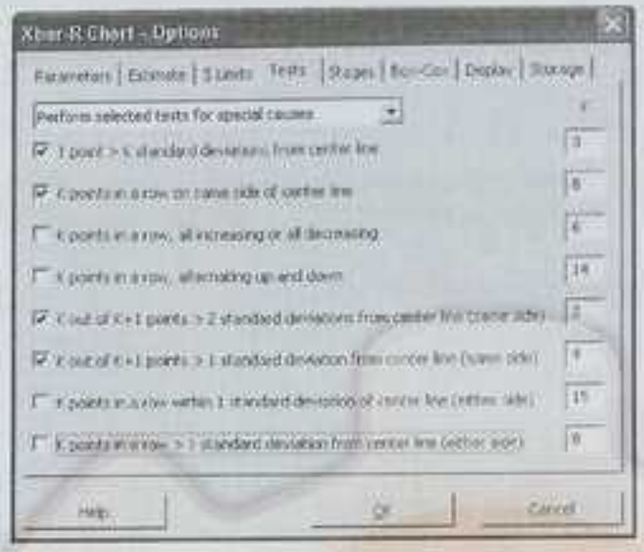


۳- روی گزینهٔ $\bar{x}$ -R برای انتخاب گزینه‌های نمودار $\bar{x}$ -R کلیک کنید. گزینه‌های متداول برای انتخاب عبارتند از:

الف- Parameters: به شما اجازه می‌دهد تا میانگین و انحراف معیار خاصی را برای محاسبهٔ حدود کنترل تعیین کنید.

ب- S-limits: به شما اجازه می‌دهد تا ناحیه‌های درون حدود کنترل را تعیین کنید. به منظور نشان دادن ناحیه‌های A، B و C مقادیر ۱۱۲۳-۲-۳- را در داخل کادر "Display Control Limits at These Multiples of the Standard Deviation" تایپ کنید.

ج- زبانهٔ Tests: به شما اجازه می‌دهد تا نحوهٔ استفاده از قوانین وسترن الکتریک را تعیین کنید. قوانین چهارگانه در پنجرهٔ زیر نشان داده شده است:



۴- زمانی‌که تمام گزینه‌ها تعریف شد، OK را بزنید تا نمودار رسم شود.

SPC XL

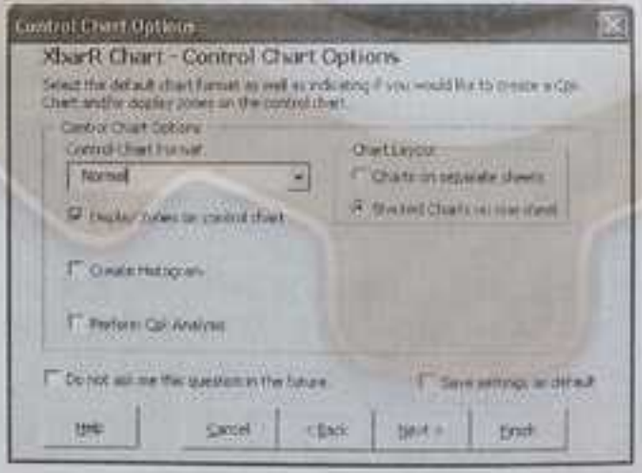
۱- داده‌ها را به‌صورت ستونی مرتب کنید به گونه‌ای که مشاهدات در یک ردیف ولی ستون‌های مختلف قرار گیرد. به‌عنوان مثال، زیرگروه ۱ شامل اعداد ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و زیرگروه ۲ شامل اعداد ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ است. بنابراین، داده‌ها به‌صورت زیر وارد می‌شود:

	A	B	C	D	E	F
1	1	2	3	4	5	
2	6	7	8	9	10	
3						

۲- نمودارهای کنترل را از نوار "Sigma Zone" انتخاب و سپس نمودار $\bar{x}$-R را انتخاب کنید. در این مرحله از شما درخواست می‌شود که یک دامنه برای داده‌های خود انتخاب کنید. این دامنه را قبل از زدن کلید "Next" تعیین کنید.

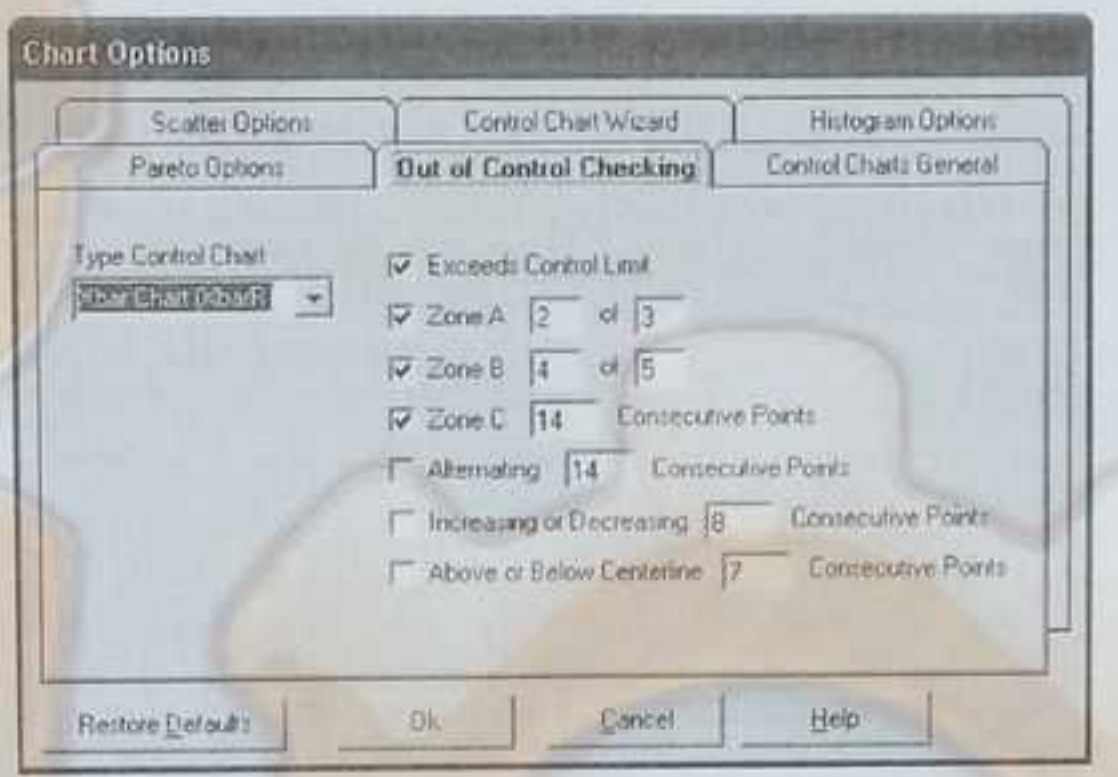
۳- در صفحهٔ بعد، قبل از زدن کلید "Next" مشخص کنید که داده‌ها به‌صورت ردیفی هستند.

۴- در صفحهٔ بعد، تعیین کنید که آیا می‌خواهید ناحیه‌ها بر روی نمودار کنترل نشان داده شود و آیا می‌خواهید هر دو نمودار $\bar{x}$ و R بر روی یک صفحه رسم شود. همچنین می‌توانید درخواست کنید نمودار هیستوگرام رسم و تحلیل قابلیت فرایند انجام شود.



۵- کلید "Next" را بزنید تا نمودار کنترل رسم شود

توجه: قوانین پیش‌فرض نمودار کنترل در زیر نشان داده شده و از قسمت "Options" در نوار SPC XL قابل دسترس است. این قوانین در مورد تمامی نمودارهای کنترل رسم‌شده کاربرد دارد.



پیوست دو: تهیهٔ یک نمودار x-S به وسیلهٔ SPCXL و Minitab

MINITAB
۱- دستورالعمل پیوست ۱ را دنبال ولی مسیر Stat->Control Charts-> Variable Charts for subgroups را انتخاب کنید.
۱ - دستورالعمل پیوست ۱ را دنبال ولی نمودار $S-\bar{x}$ را انتخاب کنید.

SPC XL
۱- پیوست یک را دنبال کنید ولی نمودار X-S را استفاده کنید.

پیوست سه: تهیهٔ یک نمودار دامنهٔ متحرک برای مشاهدات انفرادی به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

۱- داده‌ها را در یک ستون وارد کنید.

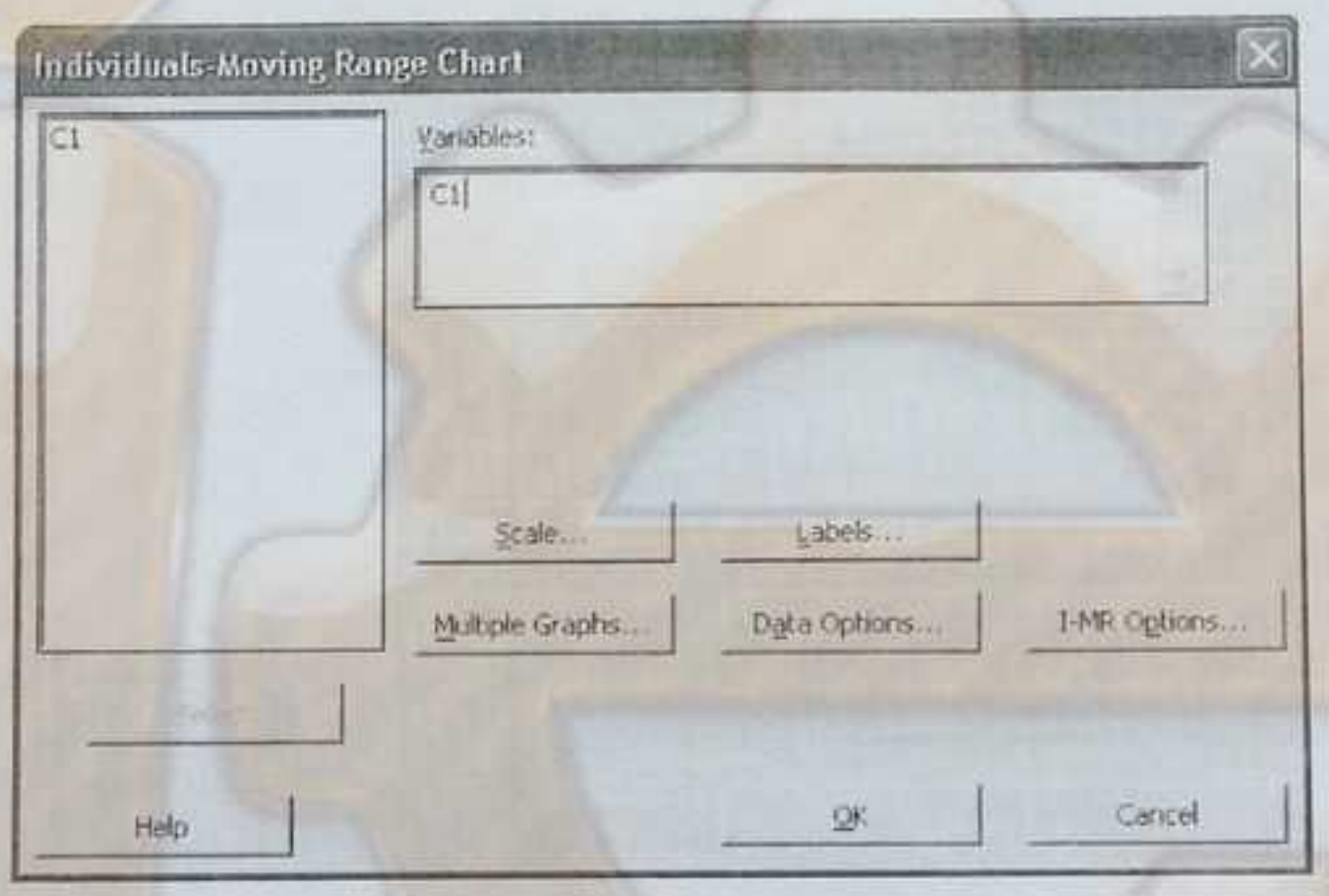
۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Stat->Control Charts-> Variable Charts for individuals-> I-MR

سپس Minitab یک صفحهٔ جدید باز می‌کند. ستون مورد نظر برای نمودارهای کنترل را انتخاب کنید.

۳- روی کلید "I-MR Options" برای انتخاب گزینه‌های مختلف نمودار "I-MR" کلیک کنید. تنظیم‌های متداول در پیوست یک تعریف شده است.

۴- پس از تعریف تمامی گزینه‌ها، کلید OK را انتخاب کنید تا نمودار رسم شود.



۱- دستورالعمل پیوست یک را دنبال ولی گزینهٔ "IndivMovR Chart" را انتخاب کنید و مرحلهٔ ۳ را نادیده بگیرید.

پیوست چهار: تهیهٔ یک نمودار CUSUM به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

۱- اگر از داده‌های انفرادی استفاده می‌شود، کاربرگ را همانند پیوست سه در غیر این صورت همانند پیوست یک فرمت کنید.

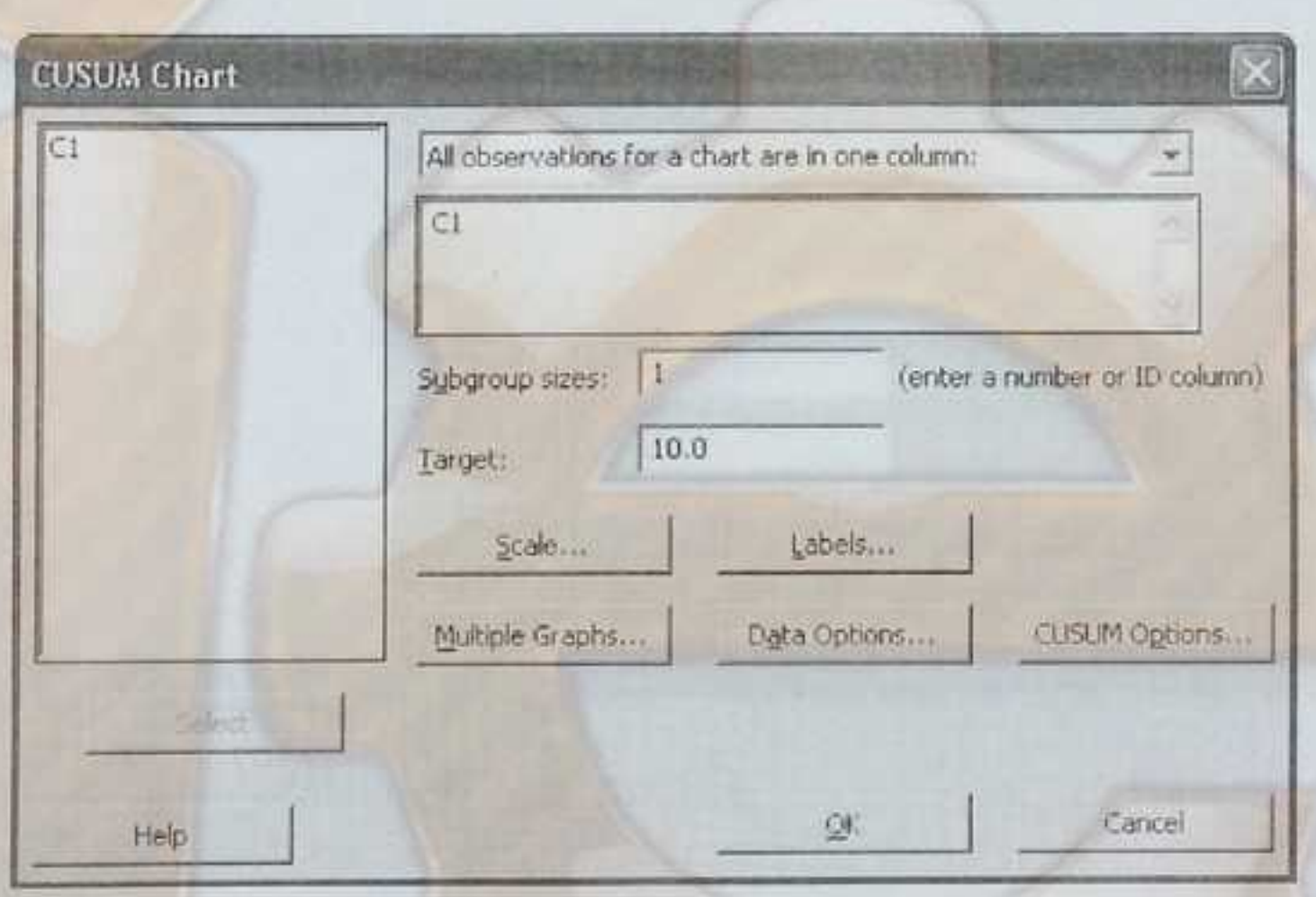
۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Stat-> Control Charts-> Time Weighted Charts-> Cusum

سپس Minitab یک صفحهٔ جدید باز می‌کند. اگر از مشاهدات انفرادی استفاده می‌شود، از قسمت بازشو گزینهٔ " All observations subgroup are in one row of columns" را انتخاب کنید. سپس ستون‌های مورد نظر را انتخاب و اندازهٔ زیرگروه و مقدار هدف را تعیین کنید.

۳- کلید "CUSUM Options" را انتخاب کنید. در زبانهٔ "Plan/ type" مقادیر h و k را تعیین کنید.

۴- پس از انتخاب تمامی گزینه‌ها کلید "OK" را بزنید تا نمودار رسم شود.



۱- SPC XL قابلیت تهیهٔ نمودارهای CUSUM را ندارد.

پیوست پنج: تهیهٔ یک نمودار EWMA به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

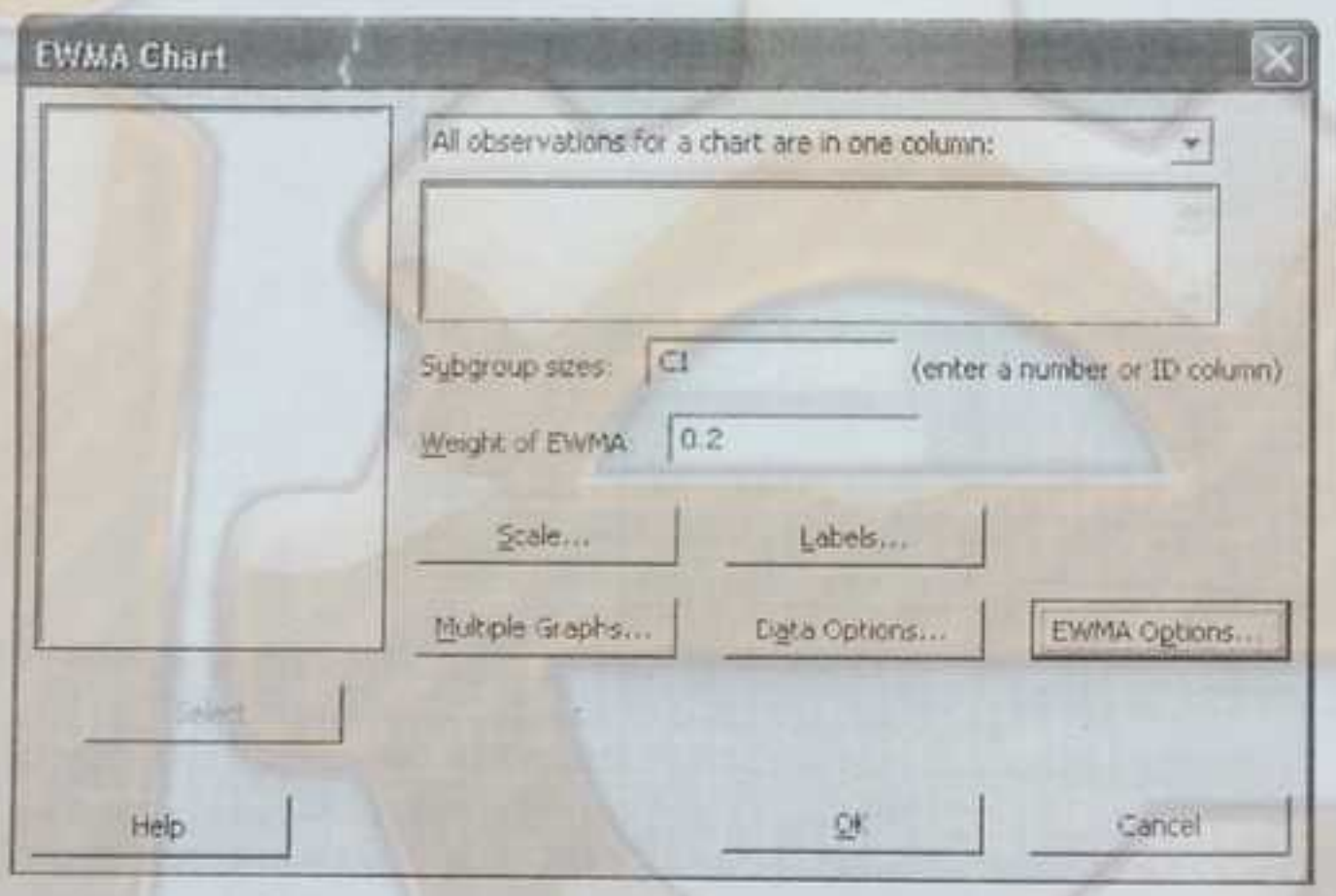
۱- اگر از داده‌های انفرادی استفاده می‌شود، کاربرگ را همانند پیوست سه در غیراین صورت همانند پیوست یک فرمت کنید.

۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Stat->Control Charts-> Time Weighted Charts->EWMA

سپس Minitab یک صفحهٔ جدید باز می‌کند. اگر از مشاهدات انفرادی استفاده می‌شود از صفحهٔ بازشو گزینهٔ "All Observations for a Chart are in one column" را انتخاب کنید. در غیراین‌صورت گزینهٔ "All Observations for a subgroup are in one row of columns" را انتخاب کنید. سپس ستون‌های موردنظر را انتخاب و اندازهٔ نمونه و مقدار λ را تعیین کنید.

۳- روی کلید "EWMA Options" کلیک کنید. تنظیمات متداول در پیوست یک تعریف شده است. کلید" OK" را بزنید تا نمودار رسم شود.



۱- SPC XL قابلیت تهیهٔ نمودارهای EWMA را ندارد.

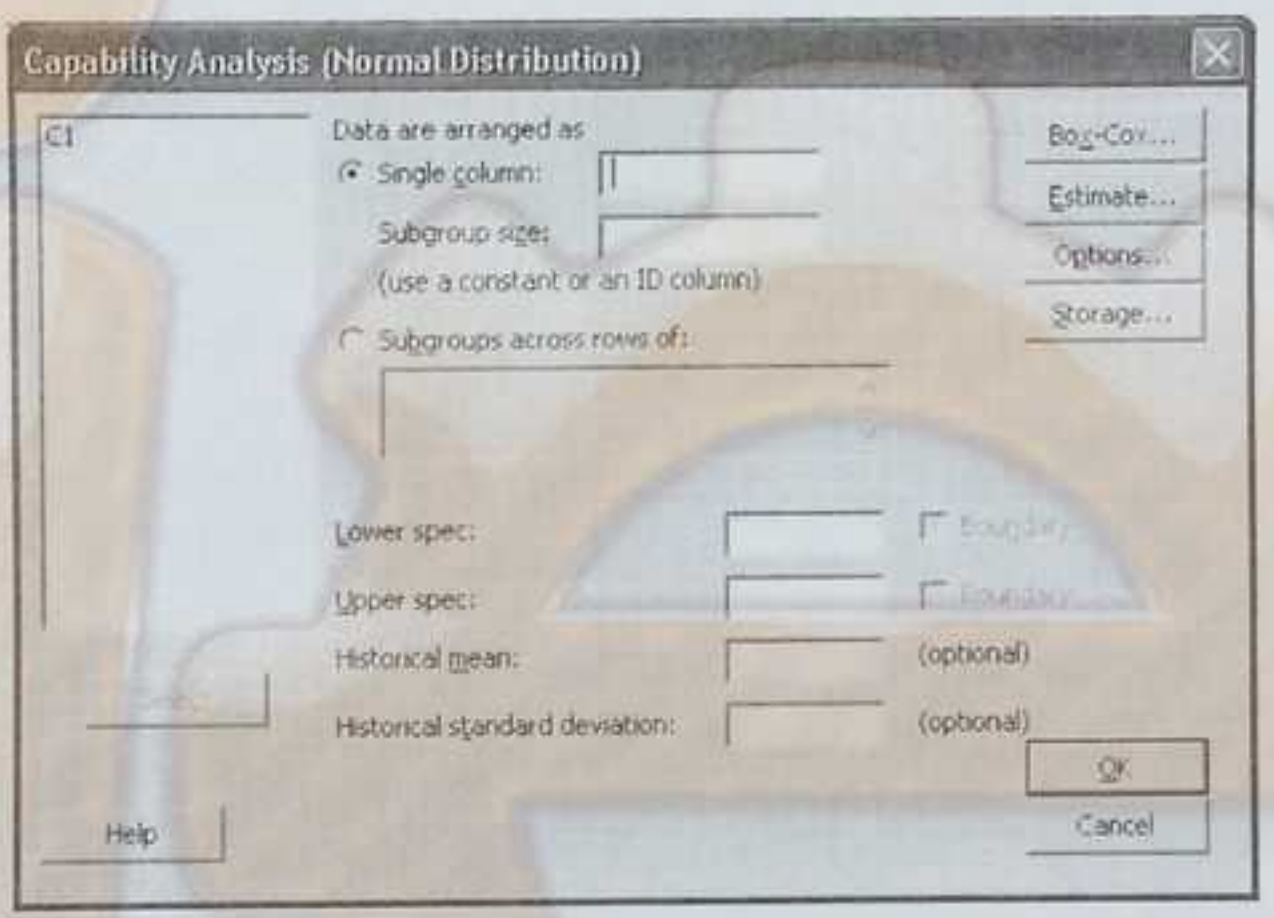
پیوست شش: انجام تحلیل قابلیت فرآیند به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

۱- اگر از داده‌های انفرادی استفاده می‌شود، کاربرگ را همانند پیوست سه فرمت کنید. اگر از اندازهٔ زیرگروه‌های بزرگ‌تر از یک استفاده می‌شود، کاربرگ را همانند پیوست یک فرمت کنید.

۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

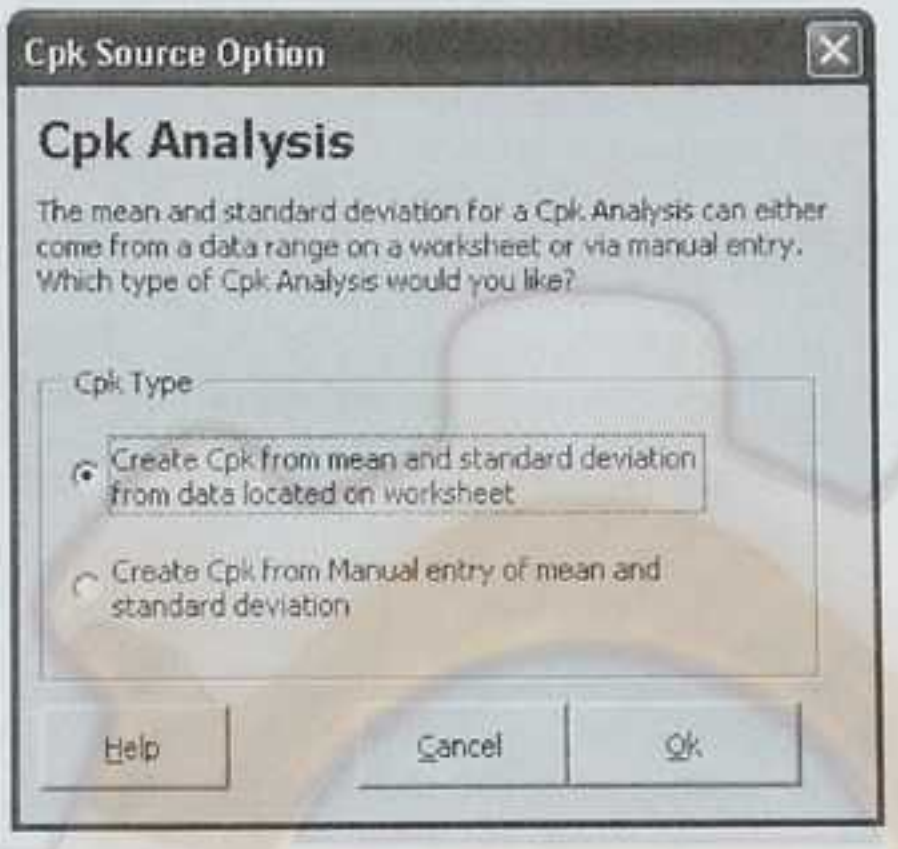
Stat-> Quality Tools-> Capability Analysis-> Normal

سپس Minitab صفحهٔ زیر را باز می‌کند. اگر از داده‌های انفرادی استفاده می‌شود گزینهٔ "Single Column" را انتخاب، ستون مورد نظر را انتخاب و اندازهٔ زیرگروه را یک انتخاب کنید. در غیر این صورت، گزینهٔ "Subgroups across rows" را به همراه ستون‌های مورد نظر انتخاب کنید.



۳- حدود مشخصات بالا و پایین را تعریف کنید و کلید " OK" را بزنید.

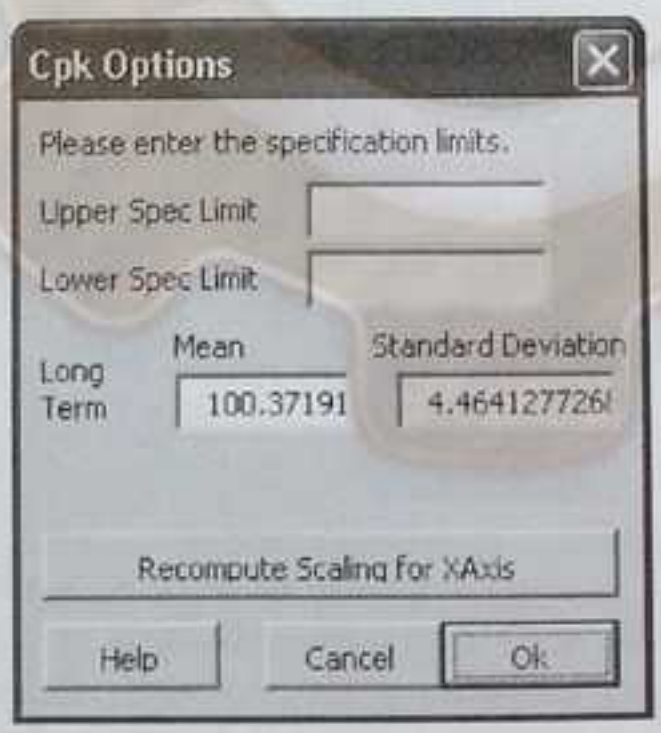
۱- از نوار SPC XL گزینهٔ "Analysis Diagrams" و سپس "C_{pk} Analysis" را انتخاب کنید. در این صورت، صفحهٔ زیر ظاهر می‌شود.
اگر از داده‌ها برای انجام تحلیل قابلیت فرآیند استفاده می‌شود، گزینهٔ بالا را انتخاب کنید و کلید " OK" را بزنید.
" را بزنید و به مرحلهٔ OKاگر از داده‌های بلندمدت[1] برای انجام تحلیل قابلیت فرآیند استفاده می‌شود، گزینهٔ پایین را انتخاب کنید، کلید "
مرحلهٔ ۳ بروید



۲- دامنهٔ داده‌های مورد نظر را انتخاب کنید.

۳- حدود مشخصات بالا و پایین

(و در صورت عدم استفاده از داده‌های نمونه، میانگین و انحراف معیار) را تعیین کنید. اگر حدود مشخصات بر روی نمودار نشان داده نشده است، گزینهٔ "Recompute Scaling for X-axis" را انتخاب کنید. سپس کلید " OK" را بزنید تا تحلیل کامل شود.



1. Long- term data

واژه‌ها و مفاهیم مهم

نمودارهای کنترل شوهارت	مقاومت در مقابل هشدار یک نمودار کنترل	حدود مشخصات
کنترل آماری یک فرآیند	کنترل فرآیند آماری (SPC)	حدود کنترل سه انحراف معیار
اندازهٔ نمونهٔ متغیر در نمودارهای کنترل	نمودارهای کنترل متغیر	نمودار کنترل $\bar{x}$
نمودار پارتو	نسبت قابلیت فرآیند C_p	نسبت قابلیت فرآیند C_p
نسبت قابلیت فرآیند C_{pk}	قابلیت فرآیند	نمودار کنترل R
زیرگروه‌های منطقی	نمودار کنترل S	فراوانی نمونه‌گیری برای نمودارهای کنترل
انحرافات بادلیل تغییرات	نمودار کنترل	حدود کنترل
نمودار کنترل CUSUM	نمودار کنترل EWMA	فرآیند تحت کنترل
نمودار کنترل مشاهدات انفرادی	نسبت‌های قابلیت فرآیند یک‌طرفه	فرآیند خارج از کنترل
طرح اقدام خارج از کنترل (OCAP)		

تمرین‌ها

۵-۱ انحراف‌های تصادفی و با دلیل چیست؟ آنها چه نقشی در عملکرد و تفسیر یک نمودار کنترل شوهارت ایفا می‌کنند؟

۵-۲ در مورد رابطهٔ یک نمودار کنترل و یک آزمون فرض آماری بحث کنید.

۵-۳ خطای نوع I و نوع II مربوط به نمودار کنترل را توضیح دهید. از دیدگاه عملکرد فرآیند این دو نوع خطا چه مشکلات عملیاتی ممکن است ایجاد کنند؟

۵-۴ منظور از اینکه یک فرآیند تحت کنترل آماری است چیست؟

۵-۵ اگر فرآیندی تحت کنترل آماری باشد آیا لزوماً تمام یا تقریباً تمامی محصولات تولید شده در بین حدود مشخصات واقع خواهند شد؟

۵-۶ منطق استفاده از حدود سه انحراف معیار در نمودارهای کنترل شوهارت را توضیح دهید. اگر از حدود تنگتری استفاده شود نمودار چگونه پاسخ می‌دهد؟ اگر از حدود پهن‌تری استفاده شود چطور؟

۵-۷ منظور از زیر گروه‌های منطقی چیست؟ آنها چه نقشی را در تحلیل نمودارهای کنترل برعهده دارند؟

۵-۸ در زمان انتخاب نمونه یا زیرگروه از یک فرآیند آیا می‌خواهید که انحراف‌های با دلیل در بین زیرگروه‌ها یا در درون زیرگروه‌ها رخ دهد؟ پاسخ خود را به‌طور کامل توضیح دهید.

۵-۹ در یک فرآیند قالب‌ریزی از یک قالب پنج حفره‌ای برای تولید قطعه‌ای که در مونتاژ خودرو کاربرد دارد استفاده می‌شود. ضخامت بدنهٔ قطعات، یک مشخصهٔ کیفی بحرانی محسوب می‌شود. به منظور کنترل این فرآیند استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R با زیرگروه‌های پنج تایی حاصل از هر بار تولید پیشنهاد شده است. نظر شما در مورد این سیاست نمونه‌گیری چیست؟ این سیاست چه تأثیری بر توانایی نمودارها برای شناسایی انحراف‌های با دلیل خواهد داشت؟

۵-۱۰ در یک فرآیند تولید، ۵۰۰ قطعه در ساعت تولید میشود. هر نیم ساعت یک قطعه انتخاب و پس از جمع‌آوری پنج قطعه، میانگین آنها بر روی یک نمودار $\bar{X}$ رسم می‌شود.

الف- آیا این روش نمونه‌گیری در صورتی که انحراف با دلیل منجر به ایجاد یک تغییر صعودی لحظه‌ای و کوتاه مدت در میانگین شود مناسب است؟

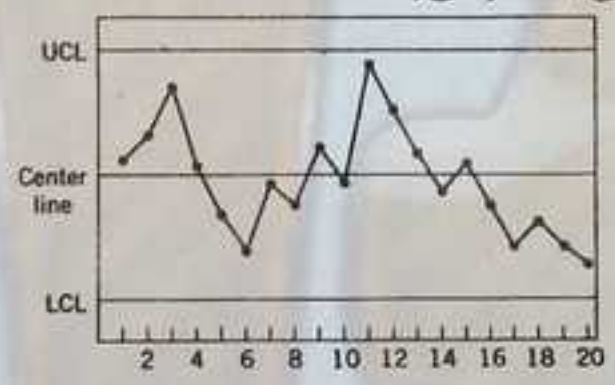
ب- در صورت منفی بودن پاسخ یک روش جایگزین پیشنهاد کنید.

۵-۱۱ روش نمونه‌گیری پیشنهاد شده در تمرین ۵-۱۰ را در نظر گیرید. آیا این روش برای زمانی که انحراف با دلیل منتج به یک روند صعودی آهسته و طولانی در میانگین می‌شود مناسب خواهد بود؟ اگر پاسخ منفی است چه روش جایگزینی را پیشنهاد می‌کنید؟

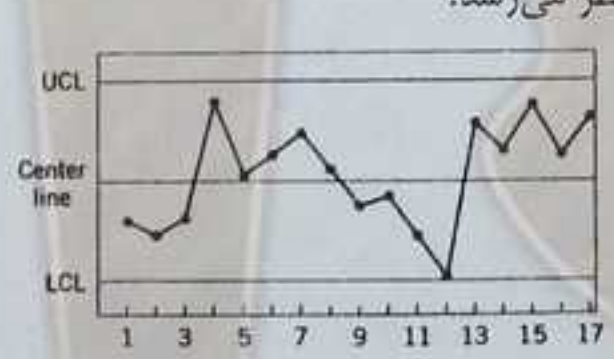
۵-۱۲ اگر ترتیب زمانی داده های یک فرآیند تولید ثبت نشده باشد آیا می‌توان حضور انحراف با دلیل را شناسایی کرد؟

۵-۱۳ چگونه هزینه‌های نمونه‌گیری، هزینه‌های تولید بیش از حد محصولات معیوب و هزینه‌های مربوط به جستجوی انحراف‌های با دلیل بر انتخاب پارامترهای نمودار کنترل اثر می‌گذارد؟

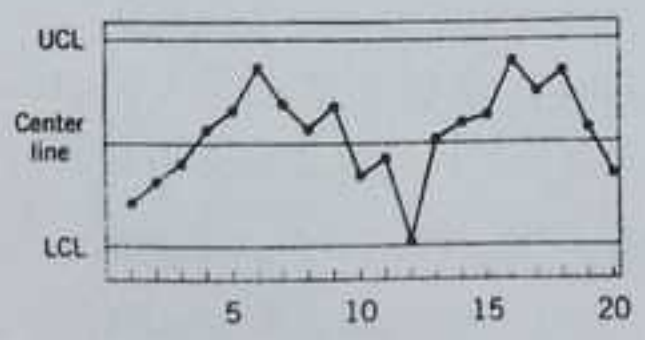
۵-۱۴ نمودار کنترل زیر را در نظر گیرید. آیا روند نقاط تصادفی به نظر می‌رسد؟



۵-۱۵ نمودار کنترل زیر را در نظر گیرید. آیا روند نقاط تصادفی به نظر می‌رسد؟



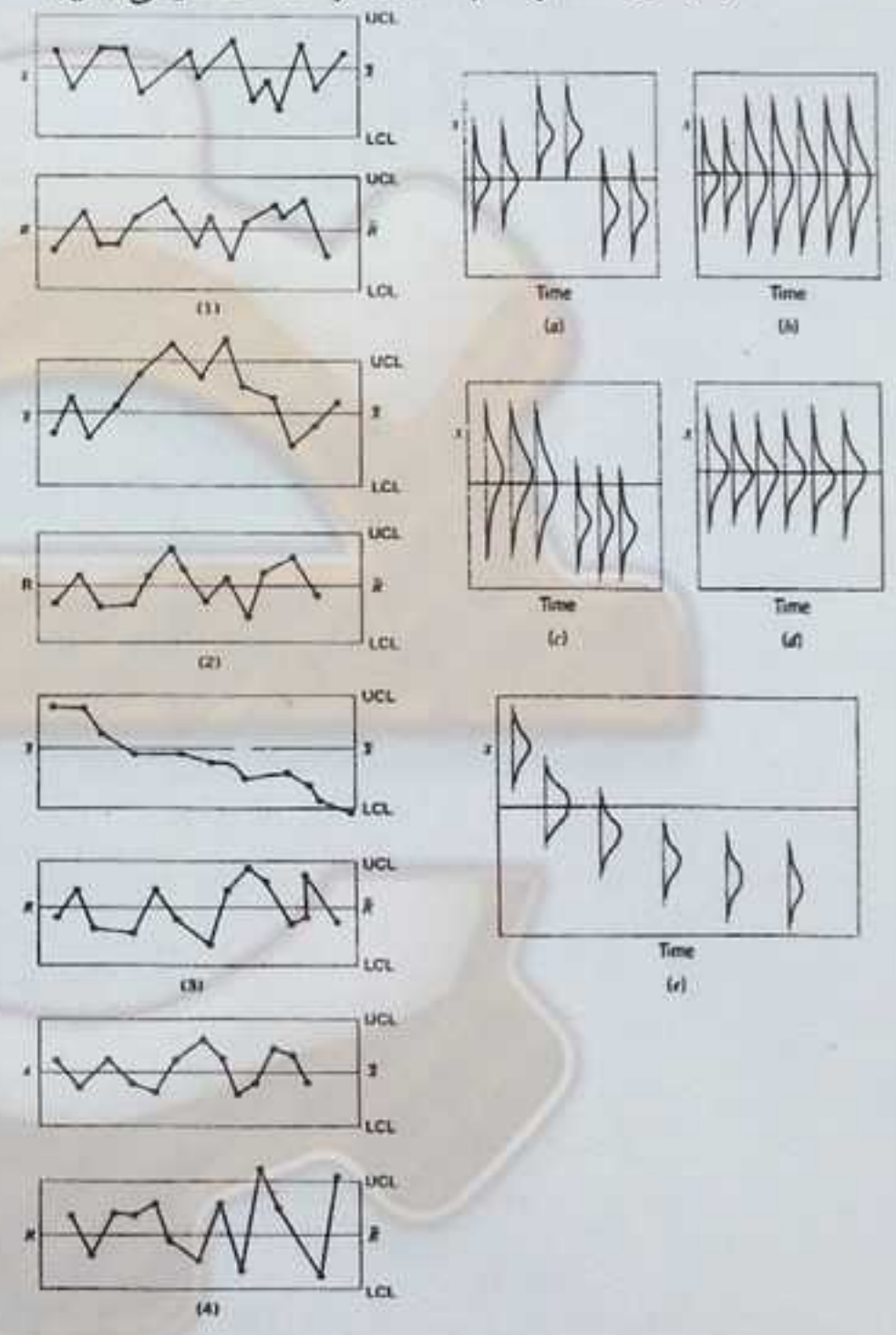
۵-۱۶ نمودار کنترل زیر را در نظر گیرید. آیا روند نقاط تصادفی به نظر می‌رسد؟



۵-۱۷ قوانین وسترن الکتریک را در مورد نمودار کنترل تمرین ۵-۱۴ اعمال کنید. آیا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند خارج از کنترل است؟

۵-۱۸ قوانین وسترن الکتریک را در مورد نمودار کنترل تمرین ۵-۱۶ اعمال کنید. آیا این قوانین حالت خارج از کنترل را نشان می‌دهند؟

۵-۱۹ رفتار یک فرآیند طی یک دورهٔ زمانی در نمودارهای زیر نشان داده شده است. هر یک از این روندها را به نمودارهای $\bar{X}$ و R ارائه شده در ادامه تخصیص دهید.



۵-۲۰ ضخامت یک صفحه مدار چاپ شده یکی از پارامترهای کیفی مهم است. داده‌های مربوط به ضخامت این صفحات (برحسب اینچ) برای ۵ نمونه سه‌تایی در جدول ۵E-۱ نشان داده شده است.

الف- نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R را برای این فرآیند تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل آماری است؟

ب- انحراف معیار فرآیند را برآورد کنید.

ج- حدودی که تقریباً شامل تمامی داده‌های فرآیند می‌شود را تعیین کنید.

جدول ۵E-۱

داده‌های ضخامت صفحهٔ مدار چاپ شده برای تمرین ۵-۲۰.

شماره نمونه	x_1	x_2	x_3
۱	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۳۶	۰/۰۶۴۰
۲	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۲۲
۳	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۳۳
۴	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۱
۵	۰/۰۶۱۹	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۳۰
۶	۰/۰۶۱۳	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۳۴
۷	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۹	۰/۰۶۲۵
۸	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۲۷	۰/۰۶۲۲
۹	۰/۰۶۲۳	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۳۳
۱۰	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۳۳
۱۱	۰/۰۶۳۵	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۸
۱۲	۰/۰۶۲۳	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۰
۱۳	۰/۰۶۳۵	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۳۰
۱۴	۰/۰۶۴۵	۰/۰۶۴۰	۰/۰۶۳۱
۱۵	۰/۰۶۱۹	۰/۰۶۴۴	۰/۰۶۳۲
۱۶	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۲۷	۰/۰۶۳۰
۱۷	۰/۰۶۱۶	۰/۰۶۲۳	۰/۰۶۳۱
۱۸	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۲۶
۱۹	۰/۰۶۳۶	۰/۰۶۳۱	۰/۰۶۲۹
۲۰	۰/۰۶۴۰	۰/۰۶۳۵	۰/۰۶۲۹
۲۱	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۱۶
۲۲	۰/۰۶۱۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۱۹
۲۳	۰/۰۶۳۰	۰/۰۶۳۲	۰/۰۶۳۰
۲۴	۰/۰۶۳۵	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۳۵
۲۵	۰/۰۶۲۳	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۳۰

۵-۲۱ وزن خالص (بر حسب اونس) یک پودر شوینده قرار است به وسیله نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R با استفاده از نمونه‌های پنج‌تایی پایش شود. داده‌های ۲۰ نمونهٔ اولیه درجدول ۵E-۲ نشان داده شده است.

الف- نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R را با استفاده از این داده‌ها تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل آماری است؟

ب- میانگین و انحراف معیار فرآیند را برآورد کنید.

ج- آیا به نظر می‌رسد که وزن خالص از توزیع نرمال پیروی کند؟

جدول ۲-5E

داده‌های وزن خالص پودر شوینده برای تمرین ۵-۲۱.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
۱	۱۵/۸	۱۶/۳	۱۶/۲	۱۶/۱	۱۶/۶
۲	۱۶/۳	۱۵/۹	۱۵/۹	۱۶/۲	۱۶/۴
۳	۱۶/۱	۱۶/۲	۱۶/۵	۱۶/۴	۱۶/۳
۴	۱۶/۳	۱۶/۲	۱۵/۹	۱۶/۴	۱۶/۲
۵	۱۶/۱	۱۶/۱	۱۶/۴	۱۶/۵	۱۶/۰
۶	۱۶/۱	۱۵/۸	۱۶/۷	۱۶/۶	۱۶/۴
۷	۱۶/۱	۱۶/۳	۱۶/۵	۱۶/۱	۱۶/۵
۸	۱۶/۲	۱۶/۱	۱۶/۲	۱۶/۱	۱۶/۳
۹	۱۶/۳	۱۶/۲	۱۶/۴	۱۶/۳	۱۶/۵
۱۰	۱۶/۶	۱۶/۳	۱۶/۴	۱۶/۱	۱۶/۵
۱۱	۱۶/۲	۱۶/۴	۱۵/۹	۱۶/۳	۱۶/۴
۱۲	۱۵/۹	۱۶/۶	۱۶/۷	۱۶/۲	۱۶/۵
۱۳	۱۶/۴	۱۶/۱	۱۶/۶	۱۶/۴	۱۶/۱
۱۴	۱۶/۵	۱۶/۳	۱۶/۲	۱۶/۳	۱۶/۴
۱۵	۱۶/۴	۱۶/۱	۱۶/۳	۱۶/۲	۱۶/۲
۱۶	۱۶/۰	۱۶/۲	۱۶/۳	۱۶/۳	۱۶/۲
۱۷	۱۶/۴	۱۶/۲	۱۶/۴	۱۶/۳	۱۶/۲
۱۸	۱۶/۰	۱۶/۲	۱۶/۴	۱۶/۵	۱۶/۱
۱۹	۱۶/۴	۱۶/۰	۱۶/۳	۱۶/۴	۱۶/۴
۲۰	۱۶/۴	۱۶/۴	۱۶/۵	۱۶/۰	۱۵/۸

۵-۲۲ تمرین ۵-۲۰ را مجدداً با استفاده از نمودارهای $\bar{X}-S$ انجام دهید.

۵-۲۳ تمرین ۵-۲۱ را مجدداً با استفاده از نمودارهای $\bar{X}-S$ انجام دهید.

۵-۲۴ نمونه‌های شش‌تایی از یک فرآیند خدماتی در فواصل معین انتخاب می‌شود. در هر بار نمونه‌گیری مشخصهٔ کیفی موردنظر اندازه‌گیری و مقادیر $\bar{x}$ و R محاسبه می شود. بعد از ۵۰ زیر گروه شش تایی $\bar{\bar{x}} = ۴۰$ و $\bar{R} = ۴$ به‌دست می‌آید. توزیع داده‌ها نرمال است.

الف- حدود کنترل نمودارهای $\bar{X}$ و R را محاسبه کنید.

ب- میانگین و انحراف معیار فرآیند را برآورد کنید. حدود مثبت و منفی سه انحراف معیار را برای مشاهدات انفرادی محاسبه کنید.

ج- اگر حدود مشخصات برابر ۴۱ ± ۵ باشد آنگاه در مورد توانایی فرآیند برای تولید محصولاتی در بین این حدود مشخصات چه می‌توان گفت؟

۵-۲۵ داده‌های مربوط به ۲۰ زیر گروه پنج تایی از مدت زمان ارایهٔ خدمت به مشتری در جدول ۵E-۳ نشان داده شده است.

الف- نمودارهای $\bar{X}$ و R را برای این فرآیند تهیه و تایید کنید که فرآیند تحت کنترل آماری است.

ب- پس از آماده شدن نمودارهای کنترل قسمت (الف)، ۱۰ نمونهٔ جدید ارایه شده در جدول ۵E-۴ از فرآیند انتخاب می‌شود. مقادیر جدید $\bar{x}$ و R را بر روی نمودارهای کنترل قسمت (الف) رسم کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

ج- فرض کنید انحراف بادلیل مربوط به هشدارهای قسمت (ب) شناسایی شده و اقدامات لازم برای اصلاح عملکرد فرآیند انجام شده است. مقادیر $\bar{x}$ و R زیر گروه‌های جدید در جدول ۵E-۵ که پس از انجام اقدامات اصلاحی تهیه شده است را بر روی نمودارهای کنترل تهیه شده در قسمت (الف) رسم کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

جدول ۳-5E

داده‌های مدت زمان ارایهٔ خدمت به مشتری برای تمرین ۵-۲۵.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R
۱	۱۳۸/۱	۱۱۰/۸	۱۳۸/۷	۱۳۷/۴	۱۲۵/۴	۱۳۰/۱	۲۷/۹
۲	۱۹۴/۳	۱۴۲/۱	۱۰۵/۰	۱۳۳/۰	۹۲/۳	۱۲۴/۵	۵۷/۰
۳	۱۱۵/۹	۱۳۵/۶	۱۲۴/۲	۱۵۵/۰	۱۱۷/۴	۱۲۹/۶	۳۹/۱
۴	۱۱۸/۵	۱۶۶/۵	۱۳۰/۲	۱۳۲/۶	۱۰۰/۲	۱۱۷/۶	۳۰/۰
۵	۱۰۸/۲	۱۲۳/۸	۱۱۷/۱	۱۴۲/۴	۱۵۰/۹	۱۲۸/۵	۴۲/۷
۶	۱۰۲/۸	۱۱۲/۰	۱۳۵/۰	۱۳۵/۰	۱۴۵/۸	۱۲۶/۱	۴۳/۰
۷	۱۲۰/۴	۸۴/۳	۱۱۲/۸	۱۱۸/۵	۱۱۹/۳	۱۱۱/۰	۳۶/۱
۸	۱۳۲/۷	۱۵۱/۱	۱۲۴/۰	۱۲۳/۹	۱۰۵/۱	۱۲۷/۴	۴۶/۰
۹	۱۳۶/۴	۱۲۶/۲	۱۵۴/۷	۱۲۷/۱	۱۷۳/۲	۱۴۳/۵	۴۶/۹
۱۰	۱۳۵/۰	۱۱۵/۴	۱۹۴/۱	۱۳۸/۳	۱۳۰/۴	۱۳۳/۶	۳۳/۷
۱۱	۱۳۹/۶	۱۲۷/۹	۱۵۱/۱	۱۴۳/۷	۱۱۰/۵	۱۳۴/۶	۴۰/۶
۱۲	۱۲۵/۳	۱۶۰/۲	۱۳۰/۴	۱۵۲/۴	۱۶۵/۱	۱۴۶/۷	۳۹/۸
۱۳	۱۴۵/۷	۱۰۱/۸	۱۴۹/۵	۱۱۳/۳	۱۵۱/۸	۱۳۲/۴	۵۰/۰
۱۴	۱۳۸/۶	۱۳۹/۰	۱۳۱/۹	۱۴۰/۲	۱۴/۱	۱۳۸/۱	۹/۲
۱۵	۱۱۰/۱	۱۱۴/۶	۱۶۵/۱	۱۱۳/۸	۱۳۹/۶	۱۲۸/۷	۵۴/۸
۱۶	۱۴۵/۲	۱۰۱/۰	۱۵۴/۶	۱۱۲۰/۲	۱۱۷/۳	۱۲۷/۶	۵۳/۳
۱۷	۱۲۵/۹	۱۳۵/۳	۱۲۱/۵	۱۴۷/۹	۱۰۵/۰	۱۲۷/۱	۴۲/۹
۱۸	۱۲۹/۷	۹۷/۳	۱۳۰/۵	۱۰۹/۰	۱۵۰/۵	۱۲۳/۴	۵۳/۲
۱۹	۱۲۳/۴	۱۵۰/۰	۱۶۱/۶	۱۴۸/۴	۱۵۴/۲	۱۴۷/۵	۳۸/۳
۲۰	۱۴۴/۸	۱۳۸/۳	۱۱۹/۶	۱۵۱/۸	۱۴۲/۷	۱۳۹/۴	۳۲/۲

جدول 5E-4

داده‌های جدید مدت زمان ارایهٔ خدمت به مشتری برای تمرین ۵-۲۵ قسمت (ب).

شمارهٔ نمونه	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R
۱	۱۳۱/۰	۱۸۴/۸	۱۸۲/۲	۱۴۳/۳	۲۱۲/۸	۱۷۰/۸	۸۱/۸
۲	۱۸۱/۳	۱۹۳/۲	۱۸۰/۷	۱۶۹/۱	۱۷۳/۳	۱۷۹/۷	۲۴/۰
۳	۱۵۴/۸	۱۷۰/۲	۱۶۸/۴	۲۰۲/۷	۱۷۳/۴	۱۷۳/۱	۴۸/۰
۴	۱۵۷/۵	۱۵۴/۲	۱۶۹/۱	۱۴۲/۲	۱۶۱/۹	۱۵۷/۰	۲۶/۹
۵	۲۱۶/۳	۱۷۴/۳	۱۶۶/۲	۱۵۵/۵	۱۸۴/۳	۱۷۹/۳	۶۰/۸
۶	۱۸۶/۹	۱۸۰/۲	۱۴۹/۲	۱۷۵/۲	۱۸۵/۰	۱۷۵/۳	۳۷/۸
۷	۱۶۷/۸	۱۴۳/۹	۱۵۷/۵	۱۷۱/۸	۱۹۴/۹	۱۶۷/۲	۵۱/۰
۸	۱۷۸/۲	۱۸۶/۷	۱۴۲/۴	۱۵۹/۴	۱۶۷/۶	۱۶۶/۹	۴۴/۳
۹	۱۶۲/۶	۱۴۳/۶	۱۳۲/۸	۱۶۸/۹	۱۷۷/۲	۱۵۷/۰	۴۲/۵
۱۰	۱۷۲/۱	۱۹۱/۷	۲۰۳/۴	۱۵۰/۴	۱۹۶/۳	۱۸۲/۸	۵۳/۰

جدول 5E-5

داده‌های جدید مدت زمان ارایهٔ خدمت به مشتری برای تمرین ۵-۲۵ قسمت (ج).

شمارهٔ نمونه	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R
۱	۱۳۱/۵	۱۴۳/۱	۱۱۸/۵	۱۰۳/۲	۱۲۱/۶	۱۲۳/۶	۳۹/۸
۲	۱۱۱/۰	۱۲۷/۳	۱۱۰/۴	۹۱/۰	۱۴۳/۹	۱۱۶/۷	۵۲/۸
۳	۱۲۹/۸	۹۸/۳	۱۳۴/۰	۱۰۵/۱	۱۳۳/۱	۱۲۰/۱	۳۵/۷
۴	۱۴۵/۲	۱۳۲/۸	۱۰۶/۱	۱۳۱/۰	۹۹/۲	۱۲۲/۸	۴۶/۰
۵	۱۱۴/۶	۱۱۱/۰	۱۰۸/۸	۱۷۷/۵	۱۲۱/۶	۱۲۶/۷	۶۸/۷
۶	۱۲۵/۲	۸۶/۴	۶۴/۴	۱۳۷/۱	۱۱۷/۵	۱۰۶/۱	۷۲/۶
۷	۱۴۵/۹	۱۰۹/۵	۸۴/۹	۱۲۹/۸	۱۱۰/۶	۱۱۶/۱	۶۱/۰
۸	۱۲۳/۶	۱۱۴/۰	۱۳۵/۴	۸۳/۲	۱۰۷/۶	۱۱۲/۸	۵۲/۲
۹	۸۵/۸	۱۵۶/۳	۱۱۹/۷	۹۶/۲	۰۱۵۳	۱۲۲/۲	۷۰/۶
۱۰	۱۰۷/۴	۱۴۸/۷	۱۲۷/۴	۱۲۵/۰	۱۲۷/۵	۱۲۷/۲	۴۱/۳

۵-۲۶ قطعات تولید شده به وسیلهٔ فرآیند قالب‌گیری تزریقی تحت آزمایش مقاومت در برابر فشار قرار می‌گیرند. بیست نمونهٔ پنج‌تایی تهیه و مقاومت در برابر فشار آنها (برحسب psi) اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل در جدول 5E-6 ثبت شده است.

الف- نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R را برای داده‌های آزمایش مقاومت در برابر فشار تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل آماری قرار دارد؟

ب- بعد از تهیهٔ نمودارهای کنترل قسمت (الف)، ۱۵ زیر گروه دیگر تهیه و داده‌های مقاومت در برابر فشار آنها در جدول 5E-7 نشان داده شده است. مقادیر $\bar{x}$ و R را بر روی نمودارهای کنترل در قسمت (الف) رسم و نتیجه‌گیری خود را بیان کنید.

جدول 5E-6

داده‌های مدت زمان ارایهٔ خدمت به مشتری برای تمرین ۵-۲۵.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R
۱	۸۳/۰	۸۱/۲	۷۸/۷	۷۵/۷	۷۷/۰	۷۹/۱	۷/۳
۲	۸۸/۶	۷۸/۳	۷۸/۸	۷۱/۰	۸۴/۲	۸۰/۲	۱۷/۶
۳	۸۵/۷	۷۵/۸	۸۴/۳	۷۵/۲	۸۱/۰	۸۰/۴	۱۰/۴
۴	۸۰/۸	۷۳/۴	۸۲/۵	۷۴/۱	۷۵/۷	۷۷/۵	۸/۴
۵	۸۳/۴	۷۸/۴	۸۲/۶	۷۸/۲	۷۸/۹	۸۰/۳	۵/۲
۶	۷۳/۳	۷۹/۹	۸۷/۳	۸۹/۷	۸۱/۸	۸۳/۸	۱۴/۵
۷	۷۴/۵	۷۸/۰	۸۰/۸	۷۳/۴	۷۹/۷	۷۷/۳	۷/۴
۸	۷۹/۲	۸۴/۴	۸۱/۵	۸۶/۰	۷۴/۵	۸۱/۱	۱۱/۴
۹	۸۰/۵	۸۶/۲	۷۶/۲	۶۴/۱	۸۰/۲	۸۱/۴	۹/۹
۱۰	۷۵/۷	۷۵/۲	۷۱/۱	۸۲/۱	۷۴/۳	۷۵/۷	۱۰/۹
۱۱	۸۰/۰	۸۱/۵	۷۸/۴	۷۳/۸	۷۸/۱	۷۸/۴	۷/۷
۱۲	۸۰/۶	۸۱/۸	۷۹/۳	۷۳/۸	۸۱/۷	۷۹/۴	۸/۰
۱۳	۸۲/۷	۸۱/۳	۷۹/۱	۸۲/۰	۷۹/۵	۸۰/۹	۳/۶
۱۴	۷۹/۲	۷۴/۹	۷۸/۶	۷۷/۷	۷۵/۳	۷۷/۱	¾
۱۵	۸۵/۵	۸۲/۱	۸۲/۸	۷۳/۴	۷۱/۷	۷۹/۱	۱۳/۸
۱۶	۷۸/۸	۷۹/۶	۸۰/۲	۷۹/۱	۸۰/۸	۷۹/۷	۲/۰
۱۷	۸۲/۱	۷۸/۳	۷۵/۵	۷۸/۲	۸۲/۱	۷۹/۲	۶/۶
۱۸	۸۴/۵	۷۶/۹	۸۳/۵	۸۱/۲	۷۹/۲	۸۱/۱	۷/۶
۱۹	۷۹/۰	۷۷/۸	۸۱/۲	۸۳/۴	۸۱/۶	۸۰/۸	۶/۶
۲۰	۸۴/۵	۷۳/۱	۷۸/۶	۷۸/۷	۸۰/۶	۷۹/۱	۱۱/۴

جدول 5E-7

داده‌های جدید مقاومت در برابر فشار برای تمرین ۵-۲۶ قسمت (ب).

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R
۱	۶۸/۹	۸۱/۵	۷۸/۲	۸۰/۸	۸۱/۵	۷۸/۲	۱۲/۶
۲	۶۹/۸	۶۸/۶	۸۰/۴	۸۴/۳	۸۳/۹	۷۷/۴	۱۵/۷
۳	۷۸/۵	۸۵/۲	۷۸/۴	۸۰/۳	۸۱/۷	۸۰/۸	۶/۸
۴	۷۶/۹	۸۶/۱	۸۶/۹	۹۴/۴	۸۳/۹	۸۵/۶	۱۷/۵
۵	۹۳/۶	۸۱/۶	۸۷/۸	۷۹/۶	۷۱/۰	۸۲/۷	۲۲/۵
۶	۶۵/۵	۸۶/۸	۷۲/۴	۸۲/۶	۷۱/۴	۷۵/۹	۲۱/۳
۷	۷۸/۱	۶۵/۷	۸۳/۷	۹۳/۷	۹۳/۴	۸۲/۹	۲۷/۹
۸	۷۴/۹	۷۲/۶	۸۱/۶	۸۷/۲	۷۲/۷	۷۷/۸	۱۴/۶
۹	۷۸/۱	۷۷/۱	۶۷/۰	۷۵/۷	۷۶/۸	۷۴/۹	۱۱/۰
۱۰	۷۸/۷	۸۵/۴	۷۷/۷	۹۰/۷	۷۶/۷	۸۱/۹	۱۴/۰
۱۱	۸۵/۰	۶۰/۲	۶۸/۵	۷۱/۱	۸۲/۴	۷۳/۴	۲۴/۹
۱۲	۸۶/۴	۷۹/۲	۷۹/۸	۸۶/۰	۷۵/۴	۸۱/۳	۱۰/۹
۱۳	۷۸/۵	۹۹/۰	۷۸/۳	۷۱/۴	۸۱/۸	۸۱/۷	۲۷/۶
۱۴	۶۸/۸	۶۲/۰	۸۲/۰	۷۷/۵	۷۶/۱	۷۳/۳	۱۹/۹
۱۵	۸۳/۰	۸۳/۷	۷۳/۱	۸۲/۲	۹۵/۳	۸۳/۵	۲۲/۲

۵-۲۷ داده‌های تمرین ۵-۲۶ را مجدداً در نظر گیرید.

الف- هر دو قسمت (الف) و (ب) تمرین ۶-۱۵ را با استفاده از نمودارهای $\bar{X}$ و S مجدداً انجام دهید.

ب- آیا نمودار S تغییر ایجاد شده در تغییرپذیری فرآیند را سریعتر از نمودار R قسمت (ب) تمرین ۵-۲۷ شناسایی می‌کند؟

۵-۲۸ قوطی‌های قهوه یک پوندی به وسیله یک دستگاه خودکار پُر، بسته‌بندی و وزن می‌شود. قوطی‌هایی که وزن آنها کمتر از ۱۶ اونس باشد جمع آوری و کنار گذاشته می‌شوند. وزن ۲۵ قوطی متوالی در جدول 5E-8 نشان داده شده است. با استفاده از این داده‌ها، یک نمودار کنترل دامنهٔ متحرک و یک نمودار کنترل برای

اندازه‌گیری‌های انفرادی طراحی کنید. میانگین و انحراف معیار مقدار قهوه‌ای که در هر قوطی بسته‌بندی شده است را برآورد کنید. آیا فرض توزیع نرمال برای وزن قوطی‌ها معقول است؟ اگر فرآیند در سطح فعلی تحت کنترل باشد چند درصد از قوطی‌ها فاقد قهوهٔ کافی خواهند بود؟

جدول ۵E-۸

داده‌های وزن قوطی برای تمرین۵-۲۸.

شماره قوطی	وزن	شماره قوطی	وزن
۱۶/۱۲	۱۴	۱۶/۱۱	۱
۱۶/۱۰	۱۵	۱۶/۰۸	۲
۱۶/۰۸	۱۶	۱۶/۱۲	۳
۱۶/۱۳	۱۷	۱۶/۱۰	۴
۱۶/۱۵	۱۸	۱۶/۱۰	۵
۱۶/۱۲	۱۹	۱۶/۱۱	۶
۱۶/۱۰	۲۰	۱۶/۱۲	۷
۱۶/۰۸	۲۱	۱۶/۰۹	۸
۱۶/۰۷	۲۲	۱۶/۱۲	۹
۱۶/۱۱	۲۳	۱۶/۱۰	۱۰
۱۶/۱۳	۲۴	۱۶/۰۹	۱۱
۱۶/۱۰	۲۵	۱۶/۰۷	۱۲
۱۶/۱۲		۱۶/۱۳	۱۳

۵-۲۹ نتایج آزمایش سختی بر روی پانزده نمونهٔ متوالی از یک آلیاژ آهن در جدول ۵E-۹ نشان داده شده است. یک نمودار کنترل دامنهٔ متحرک و یک نمودار کنترل برای اندازه‌گیری‌های انفرادی به منظور کنترل سختی این آلیاژ طراحی کنید. آیا فرض توزیع نرمال برای سختی معقول است؟

جدول ۵E-۹

داده‌های سختی برای تمرین ۵-۲۹.

سختی (کد شده)	شماره آلیاژ	سختی (کد شده)	شماره آلیاژ
۵۸	۹	۵۲	۱
۵۱	۱۰	۵۱	۲
۵۴	۱۱	۵۴	۳
۵۹	۱۲	۵۵	۴
۵۳	۱۳	۵۰	۵
۵۴	۱۴	۵۲	۶
۵۵	۱۵	۵۰	۷
		۵۱	۸

۵-۳۰ گران‌روی یک پلیمر در هر ساعت اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های مربوط به بیست ساعت گذشته در جدول ۵E-۱۰ نشان داده شده است.

الف- آیا گران‌روی از توزیع نرمال پیروی می‌کند؟

ب- نمودارهای کنترل مناسبی را برای داده‌های گران‌روی تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل آماری است؟

ج- میانگین و انحراف معیار فرآیند را برآورد کنید.

جدول ۵E-۱۰

داده‌های گران‌روی برای تمرین ۵-۳۰.

آزمایش	گران‌روی	آزمایش	گران‌روی
۳۱۷۴	۱۱	۲۸۳۸	۱
۳۱۰۲	۱۲	۲۷۸۵	۲
۲۷۶۲	۱۳	۳۰۵۸	۳
۲۹۷۵	۱۴	۳۰۶۴	۴
۲۷۱۶	۱۵	۲۹۹۶	۵
۲۸۶۱	۱۶	۲۸۸۲	۶
۲۷۹۷	۱۷	۲۸۷۸	۷
۳۰۷۸	۱۸	۲۹۲۰	۸
۲۹۶۴	۱۹	۳۰۵۰	۹
۲۸۰۵	۲۰	۲۸۷۰	۱۰

۵-۳۱ ادامه تمرین ۵-۳۰. پنج نمونهٔ بعدی گران‌روی به ترتیب از راست به چپ ۳۱۶۳، ۳۱۹۹، ۳۰۵۴، ۳۱۴۷ و ۳۱۵۶ هستند. آیا این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که فرآیند تحت کنترل آماری است؟

۵-۳۲ دستگاهی برای پُر کردن قوطی‌های یک نوع نوشیدنی انرژی‌زا استفاده می‌شود. در هر نیم ساعت یک قوطی به طور تصادفی انتخاب و وزن می‌شود. تغییرپذیری این فرآیند به علت خودکار بودن دستگاه پُرکن از ثبات بالایی برخوردار است. تجربه ثابت کرده است که انحراف معیار برابر $\sigma = ۰/۰۵$ اونس است. مشاهدات انفرادی برای یک دورهٔ ۲۴ ساعته در جدول ۵E-۱۱ نشان داده شده است.

الف- با فرض مقدار هدف فرآیند برابر ۸/۰۲ اونس یک نمودار CUSUM جدولی برای این فرآیند تهیه کنید. این نمودار را با مقادیر استاندارد $h=۴/۷۷$ و $k = ۰/۵$ طراحی کنید.

ب- آیا مقدار $\sigma = ۰/۰۵$ برای این فرآیند منطقی به نظر می‌رسد؟

جدول ۵E-۱۰

داده‌های حجم برای تمرین ۵-۳۲.

شمارهٔ مشاهده	x	شمارهٔ مشاهده	x
۸/۰۵	۱۳	۸/۰۰	۱
۸/۰۴	۱۳	۸/۰۱	۲
۸/۰۳	۱۵	۸/۰۲	۳
۸/۰۵	۱۶	۸/۰۱	۴
۸/۰۶	۱۷	۸/۰۰	۵
۸/۰۴	۱۸	۸/۰۱	۶
۸/۰۵	۱۹	۸/۰۶	۷
۸/۰۶	۲۰	۸/۰۷	۸
۸/۰۴	۲۱	۸/۰۱	۹
۸/۰۲	۲۲	۸/۰۴	۱۰
۸/۰۳	۲۳	۸/۰۲	۱۱
۸/۰۵	۲۴	۸/۰۱	۱۲

۵-۳۳ تمرین ۵-۳۲ را با استفاده از پارامترهای CUSUM استاندارد $h = ۸/۰۱$ و $k = ۰/۲۵$ حل کنید. نتایج حاصل را با نتایج به دست آمده در تمرین ۵-۳۲ مقایسه کنید. در مورد عملکرد این دو روش CUSUM از لحاظ تئوری چه می‌توان گفت؟

۵-۳۴ داده‌های جدول ۵E-۱۲ مدت زمان صدور چک‌های حقوق (بر حسب دقیقه) در یک شرکت را نشان می‌دهد (مشاهدات از سمت چپ به طرف پایین خوانده شود). مقدار هدف برای میانگین فرآیند $\mu_0 = ۹۵۰$ دقیقه (دو روز کاری) است.

الف- انحراف معیار فرآیند را برآورد کنید.

ب- یک نمودار CUSUM جدولی برای این فرآیند با در نظر گرفتن مقادیر استاندارد $h=۵$ و $k = ۰/۵$ طراحی کنید. این نمودار را تفسیر کنید.

جدول ۵E-۱۲

داده‌های مدت زمان صدور چک‌های حقوق برای تمرین ۵-۳۴.

۹۲۵	۹۵۸	۹۴۸	۹۵۹	۹۳۷	۹۴۹	۹۸۵	۹۵۳
۹۳۱	۹۵۵	۹۳۷	۹۳۹	۹۴۶	۹۴۱	۹۷۳	۹۴۵
۹۲۸	۹۴۷	۹۵۵	۹۴۸	۹۵۴	۹۶۶	۹۵۵	۹۷۲
۹۳۷	۹۴۱	۹۲۷	۹۵۸	۹۳۵	۹۶۶	۹۵۰	۹۴۵
۹۵۰	۹۳۸	۹۴۰	۹۶۳	۹۴۱	۹۳۴	۹۴۸	۹۷۵
۹۷۰	۹۴۵	۹۶۲	۹۷۳	۹۳۳	۹۳۷	۹۵۷	۹۷۰
۹۳۳	۹۶۳	۹۶۳	۹۴۹	۹۶۰	۹۴۶	۹۴۰	۹۵۹
۹۶۰	۹۶۷	۹۴۳	۹۴۲	۹۶۸	۹۵۲	۹۳۳	۹۷۳
۹۳۴	۹۶۹	۹۵۰	۹۶۵	۹۵۹	۹۳۵	۹۶۵	۹۴۰
۹۲۷	۹۸۱	۹۳۸	۹۶۲	۹۵۶	۹۴۱	۹۷۳	۹۳۶

۵-۳۵ سختی کلسیم در هر ساعت برای یک استخر عمومی اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های جدول ۵E-۱۳ (برحسب ppm) اطلاعات حاصل طی ۳۲ ساعت را نشان می‌دهد. (مشاهدات از سمت چپ به طرف پایین خوانده شود). مقدار هدف برای میانگین فرآیند $\mu_0 = ۱۷۵$ ppm است.

الف- انحراف معیار فرآیند را برآورد کنید.

ب- یک یک نمودار CUSUM جدولی برای این فرآیند با در نظر گرفتن مقادیر استاندارد $h=۵$ و $k = ۰/۵$ طراحی کنید.

جدول ۵E-۱۳

داده‌های سختی کلسیم در هر ساعت برای تمرین ۵-۳۵.

۲۰۶	۱۹۰	۱۸۶	۱۶۰
۲۱۰	۱۸۹	۱۹۵	۱۵۸
۲۱۶	۱۸۵	۱۷۹	۱۵۰
۲۱۲	۱۸۲	۱۸۴	۱۵۱
۲۱۱	۱۸۱	۱۷۵	۱۵۳
۲۰۲	۱۸۰	۱۹۲	۱۵۴
۲۰۵	۱۸۳	۱۸۶	۱۵۸
۱۹۷	۱۸۶	۱۹۷	۱۶۲

۵-۳۶ داده‌های تمرین ۵-۳۲ را در نظر گیرید. یک نمودار EWMA با $\lambda = ۰/۲$ و $L=۳$ برای این فرآیند طراحی کنید. نتایج حاصل را تفسیر کنید.

۵-۳۷ نمودار کنترل در تمرین ۵-۳۶ را با استفاده از $\lambda = ۰/۱$ و $L=۲/۷$ مجدداً طراحی کنید. این نمودار را با نمودار تمرین ۵-۳۶ مقایسه کنید.

۵-۳۸ داده‌های تمرین ۵-۳۴ را در نظر گیرید. یک نمودار کنترل EWMA با $\lambda = ۰/۱$ و $L=۲/۷$ طراحی و برای کنترل این فرآیند استفاده کنید.

۵-۳۹ نمودار کنترل در تمرین ۵-۳۴ را با استفاده از $\lambda = ۰/۴$ و $L=۳$ مجدداً طراحی کنید. این نمودار را با نمودار تمرین ۵-۳۸ مقایسه کنید.

۵-۴۰ داده‌های تمرین ۵-۳۵ را در نظر گیرید. یک نمودار کنترل EWMA با $\lambda = ۰/۰۵$ و $L=۲/۶$ طراحی و برای کنترل این فرآیند استفاده کنید.

۵-۴۱ فرآیندی با مقادیر $\bar{\bar{x}} = ۱۰۰$، $\bar{s} = ۱/۰۵$ و $n=۵$ تحت کنترل است. حدود مشخصات این فرآیند برابر ۹۵ ± ۱۰ و توزیع مشخصهٔ کیفی نرمال است.

الف- قابلیت بالقوه فرآیند را برآورد کنید.

ب- قابلیت واقعی فرآیند را برآورد کنید.
ج- اگر فرآیند بر روی مشخصهٔ اسمی متمرکز شود چه مقدار از میزان محصولات نا انطباق فرآیند کاسته خواهد شد؟

۴۲-۵ فرآیندی با مقادیر $\overline{\overline{x}} = ۱۹۹$ و $\overline{R} = ۳/۵$ و $n=۴$ تحت کنترل است. حدود مشخصات این فرآیند برابر ۲۰۰ ± ۸ و توزیع مشخصهٔ کیفی نرمال است.
الف- قابلیت بالقوه فرآیند را برآورد کنید.
ب- قابلیت واقعی فرآیند را برآورد کنید.
ج- اگر میانگین فرآیند بر روی مقدار اسمی متمرکز شود عملکرد فرآیند چه مقدار بهبود خواهد یافت؟

۴۳-۵ فرآیندی با مقادیر $\overline{\overline{x}} = ۳۹/۷$، $\overline{R} = ۲/۵$ و $n=۲$ تحت کنترل است. حدود مشخصات این فرآیند برابر ۴۰ ± ۵ و توزیع مشخصهٔ کیفی نرمال است.
الف- قابلیت بالقوه فرآیند را برآورد کنید.
ب- قابلیت واقعی فرآیند را برآورد کنید.
ج- اگر میانگین فرآیند بر روی مقدار اسمی متمرکز شود عملکرد فرآیند چه مقدار بهبود خواهد یافت؟

۴۴-۵ فرآیندی با مقادیر $\overline{\overline{x}} = ۷۵$، $\overline{s} = ۲$ و $n=۵$ تحت کنترل است. حدود مشخصات این فرآیند برابر ۸۰ ± ۸ است.
الف- قابلیت بالقوه فرآیند را برآورد کنید.
ب- قابلیت واقعی فرآیند را برآورد کنید.
ج- اگر میانگین فرآیند به مقدار اسمی تغییر کند چه مقدار از میزان محصولات نا انطباق فرآیند کاسته خواهد شد؟ فرض کنید مشخصهٔ کیفی فرآیند دارای توزیع نرمال است.

۴۵-۵ داده‌های جدول ۵E-۱۴ وزن ظروف یک کیلوگرمی از یک فرآوردهٔ شیمیایی را نشان می‌دهد. یک نمودار احتمال نرمال برای این داده‌ها تهیه و قابلیت فرآیند را برآورد کنید.

جدول ۵E-۱۴
داده‌های وزن ظروف یک کیلوگرمی برای تمرین ۵-۴۵.

۱/۰۱۸۰	۱/۰۰۷۵	۰/۹۹۶۵	۰/۹۷۷۵	۰/۹۴۷۵
۱/۰۲۰۰	۱/۰۱۰۰	۰/۹۹۷۵	۰/۹۸۶۰	۰/۹۷۰۵
۱/۰۲۵۰	۱/۰۱۷۵	۱/۰۰۵۰	۰/۹۹۶۰	۰/۹۷۷۰

۴۶-۵ داده‌های وزن ظروف در تمرین ۵-۴۵ را در نظر گیرید. فرض کنید حد مشخصهٔ پایین برابر ۰/۹۸۵ است. یک نسبت قابلیت فرآیند مناسب برای این مادهٔ شیمیایی تهیه کنید. چند درصد از ظروف تولید شده به وسیلهٔ این فرآیند را برآورد می‌کنید وزنی کمتر از حد مشخصهٔ پایین داشته باشند؟

۴۷-۵ ارتفاع محل نصب دیسک خوان در کامپیوتر یک مشخصهٔ بحرانی محسوب می‌شود. جدول ۵E-۱۵ داده‌ها مربوط به ارتفاع ۲۵ دیسک خوان نصب شده (بر حسب میلی‌متر) که به طور تصادفی از یک فرآیند انتخاب شده‌اند را نشان می‌دهد. یک نمودار احتمال نرمال برای داده‌های مربوط به ارتفاع دیسک خوان‌های نصب شده تهیه و قابلیت فرآیند را برآورد کنید.

جدول ۵E-۱۵
داده‌های ارتفاع دیسک خوان برای تمرین ۵-۴۷.

۲۰/۰۰۰۱	۱۹/۹۷۷۲	۲۰/۰۰۶۷	۲۰/۰۰۹۰	۲۰/۰۱۰۶
۱۹/۹۹۵۸	۱۹/۹۹۸۶	۲۰/۰۰۴۲	۱۹/۹۸۷۶	۱۹/۹۹۴۰
۲۰/۰۰۸۹	۱۹/۹۹۷۵	۲۰/۰۰۵۹	۲۰/۰۰۱۸	۲۰/۰۰۷۵
۲۰/۰۱۵۴	۱۹/۹۸۸۴	۱۹/۹۹۵۶	۱۹/۹۸۹۱	۲۰/۰۰۴۵
۲۰/۰۰۴۷	۲۰/۰۰۰۶	۲۰/۰۰۴۰	۱۹/۹۸۳۱	۲۰/۰۰۵۶

۴۸-۵ مدت زمان مورد نیاز برای پرداخت صورت حساب‌های ارائه شده توسط کارکنان، مشخصه‌ای است که می‌توان از آن برای ارزیابی عملکرد فرآیند استفاده کرد. جدول جدول ۵E-۱۶ داده‌های یک نمونهٔ تصادفی ۳۰ تایی از مدت باز پرداخت صورت حساب‌های کارکنان را بر حسب روز نشان می‌دهد. قابلیت این فرآیند را برآورد کنید.

جدول ۵E-۱۶
داده‌های تعداد روز تا پرداخت صورت حساب‌ها برای تمرین ۵-۴۸.

۱۲	۱۴	۱۶	۵	۵
۱۰	۱۱	۶	۱۳	۸
۱۴	۱۹	۱۳	۱۸	۱۸
۱۶	۱۳	۱۱	۱۶	۱۷
۱۴	۱۲	۱۲	۱۸	۱۰

۴۹-۵ یکی از مراکز برق منطقه‌ای، مدت زمان تا رفع قطعی برق که توسط مشترکین گزارش می‌شود را تحت پایش قرار داده است. داده‌های مربوط به زمان گزارش تا رفع

قطعی برق (بر حسب دقیقه) برای ۴۰ نمونه تصادفی در طول یک ماه در جدول 5E-۱۷ نشان داده شده است.

الف- قابلیت فرآیند پاسخگویی به مشکل قطعی برق را برآورد کنید.

ب- این مرکز برق علاقمند است به ۹۰ درصد قطعی‌های برق گزارش شده در کمتر از دو ساعت رسیدگی کند زیرا شاخص رفع قطعی برق یکی از شاخص‌های مهم در حوزهٔ رضایت مشتری محسوب می‌شود. قابلیت فرآیند را با در نظر گرفتن این هدف برآورد کنید؟

جدول 5E-۱۷

داده‌های مدت زمان گزارش تا رفع قطعی برق برای تمرین ۵-۴۹.

۹۷	۱۲۷	۱۱۰	۱۰۵	۱۰۶	۸۶	۹۴	۸۶	۱۰۲	۸۰
۹۳	۹۹	۸۷	۹۷	۸۴	۹۸	۱۲۸	۹۷	۱۰۴	۱۱۰
۱۰۹	۱۰۳	۱۰۴	۸۰	۸۵	۱۲۵	۷۷	۸۴	۱۰۲	۱۰۵
۹۳	۱۰۲	۱۰۰	۱۰۶	۸۷	۹۶	۹۶	۱۰۰	۸۹	۱۱۵

۵-۵۰ مدت زمان تا شکست (بر حسب ساعت) برای ۱۰ مدار حافظه LSI از این قرار است:

۱۲۱۰، ۱۲۷۵، ۱۴۰۰، ۱۶۹۵، ۱۹۰۰، ۲۱۰۵، ۲۲۳۰، ۲۲۵۰، ۲۵۰۰، ۲۶۲۵

این داده‌ها را بر روی یک کاغذ احتمال نرمال رسم و در صورت مناسب بودن، قابلیت فرآیند را برآورد کنید. آیا می‌توان نسبت مدارهایی که قبل از ۱۲۰۰ ساعت خراب می‌شوند را با اطمینان برآورد کرد؟

فصل ششم نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های وصفی

رئوس مطالب فصل

۶-۱ مقدمه
۶-۲ نمودارهای کنترل برای نسبت اقلام نامنطبق
۶-۳ نمودارهای کنترل برای عدم انطباق‌ها
۶-۴ انتخاب بین نمودارهای کنترل وصفی و متغیر
۶-۵ خطوط راهنما برای اجرای نمودارهای کنترل
پیوست یک: تهیهٔ یک نمودار کنترل *p* با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست دو: تهیهٔ یک نمودار کنترل *np* با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست سه: تهیهٔ یک نمودار کنترل *c* با استفاده از SPC XL و Minitab
پیوست چهار: تهیهٔ یک نمودار *u* با استفاده از SPC XL و Minitab

اجرای کنترل فرآیند آماری در یک مرکز پزشکی

طی یک دهه، صنعت پزشکی اخیر با تغییرات سریعی همراه بوده است. پزشکان همیشه از سمت شرکت‌های بیمه برای کاهش هزینه‌ها و افزایش سود تحت فشار بوده‌اند. بدین منظور یک مرکز پزشکی تصمیم می‌گیرد در کنار صورت وضعیت‌های سود و زیان خود از نمودارهای کنترل فرآیند آماری برای کمک به ایجاد تصویر بهتری از عملکرد این مرکز استفاده کند.

سنجه‌های انتخاب شده از طرف مرکز پزشکی مبتنی بر پنج عامل اصلی بهره‌وری، رشد، مقرون به صرفه بودن، کارایی، و میزان سهم در بهبود بوده است. یک تیم کارشناسی وضعیت این عامل‌ها را تا سطح موردنظر بررسی کرده و سپس با تجمیع آنها دسته‌های کلانی نظیر پزشکی داخلی، کودکان و پزشکی عمومی را تشکیل می‌دهد.

سپس تیم کارشناسی در یک مطالعهٔ به‌کاوی، هر یک از شاخص‌های کنترل فرآیند آماری را درحوزه‌های مراقبت پزشکی اولیه مورد بررسی قرار داد. این‌کار منجر به تعیین و استفاده از اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت شد و کمک کرد تا مدیران بتوانند از این ابزار برای بررسی و ریشه‌یابی تغییرات در عملکرد مرکز پزشکی استفاده کنند.

فواید بسیاری برای استفاده از کنترل فرآیند آماری در کنار صورت وضعیت‌های سود و زیان ایجاد شده است. گزارش‌های انعکاس یافته از طرف مرکز پزشکی حاکی از آن است که اکنون اقدامات ابتدا مرتب و سپس اولویت بندی و در نهایت از مدیریت پیشگیرانه استفاده می‌شود. زمانی که مرکز با نقاط دور افتادهٔ نامناسبی مواجه می‌شود تلاش می‌شود تا قبل از تبدیل آن به مشکلات اساسی بعدی، موضوع رسیدگی و مرتفع شود. به همین صورت، اگر نقاط

دور افتادهٔ مثبتی مشاهده گردد، تلاش می‌شود تا وضعیت موجود بررسی و شرایط مورد نیاز برای تکرار این وضعیت فراهم شود.

مرکز، تلاش‌های مؤثری برای تشریح مفهوم "تغییرات عادی" برای کارکنان خود داشته است. در نتیجهٔ این تلاش‌ها، مدیران عملیات، دیگر نیازی به صرف زمان برای تحلیل تغییرات واقعاً عادی ندارند. بنابراین، دخالت‌های کمتری در فرایندها و رویه‌های کاری مرکز می‌شود و زمان بیشتری به تمرکز بر بیمار که از اهمیت زیادی برخوردار است تخصیص می‌یابد.

مرور فصل و اهداف یادگیری

اغلب مشخصه‌های کیفی را نمی‌توان به سهولت به‌صورت عددی گزارش کرد. در این‌گونه موارد، هر محصول بازرسی شده معمولاً به دو گروه منطبق[1] و نامنطبق[2] با مشخصه‌های کیفی مورد نظر تقسیم می‌شود. واژه‌هایی که غالباً برای این دو گروه به کار برده می‌شود معیوب و نامعیوب است که اخیراً با واژه‌هایی منطبق و نامنطبق جایگزین شده‌اند. مشخصه‌های کیفی که با چنین روشی تقسیم‌بندی می‌شوند را مشخصه‌های کیفی وصفی[3] می‌نامند. تعداد شاتون‌های تایدار موتور اتومبیل در تولید یک روز، نسبت تراشه‌های[4] نیمه‌هادی نامنطبق در یک پولک، تعداد اشتباهات موجود در یک درخواست وام و تعداد خطاهای پزشکی در یک بیمارستان را می‌توان به‌عنوان مثال‌هایی از مشخصه‌های کیفی وصفی در نظر گرفت.

در این فصل، سه نمودار کنترل که از کاربرد زیادی در عمل برخوردار هستند معرفی می‌شود. اولین نمودار مربوط به نسبت محصولات نامنطبق یا معیوب تولید شده بوسیلهٔ یک فرایند می‌شود. این نمودار کنترل را نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق یا نمودار p[5] می‌نامند. در بعضی مواقع ممکن است به جای نسبت اقلام نامنطبق یا تعداد نقص‌ها[6] یا عدم انطباق‌های مشاهده شده سر و کار داشته باشیم. در چنین مواقعی می‌توان از دومین نمودار کنترل که در این فصل معرفی می‌شود یعنی نمودار کنترل عدم انطباق‌ها یا نمودار c استفاده کرد. در نهایت، نمودار کنترل تعداد عدم انطباق‌ها در هر محصول یا نمودار u ارائه خواهد شد که می‌توان از آن برای پایش متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر محصول استفاده کرد. این فصل با ارائه خطوط راهنما برای اجرای نمودارهای کنترل خاتمه می‌یابد.

بعد از مطالعهٔ این فصل باید بتوانید موارد زیر را انجام دهید:

۱- اصول آماری نمودارهای کنترل وصفی را درک کنید.

۲- بدانید چگونه باید نمودارهای کنترل وصفی را طراحی کرد.

۳- بدانید چگونه باید نمودار کنترل p را تهیه و از آن در پایش نسبت اقلام نامنطبق استفاده کرد.

۴- بدانید چگونه باید نمودار کنترل np را تهیه و از آن در پایش تعداد اقلام نامنطبق استفاده کرد.

---

1. conforming
2. nonconforming
3. attribute
4. chips
5. p-chart
6. defects

۵- بدانید چگونه باید نمودار کنترل c را تهیه و از آن در پایش نقص‌ها استفاده کرد.
۶- بدانید چگونه باید نمودار کنترل u را تهیه و از آن در پایش نقص‌ها در هر واحد محصول استفاده کرد.
۷- بدانید چگونه باید از نمودارهای کنترل وصفی با اندازه نمونهٔ متغیر استفاده کرد.
۸- برتری‌ها و ضعف‌های نمودارهای کنترل وصفی نسبت به نمودارهای کنترل متغیر را درک کنید.
۹- مفهوم زیرگروه منطقی را در نمودارهای کنترل وصفی درک کنید.

۶-۱ مقدمه

نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر در فصل ۵ معرفی شد. گرچه این نمودارهای کنترل دارای کاربرد زیادی هستند ولی همیشه نمی‌توان از آنها استفاده کرد، چرا که همهٔ مشخصه‌های کیفی را نمی‌توان به‌صورت داده‌های متغیر بیان کرد. به‌عنوان مثال، ظرف یک مایع را در نظر گیرید. فرض کنید پس از بررسی یک ظرف شیشه‌ای بتوان آن را در یکی از دو گروه منطبق یا نامنطبق (با توجه به تأمین یا عدم تأمین الزامات از منظر یک یا چند مشخصهٔ کیفی) دسته‌بندی کرد. این مثالی از داده‌های وصفی است و نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق را می‌توان برای این ظروف (همان‌طور که در بخش ۶-۲ نشان داده خواهد شد) تهیه کرد. همچنین در بعضی از فرآیندها ممکن است یک واحد محصول بررسی و تعداد نقص‌ها یا عدم انطباق‌ها در آن محصول شمارش شود. در بخش ۶-۳ نشان داده خواهد شد که چگونه می‌توان نمودارهای کنترل برای شمارش یا متوسط شمارش‌ها در هر واحد محصول را تهیه کرد.

نمودارهای کنترل وصفی اندازه نمودارهای کنترل متغیر اطلاعات ارائه نمی‌کنند.

به‌طور کلی، نمودارهای کنترل وصفی در مقایسه با نمودارهای کنترل متغیر از اطلاعات کمتری برخوردار هستند چرا که دسته‌بندی محصول در دو گروه منطبق یا نامنطبق در مقایسه با اندازه‌گیری عددی، اطلاعات کمتری را فراهم می‌سازد. با این وجود، نمودارهای کنترل وصفی از کاربردهای مهمی برخوردار هستند. این نمودارها می‌توانند در صنایع خدماتی یا غیرتولیدی که بیان مشخصه‌های کیفی در مقیاس عددی دشواری است نقش مهمی را ایفا کنند.

۶-۲ نمودارهای کنترل برای نسبت اقلام نامنطبق

نمودارهای کنترل نسبت اقلام نامنطبق از کاربرد وسیعی در فعالیت‌های تراکنشی و صنعت خدمات برخوردار است. به‌عنوان مثال، در محیط‌های تولیدی و غیرتولیدی می‌توان به تعداد چک‌های نادرست صادر شده و یا دیر توزیع شدهٔ کارکنان در یک دورهٔ زمانی خاص، تعداد درخواست‌های چک به موقع پرداخت نشده طی یک دورهٔ پرداخت استاندارد و تعداد تحویل‌های به موقع انجام نشدهٔ توسط یک تأمین کننده اشاره کرد.

نسبت اقلام نامنطبق را می‌توان با تقسیم تعداد اقلام نامنطبق جامعه بر تعداد کل اقلام جامعه محاسبه کرد. یک محصول می‌تواند دارای چندین مشخصهٔ کیفی باشد که توسط یک بازرس به‌طور همزمان بررسی می‌شود. اگر یک یا چند مشخصهٔ کیفی محصولی با استاندارد مورد نظر انطباق نداشته باشد آنگاه محصول نامنطبق دسته‌بندی می‌شود. نسبت اقلام نامنطبق معمولاً به‌صورت اعشاری و در بعضی مواقع به‌صورت درصد نامنطبق گزارش می‌شود. در زمان نمایش

نمودار کنترل به کارکنان تولید و یا استفاده از آن برای ارائه نتایج به مدیریت غالباً از درصد محصولات نامنطبق استفاده می‌شود.

اگر بتوان فرض کرد که احتمال مشاهدهٔ یک محصول نامنطبق ثابت است و محصولات متوالی از یکدیگر مستقل هستند آنگاه می‌توان از توزیع بینم برای مدل کردن تعداد محصولات نامنطبق موجود در یک نمونهٔ n تایی استفاده و میانگین و انحراف معیار نسبت اقلام نامنطبق را برآورد کرد. در پیوست یک، توضیحات بیشتری در مورد توزیع بینم ارائه شده است.

مدل عمومی یک نمودار کنترل

$$\mathrm{UCL} = \mu_w + k\sigma_w$$
$$\mathrm{CL} = \mu_w$$
$$\mathrm{LCL} = \mu_w - k\sigma_w$$

پارامترهای کلیدی نسبت اقلام نامنطبق

$$\hat{p} = \frac{D}{n} \quad \text{، برآورد نسبت اقلام نامنطبق} \qquad (۶-۱)$$

$$\mu_{\hat{p}} = p \quad \text{، میانگین نسبت اقلام نامنطبق} \qquad (۶-۲)$$

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad \text{، انحراف معیار نسبت اقلام نامنطبق} \qquad (۶-۳)$$

در رابطهٔ فوق، D تعداد اقلام نامنطبق مشاهده شده در یک نمونهٔ n تایی را نشان می‌دهد.

در فصل ۵، مدل عمومی یک نمودار کنترل شامل حد کنترل بالا، حد کنترل پایین و خط مرکز، همان‌گونه که در روبه‌رو نشان داده شده است، ارائه شد. در این مدل، مقدار k معمولاً برابر سه در نظر گرفته می‌شود.

اگر نسبت اقلام نامنطبق معلوم باشد، آنگاه می‌توان با استفاده از رابطه‌های فوق یک نمودار نسبت اقلام نامنطبق یا نمودار p طراحی کرد.

نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق- p معلوم

$$\mathrm{UCL} = p + ۳\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \qquad (۶-۴)$$

$$\mathrm{CL} = p \qquad (۶-۵)$$

$$\mathrm{LCL} = p - ۳\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \qquad (۶-۵)$$

نمودار p
یک نمودار کنترل برای نسبت اقلام معیوب

با توجه به مقادیر n و p ممکن است در بعضی مواقع حد کنترل پایین کوچکتر از صفر باشد. در چنین مواردی، حد کنترل پایین را برابر صفر قرار داده و فرض می‌شود نمودار کنترل فقط دارای حد کنترل بالا است. برای استفاده از این نمودار کنترل ابتدا باید نمونه‌های n تایی انتخاب، نسبت اقلام نامنطبق نمونه محاسبه و سپس آمارهٔ $\hat{p}$ بر روی نمودار کنترل رسم شود. تا زمانی‌که $\hat{p}$ بین حدود کنترل واقع شود و توالی نقاط رسم شده بر روی نمودار نیز از روند غیر تصادفی نظام‌مندی بر خوردار نباشد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند در سطح p تحت کنترل است. اگر یک نقطه خارج از حدود کنترل رسم شود و یا اینکه روند نقاط بر

روی نمودار به‌صورت غیرتصادفی باشد، آنگاه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نسبت اقلام نامنطبق فرآیند به سطح جدیدی تغییر پیدا کرده است و فرآیند در حالت خارج از کنترل به سر می‌برد.

زمانی‌که نسبت اقلام نامنطبق فرآیند p معلوم نباشد باید مقدار آن را بر اساس داده‌های مشاهده شده برآورد کرد. روش متداول انتخاب ۲۰ الی ۲۵ نمونهٔ اولیه هر یک به اندازهٔ n، محاسبهٔ نسبت اقلام معیوب هر نمونه و تعیین میانگین کل یا $\bar{p}$ است.

خط مرکز و حدود کنترل نمودار نسبت اقلام نامنطبق به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق- p نا معلوم

$$UCL = \bar{p} + ۳\sqrt{\frac{\bar{p}(۱-\bar{p})}{n}} \quad (۶-۷)$$

$$CL = \bar{p} \quad (۶-۸)$$

$$LCL = \bar{p} - ۳\sqrt{\frac{\bar{p}(۱-\bar{p})}{n}} \quad (۶-۹)$$

حدود کنترلی که بر اساس $\bar{p}$ تعیین می‌شوند را باید به‌عنوان حدود کنترل آزمایشی در نظر گرفت و مقادیر نمونهٔ استفاده شده برای محاسبهٔ $\bar{p}$ باید بر روی نمودار مبتنی بر حدود کنترل آزمایشی رسم شود تا در مورد تحت کنترل بودن فرآیند در زمان جمع‌آوری مشاهدات اولیه اطمینان حاصل شود. هر نقطه‌ای که خارج از حدود کنترل آزمایشی رسم شود باید مورد بررسی قرار گیرد. اگر انحرافات یا دلیلی برای این نقاط مشاهده شود آنگاه باید آنها را حذف و حدود کنترل آزمایشی جدیدی تعیین کرد.

فاز I نمودارهای کنترل
نمودارهای کنترلی که برای آزمون تحت کنترل بودن فرآیند در زمان جمع‌آوری داده‌های زیر گروه‌های اولیه استفاده می‌شوند.

اگر نمودار کنترل بر اساس مقدار معلوم یا استاندارد نسبت اقلام نامنطبق p تهیه شده باشد آنگاه دیگر ضرورتی برای محاسبهٔ حدود کنترل آزمایشی نخواهد بود. با این حال، اگر مقدار استانداردی برای p استفاده شود باید جوانب احتیاط را رعایت کرد. از آنجایی‌که در عمل بندرت می‌توان مقدار واقعی p را با اطمینان تعیین کرد لذا مقدار استاندارد تعیین شده بیانگر مقدار مورد نظر یا هدف برای نسبت اقلام نامنطبق فرآیند است. اگر واقعاً این چنین باشد و نقاط بعدی حالت خارج از کنترل را منعکس کنند آنگاه باید تعیین کرد که آیا فرآیند در سطح هدف p خارج از کنترل ولی برای مقدار دیگری از p در حالت تحت کنترل قرار دارد.

فاز II نمودارهای کنترل
نمودارهای کنترلی که برای آزمون تحت کنترل بودن فرآیند در زمان جمع‌آوری داده‌های زیر گروه‌های آتی استفاده می‌شوند.

مثال ۶-۱ تهیهٔ یک نمودار p

آب پرتقال تغلیظ شدهٔ یخ‌زده در قوطی‌های ۶ اونسی بسته‌بندی می‌شود. این قوطی‌ها با دوخت مقوا و نصب یک صفحهٔ فلزی در کف آنها توسط دستگاهی تولید می‌شوند. با بازرسی هر قوطی می‌توان تعیین کرد که آیا قوطی پس از پُر شدن از سمت اتصال صفحهٔ زیر یا محل دوخت مقوا نشت می‌کند. قوطی‌های نامنطبق دارای اتصال صفحه و یا دوخت نامناسب هستند. یک نمودار کنترل برای بهبود نسبت قوطی‌های نامنطبق تولیدشده به وسیلهٔ این دستگاه تهیه کنید.

به منظور تهیه نمودار کنترل مورد نظر، ۳۰ نمونهٔ ۵۰تایی هر نیم ساعت طی سه شیفت کاری متوالی، زمانی‌که دستگاه به‌طور مستمر کار می‌کرد جمع‌آوری شد. این داده‌ها در جدول۶-۱ نشان داده شده است. به منظور کسب اطمینان از تحت کنترل بودن فرآیند در زمان جمع‌آوری داده‌ها، یک نمودار کنترل فاز I با استفاده از این داده‌های اولیه تهیه می‌شود.

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = ۰/۲۳۱۳ + 3\sqrt{\frac{۰/۲۳۱۳(1-۰/۲۳۱۳)}{۵۰}} = ۰/۴۱۰۲$$

$$CL = \bar{p} = ۰/۲۳۱۳$$

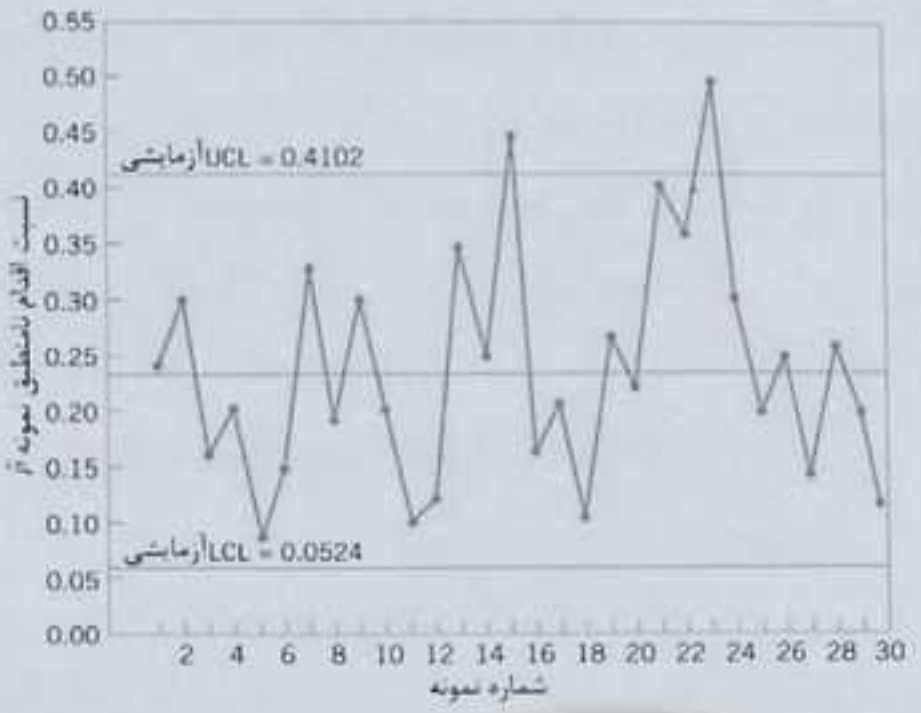
$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = ۰/۲۳۱۳ - 3\sqrt{\frac{۰/۲۳۱۳(1-۰/۲۳۱۳)}{۵۰}} = ۰/۰۵۲۴$$

جدول ۶-۱

داده‌های مثال ۶-۱

نسبت قوطی‌های نامنطبق نمونه	تعداد قوطی‌های نامنطبق	شماره نمونه	نسبت قوطی‌های نامنطبق نمونه	تعداد قوطی‌های نامنطبق	شماره نمونه
۰/۱۶	۸	۱۶	۰/۲۴	۱۲	۱
۰/۲۰	۱۰	۱۷	۰/۳۰	۱۵	۲
۰/۱۰	۵	۱۸	۰/۱۶	۸	۳
۰/۲۶	۱۳	۱۹	۰/۲۰	۱۰	۴
۰/۲۲	۱۱	۲۰	۰/۰۸	۴	۵
۰/۴۰	۲۰	۲۱	۰/۱۴	۷	۶
۰/۳۶	۱۸	۲۲	۰/۳۲	۱۶	۷
۰/۴۸	۲۴	۲۳	۰/۱۸	۹	۸
۰/۳۰	۱۵	۲۴	۰/۲۸	۱۴	۹
۰/۱۸	۹	۲۵	۰/۲۰	۱۰	۱۰
۰/۲۴	۱۲	۲۶	۰/۱۰	۵	۱۱
۰/۱۴	۷	۲۷	۰/۱۲	۶	۱۲
۰/۲۶	۱۳	۲۸	۰/۳۴	۱۷	۱۳
۰/۱۸	۹	۲۹	۰/۲۴	۱۲	۱۴
۰/۱۲	۶	۳۰	۰/۴۴	۲۲	۱۵
$\bar{p} = ۰/۲۳۱۳$	۳۴۷				

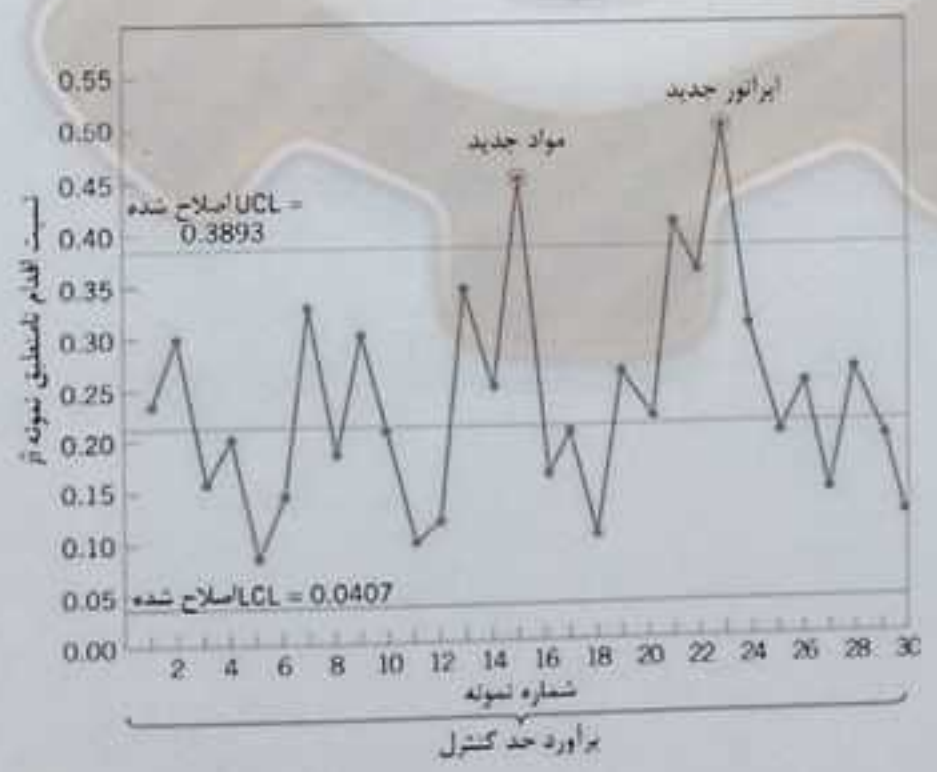
نمودار کنترل حاصل یک نمودار کنترل فاز I یا آزمایشی محسوب می‌شود که خط مرکز و حدود کنترل بالا و پایین آن بر روی شکل ۶-۱ نشان داده شده است. نسبت اقلام نامنطبق هر یک از نمونه‌های اولیه بر روی این نمودار رسم شده است. با بررسی نمودار پی می‌بریم که دو نقطه، نمونه‌های شمارهٔ ۱۵ و ۲۳، بالای حد کنترل بالا رسم شده‌اند و بنابر این فرآیند تحت کنترل نیست. علت رسم این نقاط خارج از حد کنترل بالا با هدف پی بردن به وجود یک انحراف با دلیل احتمالی باید بررسی شود.



شکل ۶-۱ نمودار کنترل آزمایش برای مثال ۶-۱ .

تحلیل نمونهٔ شمارهٔ ۱۵ بیانگر این واقعیت است که طی نیم ساعت تهیهٔ این نمونه از یک بستهٔ مقوای جدید در فرآیند استفاده شده است. در بعضی مواقع استفاده از مواد اولیهٔ جدید باعث عملکرد غیر عادی تولید می‌شود و شاید منطقی باشد که فرض کنیم چنین حالتی اینجا رخ داده است. علاوه بر این، طی نیم ساعت جمع‌آوری نمونهٔ شمارهٔ ۲۳، به‌طور موقت یک اپراتور نسبتاً بی‌تجربه مسئولیت کار با دستگاه را بر عهده داشته است و این می‌تواند علت زیاد بودن نسبت اقلام نامنطبق برای این نمونه باشد. بنابر این، نمونه‌های شماره ۱۵ و ۲۳ حذف و نسبت اقلام نامنطبق جدید ۰/۲۳۱۳ برآورد می شود. حدود کنترل بالا و پایین مجدداً محاسبه و مقادیر جدید ۰/۳۹۸۳ و ۰/۲۱۵۰ به ترتیب برای آنها بدست می‌آید. حدود کنترل جدید بر روی نمودار ۶-۲ نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید نمونه‌های شمارهٔ ۱۵ و ۲۳ هنوز بر روی نمودار نشان داده شده‌اند ولی باید توجه داشت که محاسبات مربوط به حدود کنترل جدید بدون در نظر گرفتن اطلاعات این دو نمونه انجام شده است. این روش ثبت نقاط بر روی نمودار کنترل که حاکی از نقاط غیرعادی، تنظیمات فرآیند یا بررسی‌های انجام‌شده در مقاطع زمانی خاص است، اطلاعات مفیدی برای تحلیل‌های آتی فرآیند فراهم می‌سازد و باید به یک فعالیت استاندارد در زمان استفاده از نمودارهای کنترل تبدیل شود.



شکل ۶-۲ حدود کنترل اصلاح شده برای مثال ۶-۱.

با بررسی نمودار جدید مشاهده می‌کنیم که نمونهٔ شمارهٔ ۲۱ خارج از حد کنترل بالا رسم می‌شود. با این وجود، تحلیل داده‌ها هیچ‌گونه انحراف با دلیل منطقی یا قانع‌کننده‌ای را منعکس نمی‌کند و به این دلیل تصمیم گرفته می‌شود که این نقطه حفظ نشود. بنابر این، نتیجه‌گیری می‌شود که حدود کنترل جدید در شکل ۶-۲ را می‌توان برای نمونه‌های آتی استفاده کرد.

قبل از نتیجه‌گیری در مورد تحت کنترل بودن فرآیند در سطح فعلی باید ۲۸ نقطهٔ باقی مانده بر روی نمودار از لحاظ روند غیر تصادفی و تسلسل بررسی شود. بزرگ‌ترین تسلسل با طول پنج در بالای خط مرکز مشاهده می‌شود و نقاط هیچ روند خاصی از خود نشان نمی‌دهند. به‌عبارت دیگر، هیچ چیز قابل‌توجهی به غیر از روند تصادفی نقاط در اطراف خط مرکز مشاهده نمی‌شود. با انجام تحلیل‌های فوق نتیجه‌گیری می‌شود که فرآیند در سطح حدود کنترل اصلاح شده تحت کنترل است و این حدود کنترل جدید را می‌توان برای پایش فرآیند تولید فعلی استفاده کرد. حال می‌توان این نمودار کنترل اصلاح شدهٔ جدید را برای تعیین وضعیت آتی فرآیند استفاده کرد.

با این وجود، گرچه فرآیند تحت کنترل است ولی نسبت اقلام نامنطبق هنوز زیاد است. به‌عبارت دیگر، فرآیند در حالت تحت کنترل و پایدار به سر می‌برد و هیچ مشکلی که به وسیلهٔ اپراتور قابل کنترل باشد وجود ندارد. در این صورت احتمال بهبود کیفیت فرآیند به وسیلهٔ تصمیماتی که در سطح کارکنان تولید گرفته می‌شود ضعیف به نظر می‌رسد. نسبت قوطی‌های نامنطبق تولید شده را مدیریت می‌تواند به راحتی کنترل کند و بنابر این دخالت مدیریت برای بهبود عملکرد فرآیند نیاز است. مدیریت کارخانه با چنین نظری موافق است و دستور می‌دهد که علاوه بر اجرای برنامهٔ نمودار کنترل، بخش مهندسی نیز فرآیند را با هدف بهبود بازده فرآیند تحلیل کند.

با انجام مطالعه‌ای مشخص شد که عملکرد دستگاه را می‌توان با انجام تنظیماتی بهبود بخشید. پس از انجام این اصلاحات، ۲۴ نمونهٔ ۵۰تایی دیگر طی سه شیفت بعد تهیه شد. این داده‌ها در جدول ۶-۲ نشان داده شده است. شکل ۶-۳ نسبت اقلام نامنطبق این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بررسی اولیه حاکی از این واقعیت است که فرآیند در سطح کیفی جدید به مراتب بهتر عمل می‌کند. تنها دلایل منطقی که می‌توان برای این تغییر مسلم در عملکرد فرآیند عنوان کرد تنظیم دستگاه توسط بخش مهندسی و اپراتورها است. معمولاً بعد از معرفی و استفاده از روش‌های کنترل فرآیند آماری و همچنین به علت آگاه شدن اپراتورها از کیفیت فرآیند و انعکاس مستمر عملکرد فرآیند بر روی نمودار کنترل عملکرد فرآیند بهبود می‌یابد.

با توجه به تنظیمات موفقیت‌آمیز انجام شده بر روی فرآیند، منطقی به نظر می‌رسد که بخواهیم حدود کنترل را با استفاده از نمونه‌های اخیر (نمونه‌های شمارهٔ ۳۱ الی ۵۴) به روز کنیم. این تصمیم منجر به برآورد نسبت اقلام معیوب جدید ۰/۱۱۰۸ و در نتیجه مقادیر ۰/۲۴۴۰ و صفر به ترتیب برای حدود کنترل بالا و پایین می‌شود. باید توجه داشت که مقدار واقعی حد کنترل پایین ۰/۰۲۴۴- بوده ولی با توجه به اینکه نسبت اقلام معیوب نمی‌تواند منفی باشد لذا مقدار صفر برای آن لحاظ شده است.

$$\mathrm{UCL} = \overline{p} + ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۱۱۰۸ + ۳\sqrt{\frac{۰/۱۱۰۸(۱-۰/۱۱۰۸)}{۵۰}} = ۰/۲۴۴۰$$

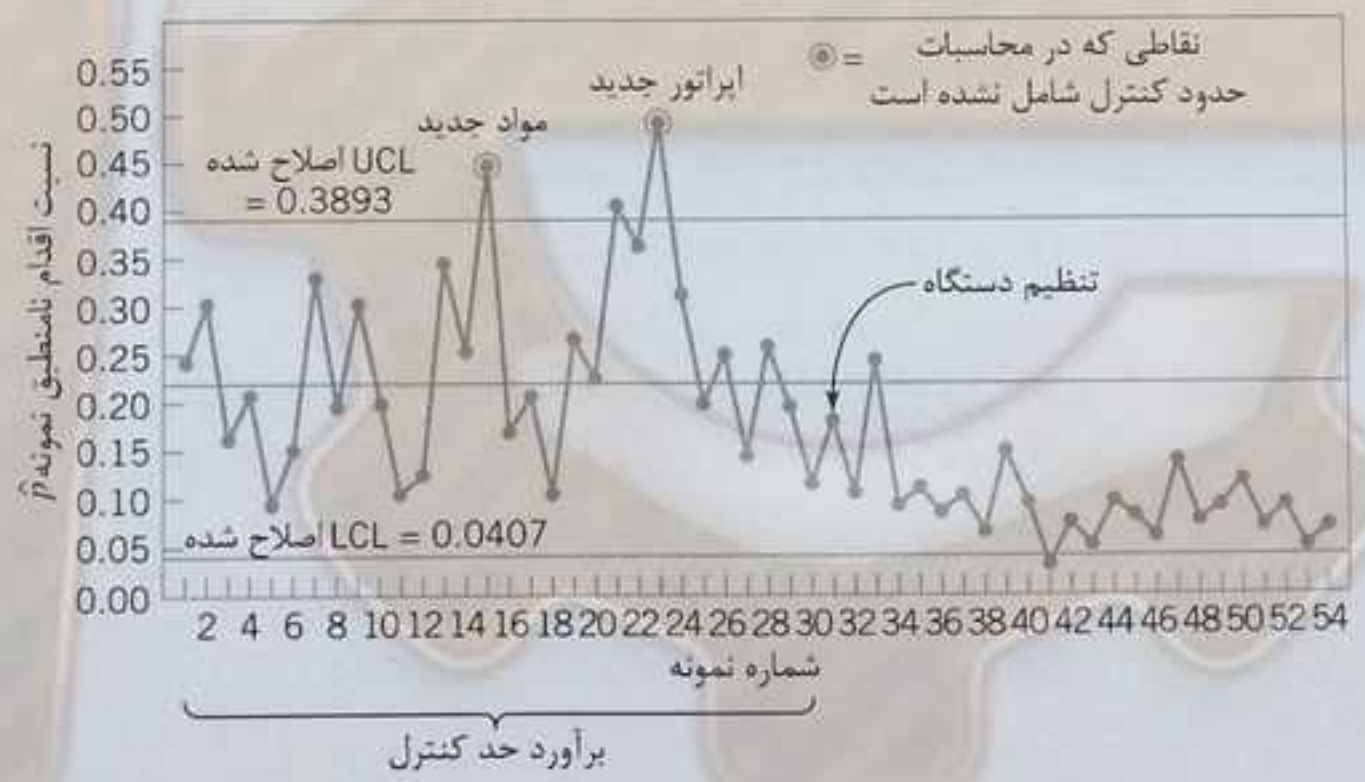
$$\mathrm{CL} = \overline{p} = ۰/۱۱۰۸$$

$$\mathrm{LCL} = \overline{p} - ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۱۱۰۸ - ۳\sqrt{\frac{۰/۱۱۰۸(۱-۰/۱۱۰۸)}{۰ \quad ۵۰}} = -۰/۰۲۴۴ = ۰$$

جدول ۶-۲

سطح عدم انطباق جدید بعد از تنظیم دستگاه برای مثال ۶-۱

نسبت قوطی‌های نامنطبق نمونه	تعداد قوطی‌های نامنطبق	شماره نمونه	نسبت قوطی‌های نامنطبق نمونه	تعداد قوطی‌های نامنطبق	شماره نمونه
۰/۱۲	۶	۴۴	۰/۱۸	۹	۳۱
۰/۱۰	۵	۴۵	۰/۱۲	۶	۳۲
۰/۰۸	۴	۴۶	۰/۲۴	۱۲	۳۳
۰/۱۶	۸	۴۷	۰/۱۰	۵	۳۴
۰/۱۰	۵	۴۸	۰/۱۲	۶	۳۵
۰/۱۲	۶	۴۹	۰/۰۸	۴	۳۶
۰/۱۴	۷	۵۰	۰/۱۲	۶	۳۷
۰/۱۰	۵	۵۱	۰/۰۶	۳	۳۸
۰/۱۲	۶	۵۲	۰/۱۴	۷	۳۹
۰/۰۶	۳	۵۳	۰/۱۲	۶	۴۰
۰/۱۰	۵	۵۴	۰/۰۴	۲	۴۱
$\bar{p} = ۰/۱۱۰۸$	۱۳۳		۰/۰۸	۴	۴۲
			۰/۰۶	۳	۴۳



شکل ۶-۳ نمودار کنترل برای داده‌های بعد از تنظیم دستگاه .

این نمودار کنترل با پارامترهای جدید در شکل ۶-۴ نشان داده شده است. شواهد حاکی از آن است که فرآیند در شرایط تحت کنترل به‌سر می‌برد.

علی‌رغم بهبودی که بعد از اعمال تغییرات مهندسی و استفاده از نمودار کنترل در فرآیند ایجاد شده است هنوز نسبت اقلام

نامنطبق فرآیند ($\overline{p} = ۰/۱۱۰۸$) زیاد است. تصمیمات مدیریتی دیگری باید اتخاذ شود تا بازده فرآیند مجدداً بهبود یابد. یکی از کارهایی که مدیریت می‌تواند انجام دهد، دستور مجدد برای تنظیم بیشتر دستگاه است. آزمایش‌های طراحی شدهٔ آماری[1] روش مناسبی برای تعیین تنظیمات کلیدی دستگاه، اندازه و سمت و سوی این تنظیمات محسوب می‌شود. نمودار کنترل باید طی مدت زمان انجام این تنظیمات استفاده شود. با مشخص کردن زمان ایجاد تغییر در فرآیند و علامت‌گذاری بر روی نمودار کنترل می‌توان از نمودار کنترل به‌عنوان دفتر ثبت سوابق روزانه استفاده کرد و زمان دخالت در فرآیند و اثر آن بر عملکرد فرآیند را به وضوح نشان داد.

شکل ۶-۴ عملکرد فرآیند بعد از تنظیم دستگاه و تغییر حدود کنترل.

۶-۲-۱ اندازهٔ نمونهٔ زیر گروه

نمودارهای p را می‌توان در زمان متغیر بودن اندازه نمونه استفاده کرد.

در زمان برآورد نسبت اقلام معیوب توجه به اندازه نمونه مخصوصاً اگر نسبت اقلام معیوب نسبتاً کوچک باشد بسیار حایز اهمیت است. معمولاً نمودارهای کنترل نسبت اقلام معیوب، بر اساس تمام مشاهدات یک دورهٔ زمانی تهیه می‌شود. اندازه نمونهٔ بزرگ نه تنها به برآورد نسبت اقلام معیوب کمک می‌کند بلکه تضمین می‌کند که محصول نامنطبق به‌دست مشتری نمی‌رسد. در مرحلهٔ بررسی، چارچوب زمانی نمونه‌گیری (نظیر یک شیفت کاری یا یک روز)، ضروری است که به مفهوم زیر گروه منطقی توجه شود. به‌عنوان مثال، اگر سه شیفت کاری وجود داشته باشد و احساس شود که شیفت‌های کاری از لحاظ سطح کیفیت با یکدیگر متفاوت هستند آنگاه به جای ادغام هر سه شیفت کاری با یکدیگر و تهیهٔ یک نسبت اقلام معیوب روزانه باید خروجی هر شیفت کاری را به‌عنوان یک زیر گروه مجزا در نظر گرفت.

در محیط‌های تولیدی، در زمان استفاده از بازرسی ۱۰۰٪ ممکن است اندازهٔ زیر گروه به دلیل تفاوت در نرخ تولید ثابت نباشد. در اغلب محیط‌های غیر تولیدی نیز ممکن است اندازهٔ زیر گروه به دلیل ماهیت خود فرآیند متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، تعداد کل چک‌های درخواست شده طی یک دورهٔ مالی احیاناً ثابت نیست. اگر اندازهٔ زیر گروه‌ها متفاوت باشد آن‌گاه حدود کنترل بالا و پایین با استفاده از اندازهٔ نمونهٔ واقعی n محاسبه می‌شود که در این صورت حدود کنترل برای هر زیر گروه متفاوت خواهد بود. از طرف دیگر، اگر اندازهٔ زیر گروه‌ها به یکدیگر نزدیک باشد آنگاه می‌توان از اندازه زیر گروه متوسط برای محاسبهٔ حدود کنترل استفاده کرد.

---

1. statistically designed experiments

مثال ۶-۲ تهیهٔ یک نمودار p با اندازه نمونهٔ متغیر

یک مجتمع هوا فضا در حال بررسی سفارشات خرید ارائه شده به تأمین‌کنندگان خود است. اندازه نمونه‌های ارائه شده در جدول ۶-۳ تعداد کل سفارشات خرید هر هفته را نشان می‌دهد. یک سفارش خرید که دارای اشتباهاتی نظیر شماره قطعهٔ اشتباهی، تاریخ‌های تحویل نادرست و اطلاعات تأمین‌کنندهٔ نادرست باشد به‌عنوان یک واحد نامنطبق تعریف می‌شود. با استفاده از داده‌های ارائه شده یک نمودار p با اندازه نمونه‌های متغیر و اندازه نمونهٔ متوسط تهیه کنید.

جدول ۶-۳

داده‌های سفارش خرید با اندازه نمونهٔ متغیر

شماره نمونه	اندازه نمونه	تعداد اقلام نامنطبق	نسبت اقلام نامنطبق نمونه	انحراف معیار	حدود کنترل	
i	n_i	D_i	$\hat{p}_i = D_i / n_i$	$\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{(۰/۰۹۶)(۰/۹۰۴)}{n_i}}$	LCL	UCL
۱	۱۰۰	۱۲	۰/۱۲۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۲	۸۰	۸	۰/۱۰۰	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۹۵
۳	۸۰	۶	۰/۰۷۵	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۹۵
۴	۱۰۰	۹	۰/۰۹۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۵	۱۱۰	۱۰	۰/۰۹۱	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۱۸۰
۶	۱۱۰	۱۲	۰/۱۰۹	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۱۸۰
۷	۱۰۰	۱۱	۰/۱۱۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۸	۱۰۰	۱۶	۰/۱۶۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۹	۹۰	۱۰	۰/۱۱۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۱۸۹
۱۰	۹۰	۶	۰/۰۶۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۱۸۹
۱۱	۱۱۰	۲۰	۰/۱۸۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۱۸۰
۱۲	۱۲۰	۱۵	۰/۱۲۵	۰/۰۲۷	۰/۰۱۵	۰/۱۷۷
۱۳	۱۲۰	۹	۰/۰۷۵	۰/۰۲۷	۰/۰۱۵	۰/۱۷۷
۱۴	۱۲۰	۸	۰/۰۶۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۵	۰/۱۷۷
۱۵	۱۱۰	۶	۰/۰۵۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۱۸۰
۱۶	۸۰	۸	۰/۱۰۰	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۹۵
۱۷	۸۰	۱۰	۰/۱۲۵	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۹۵
۱۸	۸۰	۷	۰/۰۸۸	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۹۵
۱۹	۹۰	۵	۰/۰۵۶	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۱۸۹
۲۰	۱۰۰	۸	۰/۰۸۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۲۱	۱۰۰	۵	۰/۰۵۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۲۲	۱۰۰	۸	۰/۰۸۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۲۳	۱۰۰	۱۰	۰/۱۰۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۱۸۳
۲۴	۹۰	۶	۰/۰۶۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۱۸۹
۲۵	۹۰	۹	۰/۱۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۱۸۹
	۲۴۵۰	۲۳۴	۲/۳۸۳			

با بررسی جدول ۶-۳ مشاهده می‌کنیم که متوسط نرخ عدم انطباق‌های هفتگی برابر $\bar{p} = ۰/۰۹۶۰$ است. بنابراین، حدود کنترل به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$\text{UCL} = \bar{p} + ۳\sqrt{\frac{\bar{p}(۱-\bar{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ + ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{n}}$$

$$\text{LCL} = \bar{p} - ۳\sqrt{\frac{\bar{p}(۱-\bar{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ - ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{n}}$$

محاسبات نمونه برای هفته‌های ۱ و ۲ از این قرار است:

هفتهٔ ۱:

$$\text{UCL} = \overline{p} + ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ + ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{۱۰۰}} = ۰/۱۸۴$$

$$\text{LCL} = \overline{p} - ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ - ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{۱۰۰}} = ۰/۰۰۸$$

هفتهٔ ۲:

$$\text{UCL} = \overline{p} + ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ + ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{۸۰}} = ۰/۱۹۵$$

$$\text{LCL} = \overline{p} - ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ - ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{۱۰۰}} = ۰/۰۰$$

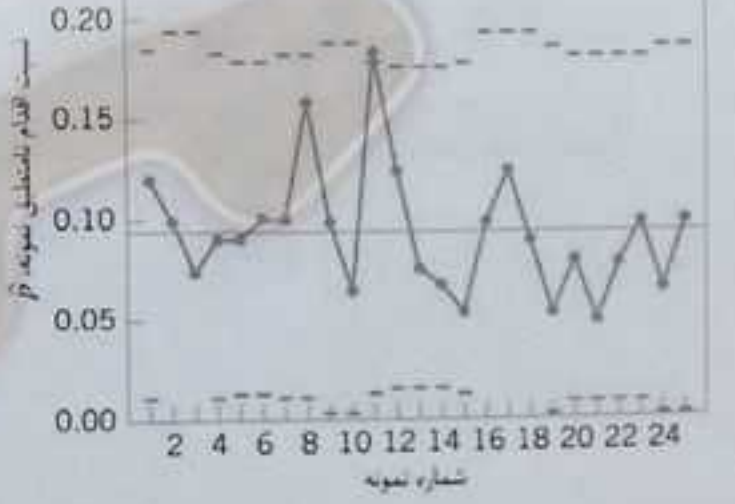
اندازه نمونهٔ متوسط ۹۸ است. با استفاده این اندازه نمونه می‌توان حدود کنترل را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\text{UCL} = \overline{p} + ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ + ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{۹۸}} = ۰/۱۸۵$$

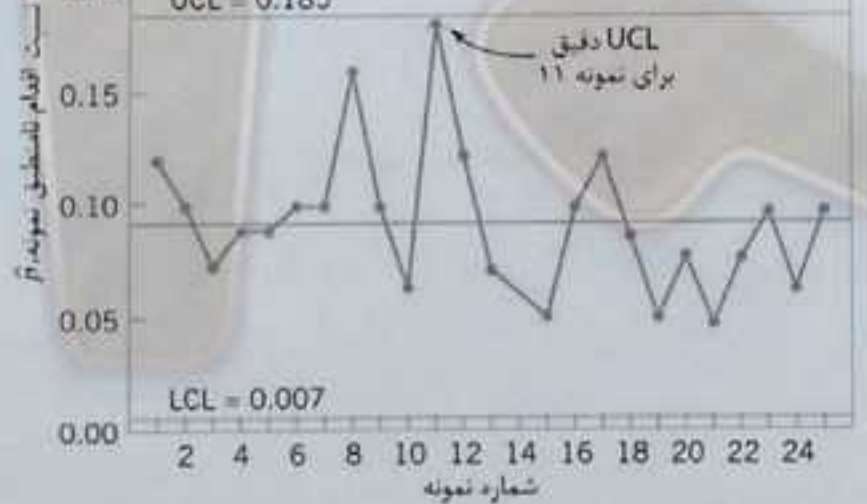
$$\text{LCL} = \overline{p} - ۳\sqrt{\frac{\overline{p}(۱-\overline{p})}{n}} = ۰/۰۹۶ - ۳\sqrt{\frac{۰/۰۹۶(۱-۰/۰۹۶)}{۹۸}} = ۰/۰۰۷$$

نمودارهای حاصل در شکل‌های ۶-۵ و ۶-۶ نشان داده شده‌اند.

در این مثال، علی رغم بررسی و تفسیر سادهٔ نمودار کنترل مبتنی بر اندازه نمونهٔ متوسط، نتایج حاصل نسبتاً به یکدیگر نزدیک است. با این وجود، مشاهده می‌کنیم که نمونهٔ شماره ۱۱ در بالای حد *کنترل* محاسبه شده بر اساس اندازه نمونهٔ متغیر، ولی نزدیک به حد کنترل محاسبه شده بر اساس اندازه نمونهٔ متوسط است. در زمان تفسیر این نقاط باید جوانب احتیاط رعایت شود.



شکل ۶-۵ نمودار کنترل برای نسبت اقلام نامنطبق با اندازهٔ نمونهٔ متغیر



شکل ۶-۶ نمودار کنترل برای نسبت اقلام نامنطبق براساس اندازهٔ نمونهٔ متوسط

اگر از نمونه‌گیری ۱۰۰٪ استفاده نشود یا علاقمند به استفاده از اندازه نمونهٔ ثابت باشیم آنگاه باید اندازهٔ نمونه n را با دقت انتخاب کنیم. اگر p خیلی کوچک باشد باید اندازه نمونه به میزان کافی بزرگ انتخاب شود تا احتمال مشاهدهٔ حداقل یک واحد نامنطبق در نمونه، زیاد باشد. در غیر این صورت، حدود کنترل به‌گونه‌ای خواهد بود که فقط با مشاهدهٔ یک واحد نامنطبق در نمونه نمودار شرایط خارج از کنترل را نشان خواهد داد.

به‌عنوان مثال، اگر $\bar{p} = ۰/۰۱$ و اندازهٔ نمونه $n = ۸$ باشد آنگاه حد کنترل بالا برابر خواهد بود با

$$\mathrm{UCL} = \bar{p} + ۳\sqrt{\frac{\bar{p}(۱-\bar{p})}{n}} = ۰/۰۱ + ۳\sqrt{\frac{(۰/۰۱)(۱-۰/۰۱)}{۸}} = ۰/۱۱۵۵$$

در نگاه اول این مقدار معقول به‌نظر می‌رسد. حال اگر فقط یک محصول نامنطبق در این نمونه مشاهده شود آنگاه نسبت اقلام نامنطبق نمونه برابر $\hat{p} = ۱ \div ۸ = ۰/۱۲۵۰$ و نتیجه‌گیری می‌شود که فرآیند خارج از کنترل است. از آنجایی‌که همیشه احتمالی برای مشاهدهٔ حداقل یک محصول نامنطبق در نمونه وجود دارد لذا این اندازه نمونه معقول نیست.

چندین قانون سر انگشتی برای انتخاب اندازه نمونه وجود دارد. دانکن[1] (۱۹۷۴) قانونی را پیشنهاد می‌کند که بر اساس آن قابلیت انتخاب اندازه نمونه متناسب با اندازهٔ تغییر مورد نظر برای کاربر فراهم می‌شود.

قانون دانکن برای انتخاب اندازه نمونه:

$$n = \left(\frac{۳}{\delta}\right)^{۲} p(۱-p) \qquad (۶-۱۰)$$

در رابطه فوق، δ اندازهٔ تغییر مورد نظر را نشان می‌دهد.

در این روش فرض می‌شود که حدود کنترل در فاصلهٔ سه انحراف معیار از خط مرکز قرار دارد و بدین دلیل از عدد ۳ در صورت کسر استفاده شده است. این روش به کاربر اطمینان می‌دهد که اندازه نمونه به میزان کافی بزرگ خواهد بود تا بتوان با احتمال ۵۰٪ تغییری به اندازهٔ δ را در فرآیند شناسایی کرد.

به‌عنوان مثال، فرض کنید $p = ۰/۰۱$ باشد و می‌خواهیم با احتمال ۵۰٪ تغییر نسبت اقلام نامنطبق فرآیند به $p = ۰/۰۵$ را شناسایی کنیم. با جایگزین کردن این مقادیر در رابطهٔ فوق، اندازه نمونهٔ مورد نیاز

$$n = (۳/\delta)^{۲}\, p(۱-p) = \left(۳/(۰/۰۵-۰/۰۱)\right)^{۲} (۰/۰۱)(۱-۰/۰۱) = ۵۶$$

بدست می‌آید. بنابراین، استفاده از اندازه نمونهٔ بزرگتر از ۵۶ پیشنهاد می‌شود.

نمودار *np*
یک نمودار کنترل براساس تعداد اقلام نامنطبق

۶-۲-۲ نمودار کنترل *np*

این امکان نیز وجود دارد که بتوان نمودار کنترل را به جای نسبت اقلام نامنطبق بر اساس تعداد

1. duncan

اقلام نامنطبق تهیه کرد. چنین نموداری را نمودار کنترل np می‌نامند. پارامترهای این نمودار عبارتند از:

نمودار کنترل تعداد ناانطباق‌ها (np):

$$\text{UCL} = np + ۳\sqrt{np(۱-p)} \quad (۶-۱۱)$$

$$\text{CL} = np \quad (۶-۱۲)$$

$$\text{LCL} = np - ۳\sqrt{np(۱-p)} \quad (۶-۱۳)$$

اگر مقدار استانداردی برای p وجود نداشته باشد آنگاه می‌توان از $\overline{p}$ به‌عنوان برآوردی برای p استفاده کرد. غالباً این نمودار برای افراد غیرآماری و کارکنانی که مستقیماً با واحدهای نامنطبق سر و کار دارند مفید است. توضیحات ارائه شده در مورد اندازه نمونه و تفسیر نمودارهای کنترل نیز در مورد این نمودار صادق است.

مثال ۶-۳ تهیهٔ یک نمودار کنترل *np*

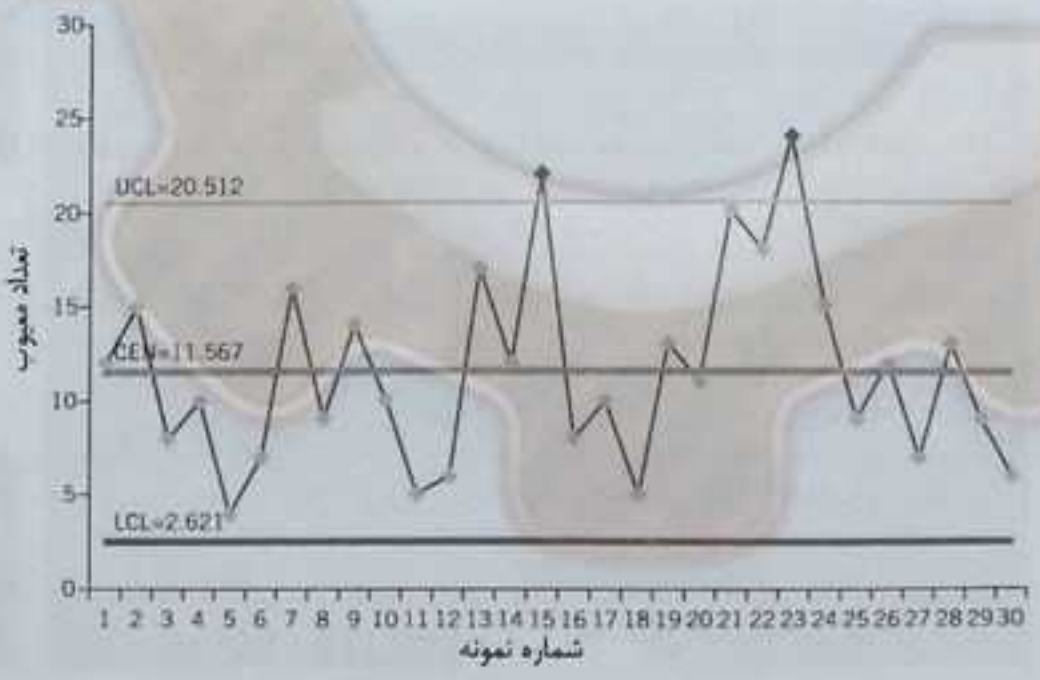
یک نمودار کنترل np برای داده‌های فرآیند تولید قوطی‌های آب پرتقال در مثال ۶-۱ تهیه کنید. در مثال ۱-۶ اندازه نمونه $n = ۵۰$ و نسبت اقلام معیوب $\overline{p} = ۰/۲۳۱۳$ بود. بنابر این، نمودار کنترل np دارای پارامترهای زیر خواهد بود:

$$\text{ULC} = n\overline{p} + ۳\sqrt{n\overline{p}(۱-\overline{p})} = ۵۰(۰/۲۳۱۳) + ۳\sqrt{(۵۰)(۰/۲۳۱۳)(۰/۷۶۸۷)} = ۲۰/۵۱۰$$

$$\text{CL} = n\overline{p} = ۵۰(۰/۲۳۱۳) = ۱۱/۵۶۵$$

$$\text{LCL} = n\overline{p} - ۳\sqrt{n\overline{p}(۱-\overline{p})} = ۵۰(۰/۲۳۱۳) - ۳\sqrt{(۵۰)(۰/۲۳۱۳)(۰/۷۶۸۷)} = ۲/۶۲۰$$

نتایج حاصل در نمودار ۶-۷ نشان داده شده است.



شکل ۶-۷ نمودار np برای داده‌های جدول ۶-۱.

همانند نمودار p این نمودار نیز به‌درستی نقاط ۱۵ و ۲۳ را به‌عنوان نقاط خارج از کنترل نشان می‌دهد. با این حال، از آنجاییکه این نمودار مبتنی بر تعداد واحدهای نامنطبق است لذا عددی که بر روی نمودار رسم می‌شود همیشه یک عدد صحیح خواهد بود. برخی کارشناسان ترجیح می‌دهند در نمودارهای کنترل np بجای حدود کنترل اعشاری از حدود صحیح استفاده کنند.

۶-۳ نمودارهای کنترل برای عدم انطباق‌ها (نقص‌ها)

یک محصول نامنطبق محصولی است که یک یا چند مشخصهٔ آن با مشخصه‌های محصول انطباق نداشته باشد. هر عدم انطباق در مشخصه‌های محصول منجر به یک نقص[1] یا عدم انطباق[2] می‌شود. بنابراین، یک محصول نامنطبق حداقل دارای یک عدم انطباق است. با این وجود، و با توجه به ماهیت و شدت عدم انطباق، یک محصول ممکن است دارای چندین عدم انطباق باشد ولی نامنطبق شناخته نشود.

به‌عنوان مثال، تولید رایانه‌های شخصی را در نظر گیرید. هر رایانه می‌تواند دارای یک یا چند نقص ظاهری جزئی باشد ولی از آنجایی‌که این نقص‌ها بر عملکرد رایانه اثری ندارند می‌توان رایانه را سالم تلقی کرد. با این حال، اگر تعداد این نقص‌ها از دید مشتری زیاد باشد به‌طوری‌که بر میزان فروش اثر گذارد آنگاه باید رایانه را نامنطبق تلقی کرد.

در بعضی مواقع ترجیح داده می‌شود به جای کار با نسبت اقلام نامنطبق با تعداد نقص‌ها یا عدم انطباق‌ها کار شود. این موارد می‌تواند شامل مواردی از قبیل تعداد اشکالات در یک رول کاغذ، تعداد نقص‌ها در یک وسیلهٔ الکترونیکی و تعداد اشتباهات تایپی در یک گزارش باشد.

نمودارهای کنترل را می‌توان برای تعداد کل عدم انطباق‌ها در یک محصول (نمودار c) یا متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر محصول (نمودار u) تهیه کرد. این نمودارهای کنترل مبتنی برا توزیع پوآسون هستند و فرض می‌شود که

- احتمال رخداد یک عدم انطباق در هر مکانی کوچک و ثابت است.

متوسط تعداد عدم انطباق‌ها باید بطور قابل توجهی کمتر از تعداد کل عدم انطباق‌های ممکن باشد.

- احتمال رخداد یک عدم انطباق مستقل است.

رخداد یک عدم انطباق، احتمال مشاهدهٔ عدم انطباق در محصول بعدی را افزایش یا کاهش نمی‌دهد.

- واحد بازرسی باید برای هر نمونه یکسان باشد.

هر واحد بازرسی باید همیشه شرایط کاملاً یکسانی را از لحاظ فرصت رخداد عدم انطباق فراهم سازد.

به علاوه، تعداد عدم انطباق‌های مختلف در یک محصول را می‌توان در صورت برقراری شرایط فوق شمارش کرد. در اغلب مواقع، این شرایط دقیقاً برقرار نخواهد بود. با این وجود، اگر فاصله گرفتن از این مفروضات جدی نباشد، مدل پوآسون معمولاً مناسب عمل خواهد کرد.

نمودار c
یک نمودار کنترل c برای تعداد کل عدم انطباق‌ها در یک نمونه

۶-۳-۱ نمودار کنترل c

نمودار کنترل c رخداد تعداد کل عدم انطباق‌ها در یک نمونه را توصیف می‌کند. این نمودار به متغیر c که تعداد کل شمارش را نشان می‌دهد بستگی دارد. رابطه‌های مربوط به نمودار کنترل c در زیر ارائه شده است:

نمودار کنترل تعداد عدم انطباق‌ها (نمودار c):

$$\mathrm{UCL} = \bar{c} + ۳\sqrt{\bar{c}} \quad (۶-۱۴)$$

$$\mathrm{CL} = \bar{c} \quad (۶-۱۵)$$

$$\mathrm{LCL} = \bar{c} - ۳\sqrt{\bar{c}} \quad (۶-۱۶)$$

در رابطه‌های فوق، $\bar{c}$ برآوردی برای متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در یک نمونه است و در صورت وجود مقدار استانداردی برای c باید از آن به‌جای $\bar{c}$ استفاده شود.

1. defect
2. noncoformity

مثال ۶-۴ تهیهٔ یک نمودار c

جدول ۶-۴ تعداد عدم انطباق‌ها در ۲۶ نمونهٔ متوالی ۱۰۰تایی از صفحات مدار چاپ شده را نشان می‌دهد. به منظور سهولت، یک واحد بازرسی برابر ۱۰۰ صفحه از مدارهای چاپ شده تعریف شده است. یک نمودار c برای این داده‌ها تهیه کنید.

از آنجایی‌که تعداد ۵۱۶ عدم انطباق در ۲۶ نمونه مشاهده شده است لذا c را می‌توان از رابطهٔ زیر برآورد کرد:

$$\bar{c} = \frac{۵۱۶}{۲۶} = ۱۹/۸۵$$

بنابراین، حدود کنترل فاز I به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

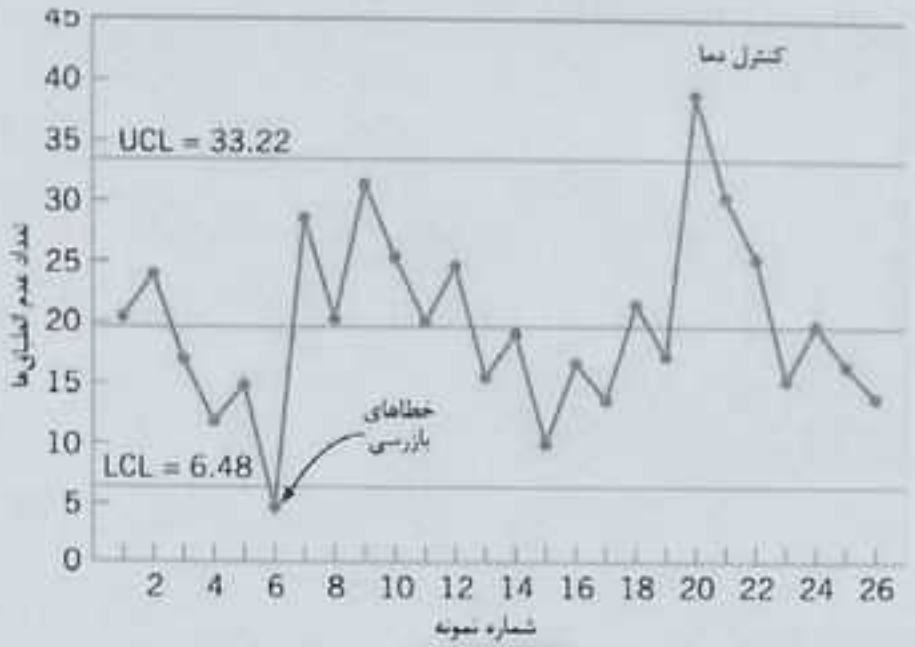
$$UCL = \bar{c} + ۳\sqrt{\bar{c}} = ۱۹/۸۵ + ۳\sqrt{۱۹/۸۵} = ۳۳/۲۲$$
$$CL = \bar{c} = ۱۹/۸۵$$
$$LCL = \bar{c} - ۳\sqrt{\bar{c}} = ۱۹/۸۵ - ۳\sqrt{۱۹/۸۵} = ۶/۴۸$$

نمودار کنترل به همراه تعداد عدم انطباق‌های مشاهده شده در شکل ۶-۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید نمونه‌های شماره ۶ و ۲۰ خارج از کنترل رسم شده‌اند. بررسی نمونهٔ شمارهٔ ۶ حاکی از آن است که یک بازرس جدید و نا آشنا با همهٔ عدم انطباق‌ها صفحات موجود در این نمونه را آزمایش کرده است. به علاوه، علت تعداد عدم انطباق‌های زیاد در نمونهٔ شمارهٔ ۲۰ وجود مشکل کنترل درجه حرارت در دستگاه لحیم‌کاری بوده که بعداً بر طرف شده است. بنابر این، منطقی به نظر می‌رسد که این دو نمونه حذف و حدود کنترل آزمایشی مجدداً محاسبه شود.

جدول ۶-۴

داده‌های مثال ۶-۴

شماره نمونه	تعداد عدم انطباق‌ها	شماره نمونه	تعداد عدم انطباق‌ها
۱	۲۱	۱۴	۱۹
۲	۲۴	۱۵	۱۰
۳	۱۶	۱۶	۱۷
۴	۱۲	۱۷	۱۳
۵	۱۵	۱۸	۲۲
۶	۵	۱۹	۱۸
۷	۲۸	۲۰	۳۹
۸	۲۰	۲۱	۳۰
۹	۳۱	۲۲	۲۴
۱۰	۲۵	۲۳	۱۶
۱۱	۲۰	۲۴	۱۹
۱۲	۲۴	۲۵	۱۷
۱۳	۱۶	۲۶	۱۵



شکل ۶-۸ نمودار c برای مثال ۶-۴.

وقتی نمونه‌های ۶ و ۲۰ از محاسبات حذف شوند برآورد جدید c $\bar{c} = ۴۷۲ \div ۲۴ = ۱۹/۶۷$ خواهد بود که در این صورت حدود کنترل فاز II برابر خواهد شد با

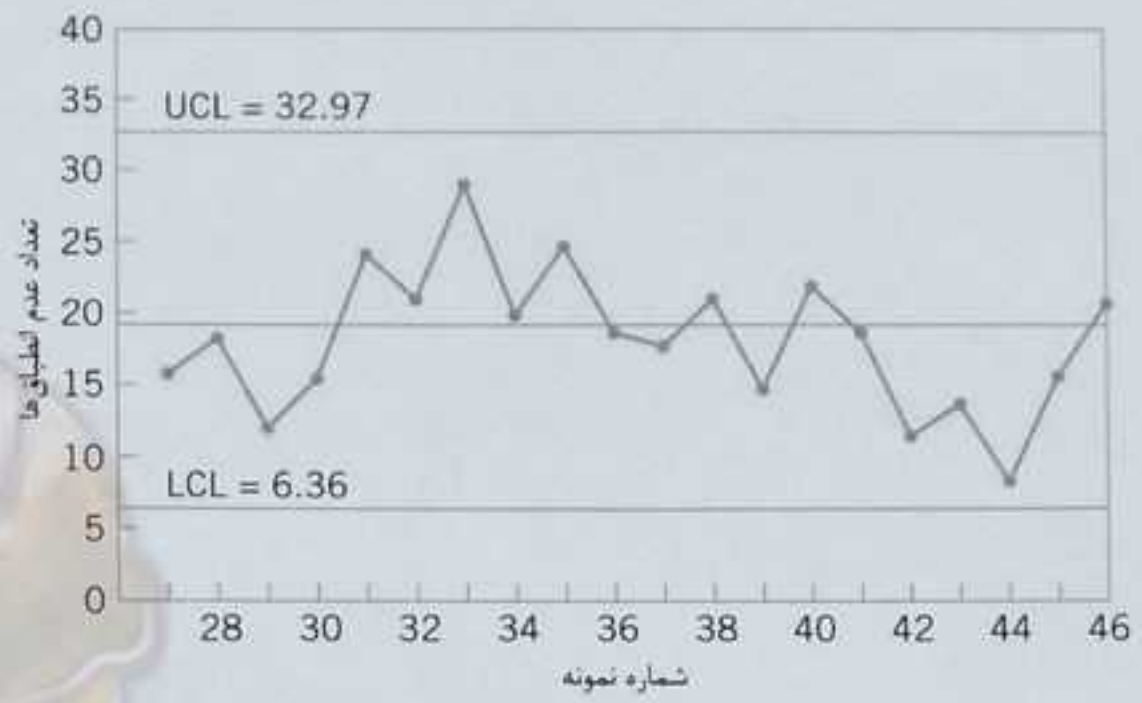
$$\mathrm{UCL} = \bar{c} + ۳\sqrt{\bar{c}} = ۱۹/۶۷ + ۳\sqrt{۱۹/۶۷} = ۳۲/۹۸$$
$$\mathrm{CL} = \bar{c} = ۱۹/۶۷$$
$$\mathrm{LCL} = \bar{c} - ۳\sqrt{\bar{c}} = ۱۹/۶۷ - ۳\sqrt{۱۹/۶۷} = ۶/۳۶$$

این حدود را می‌توان به‌عنوان مقادیر استاندارد برای ارزیابی کیفیت تولیدات آتی استفاده کرد. بیست نمونهٔ جدید که هر کدام شامل یک واحد بازرسی (یعنی ۱۰۰ صفحهٔ مدار چاپ شده) است تهیه می‌شود. تعداد عدم انطباق‌های موجود در هر نمونه در جدول ۶-۵ ثبت شده است. این نقاط بر روی نمودار کنترل در شکل ۶-۹ رسم شده‌اند. هیچ‌گونه نشانه‌ای از عدم کنترل وجود ندارد ولی با این حال تعداد عدم انطباق‌ها در هر صفحه هنوز به‌طور غیرقابل قبولی زیاد است. لذا دخالت مدیریت برای بهبود فرآیند تولید این صفحات مدار چاپ شده ضروری است.

جدول ۶-۵

داده‌های اضافی برای مثال ۶-۴

تعداد عدم انطباق‌ها	شماره نمونه	تعداد عدم انطباق‌ها	شماره نمونه
۱۸	۳۷	۱۶	۳۷
۲۱	۳۸	۱۸	۲۸
۱۶	۳۹	۱۲	۲۹
۲۲	۴۰	۱۵	۳۰
۱۹	۴۱	۲۴	۳۱
۱۲	۴۲	۲۱	۳۲
۱۴	۴۳	۲۸	۳۳
۹	۴۴	۲۰	۳۴
۱۶	۴۵	۲۵	۳۵
۲۱	۴۶	۱۹	۳۶

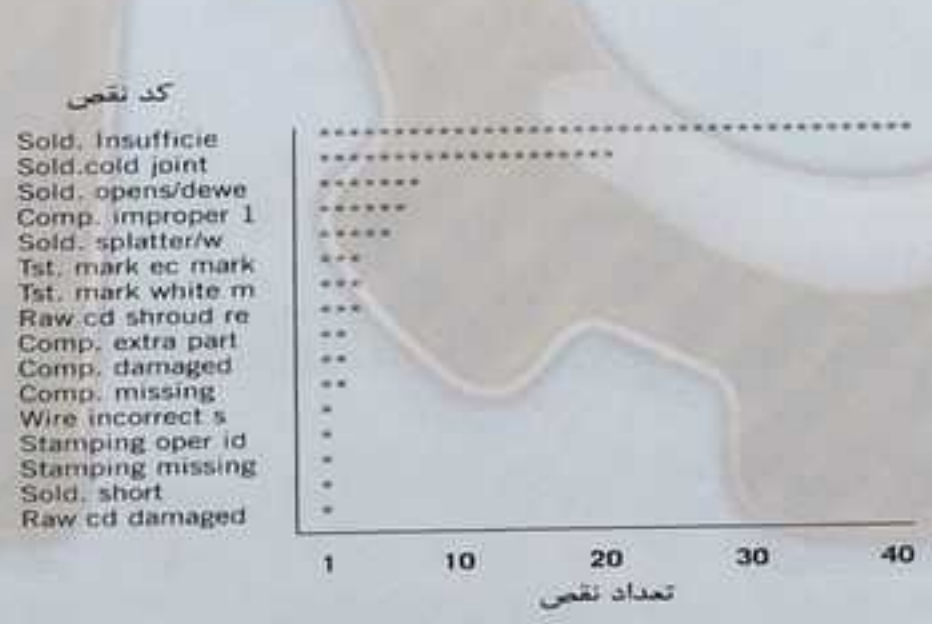


شکل ۶- ۹ ادامهٔ نمودار کنترل برای مثال ۶-۴.

از لحاظ ایجاد بهبود، داده‌های مربوط به نقص‌ها یا عدم انطباق‌ها معمولاً اطلاعات بیشتری را در مقایسه با نسبت اقلام نامنطبق منعکس می‌کنند چرا که معمولاً چندین نوع مختلف عدم انطباق در یک محصول وجود دارد. غالباً تحلیل انواع عدم انطباق‌ها می‌تواند اطلاعات بیشتری را در مورد علل ایجاد آنها فراهم سازد. بدیهی است انجام این کار می‌تواند کمک شایانی به تهیهٔ طرح اقدام خارج از کنترل(OCAP) که باید همراه نمودارهای کنترل ارائه شود خواهد کرد.

به‌عنوان مثال، در فرآیند تولید صفحات مدار چاپ شده ۱۶ نوع نقص متفاوت وجود دارد. داده‌های نقص برای ۵۰۰ صفحه در شکل ۶-۱۰ در قالب نمودار پارتو نشان داده شده است. باید توجه داشت که بیش از ۶۰٪ تعداد کل نقص‌ها مربوط به دو نوع نقص عدم لحیم‌کاری کافی[1] و لحیم‌کاری اتصالات سرد[2] است. بررسی این دو مورد بیانگر وجود مشکل در فرآیند لحیم‌کاری است. اگر این مشکلات حذف شود آنگاه بازده فرآیند به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

باید توجه داشت که تعداد عدم انطباق‌ها از توزیع پارتو پیروی می‌کند و یا به‌عبارت دیگر درصد زیادی از نقص‌ها مربوط به تعداد کمی (برای این مورد دو نقص) از انواع نقص‌ها می‌شود. این فرآیند چندین نوع صفحهٔ مدار چاپ شدهٔ متفاوت تولید می‌کند. بنابراین، شاید مفید باشد که بخواهیم نوع نقص را بر اساس نوع صفحهٔ مدار چاپ شده (شماره قطعه) تحلیل کنیم.



فراوانی	فراوانی تجمعی	درصد	درصد تجمعی
40	40	40.82	40.82
20	60	20.41	61.23
7	67	7.14	68.37
6	73	6.12	74.49
5	78	5.10	79.59
3	81	3.06	82.65
3	84	3.06	85.71
3	87	3.06	88.78
2	89	2.04	90.82
2	91	2.04	92.86
2	93	2.04	94.90
1	94	1.02	95.92
1	95	1.02	96.94
1	96	1.02	97.96
1	97	1.02	98.98
1	98	1.02	100.00

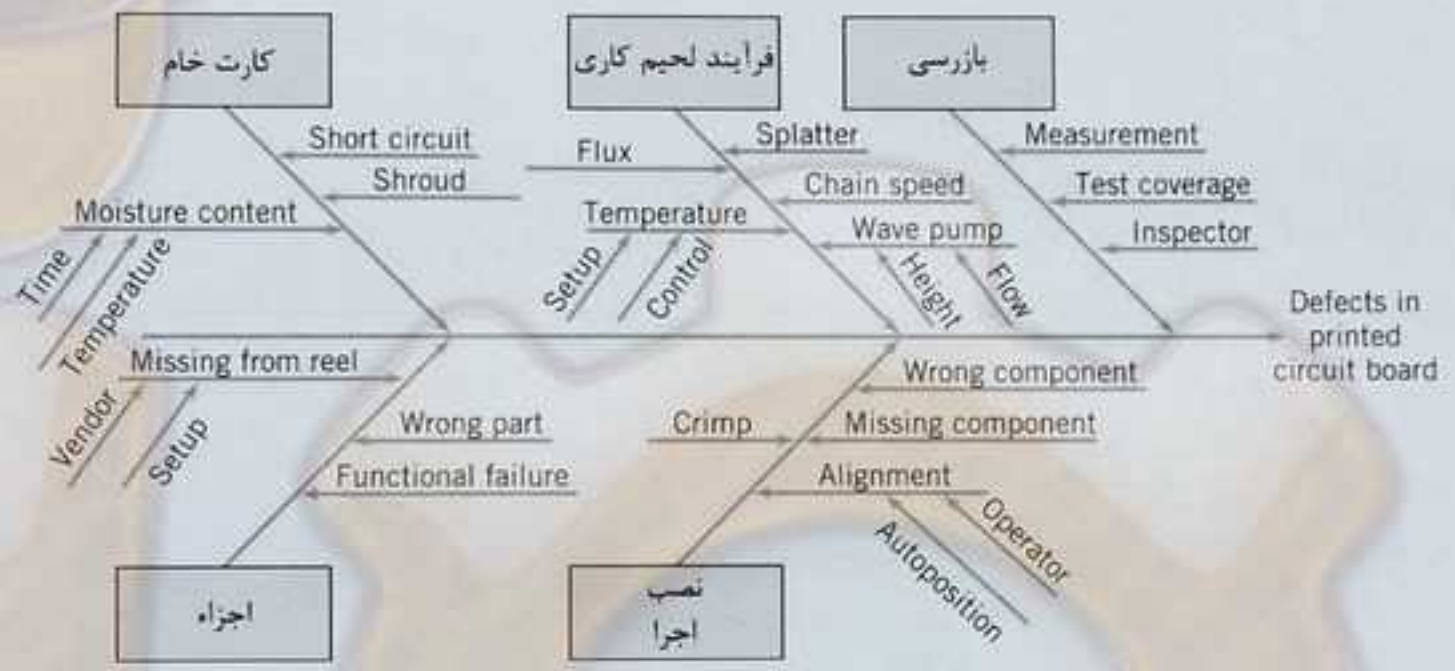
شکل ۶-۱۰ تحلیل پارتو عدم انطباق‌ها برای مثال ۶-۴.

1. solder insufficiency
2. solder cold joints

روش مفید دیگری که برای تحلیل بیشتر عدم انطباق وجود دارد استفاده از نمودار علت و معلول است. نمودار علت و معلول برای نشان دادن منابع مختلف ایجاد عدم انطباق در محصولات و روابط درونی آنها استفاده می‌شود.

معطوف ساختن توجه اپراتورها، مهندسان تولید و مدیران به مسائل کیفیت معمولاً مفید است. تهیهٔ یک نمودار علت و معلول خوب باعث ارتقاء سطح شناخت و درک فنی از فرآیند می‌شود. نمودار علت و معلول، فرآیند مونتاژ صفحات چاپ شده در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است. از آنجایی‌که اغلب عدم انطباق‌ها در این مثال مربوط به لحیم‌کاری بوده است، لذا می‌توان نمودار علت و معلول را به منظور شناسایی متغیرهای مورد نیاز برای انجام یک آزمایش طراحی شده جهت بهینه کردن فرآیند لحیم‌کاری استفاده کرد.

تفاوت را ملاحظه کنید. استفاده از یک نمودار کنترل در یک فرآیند به ثبات رسیده می‌تواند ما را در شناسایی تغییرات یاری دهد. با این وجود، به منظور ایجاد یک بهبود قابل ملاحظه در یک فرآیند ایستا غالباً نیاز است که خود فرآیند بهبود داده شود.



شکل ۶-۱۱ نمودار علت و معلول برای مثال ۶-۴.

۳-۶-۲ نمودار کنترل $\bar{u}$

نمودار $\bar{u}$
یک نمودار کنترل برای میانگین تعداد نامنطبق‌ها در یک واحد بازرسی

در مثال ۶-۴، یک نمودار کنترل برای عدم انطباق‌ها با اندازهٔ نمونه‌ای دقیقاً برابر با یک واحد بازرسی استفاده شد. واحد بازرسی معمولاً بر اساس سهولت عملیات یا جمع‌آوری داده‌ها انتخاب می‌شود. با این حال، دلیلی برای اینکه چرا اندازهٔ نمونه باید برابر یک واحد بازرسی در نظر گرفته شود وجود ندارد. در حقیقت، غالباً ترجیح داده می‌شود چندین واحد بازرسی در یک نمونه استفاده شود و در نتیجه مکان‌های بالقوه برای رخداد تعداد عدم انطباق‌ها افزایش یابد. انتخاب اندازهٔ نمونه باید با توجه به جنبه‌های آماری نظیر تعیین اندازهٔ نمونه به‌طوری که حد کنترل پایین مثبت باشد یا به‌دست آوردن احتمال خاصی برای تشخیص یک تغییر در فرآیند انجام شود. از طرف دیگر، عامل‌های اقتصادی می‌تواند در تعیین اندازهٔ نمونه نقش داشته باشد.

فرض کنید می‌خواهیم نمودار کنترل را بر اساس اندازه نمونهٔ n واحد بازرسی طراحی کنیم. توجه داشته باشید که n نباید حتماً عدد صحیح باشد. بدین‌منظور در مثال ۶-۴ فرض می‌کنیم اندازهٔ زیرگروه برابر با دو و نیم واحد بازرسی یا $n = ۲/۵$ است. در این صورت، اندازهٔ نمونهٔ واقعی برابر ۲۵۰= (۱۰۰)(۲/۵) صفحه خواهد بود. وقتی اندازهٔ نمونه تغییر می‌کند دو اقدام می‌توان برای اصلاح پارامترهای نمودار کنترل انجام داد.

در روش اول واحد بازرسی جدید به‌صورت n ضربدر واحد بازرسی قدیم تعریف می‌شود. در این

حالت، خط مرکز و حدود کنترل در نمودار کنترل جدید به ترتیب برابر $n\bar{c}$ و $n\bar{c} \pm ۳\sqrt{n\bar{c}}$ خواهد بود، که در این رابطه $\bar{c}$ به‌عنوان متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در واحد بازرسی قدیم تعریف شده است. فرض کنید در مثال ۶-۳ بعد از اصلاح حدود کنترل، تصمیم گرفته می‌شود که اندازهٔ نمونه به $n=۲/۵$ واحد بازرسی تغییر یابد. در این صورت خط مرکز برابر $n\bar{c} = (۲/۵)(۱۹/۶۷) = ۴۹/۱۸$ و حدود کنترل برابر $۴۹/۱۸ \pm ۳\sqrt{۴۹/۱۸}$ و یا $\text{LCL} = ۲۸/۱۴$ و $\text{UCL} = ۷۰/۲۲$ خواهد بود.

در روش دوم، نمودار کنترل بر اساس متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد بازرسی طراحی می‌شود. اگر در یک نمونه که شامل n واحد بازرسی است تعداد کل x نقص مشاهده شود آنگاه متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد بازرسی برابر است با:

$$\bar{u} = \frac{x}{n}$$

در نتیجه، پارامترهای نمودار کنترل برای متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در واحد از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

نمودار کنترل متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در واحد (نمودار u):

$$\text{UCL} = \bar{u} + ۳\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad (۶-۱۷)$$

$$\text{CL} = \bar{u} \qquad (۶-۱۸)$$

$$\text{LCL} = \bar{u} - ۳\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad (۶-۱۹)$$

در رابطه‌های فوق، $\bar{u}$ متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد بازرسی را نشان می‌دهد. در صورت وجود مقدار استانداردی برای u باید از آن به‌جای $\bar{u}$ استفاده شود.

مثال ۶-۵ تهیهٔ یک نمودار u

یک گروه مهندسی زنجیرهٔ تأمین محموله‌های مواد را در شبکهٔ توزیع شرکت پایش می‌کند. اشتباه در مواد تحویل شده یا مستندات پیوست آن به‌صورت هفتگی ردیابی می‌شود. بدین منظور، هر بار پنجاه محموله به‌صورت تصادفی انتخاب و تعداد اشتباهات آن ثبت می‌شود. داده‌های بیست هفته در جدول ۶-۶ نشان داده شده است. یک نمودار کنترل u برای پایش این فرآیند طراحی کنید.

با استفاده از داده‌های جدول ۶-۶ متوسط تعداد اشتباه (عدم انطباق‌ها) در هر واحد (محموله) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{u} = \frac{۷۴}{۲۰(۵۰)} = ۰/۰۷۴$$

بنابر این، نمودار کنترل مورد نظر دارای پارامترهای زیر خواهد بود:

$$\text{UCL} = \bar{u} + ۳\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = ۰/۰۷۴۰ + ۳\sqrt{\frac{۰/۰۷۴۰}{۵۰}} = ۰/۱۸۹۴$$

$$\text{CL} = \bar{u} = ۰/۰۷۴۰$$

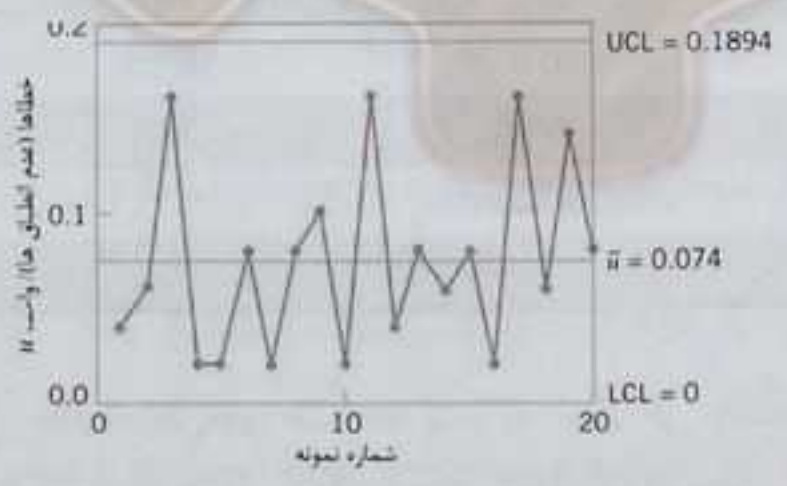
$$\text{LCL} = \bar{u} - ۳\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = ۰/۰۷۴۰ - ۳\sqrt{\frac{۰/۰۷۴۰}{۵۰}} = -۰/۰۴۱۴$$

جدول ۶-۶

تعداد عدم انطباق‌ها در شبکهٔ توزیع

شماره نمونه، i	اندازه نمونه n	تعداد کل اشتباه‌ها (عدم انطباق ها)، x_i
۱	۵۰	۲
۲	۵۰	۳
۳	۵۰	۸
۴	۵۰	۱
۵	۵۰	۱
۶	۵۰	۴
۷	۵۰	۱
۸	۵۰	۴
۹	۵۰	۵
۱۰	۵۰	۱
۱۱	۵۰	۸
۱۲	۵۰	۲
۱۳	۵۰	۴
۱۴	۵۰	۳
۱۵	۵۰	۴
۱۶	۵۰	۱
۱۷	۵۰	۸
۱۸	۵۰	۳
۱۹	۵۰	۷
۲۰	۵۰	۴
		۷۴

از آنجایی‌که $LCL < 0$ است لذا مقدار آن برای نمودار u برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. داده‌های اولیه فرآیند را تحت کنترل آماری نشان می‌دهد. بنابراین، این حدود کنترل آزمایشی را می‌توان برای کنترل فرآیند در فاز II استفاده کرد. لازم به ذکر است که علی‌رغم تحت کنترل بودن فرآیند هنوز متوسط تعداد اشتباهات در هر محموله زیاد است. لذا انجام اقدام اصلاحی برای بهبود سیستم زنجیرهٔ تأمین ضروری است.



شکل ۶-۱۲ نمودار u برای مثال ۶-۵.

۶-۳-۳ اندازه نمونه‌های متغیر

در بعضی مواقع، نمودارهای کنترل عدم انطباق‌ها بر اساس بازرسی ۱۰۰٪ محصولات تهیه می‌شود. در چنین شرایطی معمولاً تعداد واحدهای بازرسی در یک نمونه ثابت نخواهد بود. به‌عنوان مثال، در زمان بازرسی توپ‌های پارچه یا کاغذ به دلیل یکسان نبودن عرض یا طول توپ‌های پارچهٔ تولید شده شرایطی ایجاد خواهد شد که دیگر نمی‌توان از اندازهٔ نمونهٔ ثابت برای انجام محاسبات استفاده کرد. اگر در چنین شرایطی از نمودار کنترل تعداد عدم انطباق‌ها (نمودار c) استفاده شود، آنگاه حدود کنترل و خط مرکز با اندازهٔ نمونه تغییر خواهد کرد که در این صورت تفسیر این نمودار بسیار دشوار خواهد بود. روش صحیحی که می‌توان در چنین شرایطی استفاده کرد نمودار کنترل تعداد عدم انطباق‌ها در هر محصول (نمودار u) است. این نمودار دارای خط مرکز ثابتی است ولی حدود کنترل آن به‌طور معکوس با جذر اندازهٔ نمونه تغییر می‌کند. این نکته در مثال زیر نشان داده شده است.

مثال ۶-۶ نمودارهای u با اندازه نمونه‌های متغیر

در یک کارخانهٔ نساجی، پارچه‌های رنگ شده بازرسی می‌شود تا تعداد نقص‌ها در هر ۵۰ متر مربع تعیین شود. جدول ۶-۷ داده‌های مربوط به ده توپ پارچه را نشان می‌دهد. با استفاده از این داده‌ها یک نمودار کنترل تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد طراحی کنید.

خط مرکز این نمودار باید برابر متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد بازرسی و یا به‌عبارت دیگر متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در ۵۰ متر مربع باشد. بنابراین، با تقسیم تعداد کل نقص‌های مشاهده شده بر تعداد کل واحدهای بازرسی می‌توان این مقدار را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\bar{u} = \frac{۱۵۳}{۱۰۷/۵} = ۱/۴۲$$

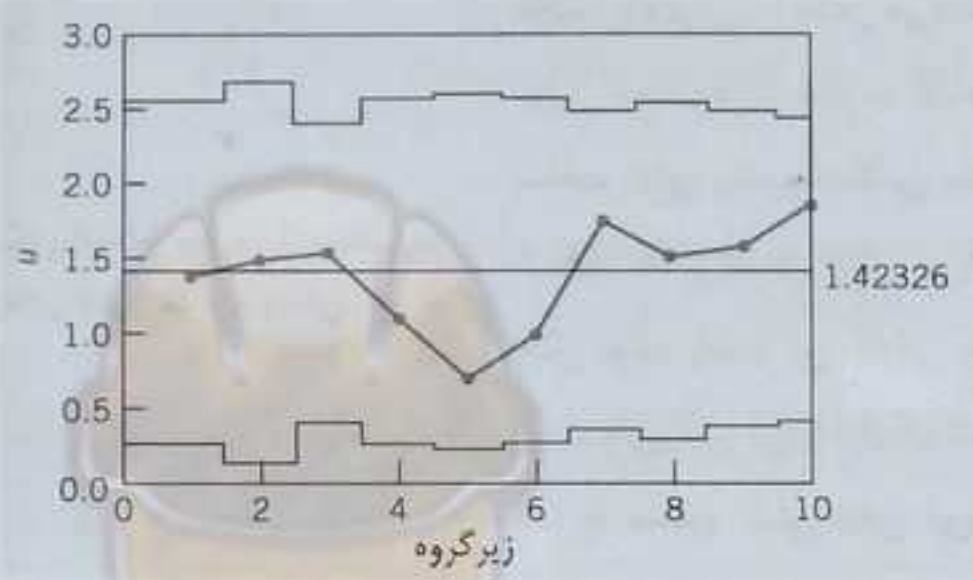
جدول ۶-۷

تعداد عدم انطباق‌ها در پارچه‌های رنگ شده

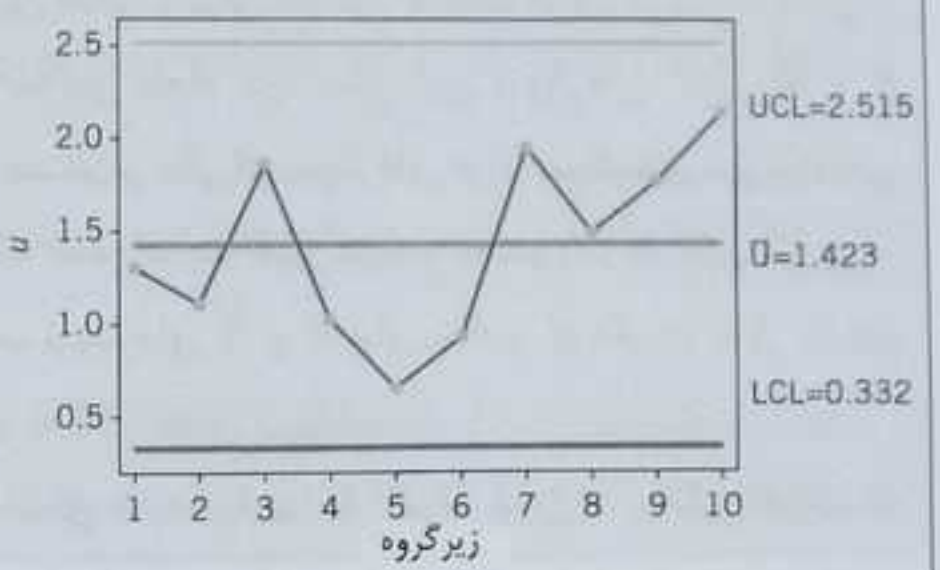
شمارهٔ توپ پارچه	مقدار مترمربع	تعداد کل عدم انطباق‌ها	تعداد واحد بازرسی در توپ پارچه، n
۱	۵۰۰	۱۴	۱۰/۰
۲	۴۰۰	۱۲	۸/۰
۳	۶۵۰	۲۰	۱۳/۰
۴	۵۰۰	۱۱	۱۰/۰
۵	۴۷۵	۷	۹/۵
۶	۵۰۰	۱۰	۱۰/۰
۷	۶۰۰	۲۱	۱۲/۰
۸	۵۲۵	۱۶	۱۰/۵
۹	۶۰۰	۱۹	۱۲/۰
۱۰	۶۲۵	۲۳	۱۲/۵
		۱۵۳	۱۰۷/۵۰

باید توجه داشت که $\bar{u}$ به‌صورت نسبت کل عدم انطباق‌های مشاهده شده به تعداد کل واحدهای بازرسی حاصل از هر توپ پارچه، محاسبه شده است. محاسبات مربوط به حدود کنترل در جدول ۶-۷ و نمودار کنترل آن در شکل ۶-۱۳ نشان داده شده است.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، در صورت نزدیک بودن اندازه‌های واحد بازرسی (نظیر مثال ۲-۶) می توان از اندازه متوسط واحد بازرسی و یا در این مورد ۱۰/۷۵ استفاده کرد. اینکار منجر به نمودار ارائه شده در شکل ۶-۱۴ می‌شود.



شکل ۶-۱۳ نمودار کنترل u برای مثال ۶-۶ با استفاده از اندازه نمونه‌های متغیر.



شکل ۶-۱۴ نمودار کنترل u برای مثال ۶-۶ با استفاده از اندازه زیر گروه متوسط.

۶-۴ انتخاب بین نمودارهای کنترل وصفی و متغیر

در بسیاری از کاربردها، تحلیلگر باید از بین نمودارهای کنترل برای متغیرها نظیر نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R و نمودارهای کنترل برای وصفی‌ها نظیر نمودار p، نمودار مناسبی را انتخاب کند. در بعضی موارد، این انتخاب به سهولت انجام می‌گیرد. به‌عنوان مثال، اگر مشخصهٔ کیفی مورد نظر رنگ محصولی نظیر فرش یا پارچه باشد آنگاه بازرسی وصفی بر بازرسی کمّی مشخصهٔ کیفی رنگ ترجیح داده می‌شود. در موارد دیگر، این انتخاب آشکار و مشخص نیست و تحلیلگر مجبور می‌شود تا چندین عامل را برای انتخاب بین نمودارهای کنترل وصفی‌ها و متغیرها در نظر گیرد.

یکی از مزایای نمودارهای کنترل وصفی آن است که در این نمودارها می‌توان چندین مشخصهٔ کیفی را به‌طور هم زمان در نظر گرفت و در صورت عدم انطباق هر یک از مشخصه‌های محصول با مشخصه‌های فنی، محصول نامنطبق شناخته می‌شود. از طرف دیگر، اگر چند مشخصهٔ کیفی به صورت متغیر در نظر گرفته شود آنگاه هر یک باید اندازه‌گیری و به‌طور جداگانه توسط دو نمودار کنترل $\bar{X}$ و R کنترل یا اینکه یک روش کنترل چند متغیره برای کنترل کلیهٔ مشخصه‌های کیفی به‌طور هم زمان استفاده شود. در این حالت، سادگی استفاده از نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های وصفی به وضوح آشکار می‌شود. به علاوه، بازرسی وصفی می‌تواند از اندازه‌گیری‌های پُر هزینه و وقت‌گیر اجتناب کند.

از طرف دیگر، نمودارهای کنترل متغیر در مقایسه با نمودارهای کنترل وصفی اطلاعات بیشتری را در مورد عملکرد فرآیند فراهم می‌سازند. به‌عنوان مثال، اطلاعاتی نظیر میانگین و تغییرپذیری فرآیند را می‌توان مستقیماً از نمودار استخراج کرد. به علاوه، در نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر زمانی که نقاط خارج از حدود کنترل رسم می‌شود اطلاعات نسبتاً زیادی می‌توان در مورد علل بالقوهٔ رسم آنها خارج از حدود کنترل بدست آورد. از منظر تحلیل قابلیت فرآیند، نمودارهای کنترل متغیر تقریباً همیشه بر نمودارهای کنترل وصفی ترجیح داده می‌شود. مطالعات و بررسی‌های مرتبط با عدم انطباق‌های تولید شده توسط دستگاه‌ها یا اپراتورها که منشاء عدم انطباق‌های آن بسیار محدود باشد یا مطالعاتی که مستقیماً به بازدهٔ فرآیند یا ضایعات آن مربوط شود را می‌توان به‌عنوان مستثنا از این قاعده نام برد.

شکل ۶-۱۵ مقایسهٔ عملکرد نمودارهای کنترل متغیر و وصفی.

شاید مهم‌ترین مزیت نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R آن است که آنها غالباً مشکلات محتمل‌الوقوعی را نشان می‌دهند و این امکان را برای کارکنان عملیات فراهم می‌سازند تا قبل از تولید محصولات معیوب اقدامات اصلاحی انجام شود. بنابر این، نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R شاخص‌های پیشرو انعکاس مشکل هستند در حالی‌که نمودارهای p (یا نمودارهای c و u) زمانی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند که سطح فرآیند تغییر کرده و محصولات نامنطبق زیادی در حال تولید باشد. این کارایی مضاعف نمودارهای $\bar{X}$ و R برای مقادیر کوچک p بسیار مشهود است ولی تأثیر آن با نزدیک شدن p به ۰/۵ کاهش می‌یابد.

به منظور نشان دادن این نکته شکل ۱۵-۶ را در نظر گیرید. وقتی‌که میانگین فرآیند در سطح μ_1 قرار دارد تعداد کمی محصول نامنطبق تولید می‌شود. فرض کنید یک تغییر صعودی در میانگین ایجاد می‌شود. زمانی‌که سطح فرآیند به μ_2 می‌رسد نمودارهای $\bar{X}$ و R نسبت به وجود این تغییر در میانگین با ارائه یک روند غیر تصادفی مشهود و احیاناً رسم چند نقطه خارج از حدود کنترل از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند. این در حالی است که نمودار کنترل p قبل از رسیدن سطح فرآیند به μ_2 و یا افزایش تعداد محصولات نامنطبق از خود عکس‌العملی نشان نمی‌دهد. بنابراین، نمودارهای $\bar{X}$ و R در مقایسه با نمودار کنترل p ابزارهای کنترلی قدرتمندتری محسوب می‌شوند:

نمودارهای کنترل متغیر می‌توانند نشانه‌های راهنمای عملکرد فرایند ضعیف باشند.

به منظور پی بردن به وجود تغییر خاصی در سطح فرآیند، نمودارهای کنترل متغیر در مقایسه با نمودارهای کنترل وصفی مشابه، نیاز به اندازهٔ نمونهٔ کوچکتری دارند. گرچه بازرسی مشخصه‌های متغیر در مقایسه با مشخصه‌های وصفی نیاز به هزینه و زمان بیشتری برای هر محصول دارد ولی در عوض تعداد بسیار کمتری محصول باید بازرسی شود. این نکتهٔ مهمی است که معمولاً در آزمایش‌های مخرب نظیر باز کردن قوطی‌های کنسرو و اندازه‌گیری حجم یا ارزیابی خواص شیمیایی محصول مورد توجه قرار می‌گیرد. مثال زیر برتری اقتصادی استفاده از نمودارهای کنترل متغیر را نشان می‌دهد.

نمودارهای کنترل متغیر اغلب برای یک سطح مشخص از حفاظت فرآیند به اندازهٔ کوچکتری نیاز دارند.

مثال ۶-۷ برتری اقتصادی نمودارهای کنترل متغیر

فرآیندی را با حد مشخصهٔ پایین ۴۴ و حد مشخصهٔ بالای ۵۶ در نظر گیرد. میانگین فعلی فرآیند ۵۰ و انحراف معیار آن ۲ است. اگر بخواهیم تغییر میانگین به ۵۲ را با احتمال ۵۰٪ شناسایی کنیم چه اندازه نمونه‌ای را برای نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و p پیشنهاد می‌کنید. اندازه نمونه برای نمودار $\bar{X}$ باید به اندازهٔ کافی بزرگ انتخاب شود تا حد کنترل بالا برابر ۵۲ باشد. به‌عبارت دیگر،

$$۵۰+\frac{۳(۲)}{\sqrt{n}}=۵۲$$

و یا اندازهٔ نمونه باید $n = ۹$ باشد. اگر نمودار کنترل p استفاده شود می‌توان از روش دانکن اندازه نمونه را انتخاب کرد. به منظور استفاده از این روش، نیاز است ابتدا تأثیر تغییر ایجاد شده را بر نسبت اقلام نامنطبق بهتر درک کنیم. وقتی فرآیند تحت کنترل است و

از حدود سه انحراف معیار استفاده می‌شود، نسبت اقلام معیوب فرآیند برابر ۰/۰۰۲۷ است. وقتی فرآیند به ۵۲ تغییر می‌کند، نسبت اقلام نامنطبق به ۰/۰۲۲۸ افزایش می‌یابد. با استفاده از این مقادیر در رابطهٔ دانکن نتیجهٔ زیر حاصل می‌شود:

$$n=\left(\frac{۳}{\delta}\right)^{۲} p(۱-p)=\left(\frac{۳}{۰/۰۲۲۸}\right)^{۲} ۰/۰۰۲۷(۱-۰/۰۰۲۷)=۵۹/۹۸\approx ۶۰$$

به‌عبارت دیگر، نمودار p نیاز به نمونه‌ای با اندازهٔ ۶۰ دارد و این هفت برابر اندازه نمونهٔ مورد نیاز برای نمودار $\bar{X}$ است. بنابر این، هزینهٔ استفاده از نمودار کنترل $\bar{X}$ به مراتب کمتر از نمودار p خواهد بود.

علی رغم نوع نمودار کنترلی که در عمل انتخاب می‌شود، بسیار حایز اهمیت است که نمودارهای کنترل وصفی در مباحث کنترل فرآیند از محاسبات کنار گذاشته نشوند. مثال ۶-۸ اهمیت این موضوع را در استفاده از نمودارهای کنترل و تأثیر سازمانی آن نشان می‌دهد.

مثال ۶-۸ تأثیر نمودار کنترل بر یک سازمان

مقالهٔ ارائه شده تحت‌عنوان "تأثیر نمودارهای کنترل وصفی بر عملکرد سازمانی" تأثیر نمودارهای کنترل وصفی بر سازمان‌ها را توصیف می‌کند. این موردکاوی به اختصار در زیر تشریح شده است.

در اوایل دههٔ ۱۹۹۰، یک شرکت تولیدی کوچک تولید کنندهٔ لوله‌های بدون درز برای صنایع هسته‌ای و هوا فضا، اقدام به استقرار مدیریت کیفیت جامع می‌کند. آنها تیم‌های بهبود کیفیت خود را ایجاد و تمامی کارکنان خود را در زمینه‌های مهارت‌های ریاضی، اصول احتمال، بهبود فرآیند و تهیهٔ نمودارهای کنترل آموزش دادند. ابتدا آنها نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R را به‌کار بردند و به سرعت به موفقیت‌های خوبی نیز دست یافتند. یک نمودار کنترل به تنهایی منجر به ایجاد یک صرفه‌جویی ۲۰۰،۰۰۰ دلاری در سال شد.

با این وجود، نقص‌هایی نظیر تو رفتگی، پارگی و پلیسه معمولاً در فلزات مشاهده می‌شد که ارزیابی آنها از طریق نمودارهای کنترل وصفی به سادگی امکان‌پذیر نبود. این شرکت در سه شیفت کاری در روز کار می‌کرد و هر سه شیفت مجاز بودند که نقص‌ها تولید شده را بررسی و در مورد منطبق یا نامنطبق بودن محصول تصمیم‌گیری کنند. با این وجود، معمولاً این تصمیمات به‌ندرت توسط شیفت‌های دوم و سوم اتخاذ می‌شد. شرکت می‌خواست مشکل تصمیم‌گیری در مورد وضعیت محصول را از طریق اتخاذ تصمیمات بر اساس داده‌ها رفع کند.

به منظور انجام اینکار، تیمی مسئول تهیهٔ نمودار کنترل وصفی بر اساس این داده‌ها شد. در کنار تهیهٔ نمودارهای کنترل وصفی، آنها یک برگهٔ کنترل همراه با جزییات برای راهنمایی بازرس‌ها در مورد اینکه دقیقاً چه چیزی باید ارزیابی شود و چگونه هر نوع نقص باید امتیاز داده شود تهیه کردند. همچنین یک طرح اقدام خارج از کنترل (OCAP) تهیه شد تا بازرس‌ها ملزم گردند در صورت مواجه شدن با یک وضعیت خارج از کنترل از آن برای حذف منابع ایجاد نقص استفاده کنند.

پس از گذشت ۱۵ روز از انجام این‌کار، نتایج شگفت انگیزی حاصل شد. حال هر سه شیفت کاری در مورد منطبق یا نامنطبق بودن محصول تصمیم‌گیری می‌کردند. این‌کار میزان دوباره کاری را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. شرکت توانست با شناسایی و اصلاح به موقع وضعیت‌های خارج از کنترل بازده فرآیند را طی فقط ۱۵ روز به میزان ۱/۸ درصد بهبود دهد. با فرض عدم تحقق هیچگونه بهبود دیگری، نمودار کنترل به تنهایی توانست مبلغی معادل ۳۴۳۰۰۰ دلار در سال برای شرکت صرفه‌جویی ایجاد کند. با این حال، هنوز این امکان وجود دارد که بتوان انحراف‌های با دلیل دیگری نیز شناسایی و صرفه جویی‌های بیشتری ایجاد کرد.

هدف اصلی از ارائهٔ این مورد کاوی تغییر نگرش نسبت به استفاده از نمودارهای کنترل وصفی به‌عنوان آخرین نمودارهای کنترل بود. با این وجود، استفاده از نمودارهای کنترل وصفی غالباً می‌تواند منجر به صرفه‌جویی‌های مالی و بهبودهای رفتار سازمانی شود. برای این شرکت، انجام مطالعه بر روی مشکل موجود و کاهش پراکندگی در عملکرد و همچنین رفع عدم انطباق‌ها بود که اهمیت داشت و مسأله اصلاً انتخاب نوع نمودار کنترل نبود.

۶-۵ خطوط راهنما برای استفاده از نمودارهای کنترل

تقریباً هر فرآیندی را می‌توان با استفاده از روش‌های کنترل فرآیندی آماری نظیر نمودارهای کنترل بهبود داد. در این بخش، چند خطوط راهنمای کلی مفید برای طراحی نمودارهای کنترل ارائه می‌شود. مواردی که بحث خواهد شد عبارتند از:

۱- تعیین مشخصه‌های مورد نظر فرآیند برای کنترل

۲- تعیین مکان استفاده از نمودارهای کنترل در فرآیند

۳- انتخاب نمودارهای کنترل مناسب

۴- تصمیم‌گیری در مورد بهبود فرآیند بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های SPC و نمودارهای کنترل

۵- انتخاب سیستم جمع‌آوری داده و نرم‌افزار رایانه‌ای

خطوط راهنمای ارائه شده در اینجا را می‌توان برای هر دو نمودار کنترل وصفی و متغیر استفاده کرد. باید به خاطر داشت که نمودارهای کنترل فقط برای تحت نظر قرار دادن فرآیند استفاده نمی‌شوند بلکه باید از آنها به‌عنوان یک روش فعال حین تولید برای کاهش تغییرپذیری فرآیند استفاده کرد.

۶-۵-۱ تعیین اینکه کدام مشخصه‌ها کنترل و کجا نمودارهای کنترل مستقر شوند.

در آغاز یک برنامهٔ استفاده از نمودارهای کنترل، معمولاً تعیین این که کدام یک از مشخصه‌های فرآیند یا محصول باید کنترل و در چه مکانی از فرآیند باید نمودارهای کنترل استفاده شوند کار ساده‌ای نیست. بعضی از خطوط راهنمای مفید که می‌توان در این رابطه استفاده کرد عبارتند از:

۱	**در آغاز یک برنامهٔ نمودار کنترل باید از نمودارهای کنترل برای کنترل هر مشخصهٔ کیفی یا عملیات تولیدی مهم استفاده کرد. بازخورد سریعی که نمودارهای کنترل از خود نشان می‌دهند را می‌توان برای تعیین میزان ضرورت استفاده از نمودارهای کنترل استفاده کرد.**
۲	نمودارهای کنترل غیرضروری باید به وسیلهٔ نمودارهای کنترل که استفاده از آنها توسط مهندسان و اپراتورها تأیید شده است جایگزین شوند. معمولاً از نمودارهای کنترل بیشتری استفاده می‌شود تا فرآیند به حالت ثبات برسد.
۳	اطلاعات مربوط به تعداد و نوع نمودارهای کنترل که برای کنترل فرآیند استفاده می‌شود باید به هنگام باشد. سوابق مربوط به نمودارهای کنترل کیفی وصفی ترجیحاً باید به‌طور جداگانه نگهداری شود. به‌طورکلی، بعد از آغاز استفاده از نمودارهای کنترل غالباً مشاهده می‌شود که تعداد نمودارهای کنترل به‌طور ثابتی افزایش و بعد از مدتی تعداد آنها کاهش می‌یابد. وقتی‌که فرآیند ثبات خود را به‌دست می‌آورد تعداد نمودارهایی که برای کنترل آن استفاده می‌شود معمولاً از یک سال به سال دیگر یکسان ثابت می‌ماند. با این حال، نمودارهای استفاده شده لزوماً همان نمودارهای کنترل قبلی نخواهند بود.

۴	اگر از نمودارهای کنترل به نحو احسن استفاده شود و اطلاعات جدیدی در مورد متغیرهای کلیدی فرآیند به‌دست آید آنگاه باید انتظار داشت که تعداد نمودارهای $\bar{X}$ و R افزایش و تعداد نمودارهای کنترل وصفی کاهش یابد.
۵	در آغاز یک برنامهٔ نمودار کنترل معمولاً تعداد نمودارهای کنترل وصفی که برای کنترل محصولات ساخته یا نیمه ساخته در انتهای خط تولید استفاده می‌شود زیاد است. با گذشت زمان و کسب اطلاعات بیشتر در مورد فرآیند، این نمودارها معمولاً با نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R که در مراحل اولیهٔ فرآیند برای کنترل پارامترها و عملیات بحرانی که باعث ایجاد عدم انطباق در محصول نهایی می‌شوند جایگزین خواهند شد. به‌طور کلی، هر چه زودتر برنامه‌های کنترل فرآیند اجرا، شود بهتر است. در یک فرآیند مونتاژ پیچیده، این بدین‌معناست که برنامه‌های کنترل فرآیند باید در سطح تسهیلات فروشنده یا تأمین کننده به اجرا درآید.
۶	نمودارهای کنترل یک روش کنترل فرآیند حین تولید هستند. این نمودارها باید حدالامکان به محلی که قرار است از آنها استفاده شود نزدیک باشند تا وقفه‌ای بین زمان اتخاذ تصمیم‌های اصلاحی و اجرای آنها به وجود نیاید. به علاوه، مهندسان ساخت و اپراتورها مسئولیت مستقیم تهیهٔ داده‌ها، حفظ نمودارها و تفسیر نتایج را برعهده دارند. مهندسان و اپراتورها دانش و اطلاعات مورد نیاز برای برطرف کردن مشکلات فرآیند و همچنین استفادهٔ بهینه از نمودارهای کنترل برای بهبود عملکرد فرآیند را معمولاً در اختیار دارند. استفاده از رایانه به فعالیت‌ها سرعت می‌بخشد و در نتیجه باید بخشی از روش کنترل فرآیند حین تولید شود.
۷	طرح اقدام خارج از کنترل (OCAP) بخش مهمی از نمودار کنترل است. کارکنان عملیات و مهندسی باید تلاش کنند که OCAP ها را به روز و معتبر نگهدارند.

۶-۵-۲ انتخاب نمودار کنترل مناسب

الف- نمودارهای $\bar{X}$ و R (یا $\bar{X}$ و s)

نمودارهای کنترل متغیر را می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

۱	یک فرآیند جدید تازه شروع به‌کار کرده است یا یک محصول جدید به وسیلهٔ فرآیند موجود تولید می‌شود.
۲	مدتی است که فرآیند شروع به‌کار کرده ولی فرآیند طی این مدت با مشکل مواجه بوده است و یا قادر نیست که همیشه تلرانس‌های خاصی را حفظ کند.
۳	فرآیند با مشکل مواجه است و نمودار کنترل می‌تواند برای اهداف تشخیصی مفید باشد.
۴	آزمایش مخرب (یا هر آزمایش گران قیمت دیگر) مورد نیاز است.
۵	وقتی که فرآیند تحت کنترل است می‌خواهیم میزان استفاده از روش نمونه‌گیری پذیرش[1] یا هر روش بازرسی دیگر که در انتهای خط تولید استفاده می‌شود کاهش و به حداقل میزان خود برسد.
۶	نمودارهای کنترل وصفی استفاده شده است ولی فرآیند یا در حالت خارج از کنترل به سر می‌برد یا تحت کنترل است ولی بازده قابل قبولی ندارد.
۷	فاصلهٔ بین حدود مشخصات خیلی کم است، همپوشانی بین تلرانس‌های مونتاژ و یا مشکلات دیگر وجود دارد.
۸	اپراتور باید تصمیم بگیرد که آیا فرآیند نیازی به تنظیم دارد و یا در زمان راه‌اندازی باید ارزیابی شود.
۹	حدود مشخصات محصول نیاز به تغییر دارد.
۱۰	ثبات و قابلیت فرآیند باید به‌طور مستمر اثبات شود. انجام این کار برای صنایعی که باید از قوانین خاصی تبعیت کنند ضروری است.

1. acceptance sampling

ب- نمودارهای کنترل وصفی (نمودارهای p ، نمودارهای c و نمودارهای u).

نمودارهای کنترل وصفی را می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

۱	**اپراتورها انحرافات با دلیل را کنترل می‌کنند و ضروری است که تعداد محصولات معیوب کاهش یابد.**
۲	فرآیند شامل یکسری عملیات مونتاژ پیچیده است و کیفیت محصول بر اساس تعداد عدم انطباق‌های مشاهده شده، عملکرد موفق یا ناموفق محصول و غیره اندازه‌گیری می‌شود. (به‌عنوان مثال، می‌توان به رایانه، اتومبیل و یا قسمت‌هایی از این محصولات اشاره کرد.)
۳	کنترل فرآیند ضروری است ولی امکان تهیهٔ داده‌هایی که بتوان اندازه‌گیری کرد وجود ندارد.
۴	نیاز به خلاصه‌ای از سوابق عملکرد فرآیند است. نمودارهای کنترل وصفی نظیر نمودارهای p، نمودارهای c و نمودارهای u می‌توانند به نحوهٔ مؤثرتری اطلاعات فرآیند را برای ارائه به مدیریت خلاصه کنند.
۵	باید به خاطر داشت که نمودارهای کنترل وصفی نسبت به نمودارهای کنترل متغیر ضعیف‌تر عمل می‌کنند. در صورت امکان، همیشه سعی شود از نمودارهای R و s استفاده شود.

ج- نمودارهای کنترل برای مشاهدات انفرادی

نمودار کنترل برای مشاهدات انفرادی همراه با نمودار دامنهٔ متحرک را می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

۱	**تهیهٔ بیش از یک مشاهده در هر بار نمونه‌گیری امکان‌پذیر نیست و یا اندازه‌گیری‌های مجدد فقط در صورت وجود خطای آزمایشگاهی یا خطا در تحلیل‌ها با یکدیگر تفاوت خواهند داشت. به‌عنوان مثال، می‌توان به فرآیندهای شیمیایی اشاره کرد.**
۲	فن‌آوری بازرسی و آزمایش‌های خودکار امکان اندازه‌گیری یک محصول را ممکن می‌سازد. در اینگونه موارد، می‌توان از نمودار کنترل جمع تجمعی و نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی استفاده کرد. سرعت تولید داده‌ها خیلی آهسته است و انتظار برای تهیهٔ نمونهٔ بزرگتر غیر عملی بنظر می‌رسد و یا باعث می‌شود تا روشی که برای کنترل فرآیند به کار برده می‌شود نسبت به وجود مشکلات، از خود دیر واکنش نشان دهد. چنین مواردی را می‌توان در محیط‌های غیر تولیدی مشاهده کرد. به‌عنوان مثال، می‌توان به داده‌های حسابداری که فقط هر ماه فراهم می‌شود اشاره کرد.
۳	به‌طورکلی، زمانی‌که در فاز II قرار داریم، نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی عملکرد ضعیفی در تشخیص تغییر در فرآیند دارند و می‌توانند نسبت به انحراف از فرض نرمال بسیار حساس باشند. صورت امکان باید همیشه از نمودارهای کنترل جمع تجمعی و نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی (EWMA و CUSUM) به‌جای نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی استفاده کرد.

۳-۵-۶ اقدامات اتخاذ شده برای بهبود فرآیند

هدف اصلی کنترل فرآیند آماری بهبود فرآیند است. استفاده از نمودارهای کنترل باعث می‌شود تا اطلاعاتی در مورد دو جنبهٔ کلیدی فرآیند به‌دست آید: (۱) کنترل آماری و (۲) قابلیت فرآیند. از لحاظ فنی تا زمانی که فرآیند تحت کنترل آماری نباشد نمی‌توان قابلیت آن را به‌طور مطلوب ارزیابی کرد. با این حال، یک تعریف عامیانه برای قابلیت فرآیند می‌تواند بدین‌صورت باشد که آیا میزان تولید محصولات نامنطبق فرآیند آنقدر کم است که دیگر نیازی به تلاش اضافی فوری برای بهبود فرآیند احساس نگردد؟

آیا فرآیند تحت کنترل است؟	آیا فرآیند از قابلیت لازم برخوردار است؟	
	بلی	خیر
بلی	SPC	SPC DOE حدود مشخصات بررسی شود فرآیند تغییر یابد
خیر	SPC	SPC DOE حدود مشخصات بررسی شود فرآیند تغییر یابد

شکل ۶- ۱۶ اقدامات انجام شده برای بهبود یک فرآیند.

شکل ۶-۱۶ حالت‌های مختلفی را نسبت به این دو موضوع نشان می‌دهد. این شکل به دو سؤال "آیا فرآیند تحت کنترل است؟" و "آیا فرآیند از قابلیت لازم برخوردار است؟ پاسخ می‌دهد. هر یک از چهار قسمت این شکل نکاتی را پیشنهاد می‌کند که بستگی به جواب این دو سؤال دارد.

قسمت سمت چپ بالا حالت ایده‌آل را نشان می‌دهد. در این حالت فرآیند تحت کنترل آماری قرار دارد و از قابلیت کافی برای دست یافتن به اهداف کاری فعلی برخوردار است. در این حالت، روش‌های SPC ابزار مفید و ارزشمندی برای کنترل فرآیند و ارائه هشدارهای به موقع در مورد پیدایش انحرافات با دلیل جدید محسوب می‌شوند که احیاناً باعث ایجاد ضعف در عملکرد فرآیند می‌شود.

قسمت سمت راست بالا حالتی را نشان می‌دهد که فرآیند تحت کنترل آماری قرار داد ولی از قابلیت لازم برخوردار نیست. احتمالاً مقدار PCR محاسبه شده کمتر از مقداری است که توسط مشتری درخواست شده است و یا اینکه هنوز تغییرات زیادی در فرآیند وجود دارد که باعث تولید ضایعات یا دوباره کاری‌های نسبتاً زیادی می‌شود. در این حالت، روش‌های SPC می‌تواند از طریق منعکس کردن روندهایی در نمودار کنترل، (گرچه این نمودارها ممکن است تعداد زیادی نقطهٔ خارج از کنترل تولید نکند) به شناسایی و بهبود فرآیند کمک کنند. در چنین شرایطی معمولاً ضروری است که به‌طور فعالانه در فرآیند تولید مداخله کرد و آن را بهبود بخشید. استفاده از طراحی آزمایش‌ها می‌تواند در چنین مواقعی مفید واقع شود. معمولاً تجدید نظر در مورد حدود مشخصات که احیاناً تنگ‌تر از مقادیر ضروری مورد نیاز انتخاب شده‌اند می‌تواند مفید باشد. به‌عنوان آخرین حربه ممکن است بخواهیم فرآیند را تغییر دهیم. به‌عبارت دیگر، یک نوع فن‌آوری جدید یا مناسبی که باعث کاهش تغییرپذیری مشخصهٔ کیفی مورد نظر می‌شود را استفاده کنیم.

دو قسمت پایین شکل ۶-۱۶ مربوط به حالت خارج از کنترل فرآیند می‌شود. قسمت سمت راست پایین، حالتی را نشان می‌دهد که فرآیند در حالت خارج از کنترل به سر می‌برد و از قابلیت لازم نیز برخوردار نیست (تعریف عامیانه یا غیر فنی قابلیت فرآیند را در نظر داشته باشید). اقداماتی که می‌توان برای این حالت پیشنهاد کرد همان اقداماتی هستند که برای قسمت سمت راست بالا پیشنهاد شد البته با این تفاوت که در این مرحله انتظار داریم SPC، به علت اینکه

نمودارهای کنترل حضور انحرافات با دلیل را منعکس می‌کنند، به سرعت از خود واکنش نشان دهد. روش‌های دیگری نیز وجود دارد که استفاده از آنها نیاز به بررسی و مطالعهٔ بیشتر دارد. نهایتاً، قسمت سمت چپ پایین حالتی را نشان می‌دهد که فرآیند تحت کنترل آماری نیست ولی به دلیل وجود اختلاف زیاد بین حدود مشخصات تعداد زیادی محصول نامنطبق تولید نمی‌شود. روش‌های SPC را باید هنوز بتوان به دلایل زیر برای دستیابی به حالت ثبات و کاهش تغییرپذیری فرآیند استفاده کرد:

۱- حدود مشخصات بدون اطلاع قبلی می‌توانند تغییر کنند.

۲- مشتری ممکن است هم کنترل و هم قابلیت فرآیند را درخواست کند.

۳- وجود انحرافات با دلیل در فرآیند بیانگر این واقعیت است که فرآیند هنوز با مشکلات نامعلومی سروکار دارد و این مشکلات نامعلوم می‌توانند در آیندهٔ نزدیک باعث کاهش قابلیت فرآیند شوند.

۶-۵-۴ انتخاب سیستم‌های جمع‌آوری داده و نرم‌افزار رایانه‌ای

در سال‌های اخیر تعداد زیادی نرم‌افزار کنترل کیفیت و وسایل الکترونیکی جمع‌آوری داده تولید شده است. برخی از مشاوران اعتقادی به استفاده از رایانه ندارند و از آنجایی‌که اغلب کاربردهای SPC در ژاپن تأکید بر استفادهٔ از نمودارهای کنترل به صورت دستی دارد لزومی به استفاده از رایانه نمی‌بینند. اگر ژاپنی‌ها در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ در استفاده از نمودارهای کنترل به صورت دستی موفق بودند آیا واقعاً رایانه می‌تواند نقش مفیدی در SPC داشته باشد؟

رسم نمودار کنترل به‌صورت دستی می‌تواند مفید باشد ولی در بلند مدت نمودارهای تهیه شده به‌وسیلهٔ رایانه بهترین است.

پاسخ به این سؤال به دلیل مختلف مثبت است:

۱- گرچه می‌توان در اوایل استقرار SPC از روش‌های دستی برای رسم نمودارهای کنترل استفاده کرد ولی باید کاربردهای موفقیت‌آمیز را به سرعت به رایانه انتقال داد. رایانه یک ابزار بسیار مفید بهبود بهره‌وری محسوب می‌شود. ما از خودروهایی با سیستم ایمنی دههٔ ۱۹۶۰ و هواپیماهایی با فن‌آوری هوانوردی دههٔ ۱۹۶۰ استفاده نمی‌کنیم. بنابر این، نباید از فن‌آوری دههٔ ۱۹۶۰ برای نمودارهای کنترل نیز استفاده کرد.

۲- رایانه کمک می‌کند که داده‌های SPC بخشی از پایگاه داده سازمان شود و در چنین شرایطی داده‌ها در اختیار افراد سازمان در بخش‌های مختلف نظیر مدیریت، مهندسی، بازاریابی و غیره و نه فقط بخش تولید و کیفیت قرار خواهد گرفت و شانس استفاده از آنها در کلیهٔ سطوح افزایش خواهد یافت.

۳- یک سیستم SPC رایانه محور می‌تواند اطلاعات بیشتری نسبت به هر سیستم دستی فراهم سازد. این سیستم امکان پایش چندین مشخصهٔ کیفی و تولید هشدارهای متناظر با انحراف‌های با دلیل را فراهم می‌سازد.

چه نوع نرم‌افزاری باید استفاده کرد؟ پاسخ به این سؤال دشوار است چرا که هر کاربردی نیاز به الزامات خاص خود دارد و قابلیت‌های نرم‌افزارها روز به روز در حال تغییر است. با این وجود، چندین ویژگی برای کسب نتایج موفقیت‌آمیز ضروری است:

۱- نرم‌افزار باید قابلیت نصب و اجرا بر روی رایانه‌های شخصی و شبکه‌ها و سیستم‌های چند ترمینالی را به‌صورت مجزا و بدون نیاز به نرم‌افزارهای جانبی دارا باشد. سیستمهای نرم‌افزاری SPC که بر روی یک سیستم عامل بزرگ نصب شود زیاد مفید نخواهد بود چرا که آنها معمولاً قادر نخواهند بود نمودارهای کنترل و سایر گزارش‌های معمول را در زمان کوتاه تولید کنند.

۲- سیستم باید کاربر دوست باشد. اگر کارکنان عملیات قرار باشد از سیستم استفاده کنند، سیستم باید امکان سطح دسترسی محدود را دارا، استفاده از آن ساده، اصلاح اشتباهات در آن امکان‌پذیر و از قابلیت‌های متعددی در مورد ارائه کمک در حین استفاده برخوردار باشد. این نرم‌افزار باید قابلیت انجام تغییرات مورد نیاز در هر یک از کاربردهای موجود را امکان‌پذیر سازد. بدیهی است در بعضی مواقع این کار باید توسط کارکنان فنی / مهندسی انجام شود.

۳- سیستم باید قابلیت رسم نمودارهای کنترل را حداقل برای ۲۵ نمونه داشته باشد. در حالت ایده‌آل، طول ثبت سوابق باید توسط کاربر قابل کنترل باشد. خروجی نرم‌افزار باید قابلیت چاپ توسط چاپگر یا سایر دستگاه‌ها را داشته باشد.

۴- فضای ذخیره‌سازی باید به اندازهٔ کافی برای ذخیره‌سازی حجم معقولی از سوابق فرآیند بزرگ باشد. اصلاح و به روز رسانی پرونده‌ها باید راحت باشد. قابلیت انتقال داده‌ها به پایگاه‌های دیگر و سایر تجهیزات ذخیره‌سازی وجود داشته باشد.

۵- سیستم باید توانایی کار هم‌زمان با چندین پرونده را داشته باشد. به ندرت فرآیند فقط دارای یک مشخصهٔ کیفی است که باید تحت کنترل و بررسی قرار گیرد.

۶- کاربر باید بتواند حدود کنترل را بر اساس هر تعدادی از زیرگروه‌ها محاسبه کند. کاربر باید بتواند خط مرکز و حدود کنترل را به‌طور مستقیم در نرم‌افزار وارد کند.

۷- سیستم باید قابلیت پذیرش ورودی‌های مختلف نظیر ورود دستی داده‌ها و ورود از طریق وسایل الکترونیکی، رایانه یا دستگاه‌های کنترلی را دارا باشد. بدیهی است قابلیت پایش فرآیند در زمان حقیقی یا انتقال داده از یک سیستم نگهداری داده در زمان حقیقی یک الزام محسوب می‌شود.

۸- سیستم باید سایر کاربردهای آماری از رسم هیستوگرام تا محاسبهٔ قابلیت فرآیند را پشتیبانی کند.

۹- اخذ خدمات پشتیبانی از نمایندهٔ نرم‌افزار همیشه یک عامل مهم و تصمیم‌ساز در زمان انتخاب نرم‌افزار محسوب می‌شود.

قیمت نرم‌افزارهای تجاری موجود بسیار متفاوت است. بدیهی است قیمت تمام شدهٔ نرم‌افزار از قیمت خرید آن بسیار تفاوت دارد. در اغلب موارد، یک نرم‌افزار SPC ۵۰۰ دلاری وقتی‌که کل هزینه‌های نصب و راه‌اندازی صحیح آن را در نظر می‌گیریم واقعاً یک نرم‌افزار ۱۰۰۰۰ دلاری است. همچنین تهیهٔ نمودارهای کنترل به وسیلهٔ اغلب بسته‌های نرم‌افزاری صفحه گسترده نیز امکان‌پذیر است. با این وجود، شاید انتقال نمودارهای کنترل تهیه شده در محیط صفحه گسترده به پایگاه‌های داده یا سایر سیستم‌های تجاری دشوار باشد.

پیوست یک: تهیهٔ یک نمودار p به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

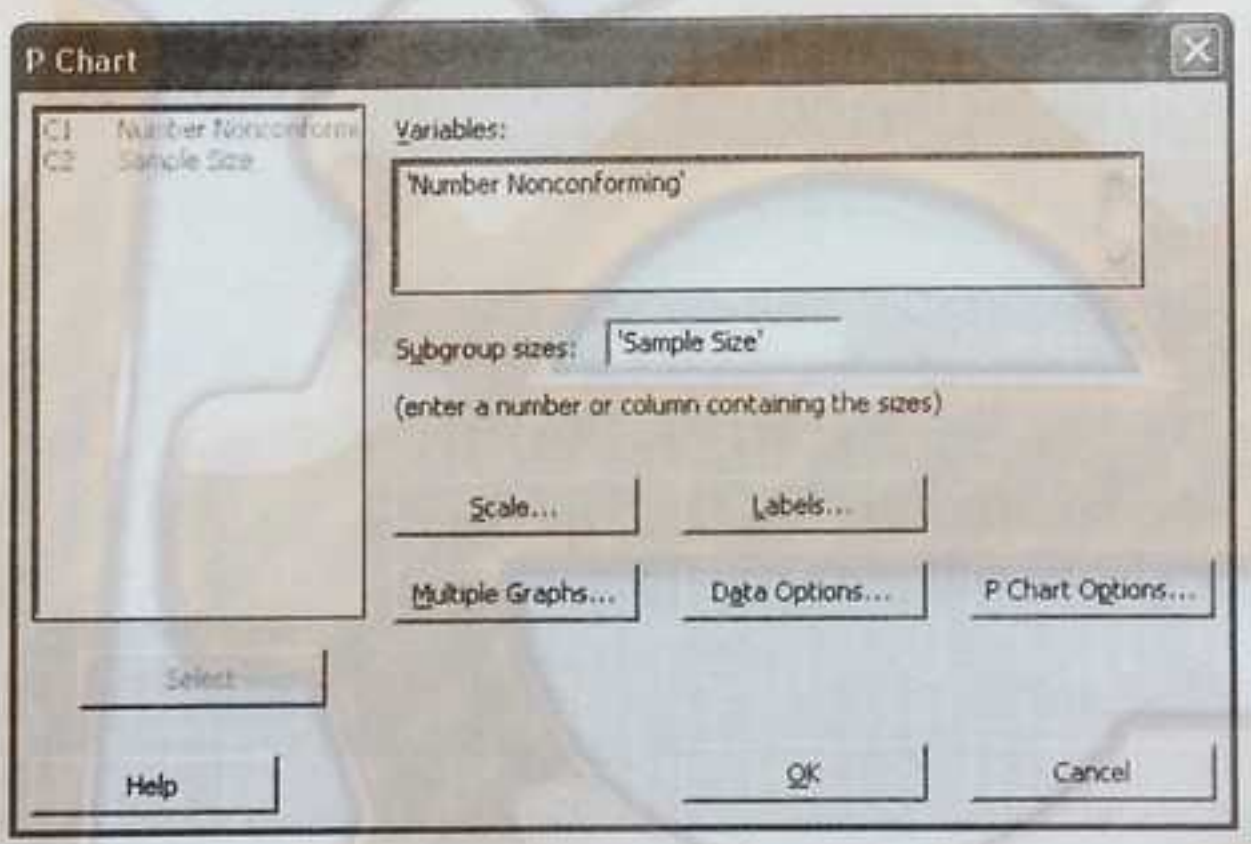
۱- داده‌ها را به‌گونه‌ای مرتب کنید که تعداد نقص‌ها در یک ستون قرار گیرد. اگر اندازهٔ نمونه برای هر زیرگروه متفاوت است. ستون دیگری برای ورود این داده‌ها استفاده کنید.

	C1	C2
	Number Nonconforming	Sample Size
1	12	50
2	15	55
3	8	42

۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Start→ Control Charts → Attributes Charts → P

سپس Minitab یک صفحهٔ جدید باز می‌کند. ستونی که تعداد عدم انطباق‌ها در آن قرار دارد را در قسمت "Variables" وارد کنید. در قسمت "Subgroup Size" اندازهٔ نمونه یا ستونی که اندازهٔ نمونه‌ها در آن قرار دارد را وارد کنید.



۳- بر روی کلید "P Chart Options" برای انتخاب گزینه‌های مختلف نمودار P کیلک کنید.

الف- زبانهٔ Parameters: به شما اجازه می‌دهد تا نسبت جامعه که قرار است برای محاسبهٔ حدود کنترل استفاده شود را تعیین کنید.

ب- زبانهٔ S-limits: به شما اجازه می‌دهد تا ناحیه‌های درون حدود کنترل را تعیین کنید.

ج- زبانهٔ Tests: به شما اجازه می‌دهد تا قوانین تسلسل/ روند در نمودار را تعیین کنید.

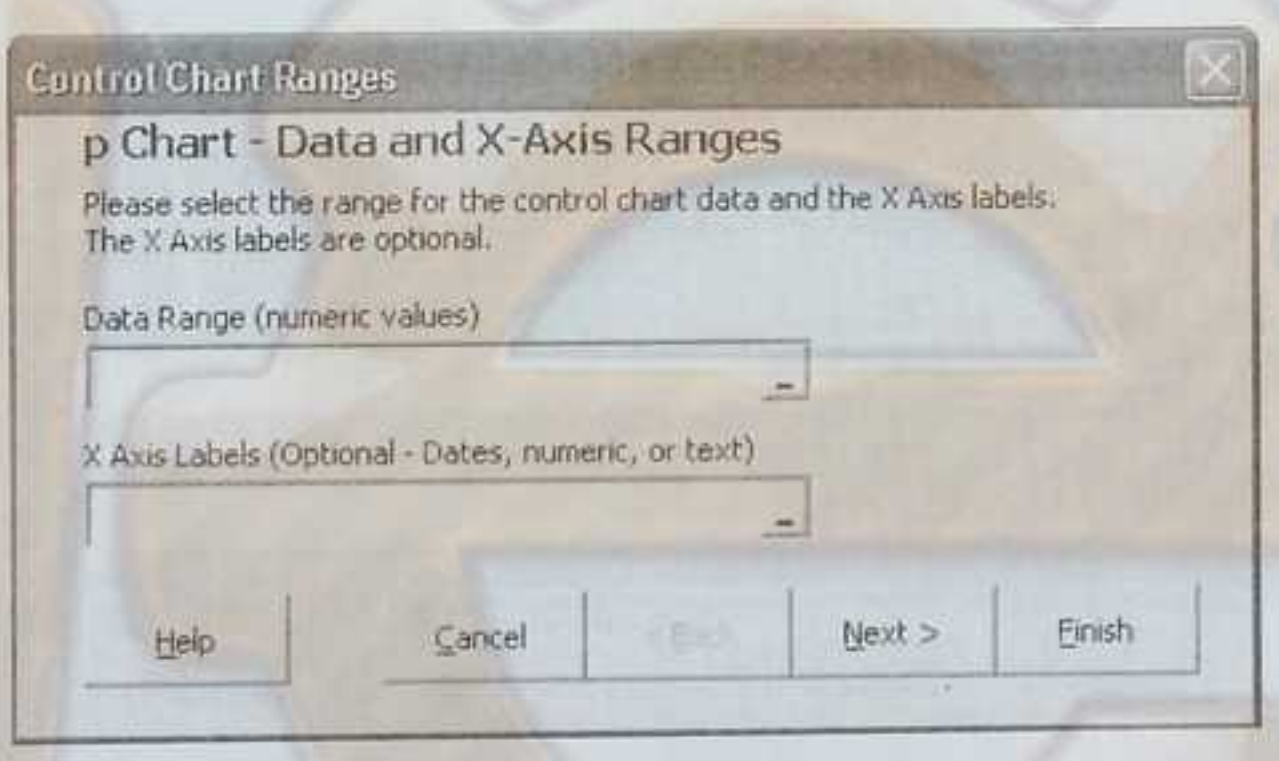
۴- پس از تعریف تمامی گزینه‌ها بر روی کلید OK کلیک کنید تا نمودار رسم شود.

SPC XL

۱- داده‌ها را به گونه‌ای مرتب کنید تا تعداد نقص‌ها در یک ستون قرار گیرد. ستون دیگری برای ورود اطلاعات مربوط به هر زیرگروه (حتی اگر آنها ثابت هستند) ایجاد کنید.

	A	B
1	Number Nonconforming	Sample Size
2	12	50
3	15	55
4	8	42
5	10	50

۲- از قسمت "Sigma Zone Ribbon" نمودارهای کنترل و سپس نمودار P را انتخاب کنید. در این مرحله از شما درخواست می‌شود دامنه‌ای که داده‌ها در آن قرار دارند را انتخاب کنید. سپس بر روی کلید "Next" کلیک کنید.



۳- در صفحهٔ بعد مشخص کنید که آیا می‌خواهید ناحیه‌ها بر روی نمودار کنترل نشان داده شود یا خیر. همچنین می‌توانید درخواست کنید که یک نمودار هیستوگرام رسم و تحلیل قابلیت فرآیند انجام شود.

۴- بر روی کلید "Next" کلیک کنید تا نمودار کنترل رسم شود.

پیوست دو: تهیهٔ یک نمودار کنترل *np* به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

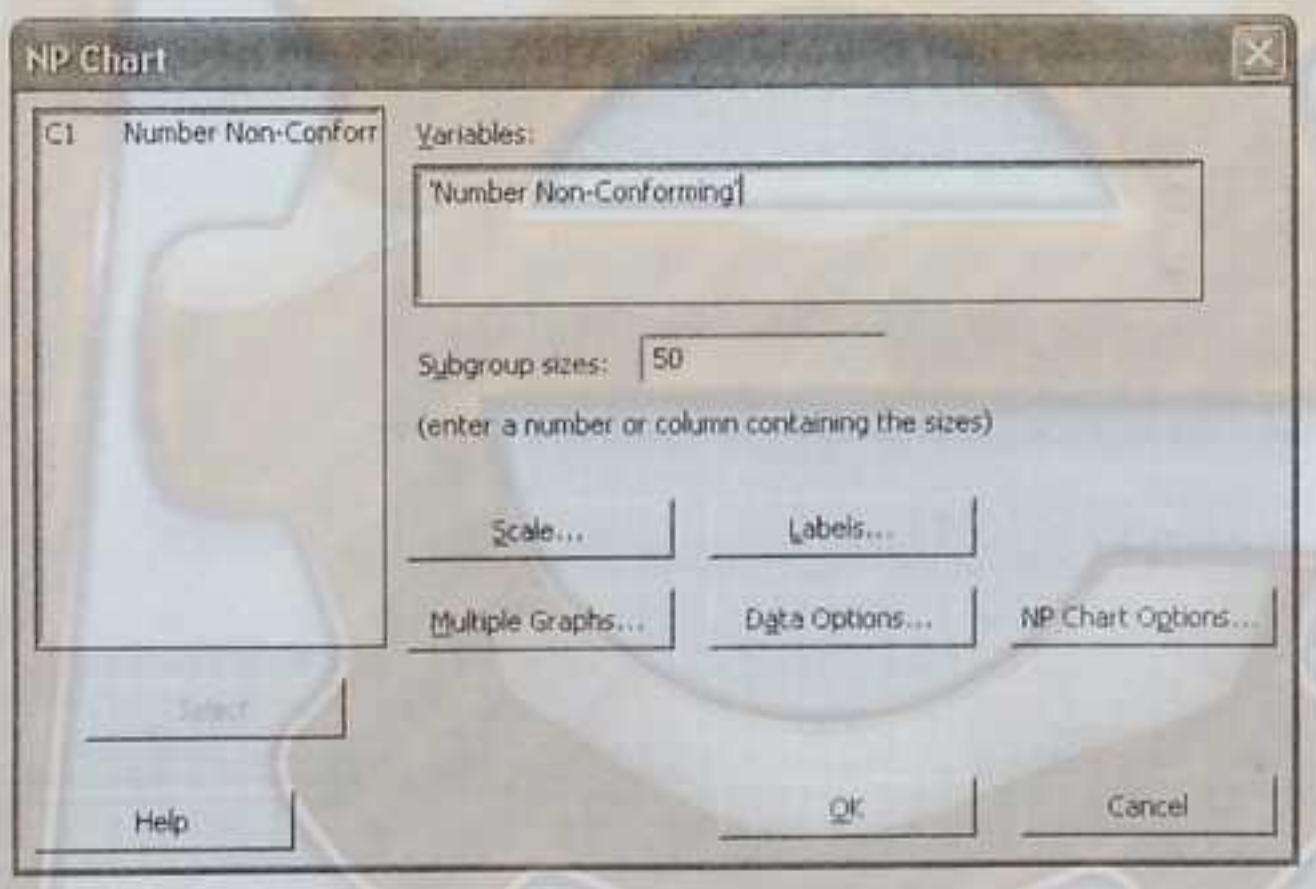
۱- داده‌ها را به گونه‌ای مرتب کنید که تعداد نقص‌ها در یک ستون قرار گیرد. اگر اندازهٔ نمونه برای هر زیرگروه متفاوت است، ستون دیگری برای ورود این داده‌های استفاده کنید.

	C1	C2
	Number Nonconforming	Sample Size
1	12	50
2	15	55
3	8	42

۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Minitab سپسStat→ Control Chart→ Attributes Charts→ np

صفحهٔ جدید باز می‌کند. ستونی که تعداد عدم انطباق‌ها در آن قرار دارد را در قسمت Variables وارد کنید. در قسمت "Subgroup Size" اندازهٔ نمونه یا ستونی که اندازهٔ نمونه‌ها در آن قرار دارد را وارد کنید.



۳- در صورت نیاز، بر روی کلید "np chart options" برای انتخاب گزینه‌های مختلف نمودار *np* کلیک کنید (برای جزئیات بیشتر به پیوست یک مراجعه کنید).

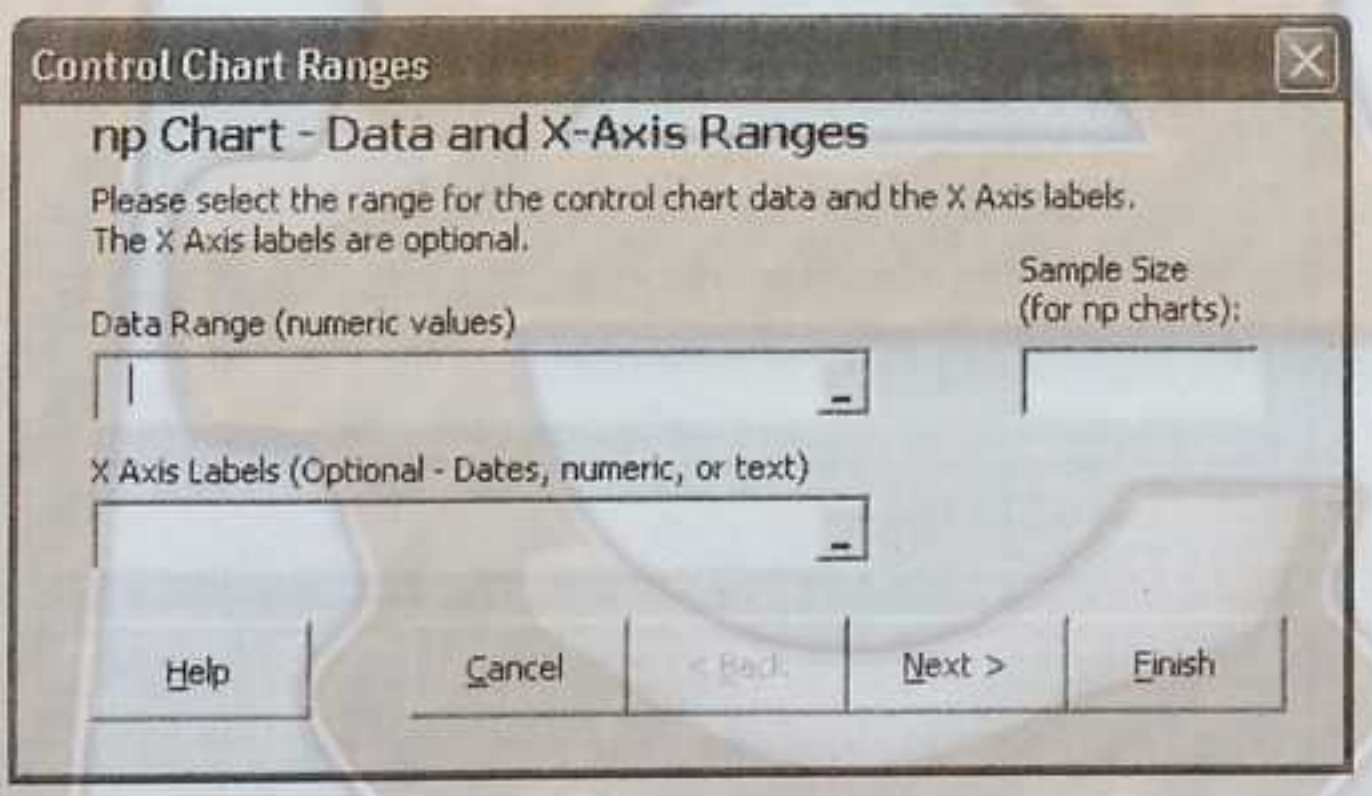
۴- پس از تعریف تمامی گزینه‌ها بر روی کلید OK کلیک کنید تا نمودار رسم شود.

SPC XL

۱- داده‌ها را به گونه‌ای مرتب کنید که تعداد نقص‌ها در یک ستون قرار گیرد.

	A
1	Number Nonconforming
2	12
3	15
4	8
5	10

۲- از قسمت "Sigma Zone Ribbon" نمودارهای کنترل و سپس نمودار np را انتخاب کنید. در این مرحله از شما درخواست می‌شود دامنه‌ای که داده‌ها در آن قرار دارند را انتخاب کنید. این دامنه را انتخاب و اندازهٔ زیرگروه را وارد کنید (گزینه‌ای برای ورود اندازه‌های زیرگروه متغیر وجود ندارد.)



۳- در صفحهٔ بعد مشخص کنید که آیا می‌خواهید ناحیه‌ها بر روی نمودار کنترل نشان داده شود یا خیر. همچنین می‌توانید درخواست کنید که یک نمودار هیستوگرام رسم و تحلیل قابلیت فرآیند انجام شود.

۴- بر روی کلید "Next" کلیک کنید تا نمودار کنترل رسم شود.

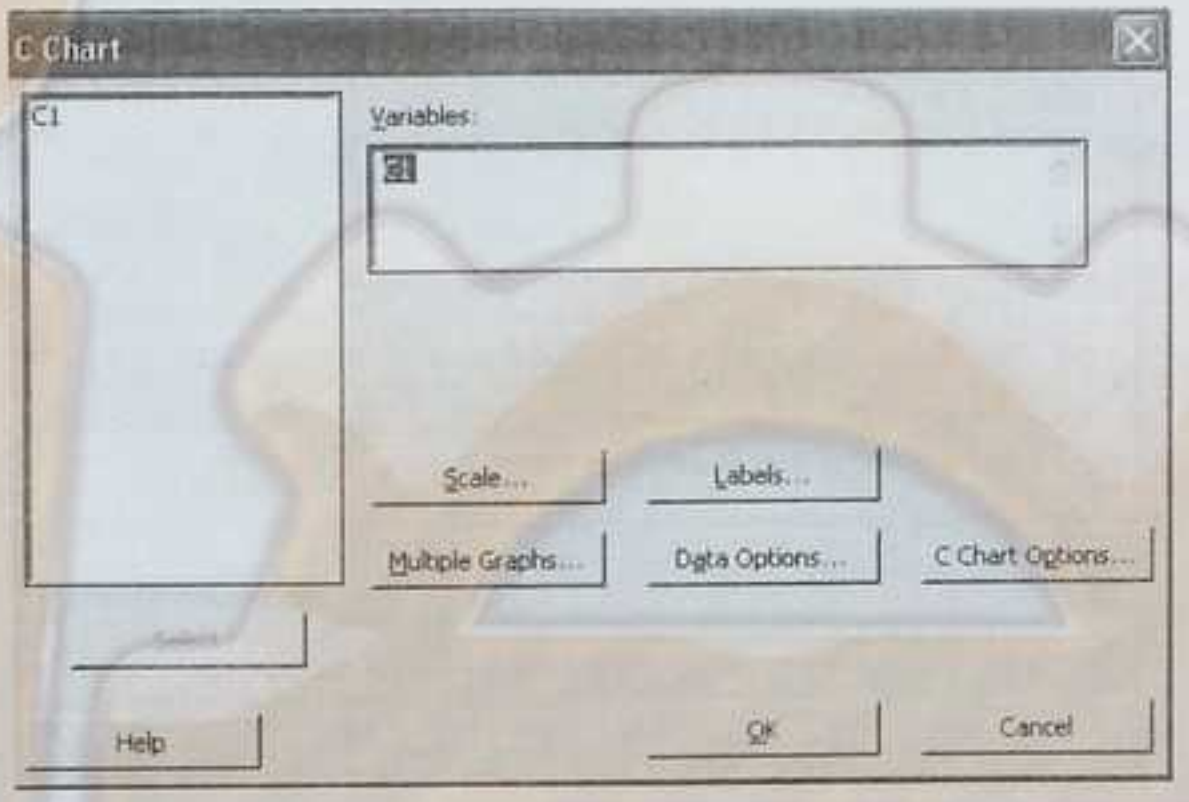
پیوست سه: تهیهٔ یک نمودار C به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

۱- داده‌ها را به گونه‌ای مرتب کنید تا تعداد نقص‌ها در یک ستون قرار گیرد.

۲- از نوار منوف گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Stat→ Control Charts→ Attributes Charts→ C

سپس Minitab صفحهٔ جدیدی باز می‌کند. ستونی که تعداد عدم انطباق‌ها در آن قرار دارد را در قسمت "Variables" وارد کنید. در قسمت "Subgroup Size" اندازهٔ نمونه یا ستونی که اندازهٔ نمونه‌ها در آن قرار دارد را وارد کنید.



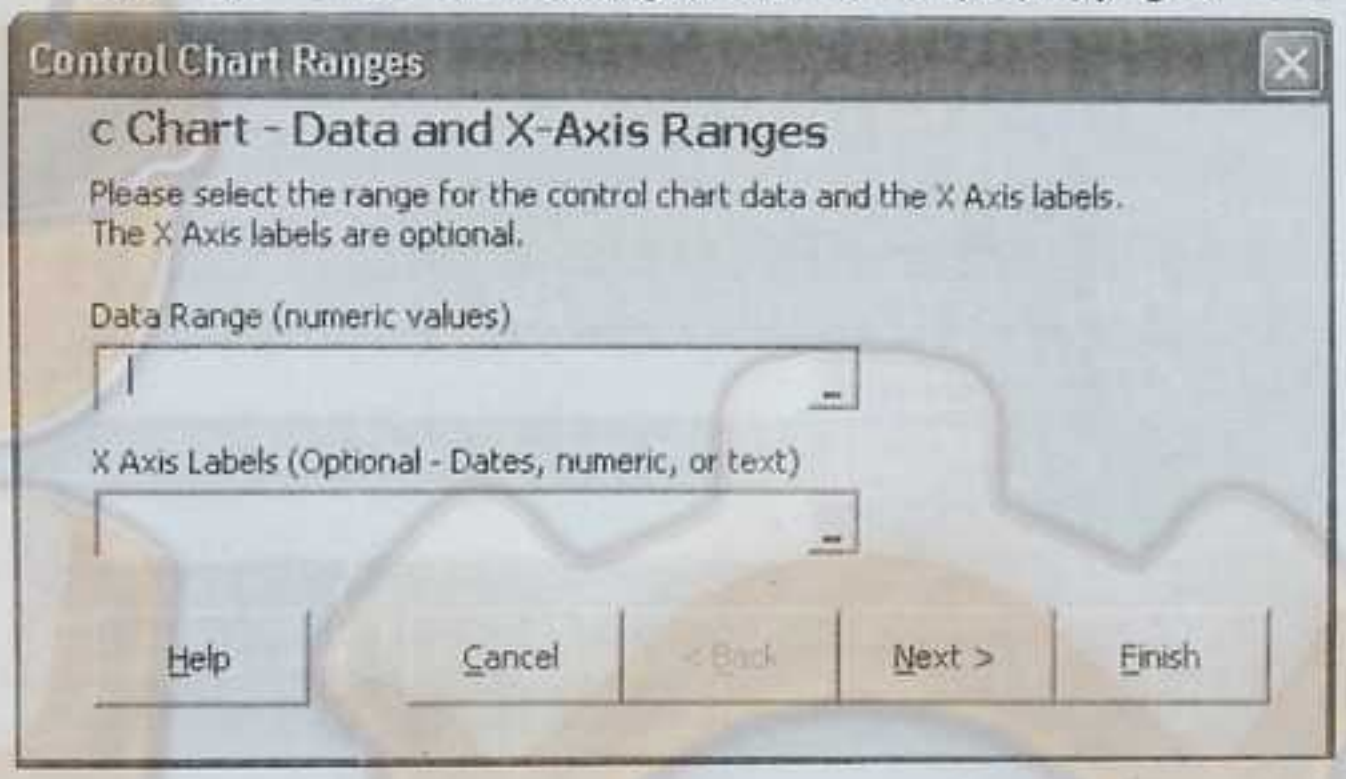
۳- بر روی کلید "C Chart Options" برای انتخاب گزینه‌های مختلف نمودار C کلیک کنید. گزینه‌های متداول برای انتخاب در پیوست یک توضیح داده شده است.

۴- پس از تعریف تمامی گزینه‌ها بر روی کلید "OK" کلیک کنید تا نمودار رسم شود.

SPC XL

۱- داده‌ها را به‌گونه‌ای مرتب کنید که تعداد نقص‌ها در یک ستون قرار گیرد.

۲- از قسمت "Sigma Zone Ribbon" نمودارهای کنترل و سپس نمودار C را انتخاب کنید. در این مرحله از شما درخواست می‌شود دامنه‌ای که داده‌ها در آن قرار دارند را انتخاب کنید. سپس بر روی کلید "Next" کلیک کنید.



۳- در صفحهٔ بعد مشخص کنید که آیا می‌خواهید ناحیه‌ها بر روی نمودار کنترل نشان داده شود یا خیر. همچنین می‌توانید درخواست کنید که نمودار هیستوگرام رسم و تحلیل قابلیت فرآیند انجام شود.

۴- بر روی کلید "Next" کلیک کنید تا نمودار کنترل رسم شود.

پیوست چهار: تهیهٔ یک نمودار کنترل u به وسیلهٔ SPC XL و Minitab

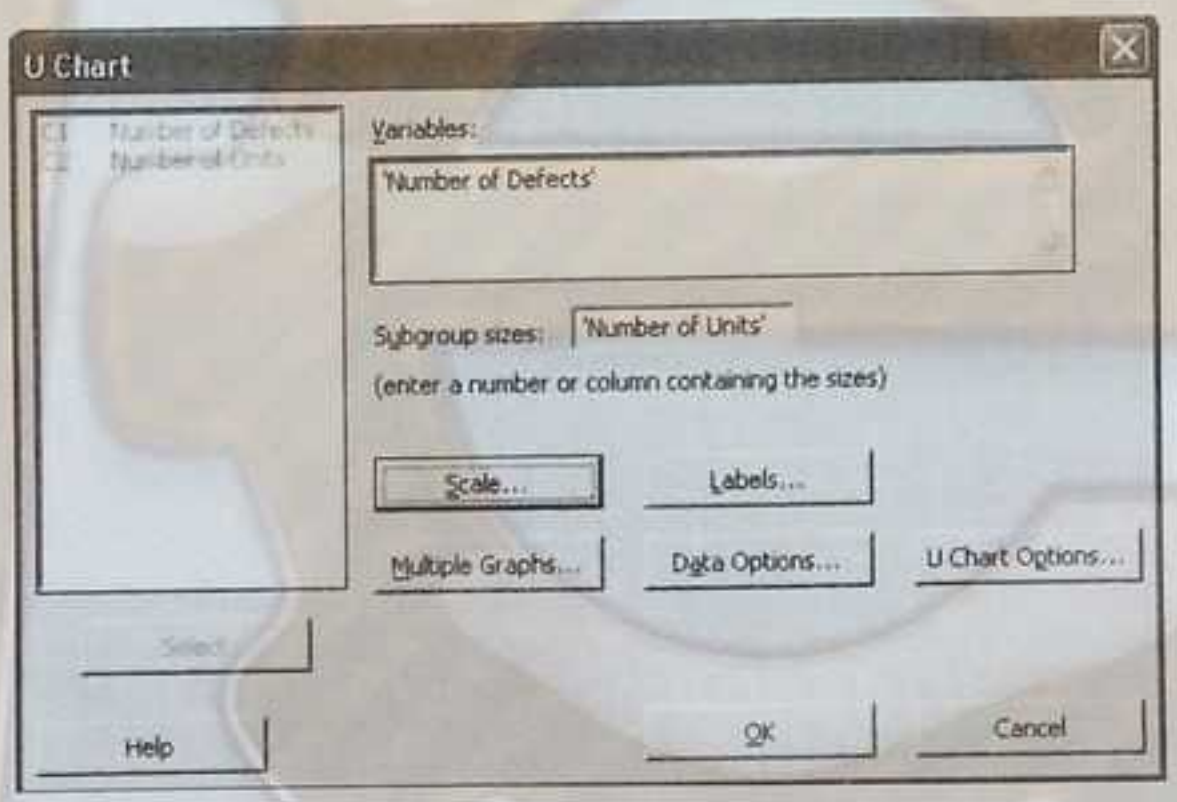
۱- داده‌ها را به‌گونه‌ای مرتب کنید تا تعداد نقص‌ها در یک ستون و تعداد واحدهای بازرسی شده در ستونی دیگر قرار گیرد.

	C1	C2
	Number of Defects	Number of Units
1	14	10.0
2	12	8.0
3	20	13.0

۲- از نوار منو، گزینه‌های زیر را انتخاب کنید:

Stat→ Control Charts→ Attribute Charts→ u

سپس Minitab صفحهٔ جدیدی باز می‌کند. ستونی که تعداد عدم انطباق‌ها در آن قرار دارد را در قسمت "Variables" وارد کنید. در قسمت "Subgroup Size" اندازهٔ نمون یا ستونی که اندازهٔ نمونه‌ها در آن قرار دارد را وارد کنید.



۳- بر روی کلید "u chart options" برای انتخاب گزینه‌های مختلف نمودار u کلیک کنید.

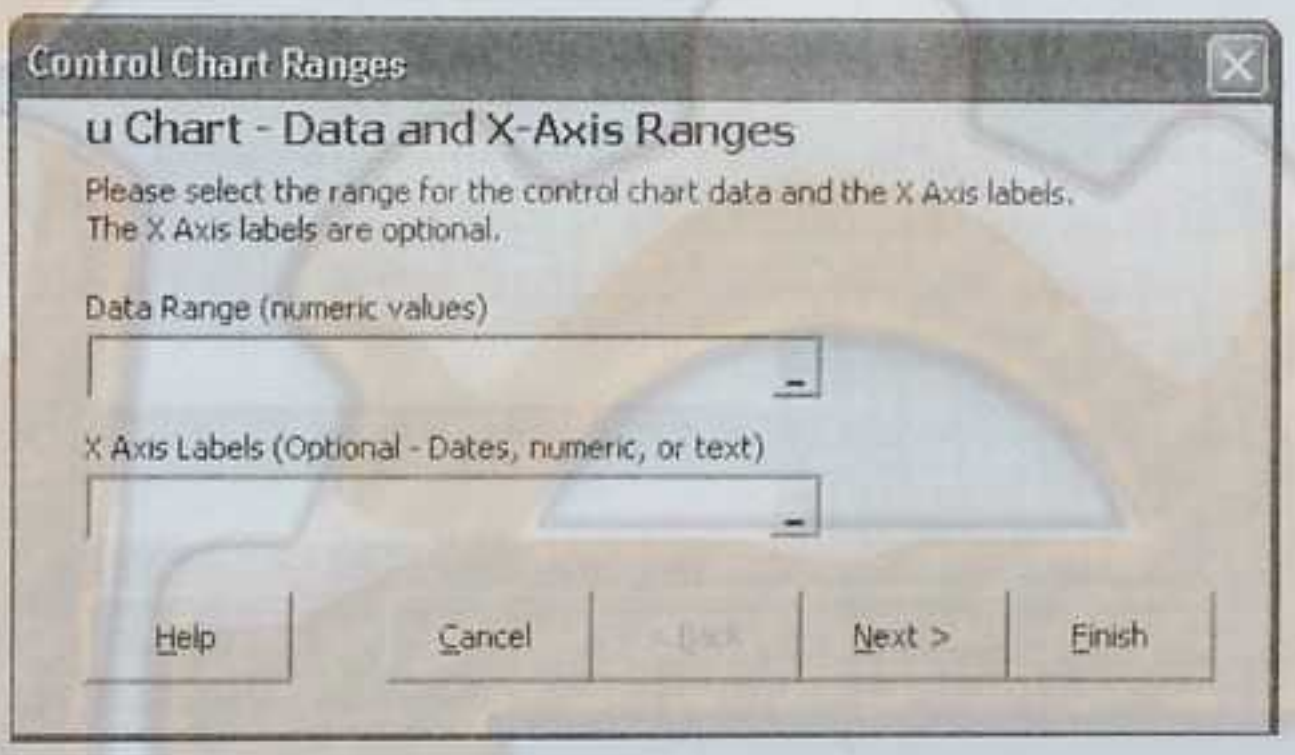
۴- پس از تعریف تمامی گزینه‌ها بر روی کلید "OK" کلیک کنید تا نمودار رسم شود.

SPC XL

۱- داده‌ها را به‌صورت جدول زیر وارد کنید. توجه داشته باشید که تعداد واحدهای بازرسی شده باید در سمت چپ ستون تعداد نقص‌ها باشد.

	A	B
1	Number of Units Inspected	Number of Defects
2	10	14
3	8	12
4	13	20

۲- از قسمت Sigma Zone Ribbon نمودارهای کنترل و سپس نمودار C را انتخاب کنید. در این مرحله از شما درخواست می‌شود دامنه‌ای که داده‌ها در آن قرار دارند را انتخاب کنید. سپس بر روی کلید "Next" کلیک کنید.



۳- در صفحهٔ بعد مشخص کنید که آیا می‌خواهید ناحیه‌ها بر روی نمودار کنترل نشان داده شود و یا خیر. همچنین می‌توانید درخواست کنید که یک نمودار هیستوگرام رسم و تحلیل قابلیت فرآیند انجام شود.

۴- بر روی کلید "Next" کلیک کنید تا نمودار کنترل رسم شود.

تمرین‌ها

۶-۱ داده‌های جدول ۶E-۱ تعداد یاتاقان‌ها و کاسه نمدهای مونتاژ شده معیوب را در نمونه‌های ۱۰۰تایی نشان می‌دهد. یک نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق برای این داده‌ها تهیه کنید. با فرض این‌که بتوان انحرافات با دلیلی برای نقاطی که خارج از کنترل رسم می‌شوند تعیین کرد، حدود کنترل محاسبه شده را اصلاح کنید.

جدول ۶E-۱

داده‌های تعداد یاتاقان‌ها و کاسه نمدهای معیوب برای تمرین ۶-۱

تعداد مونتاژهای نامنطبق	شماره نمونه	تعداد مونتاژهای نامنطبق	شماره نمونه
۶	۱۱	۷	۱
۱۵	۱۲	۴	۲
۰	۱۳	۱	۳
۹	۱۴	۳	۴
۵	۱۵	۶	۵
۱	۱۶	۸	۶
۴	۱۷	۱۰	۷
۵	۱۸	۵	۸
۷	۱۹	۲	۹
۱۲	۲۰	۷	۱۰

۶-۲ تعداد کلید برق‌های نامنطبق که در نمونه‌های ۱۵۰تایی وجود دارد در جدول ۶E-۲ نشان داده شده است. یک نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق برای این داده‌ها تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل است؟ در صورت تحت کنترل نبودن فرآیند با فرض این‌که بتوان انحرافات با دلیلی برای کلیه نقاطی که خارج از حدود کنترل رسم می‌شوند تعیین کرد، حدود کنترل محاسبه شده را اصلاح کنید.

جدول ۶E-۲

داده‌های تعداد کلید برقه‌های نامنطبق برای تمرین ۶-۲

تعداد کلید برق‌های نامنطبق	شماره نمونه	تعداد کلید برق‌های نامنطبق	شماره نمونه
۶	۱۱	۸	۱
۰	۱۲	۱	۲
۴	۱۳	۳	۳
۰	۱۴	۰	۴
۳	۱۵	۲	۵
۱	۱۶	۴	۶
۱۵	۱۷	۰	۷
۲	۱۸	۱	۸
۳	۱۹	۱۰	۹
۰	۲۰	۶	۱۰

۶-۳ داده‌های جدول ۶E-۳ نتایج حاصل از بازرسی تمامی رایانه‌های شخصی تولید شده در ۱۰ روز اخیر را نشان می‌دهد. آیا این فرآیند تحت کنترل است؟

جدول ۶E-۳

نتایج بازرسی رایانه‌های شخصی.

نسبت رایانه‌های نامنطبق	تعداد رایانه‌های نامنطبق	تعداد رایانه‌های بازرسی شده	روز
۰/۰۵۰	۴	۸۰	۱
۰/۰۶۴	۷	۱۱۰	۲
۰/۰۵۶	۵	۹۰	۳
۰/۱۰۷	۸	۷۵	۴
۰/۰۳۸	۶	۱۳۰	۵
۰/۰۵۰	۶	۱۲۰	۶
۰/۰۵۷	۴	۷۰	۷
۰/۰۴۰	۵	۱۲۵	۸
۰/۰۷۶	۸	۱۰۵	۹
۰/۰۷۴	۷	۹۵	۱۰

۶-۴ رینگ‌های یک نوع اتومبیل از طریق فرآیند آهنگری تولید می‌شود. می‌خواهیم فرآیند تولید این رینگ‌ها را به وسیله نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق کنترل کنیم. بدین منظور هر روز یک نمونه ۱۵۰تایی به مدت ۲۰ روز تهیه و نتایج آن در جدول ۶E-۴ ثبت شده است.

جدول ۶E-۴

نتایج بازرسی رایانه‌های شخصی.

تعداد رینگ‌های نامنطبق	روز	تعداد رینگ‌های نامنطبق	روز
۲	۱۱	۳	۱
۴	۱۲	۲	۲
۱	۱۳	۴	۳
۳	۱۴	۲	۴
۶	۱۵	۵	۵
۰	۱۶	۲	۶
۱	۱۷	۱	۷
۲	۱۸	۲	۸
۳	۱۹	۰	۹
۲	۲۰	۵	۱۰

الف- یک نمودار کنترل برای کنترل تولیدات آتی تهیه کنید.

ب- کوچکترین اندازه نمونه‌ای که منجر به حد کنترل پایین مثبت برای نمودار می‌شود چیست؟

۶-۵ فرآیندی یک نوع تسمه لاستیکی تولید می‌کند که در انباشته‌های ۲۵۰۰تایی حمل می‌شوند. اطلاعات ۲۰ انباشته اخیر در جدول ۶E-۵ ارائه شده است.

جدول ۶E-۵

داده‌های بازرسی برای تمرین ۶-۵

تعداد تسمه‌های نامنطبق	شماره انباشته	تعداد تسمه‌های نامنطبق	شماره انباشته
۴۵۶	۱۱	۲۳۰	۱
۳۹۴	۱۲	۴۳۵	۲
۲۸۵	۱۳	۲۲۱	۳
۳۳۱	۱۴	۳۴۶	۴
۱۹۸	۱۵	۲۳۰	۵
۴۱۴	۱۶	۳۲۷	۶
۱۳۱	۱۷	۲۸۵	۷
۲۶۹	۱۸	۳۱۱	۸
۲۲۱	۱۹	۳۴۲	۹
۴۰۷	۲۰	۳۰۸	۱۰

الف- حدود کنترل آزمایشی را برای نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق محاسبه کنید.

ب- اگر قرار باشد یک نمودار کنترل برای کنترل تولیدات آتی تهیه شود آنگاه چگونه می‌توان داده‌های فوق را برای تعیین خط مرکز و حدود کنترل این نمودار استفاده کرد؟

۶-۶ با در نظر گرفتن داده‌های جدول ۶E-۶ و فرض $n = ۵۰۰$ چه حدود کنترل و خط مرکزی برای یک نمودار np پیشنهاد می‌کنید؟

جدول ۶E-۶

داده‌های تمرین ۶-۶

تعداد محصولات نامنطبق	روز
۳	۱
۴	۲
۳	۳
۲	۴
۶	۵
۱۲	۶
۵	۷
۱	۸
۲	۹
۲	۱۰

۶-۷ شرکتی یک نوع درپوش فلزی کوچک که در جعبه‌های ۵۰۰۰تایی حمل می‌شود خریداری می‌کند. ده جعبه از این درپوش‌ها در ورودی انبار این شرکت آمادهٔ تخلیه شدن است ولی قبل از تخلیه این جعبه‌ها ۲۵۰ درپوش به‌طور تصادفی از هر جعبه انتخاب می‌شود. نسبت اقلام نامنطبق حاصل از این نمونه‌گیری برابر ۰، ۰، ۰، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۸، ۰/۰۲۰، ۰/۰۰۴، ۰، ۰، ۰/۰۰۸ است. آیا بر اساس داده‌های حاصل از این محموله می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند تحت کنترل آماری است؟

۶-۸ قرار است بر اساس خط مرکز $p = ۰/۱۰$ یک نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق طراحی شود. اگر بخواهیم با احتمال ۰/۵۰ تغییر نسبت اقلام نامنطبق فرآیند به ۰/۲۰ را شناسایی کنیم آنگاه چه اندازه نمونه‌ای مورد نیاز خواهد بود؟

۶-۹ یک تیم نگهداری و تعمیرات با پایش تعداد درخواست‌هایی که دو بار برای انجام یک تعمیر ارائه شده است سعی در بهبود اثربخشی تعمیرات خود دارند. بدین منظور داده‌های مربوط به ۲۰ هفته که در جدول ۶E-۷ نشان داده شده است مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

جدول ۶E-۷

داده‌های تعمیرات انجام شده برای تمرین ۶-۹.

هفته	تعداد کل درخواست‌ها	تعداد درخواست‌های مجدد
۱	۲۰۰	۶
۲	۲۵۰	۸
۳	۲۵۰	۹
۴	۲۵۰	۷
۵	۲۰۰	۳
۶	۲۰۰	۴
۷	۱۵۰	۲
۸	۱۵۰	۱
۹	۱۵۰	۰
۱۰	۱۵۰	۲
۱۱	۱۰۰	۱
۱۲	۱۰۰	۰
۱۳	۱۰۰	۱
۱۴	۲۰۰	۴
۱۵	۲۰۰	۵
۱۶	۲۰۰	۳
۱۷	۲۰۰	۱۰
۱۸	۲۰۰	۴
۱۹	۲۵۰	۷
۲۰	۲۵۰	۶

الف- حدود کنترل آزمایشی را برای این فرآیند تعیین کنید.

ب- یک نمودار کنترل به منظور کنترل تولیدات آتی طراحی کنید.

۶-۱۰ چرا نمودار np برای استفاده با اندازهٔ نمونهٔ متغیر مناسب نیست؟

۶-۱۱ یک فرآیند تولید یاتاقان به وسیله یک نمودار کنترل نسبت اقلام نامنطبق کنترل می‌شود. اندازه نمونه و خط مرکز برای این نمودار به ترتیب برابر $n=۱۰۰$ و $\bar{p}=۰/۰۲$ است.

الف- حدود کنترل سه انحراف معیار را برای این نمودار تعیین کنید.

ب- آیا ده نمونه‌های جدید با $n=۱۰۰$ که در جدول ۶E-۸ نشان داده شده تحت کنترل آماری است؟ حال چه نتیجه‌ای در مورد این فرآیند می‌گیرید؟

جدول ۶E-۸

داده‌های یاتاقان برای تمرین ۶-۱۱

شماره نمونه	تعداد اقلام نامنطبق	شماره نمونه	تعداد اقلام نامنطبق
۱	۵	۶	۱
۲	۲	۷	۲
۳	۳	۸	۶
۴	۸	۹	۳
۵	۴	۱۰	۴

۶-۱۲ نمودار نسبت اقلام نامنطبق در تمرین ۶-۴ را در نظر گیرید و نمودار np معادل آن را تعیین کنید.

۶-۱۳ نمودار نسبت اقلام نامنطبق در تمرین ۶-۵ را در نظر گیرید و نمودار np معادل آن را تعیین کنید.

۶-۱۴ تعداد عدم انطباق‌های مشاهده شده در سطح ۲۵ ورق فلزی در جدول ۶E-۹ ارائه شده است. با استفاده از این داده‌ها یک نمودار کنترل برای تعداد عدم انطباق‌ها طراحی کنید. آیا فرآیند تولید این ورق‌های فلزی تحت کنترل آماری است؟

جدول ۶E-۹

داده‌های تعداد عدم انطباق‌ها برای تمرین ۶-۱۴ .

شماره فلز	تعداد عدم انطباق‌ها	شماره فلز	تعداد عدم انطباق‌ها
۱	۱	۱۴	۰
۲	۰	۱۵	۲
۳	۴	۱۶	۱
۴	۳	۱۷	۳
۵	۱	۱۸	۵
۶	۲	۱۹	۴
۷	۵	۲۰	۶
۸	۰	۲۱	۳
۹	۲	۲۲	۱
۱۰	۱	۲۳	۰
۱۱	۱	۲۴	۲
۱۲	۰	۲۵	۴
۱۳	۸		

۶-۱۵ یک کارخانه کاغذسازی از یک نمودار کنترل برای پایش تعداد عدم انطباق‌ها در توپ‌های کاغذ استفاده می‌کند. جدول۶E-۱۰ داده‌های مربوط به ۲۰ روز تولید کارخانه را نشان می‌دهد. با استفاده از این داده‌ها یک نمودار کنترل برای تعداد عدم انطباق‌ها در هر توپ کاغذ طراحی کنید. آیا فرآیند مورد نظر تحت کنترل آماری است؟ چه حدود کنترل و خط مرکزی برای پایش تولیدات فعلی پیشنهاد می‌کنید؟

جدول ۶E-۱۰

داده‌های تعداد عدم انطباق‌ها در توپ‌های کاغذ.

هفته	تعداد توپ‌های کاغذ تولید شده	تعداد کل عدم انطباق‌ها
۱	۱۸	۱۲
۲	۱۸	۱۴
۳	۲۴	۲۰
۴	۲۲	۱۸
۵	۲۲	۱۵
۶	۲۲	۱۲
۷	۲۰	۱۱
۸	۲۰	۱۵
۹	۲۰	۱۲
۱۰	۲۰	۱۰
۱۱	۱۸	۱۸
۱۲	۱۸	۱۴
۱۳	۱۸	۹
۱۴	۲۰	۱۰
۱۵	۲۰	۱۴
۱۶	۲۰	۱۳
۱۷	۲۴	۱۶
۱۸	۲۴	۱۸
۱۹	۲۲	۲۰
۲۰	۲۱	۱۷

۶-۱۶ فرآیند تولید کاغذ در تمرین ۶-۱۵ را در نظر گیرید. یک نمودار کنترل u بر اساس اندازه نمونه متوسط برای کنترل فرآیند طراحی کنید.

۶-۱۷ تعداد عدم انطباق‌ها مشاهده شده در بازرسی نهایی جعبه‌های نوار کاست در جدول ۶E-۱۱ ارائه شده است. آیا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند تولید تحت کنترل آماری است؟ چه حدود کنترل و خط مرکزی برای پایش تولیدات آتی پیشنهاد می‌کنید؟

جدول ۶E-۱۱

داده‌های تعداد عدم انطباق‌ها در نوارهای کاست برای تمرین ۶-۱۷.

شماره جعبه	تعداد عدم انطباق‌ها	شماره جعبه	تعداد عدم انطباق‌ها
۲۴۱۲	۰	۲۴۲۱	۱
۲۴۱۳	۱	۲۴۲۲	۰
۲۴۱۴	۱	۲۴۲۳	۳
۲۴۱۵	۰	۲۴۲۴	۲
۲۴۱۶	۲	۲۴۲۵	۵
۲۴۱۷	۱	۲۴۲۶	۱
۲۴۱۸	۱	۲۴۲۷	۲
۲۴۱۹	۳	۲۴۲۸	۱
۲۴۲۰	۲	۲۴۲۹	۱

۶-۱۸ جدول ۶E-۱۲ داده‌های مربوط به تعداد عدم انطباق‌های موجود در هر ۱۰۰۰ متر یک نوع سیم تلفن را نشان می‌دهد. با تحلیل این داده‌ها آیا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند تولید تحت کنترل آماری است؟ چه حدود کنترلی را برای پایش تولیدات آتی پیشنهاد می‌کنید؟

جدول ۶E-۱۲

داده‌های تعداد عدم انطباق ها در سیستم تلفن برای تمرین ۶-۱۸.

شماره نمونه	تعداد عدم انطباق‌ها	شماره نمونه	تعداد عدم انطباق‌ها
۱	۱	۱۲	۶
۲	۱	۱۳	۹
۳	۳	۱۴	۱۱
۴	۷	۱۵	۱۵
۵	۸	۱۶	۸
۶	۱۰	۱۷	۳
۷	۵	۱۸	۶
۸	۱۳	۱۹	۷
۹	۰	۲۰	۴
۱۰	۱۹	۲۱	۹
۱۱	۲۴	۲۲	۲۰

۶-۱۹ داده‌های تمرین۶-۱۷ را در نظر گیرید. فرض کنید می‌خواهیم واحد بازرسی را چهار جعبه نوار کاست در نظر گیریم. در این صورت

الف- حدود کنترل و خط مرکز نمودار کنترل مورد نیاز برای کنترل تولیدات آتی را بر اساس تعداد کل عدم انطباق‌ها در واحد بازرسی جدید تعیین کنید.

ب- حدود کنترل و خط مرکز نمودار کنترل تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد را برای پایش تولیدات آتی محاسبه کنید.

۶-۲۰ داده‌های تمرین ۶-۱۸ را در نظر گیرید. فرض کنید اندازهٔ واحد بازرسی به ۲۵۰۰ متر سیم تغییر پیدا می‌کند. در این صورت

الف- حدود کنترل و خط مرکز نمودار کنترل را بر اساس تعداد کل عدم انطباق‌ها در واحد بازرسی جدید برای پایش تولیدات آتی تعیین کنید.

ب- حدود کنترل و خط مرکز نمودار کنترل را برای متوسط عدم انطباق‌ها در هر واحد به منظور پایش تولیدات آتی محاسبه کنید.

۶-۲۱ سازنده یک نوع اتومبیل قصد دارد تعداد عدم انطباق‌هایی که در قسمت جعبه دنده اتومبیل وجود دارد را کنترل کند. واحد بازرسی در نظر گرفته شده شامل چهار جعبه دنده است. جدول 6E-۱۳ داده‌های مربوط به ۱۶ نمونه (هر نمونه شامل ۴ جعبه دنده) را نشان می‌دهد.

جدول 6E-۱۳

داده‌های عدم انطباق‌ها در جعبه دنده‌ها برای تمرین ۶-۲۱.

تعداد عدم انطباق‌ها	شماره نمونه	تعداد عدم انطباق‌ها	شماره نمونه
۲	۹	۱	۱
۱	۱۰	۳	۲
۰	۱۱	۲	۳
۲	۱۲	۱	۴
۱	۱۳	۰	۵
۱	۱۴	۲	۶
۲	۱۵	۱	۷
۳	۱۶	۵	۸

الف- یک نمودار کنترل برای کنترل تعداد عدم انطباق‌ها در هر واحد طراحی کنید.

ب- آیا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این داده‌های از یک فرآیند تحت کنترل تهیه شده است؟ اگر پاسخ منفی است با این فرض که بتوان انحرافات با دلیلی را برای نقاط خارج از کنترل رسم شده تعیین کرد، پارامترهای اصلاح شدهٔ نمودار کنترل را محاسبه کنید.

ج- فرض کنید واحد بازرسی به هشت جعبه دنده تغییر پیدا می‌کند. در این صورت یک نمودار مناسب برای پایش تولیدات آتی طراحی کنید.

۶-۲۲ داده‌های مربوط به تعداد عدم انطباق‌های مشاهده شده در بازرسی نهایی مونتاژ دیسک خوان یک رایانه در جدول 6E-۱۴ نشان داده شده است. آیا فرآیند این مونتاژ تحت کنترل است؟

جدول 6E-۱۴

داده‌های عدم انطباق در دیسک خوان رایانه برای تمرین ۶-۲۱.

تعداد کل عدم انطباق‌ها	تعداد دیسک خوان‌های بازرسی شده	روز
۱۰	۲	۱
۳۰	۴	۲
۱۸	۲	۳
۱۰	۱	۴
۲۰	۳	۵
۲۴	۴	۶
۱۵	۲	۷
۲۶	۴	۸
۲۱	۳	۹
۸	۱	۱۰

۶-۲۳ تولیدکننده یک نوع آبگرم‌کن گازی قصد دارد از یک نوع نمودار کنترل در مرحله نهایی بازرسی آبگرم‌کن‌ها استفاده کند. در این مرحله از بازرسی نقص‌های ظاهری و کیفی قابل رؤیت کنترل می‌شود. در ۲۲ روز اخیر تعداد ۱۷۶ آبگرم‌کن بازرسی و تعداد کل ۹۲۴ عدم انطباق مشاهده شده است.

الف- چه نمودار کنترلی پیشنهاد و چگونه از آن استفاده می‌کنید؟

ب- واحد بازرسی را دو آبگرم‌کن در نظر گیرید و خط مرکز و حدود کنترل را طوری محاسبه کنید که با داده‌های مربوط به ۲۲ روز اخیر سازگاری داشته باشند.

۶-۲۴ تلویزیون‌های مونتاژ شده از لحاظ نقص‌های ظاهری مورد بازرسی قرار می‌گیرند. به منظور پایش فرآیند مونتاژ

قرار است از یک نمودار کنترل با متوسط ۴ عدم انطباق در هر واحد استفاده شود. چه نمودار کنترلی مناسب است و پارامترهای آن چیست؟

۶-۲۵ قرار است از یک نمودار کنترل برای پایش تعداد عدم انطباق‌ها در مرحله بازرسی نهایی یک نوع رادیو استفاده شود. واحد بازرسی برابر ده رادیو تعریف شده است. در بررسی‌های قبلی، متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر رادیو ۰/۵ گزارش شده است. حدود کنترل سه انحراف معیار را برای نمودار کنترل c بر اساس واحد بازرسی تعریف شده محاسبه کنید.

۶-۲۶ در یک فرآیند تولید ساعت‌های الکتریکی مونتاژ می‌شود. متوسط تعداد عدم انطباق‌ها در هر ساعت مونتاژ شده ۰/۷۵ برآورد شده است. مهندس کیفیت در نظر دارد از یک نمودار c با شش عدد ساعت به‌عنوان واحد بازرسی برای کنترل این خط مونتاژ استفاده کند. حدود کنترل سه انحراف معیار را برای این نمودار محاسبه کنید.

۶-۲۷ در مرجع داده‌های مربوط به تعداد قتل‌های اتفاق افتاده در شهر ویکو ایالت تگزاس طی سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۸۰ ارائه شده است. در سال ۱۹۸۹ تعداد ۲۹ قتل اتفاق افتاده است. جدول 6E-۱۵ تاریخ‌های مربوط به این ۲۹ قتل در سال ۱۹۸۹ همراه با تعداد روز بین هر قتل را نشان می‌دهد.

جدول 6E-۱۵

داده‌های مربوط به تعداد قتل‌های شهر ویکو تگزاس برای تمرین ۶-۲۷.

روزهای بین	تاریخ	ماه	روزهای بین	تاریخ	ماه
۲	۸	جولای		۲۰	ژانویه
۱	۹	جولای	۳۴	۲۳	فوریه
۱۷	۲۶	جولای	۲	۲۵	فوریه
۴۵	۹	سپتامبر	۸	۵	مارس
۱۳	۲۲	سپتامبر	۵	۱۰	مارس
۲	۲۴	سپتامبر	۲۵	۴	آوریل
۷	۱	اکتبر	۳۳	۷	می
۳	۴	اکتبر	۱۷	۲۴	می
۴	۸	اکتبر	۴	۲۸	می
۱۱	۱۹	اکتبر	۱۰	۷	ژوئن
۱۴	۲	نوامبر	۹/۲۵	۱۶*	ژوئن
۲۳	۲۵	نوامبر	۰/۵۰	۱۶*	ژوئن
۳۳	۲۸	دسامبر	۵/۲۵	۲۲*	ژوئن
۱	۲۹	دسامبر	۳	۲۵	ژوئن
			۱۱	۶	جولای

علامت * به این واقعیت اشاره دارد که دو قتل در ۱۶ ژوئن با فاصلهٔ ۱۲ ساعت از یکدیگر رخ داده است.

الف- یک نمودار احتمال نرمال برای داده‌های روزهای بین قتل‌ها تهیه کنید. آیا فرض توزیع نرمال برای این داده‌ها منطقی به نظر می‌رسد؟

ب- این داده‌ها را با استفاده از ریشهٔ ۰/۲۷۷۷ تبدیل کنید. داده‌های تبدیل شده را بر روی یک نمودار احتمال نرمال رسم کنید. آیا این تبدیل به نزدیک شدن توزیع داده‌های جدید به یک توزیع نرمال موفق عمل کرده است؟

ج- داده‌ها را با استفاده از ریشهٔ چهارم (۰/۲۵) تبدیل کنید. داده‌های تبدیل شده را بر روی یک نمودار احتمال نرمال رسم کنید. آیا این تبدیل به نزدیک شدن توزیع داده‌های جدید به یک توزیع نرمال موفق عمل کرده است؟ آیا این نمودار تفاوت زیادی با نمودار قسمت (ب) دارد؟

د- با استفاده از داده‌های تبدیل شده در قسمت ب یک نمودار کنترل مشاهدات انفرادی تهیه کنید.

هـ- با استفاده از داده‌های تبدیل شده در قسمت (ج) یک نمودار کنترل مشاهدات انفرادی تهیه کنید. این نمودار چه شباهتی به نمودار تهیه شده در قسمت (د) دارد؟

و- آیا این فرآیند ایستا است؟ یک تفسیر عملی برای این نمودار کنترل ارائه کنید.

۶-۲۸ حداقل دو سناریو غیرتولیدی که نمودارهای کنترل وصفی می‌توانند برای پایش فرآیند مفید عمل کنند پیشنهاد کنید.

۶-۲۹ چه مشکلات عملی را می‌توان در مورد پایش داده‌های مرتبط با روزهای بین پیشامدها مشاهده کرد؟

۶-۳۰ مقالهٔ ارائه شده توسط R. N. Rodriguez در سال ۱۹۹۶ تحت عنوان

Health Care Applications of Statistical Process Control: Examples Using the SAS Systems, Proceedings of the 21st Annual Conference

چندین کاربرد مفید از نمودارهای کنترل را برای محیط‌های درمانی توصیف می‌کند. یکی از این کاربردها در مورد استفادهٔ نمودار کنترل برای تحلیل نرخ کَت اسکن انجام شده در یک کلینیک در ماه است. داده‌های استفاده شده در این تمرین

درجدول ۶-E۱۶ نشان داده شده است. متغیر NSCANB تعداد کَت اسکن انجام شده در هر ماه و متغیر MMSB تعداد اعضای ثبت نام کرده در طرح درمانی در هر ماه را بر حسب واحد عضو- ماه نشان می‌دهد. متغیر DAYS تعداد روزهای هر ماه را نشان می‌دهد. متغیر NYRSE، متغیر MMSB را بوسیلهٔ رابطهٔ NYRSE=MMSB (DAYS/۳۰)/۱۲۰۰۰ به واحد هزار عضو در سال تبدیل می‌کند. متغیر NYRSB "ناحیه فرصت" را نشان می‌دهد. یک نمودار کنترل مناسب برای پایش نرخ کَت اسکن‌های انجام شده در این کلینیک تهیه کنید.

جدول ۶E-۱۶

داده‌های تعداد کَت اسکن برای تمرین ۶-۳۰.

NYRSB	روز	MMSB	NSCANB	ماه
۲/۳۱۱۰۵	۳۱	۲۶۸۳۸	۵۰	ژانویه ۹۴
۲/۰۹۲۴۶	۲۸	۲۶۹۰۳	۴۴	فوریه ۹۴
۲/۳۱۵۹۶	۳۱	۲۶۸۹۵	۷۱	مارس ۹۴
۲/۱۹۰۷۵	۳۰	۲۶۲۸۹	۵۳	آوریل ۹۴
۲/۲۵۱۷۲	۳۱	۲۶۱۴۹	۵۳	مه ۹۴
۲/۱۸۲۰۸	۳۰	۲۶۱۸۵	۴۰	ژوئن ۹۴
۲/۲۵۱۱۲	۳۱	۲۶۱۴۲	۴۱	جولای ۹۴
۲/۲۴۶۸۱	۳۱	۲۶۰۹۲	۵۷	آگوست ۹۴
۲/۱۶۳۱۷	۳۰	۲۵۹۵۸	۴۹	سپتامبر ۹۴
۲/۲۳۵۱۹	۳۱	۲۵۹۵۷	۶۳	اکتبر ۹۴
۲/۱۶۰۰۰	۳۰	۲۵۹۲۰	۶۴	نوامبر ۹۴
۲/۲۳۰۸۸	۳۱	۲۵۹۰۷	۶۲	دسامبر ۹۴
۲/۳۰۳۸۲	۳۱	۲۶۷۵۴	۶۷	ژانویه ۹۵
۲/۰۷۶۳۶	۲۸	۲۶۶۹۶	۵۸	فوریه ۹۵
۲/۲۸۷۵۴	۳۱	۲۶۵۶۵	۸۹	مارس ۹۵

۶-۳۱ مقالهٔ ارائه شده توسط R. N. Rodriguez در سال ۱۹۹۶ تحت عنوان:

Health Care Applications of Statistical Process Control: Examples Using the SAS Systems, Proceedings of the 21st Annual Conference

چندین کاربرد مفید از نمودارهای کنترل را برای محیط‌های درمانی توصیف می‌کند. یکی از این کاربردها در مورد استفادهٔ نمودار کنترل برای تحلیل تعداد مراجعات اعضای یک طرح درمانی به یک مرکز درمانی است. داده‌های کلینیک E در جدول ۶-E۱۷ نشان داده شده است. متغیر NSCANB تعداد کَت اسکن انجام شده در هر ماه و متغیر MMSB تعداد اعضای ثبت نام کرده در طرح درمانی در هر ماه را بر حسب واحد عضو- ماه نشان می‌دهد. متغیر DAYS تعداد روزهای هر ماه را نشان می‌دهد. متغیر NYRSE، متغیر MMSB را بوسیلهٔ رابطهٔ NYRSE=MMSB (DAYS/۳۰)/۱۲۰۰۰ به واحد هزار عضو در سال تبدیل می‌کند. متغیر NYRSB "ناحیه فرصت" را نشان می‌دهد. یک نمودار کنترل مناسب برای پایش نرخ کَت اسکن انجام شده در این کلینیک تهیه کنید.

جدول ۶E-۱۷

داده‌های تمرین ۶-۳۱.

MMSE	روز	NVISITE	فاز	ماه
۷۶۷۶	۳۱	۱۴۲۱	۱	ژانویه ۹۴
۷۶۷۸	۲۸	۱۳۰۳	۱	فوریه ۹۴
۷۶۹۰	۳۱	۱۵۶۹	۱	مارس ۹۴
۷۷۵۳	۳۰	۱۵۷۶	۱	آوریل ۹۴
۷۷۵۵	۳۱	۱۵۶۷	۱	مه ۹۴
۷۸۶۹	۳۰	۱۴۵۰	۱	ژوئن ۹۴
۷۹۰۹	۳۱	۱۵۳۲	۱	جولای ۹۴
۷۹۹۲	۳۱	۱۶۹۴	۱	آگوست ۹۴
۸۰۰۶	۳۰	۱۷۲۱	۲	سپتامبر ۹۴
۸۰۸۴	۳۱	۱۷۶۲	۲	اکتبر ۹۴
۸۱۸۸	۳۰	۱۸۵۳	۲	نوامبر ۹۴
۸۲۲۳	۳۱	۱۷۷۰	۲	دسامبر ۹۴
۹۰۸۳	۳۱	۲۰۲۴	۲	ژانویه ۹۵
۹۰۸۸	۲۸	۱۹۷۵	۲	فوریه ۹۵
۹۱۶۸	۳۱	۲۰۹۷	۲	مارس ۹۵

۶-۳۲ داده‌های جدول ۶E-۱۸ تعداد خطاهای اطلاعاتی مشاهده شده در پروندهٔ مشتریان در پایگاه دادهٔ یک شرکت بازاریابی را نشان می‌دهد. هر روز یک نمونهٔ پنج‌تایی از سوابق تهیه شده است. یک نمودار c برای تعداد کل خطاها تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل است؟

جدول ۶E-۱۸

داده‌های خطاهای اطلاعاتی مشاهده شده برای تمرین ۶-۳۲.

روز	پرونده ۱	پرونده ۲	پرونده ۳	پرونده ۴	پرونده ۵
۱	۸	۷	۱	۱۱	۱۷
۲	۱۱	۱	۱۱	۲	۹
۳	۱	۱	۸	۲	۵
۴	۳	۲	۵	۱	۴
۵	۳	۲	۱۳	۶	۵
۶	۶	۳	۳	۳	۱
۷	۸	۸	۲	۱	۵
۹	۱	۶	۱	۳	۲
۱۰	۱۵	۱	۳	۲	۸
۱۱	۱	۷	۱۳	۵	۱
۱۲	۶	۷	۹	۳	۱
۱۳	۷	۶	۳	۳	۱
۱۴	۲	۹	۳	۸	۷
۱۵	۶	۱۴	۷	۱	۸
۱۶	۲	۹	۴	۲	۱
۱۷	۱۱	۱	۱	۳	۲
۱۸	۵	۵	۱۹	۱	۳
۱۹	۶	۱۵	۵	۶	۶
۲۰	۲	۷	۹	۲	۸
۲۱	۷	۵	۶	۱۴	۱۰
۲۲	۴	۳	۸	۱	۲
۲۳	۴	۱	۴	۲۰	۵
۲۴	۱۵	۲	۷	۱۰	۱۷
۲۵	۲	۱۵	۳	۱۱	۲

۶-۳۳ در مقالهٔ ارائه شده توسط Kaminski (۱۹۹۲)، داده‌های مربوط به تعداد سفارشات به ازای هر کامیون در یک مرکز توزیع ارائه شده است. بخشی از این داده‌ها در جدول ۶E-۱۹ نشان شده است. یک نمودار c برای کنترل تعداد سفارشات به ازای هر کامیون تهیه کنید. آیا فرآیند تحت کنترل است؟

جدول ۶E-۱۹

داده‌های تعداد سفارشات به ازای کامیون برای تمرین ۶-۳۳.

تعداد سفارشات	کامیون	تعداد سفارشات	کامیون
۶	۱۷	۲۲	۱
۳۵	۱۸	۵۸	۲
۶	۱۹	۷	۳
۲۳	۲۰	۳۹	۴
۱۰	۲۱	۷	۵
۱۷	۲۲	۳۳	۶
۷	۲۳	۸	۷
۱۰	۲۴	۲۳	۸
۶	۲۵	۵	۹
۱۳	۲۶	۲۶	۱۰
۹	۲۷	۱۲	۱۱
۲۱	۲۸	۲۶	۱۲
۸	۲۹	۱۰	۱۳
۱۲	۳۰	۳۰	۱۴
۴	۳۱	۵	۱۵
۱۸	۳۲	۲۴	۱۶

فصل هفتم روش‌های نمونه‌گیری پذیرش انباشته به انباشته

تضمین استانداردهای کیفیت به‌وسیلهٔ نمونه‌گیری پذیرش

در سپتامبر ۲۰۰۸، معلوم شد که دامداران و توزیع‌کنندگان مواد لبنی مستقر در چین به منظور افزایش کاذب میزان پروتئین شیر به آن ملامین (یک محصول جانبی پلاستیک) می‌افزودند. آنها با افزودن آب به شیر آن‌را رقیق ساخته، به آن ملامین می‌افزودند و آزمایش‌های پروتئین را با موفقیت پشت سر می‌گذاشتند.

چرا آنها قادر بودند آزمایش‌ها را با موفقیت پشت سر گذارند؟ گرچه آزمایش‌ها این اطمینان را فراهم می‌ساخت که میزان پروتئین شیر کافی بوده است ولی هیچ تضمینی در مورد خالص ماندن سایر مواد تشکیل‌دهنده وجود نداشت. بنابراین، شیر آلوده به سرعت مسیر خود را به سمت محصولاتی نظیر شکلات، کیک و شیر بچه باز کرد.

با آشکار شدن این خطای جدی، دولت چین دستور داد تمامی محصولات لبنی تولید شده بعد از سپتامبر ۲۰۰۸ جمع‌آوری شود. دلیل این اقدام تأثیر ملامین بر تولید سنگ کلیه مخصوصاً در کودکان کوچک جثه است. سنگ کلیه دارای لبه‌های تیزی است که در حین حرکت می‌تواند صدمات جدی ایجاد کند. طی این دوره، ۳۰۰،۰۰۰ کودک بیمار شد، ۵۰،۰۰۰ کودک در بیمارستان بستری شد و در نهایت شش کودک فوت کرد. همچنین طی این دوره، بیش از ۲۰ میلیون کودک تحت آزمایش سنگ کلیه قرار گرفتند. این آزمایش بسیار ضروری بود و بیمارستان‌ها به دلیل هجوم بیش از حد والدین نگران، دچار ازدحام شدند.

به منظور اطمینان از ورود شیر با کیفیت به بازار، دولت چین سه اقدام جدی اتخاذ کرد: اعلام فهرست افزودنی‌های غذایی غیر مجاز، تغییر ساختار صنعت از دامداران محلی به تولید انبوه و

رئوس مطالب فصل

۷-۱ مسالهٔ نمونه‌گیری پذیرش
۷-۲ طرح‌های یک بار نمونه‌گیری برای وصفی‌ها
۷-۳ طرح‌های دو بار نمونه‌گیری، چند بار نمونه‌گیری و نمونه گیری پی‌درپی
۷-۴ استاندارد نظامی (ANSI 105E /ASQC Z1.4, ISO 2859)
۷-۵ طرح‌های نمونه‌گیری دانج - رومیگ
۷-۶ استاندار نظامی (ANSI 414 /ASQC Z1.9)
۷-۷ نمونه‌گیری زنجیره‌ای
۷-۸ نمونه‌گیری پیوسته
۷-۹ طرح‌های نمونه‌گیری انباشته گذر

افزایش تعداد آزمایش‌های مواد غیر مجاز.

با این وجود، باید توجه داشت که نمونه‌گیری پذیرش فقط می‌تواند مشخصه‌های کیفی آن دسته از اقلامی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند را تأیید کند. از این روش نمی‌توان کیفیت کلی محصول را تأیید کرد. بنابراین، شرکت‌هایی که قصد استفاده از این روش‌ها را دارند باید تلاش کنند تا تعداد متعددی مشخصه کیفی برای طراحی طرح نمونه‌گیری پذیرش انتخاب شود.

مرور فصل و اهداف یادگیری

در این فصل طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش انباشته که اختصاراً طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش[1] نامیده می‌شوند برای مشخصه‌های وصفی و متغیر ارائه می‌شود. عناوین اصلی شامل طراحی و استفاده از طرح‌های یک بار نمونه‌گیری، استفاده از منحنی مشخصهٔ عملکرد و مفاهیم بازرسی اصلاحی، متوسط کیفیت خروجی و متوسط کل بازرسی می‌شود. مفاهیم مشابه برای انواع طرح‌های نمونه‌گیری که برای تصمیم‌گیری در مورد انباشته نیاز به بیش از یک نمونه دارند (طرح‌های دو بار و چند بار نمونه‌گیری و همچنین نمونه‌گیری پی‌درپی) به اختصار معرفی خواهند شد. همچنین طرح‌های MIL STD 105E، طرح‌های داج- رومیگ و طرح‌های MIL STD 414 به‌عنوان سه سیستم طرح‌های نمونه‌گیری استاندارد معرفی خواهند شد. این طرح‌ها بر اساس فلسفه‌های متفاوتی طراحی شده‌اند. استانداردهای MIL STD 105E و MIL STD 414 بر سطح کیفیت قابل‌قبول تمرکز دارند در حالی که طرح‌های داج- رومیگ بر شاخص درصد اقلام معیوب مجاز انباشته یا حد کیفیت خروجی متمرکز است.

بعد از مطالعهٔ این فصل باید بتوانید موارد زیر را انجام دهید:

۱- نقش نمونه‌گیری پذیرش در سیستم‌های کنترل کیفیت مدرن را درک کنید.
۲- برتری‌ها و ضعف‌های نمونه‌گیری را درک کنید.
۳- تفاوت بین طرح‌های نمونه‌گیری وصفی و متغیر و انواع اصلی رویه‌های نمونه‌گیری پذیرش را درک کنید.
۴- نحوهٔ استفاده از طرح‌های یک بار و دو بار نمونه‌گیری و نمونه‌گیری پی‌درپی را بدانید.
۵- اهمیت طرح‌های تصادفی را درک کنید.
۶- نحوهٔ تعیین منحنی مشخصهٔ عملکرد برای یک طرح یک بار نمونه‌گیری وصفی را بدانید.
۷- تأثیر پارامترهای طرح نمونه‌گیری بر عملکرد طرح نمونه‌گیری را درک کنید.
۸- نحوهٔ طراحی طرح‌های یک بار نمونه‌گیری، دو بار نمونه‌گیری و نمونه‌گیری پی‌درپی برای مشخصه‌های وصفی را بدانید.
۹- نحوهٔ استفاده از بازرسی اصلاحی را بدانید.
۱۰- ساختار و نحوهٔ استفاده از طرح‌های MIL STD 105E و معادل مدنی یا غیرنظامی آن را درک کنید.
۱۱- ساختار و نحوهٔ استفاده از طرح‌های نمونه‌گیری سیستم داج- رومیگ را درک کنید.
۱۲- ساختار و نحوهٔ استفاده از طرح‌های MIL STD 414 و معادل مدنی یا غیرنظامی آن را درک کنید.

---

1. acceptance sampling

۷-۱ مسالهٔ نمونه‌گیری پذیرش

همان‌طور که در فصل ۱ اشاره شد، نمونه‌گیری پذیرش یکی از قدیمی‌ترین جنبه‌های تضمین کیفیت است که به بازرسی و تصمیم‌گیری در مورد محصولات می‌پردازد. در دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ نمونه‌گیری پذیرش یکی از اجزاء اصلی حوزهٔ کنترل کیفیت آماری محسوب می‌شد و عملاً برای بازرسی مواد ورودی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در سال‌های اخیر تلاش شده است تا با همکاری تأمین‌کنندگان و استفاده از کنترل فرآیند آماری و طراحی آزمایش‌ها کیفیت فرآیندها بهبود داده شود و از وابستگی بیش از حد به نمونه‌گیری پذیرش به‌عنوان یک ابزار اصلی تضمین کیفیت اجتناب شود.

یکی از کاربردهای متداول نمونه‌گیری پذیرش بدین‌صورت است که شرکتی انباشته‌ای[1] را از طرف تأمین‌کننده‌ای دریافت می‌کند. این محصول غالباً یک قطعه و یا مواد اولیه است که در فرآیند تولید استفاده می‌شود. بعد از دریافت این انباشته معمولاً نمونه‌ای از آن انتخاب و مشخصهٔ کیفی مورد نظر بازرسی و در نهایت بر اساس اطلاعات حاصل از نمونه تصمیمی **در مورد رد یا پذیرش** انباشته اتخاذ می‌شود. در بعضی مواقع به این تصمیم **حکم انباشته**[2] نیز گفته می‌شود. انباشته‌های پذیرفته شده در خط تولید استفاده و انباشته‌های رد شده یا به تأمین‌کننده عودت داده می‌شود.

گرچه معمولاً تصور می‌شود که نمونه‌گیری پذیرش فعالیتی است که در بخش دریافت کالا کاربرد دارد ولی کاربردهای دیگری نیز برای روش‌های نمونه‌گیری وجود دارد. به‌عنوان مثال، یک تولیدکننده معمولاً محصول خود را در مراحل مختلف تولید، نمونه‌گیری و بازرسی می‌کند. انباشته‌هایی که از این طریق پذیرفته می‌شوند به مراحل بعدی فرآیند منتقل و انباشته‌های رد شده دوباره‌کاری و یا دور ریز محسوب می‌شوند.

نمونه‌گیری سه جنبهٔ مهم دارد:

۱- هدف از نمونه‌گیری پذیرش، ارزیابی انباشته است و نه برآورد کیفیت انباشته. اغلب طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش با هدف برآورد کیفیت انباشته طراحی نشده‌اند.

۲- طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش روش مستقیمی برای کنترل کیفیت محسوب نمی‌شود. از طریق طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش، انباشته‌ها پذیرش و یا رد می‌شوند. حتی اگر کلیهٔ انباشته‌ها دارای کیفیت یکسان باشند از روش نمونه‌گیری بعضی از انباشته‌ها پذیرش و بقیه رد می‌شوند و این در حالی است که انباشته‌های پذیرفته شده دارای کیفیتی بهتر از انباشته‌های رد شده نیستند. روش‌های کنترل فرآیند روش‌هایی هستند که به‌طور نظام‌مند کیفیت را بهبود می‌دهند و این دقیقاً چیزی است که روش‌های نمونه‌گیری پذیرش قادر به انجام آن نیستند.

هدف نمونه‌گیری پذیرش قبول یا رد انباشته است

۳- "ایجاد کیفیت در محصول بوسیلهٔ بازرسی" را نباید به‌عنوان مؤثرترین کاربرد نمونه‌گیری پذیرش در نظر گرفت. این روش را باید به‌عنوان ابزار ممیزی برای کسب اطمینان از انطباق خروجی فرآیند با الزامات مورد نظر استفاده کرد.

نمونه‌گیری پذیرش یک روش غیرمستقیم کنترل کیفیت است

به‌طور کلی سه روش برای تصمیم‌گیری در مورد انباشته وجود دارد: (۱) پذیرش بدون بازرسی،

1. lot
2. lot sentencing

(۲) بازرسی ۱۰۰٪ و یا به‌عبارت دیگر، بازرسی تک‌تک محصولات انباشته و جداسازی محصولات معیوب (محصولات معیوب ممکن است به تأمین‌کننده عودت داده شوند، دوباره‌کاری شوند، با محصولات خوب جایگزین شوند و یا دور ریخته شوند) و (۳) نمونه‌گیری پذیرش. مورد اول یا پذیرش بدون بازرسی در مواقعی کاربرد دارد که فرآیند تأمین‌کننده از قابلیت بالایی برخوردار باشد بگونه‌ای که هیچگاه محصول معیوبی تولید نشود و یا اینکه توجیه اقتصادی برای شناسایی محصولات معیوب وجود نداشته باشد. به‌عنوان مثال، اگر نسبت قابلیت فرآیند تولیدکننده ۳ یا ۴ باشد آنگاه در زمان استفاده از روش نمونه‌گیری پذیرش بندرت با محصولات معیوب مواجه خواهیم شد. بازرسی ۱۰۰٪ در مواقعی کاربرد دارد که قطعهٔ مورد نظر یک قطعهٔ خیلی بحرانی محسوب می‌شود به‌طوری‌که عدم شناسایی محصولات معیوب منجر به هزینهٔ زیاد و غیرقابل‌قبول در مراحل بعدی می‌شود و یا اینکه نسبت قابلیت فرآیند تولیدکننده به میزان کافی بزرگ نیست که بتواند محصولاتی با مشخصات مورد نظر تولید کند.

استفاده از نمونه‌گیری پذیرش می‌تواند در موارد زیر مفید باشد:

۱- زمانی‌که آزمایش مخرب است.
۲- زمانی‌که هزینهٔ بازرسی ۱۰۰٪ بسیار زیاد است.
۳- زمانی‌که بازرسی ۱۰۰٪ از نظر فن‌آوری توجیهی ندارد یا آن‌قدر زمان بر است که برنامهٔ تولید مختل می‌شود.
۴- زمانی‌که تعداد محصولات موجود برای بازرسی و میزان خطا آن‌قدر زیاد است که بازرسی ۱۰۰٪ ممکن است باعث شود تا درصد محصولات معیوبی که از روش بازرسی ۱۰۰٪ پذیرش می‌شود بیشتر از درصد محصولاتی باشد که از طریق طرح‌های نمونه‌گیری پذیرفته می‌شود.
۵- زمانی‌که تأمین‌کننده از سابقهٔ عالی در زمینهٔ کیفیت برخوردار است و می‌خواهیم بازرسی را از ۱۰۰٪ به سطح کمتری کاهش دهیم ولی نسبت قابلیت فرآیند تأمین‌کننده آن‌قدر کم است که نمی‌توان از روش بدون بازرسی استفاده کرد.
۶- زمانی‌که ریسک‌های مرتبط با مسئولیت در قبال محصول به طور بالقوه زیاد است ولی علی‌رغم رضایت‌بخش بودن فرآیند تأمین‌کننده هنوز استفاده از یک برنامهٔ پایش مستمر برای محصول ضروری است.

۷-۱-۱ برتری‌ها و ضعف‌های نمونه‌گیری

نمونه‌گیری پذیرش در مقایسه با بازرسی ۱۰۰٪ از برتری‌های زیر برخوردار است:

۱- هزینهٔ کمتر به علت بازرسی کمتر
۲- خسارت کمتر به علت جابه‌جایی کمتر
۳- قابل استفاده در آزمایش‌های مخرب
۴- دخالت تعداد کمتری از کارکنان در فعالیت‌های بازرسی
۵- کاهش قابل توجه در میزان خطای بازرسی
۶- ایجاد انگیزه برای تأمین‌کننده جهت بهبود کیفیت با رد کل انباشته به جای فقط عودت دادن محصولات معیوب

با این حال، نمونه‌گیری پذیرش، از نقاط ضعفی نیز برخوردار است که از بین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- وجود ریسک برای پذیرش انباشته‌های بد و رد انباشته‌های خوب
۲- کسب اطلاعات کمتر در مورد محصول و یا فرآیند تولید آن
۳- نیاز به برنامه‌ریزی و مکتوب کردن دستورالعمل‌های نمونه‌گیری پذیرش در مقایسه با عدم نیاز به این‌گونه فعالیت‌ها در بازرسی ۱۰۰٪

گرچه مورد آخر غالباً به‌عنوان نقطهٔ ضعف روش نمونه‌گیری پذیرش مطرح می‌شود ولی معمولاً طراحی مناسب یک طرح نمونه‌گیری پذیرش نیاز به مطالعهٔ سطح کیفیت واقعی مورد نیاز مشتری دارد. دانش حاصل می‌تواند اطلاعات ارزشمند و مفیدی را برای برنامه‌ریزی کلان کیفیت و فرآیند مهندسی فراهم سازد. بنابراین، در اغلب کاربردها این نمی‌تواند ضعف مهمی محسوب شود.

همان‌گونه که اشاره شد نمونه‌گیری پذیرش از لحاظ جایگاه، بین بازرسی ۱۰۰٪ و پذیرش بدون بازرسی قرار دارد. روش نمونه‌گیری غالباً دستورالعملی را فراهم می‌سازد که از آن طریق اطلاعات کافی در مورد کنترل فرآیند تولید محصولات به‌دست می‌آید. گرچه کنترل کیفیت

مستقیمی در کاربرد یک طرح نمونه‌گیری پذیرش برای یک انباشتهٔ مجزا مشاهده نمی‌شود ولی زمانی‌که این طرح در مورد تعداد زیادی انباشتهٔ تولیدکننده استفاده می‌شود می‌تواند یک نقش حمایتی برای تولیدکننده و مصرف‌کننده ایفا کند. اطلاعات حاصل از این روش در طول زمان می‌تواند در کنترل فرآیند تولید انباشته‌ها (نظیر مواقعی که بخواهیم به قابلیت فرآیند تأمین‌کننده پی ببریم) مفید واقع شود. بالاخره اینکه استفاده از روش نمونه‌گیری می‌تواند یک فشار اقتصادی و روانی بر تأمین‌کننده اعمال کند تا از این طریق فرآیند تولید خود را بهبود دهد.

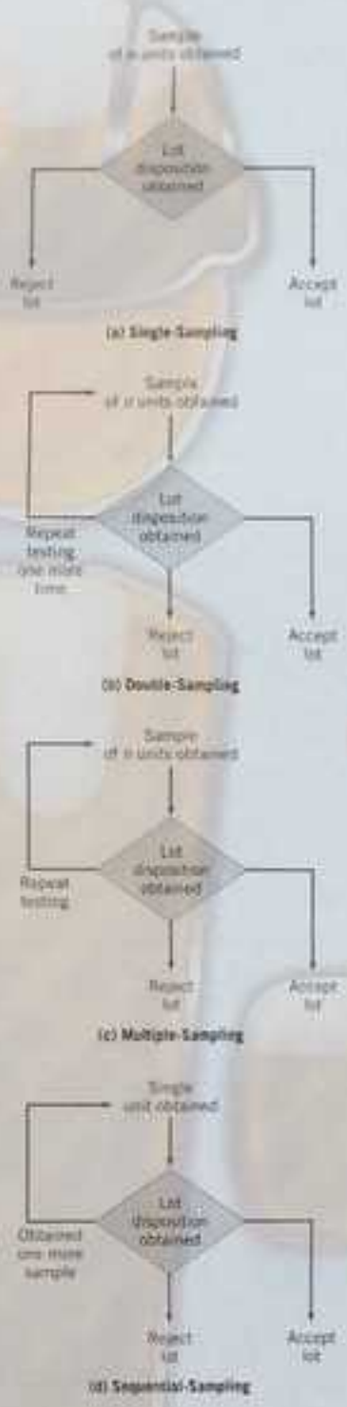
۷-۱-۲ انواع طرح‌های نمونه‌گیری

روش‌های مختلفی برای دسته‌بندی طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش وجود دارد. یکی از این دسته‌بندی‌ها با توجه به وصفی و یا متغیر بودن مشخصهٔ کیفی مورد نظر تهیه شده است. مشخصه‌های کیفی متغیر مشخصه‌هایی هستند که در یک مقیاس عددی اندازه‌گیری می‌شوند و مشخصه‌های کیفی وصفی مشخصه‌هایی هستند که بر اساس روش "برو- نرو" بیان می‌شوند.

یک طرح یک بار نمونه‌گیری[1] روشی برای ارزیابی انباشته است. در این روش یک نمونهٔ تصادفی nتایی انتخاب و بر اساس اطلاعات حاصل از نمونه، تصمیم گرفته می‌شود که انباشته پذیرش یا رد شود (شکل ۷-۱ الف ملاحظه شود). به‌عنوان مثال، یک طرح یک بار نمونه‌گیری برای مشخصه‌های کیفی وصفی دارای اندازهٔ نمونهٔ n و عدد پذیرش c است. از طریق این روش ابتدا یک نمونهٔ n تایی از انباشته به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. اگر c یا کمتر معیوب در نمونه مشاهده شد انباشته پذیرش و اگر بیش از c محصول معیوب در نمونه مشاهده شد انباشته رد می‌شود. در مورد طرح‌های یک بار نمونه‌گیری به‌طور مبسوط در بخش ۷-۲ بحث خواهد شد.

طرح‌های دو بار نمونه‌گیری[2] قدری پیچیده‌تر هستند. بر اساس اطلاعات نمونهٔ اول تصمیم گرفته می‌شود که (۱) انباشته پذیرش شود، (۲) انباشته رد شود و یا (۳) نمونهٔ دوم انتخاب شود. در صورت انتخاب نمونهٔ دوم، اطلاعات موجود در دو نمونه با یکدیگر ترکیب و در مورد پذیرش یا رد انباشته تصمیم گرفته می‌شود (شکل ۷-۱ب ملاحظه شود). در مورد طرح‌های دو بار نمونه‌گیری در بخش ۷-۳ بحث خواهد شد.

طرح‌های چند بار نمونه‌گیری[3] مفهوم تعمیم یافته‌تری از طرح‌های دو نمونه‌گیری است. در این طرح‌ها ممکن است بیش از دو نمونه نیاز باشد تا بتوان در مورد پذیرش یا رد انباشته تصمیم گرفت (شکل ۷-۱ج ملاحظه شود). در طرح‌های چند بار نمونه‌گیری، اندازهٔ نمونه‌ها معمولاً کوچک‌تر از اندازهٔ نمونه‌ها در طرح‌های یک بار و دو بار نمونه‌گیری است. حالت کلی‌تر طرح‌های چند بار نمونه‌گیری **طرح‌های نمونه‌گیری پی‌درپی**[4] است. در این طرح‌ها از هر انباشته یک محصول انتخاب می‌شود و بر اساس نتیجهٔ حاصل از بازرسی، تصمیم گرفته می‌شود که انباشته پذیرش، رد و یا محصول دیگری انتخاب شود (شکل ۷-۱د ملاحظه شود). در مورد طرح‌های چند بار نمونه‌گیری و طرح‌های نمونه‌گیری پی‌درپی نیز در بخش ۷-۳ بحث خواهد شد.



شکل ۷-۱ انواع طرح‌های نمونه‌گیری.

1. single sampling plan
2. double sampling plan
3 .multiple sampling plan
4. sequential sampling plan

طرح‌های نمونه‌گیری یک بار، دو بار، چند بار و پی‌درپی را می‌توان طوری طراحی کرد که نتایج حاصل از آنها یکسان باشد. به‌عبارت دیگر، این روش‌ها می‌توانند به‌گونه‌ای طراحی شوند که از هر چهار روش نمونه‌گیری احتمال پذیرش یکسانی برای انباشته‌ای که دارای کیفیت خاصی است حاصل شود. در نتیجه در زمان انتخاب روش نمونه‌گیری باید به عواملی نظیر کارآیی اجرایی، نوع اطلاعات حاصل، متوسط تعداد بازرسی‌های مورد نیاز و اثر روش انتخاب‌شده بر جریان حرکت مواد در سازمان‌های تولیدی توجه داشت. در مورد این نکات همراه با جزئیات بیشتر در بخش ۷-۳ بحث خواهد شد.

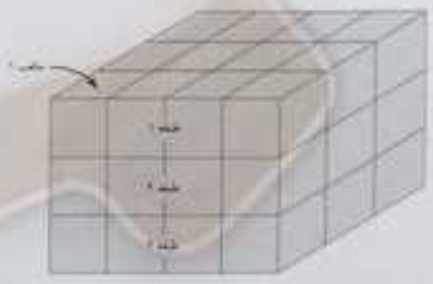
۷-۱-۳ تشکیل انباشته

چگونگی تشکیل انباشته می‌تواند بر مؤثر بودن طرح نمونه‌گیری پذیرش اثر داشته باشد. چند نکتهٔ مهم در مورد تشکیل انباشته‌ها وجود دارد که باید به آنها توجه شود. از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- انباشته‌ها باید همگن باشند.	اقلام یک انباشته باید به وسیلهٔ یک دستگاه، یک اپراتور، مواد اولیهٔ یکسان و تقریباً به‌طور همزمان تولید شده باشند. اگر انباشته‌ها همگن نباشند (نظیر زمانی‌که خروجی دو خط تولید مختلف با یکدیگر مخلوط می‌شود) آنگاه روش‌های نمونه‌گیری پذیرش کارآیی لازم را نخواهند داشت. انباشته‌های ناهمگن باعث می‌شود تا انجام اقدام اصلاحی برای حذف منابع تولید محصولات معیوب با مشکل مواجه شود.
۲- انباشته‌های بزرگ‌تر بر انباشته‌های کوچک‌تر ترجیح داده می‌شوند.	از لحاظ اقتصادی معمولاً بازرسی انباشته‌های بزرگ بر انباشته‌های کوچک ارجحیت دارد.
۳- انباشته‌ها باید با سیستم‌های جابه‌جایی مواد در تسهیلات تولیدکننده و مصرف‌کننده سازگاری داشته باشند.	به‌علاوه، بسته‌بندی اقلام انباشته‌ها باید طوری باشد که ریسک‌های مربوط به حمل و نقل و جابه‌جایی حداقل شود و از طرف دیگر انتخاب اقلام نمونه نیز نسبتاً ساده باشد.

۷-۱-۴ نمونه‌گیری تصادفی

نمونه‌ای که از انباشته به منظور بازرسی تهیه می‌شود باید به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شده باشد و باید بتوان آن را به‌عنوان نماینده‌ای از کل اقلام انباشته محسوب کرد. بحث نمونه‌گیری پذیرش یکی از مباحث حائز اهمیت در طراحی طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش است. اگر نمونه‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب نشده باشند آنگاه در مورد صحت محاسبات باید تردید داشت و یا به‌عبارت دیگر، محاسبات عاری از خطا نخواهند بود. به‌عنوان مثال، این امکان وجود دارد که تأمین‌کننده‌ای در زمان بسته‌بندی انباشته‌ها با آگاهی از اینکه بازرس چند محصول از سطح بالای انباشته انتخاب می‌کند، واحدهایی که دارای کیفیت فوق‌العاده خوب هستند را در سطح بالای انباشته قرار دهد. گرچه ممکن است چنین کاری عملاً انجام نشود ولی اگر با چنین مواردی مواجه شویم و از روش نمونه‌گیری غیرتصادفی استفاده کنیم آنگاه اثربخشی فرآیند بازرسی کاملاً از بین خواهد رفت.



شکل ۷-۲ طبقه‌بندی یک انباشته.

روشی که غالباً در زمان انتخاب نمونهٔ تصادفی پیشنهاد می‌شود بدین‌صورت عمل می‌کند که ابتدا به هر یک از اقلام انباشته عددی تخصیص داده می‌شود. در مرحلهٔ بعد n عدد تصادفی از

دامنهٔ اعداد ۱ تا بزرگ‌ترین عددی که برای اقلام انباشته در نظر گرفته شده است انتخاب می‌شود. توالی این اعداد تعیین‌کنندهٔ اقلام تشکیل‌دهندهٔ نمونه هستند. اگر اقلام دارای شماره سریال باشند این اعداد را می‌توان مبنای انتخاب نمونهٔ تصادفی قرار داد. روش دیگر انتخاب نمونهٔ تصادفی استفاده از اعداد سه رقمی برای نشان دادن سطح، ردیف و ستون است.

در مواقعی‌که نمی‌توان به هر یک از واحدها عددی تخصیص داد و یا نمی‌توان شماره سریالی استفاده و یا حتی مکانی برای آن مشخص کرد باید از روش‌های دیگری در مورد تصادفی بودن نمونه اطمینان حاصل شود. در بعضی مواقع ممکن است بازرس انباشته را **طبقه‌بندی** کند. این کار بدین صورت انجام می‌شود که ابتدا انباشته به طبقه‌ها یا لایه‌هایی تقسیم و بعد این لایه‌ها یا طبقه‌ها همان‌طور که در شکل ۷-۲ نشان داده شده است به مکعب‌هایی تقسیم و نهایتاً از هر یک از مکعب‌ها واحدهایی انتخاب می‌شود. گرچه این طبقه‌بندی را بازرس به‌صورت ذهنی انجام می‌دهد و لزوماً تضمین‌کنندهٔ یک نمونهٔ تصادفی نیست ولی حداقل این اطمینان حاصل می‌شود که محصولی از هر مکان انباشته در نمونه وجود دارد.

بیش از این نمی‌توان بر اهمیت نمونه‌گیری تصادفی تأکید کرد و باید این نکته را به خاطر سپرد که اگر از روش‌های قضاوتی برای انتخاب نمونه استفاده شود، اساس و بنیاد آماری طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش مخدوش خواهد شد.

۷-۱-۵ خطوط راهنما برای استفاده از طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش

یک طرح نمونه‌گیری پذیرش، اندازهٔ نمونه و مشخصات رد یا پذیرش را برای تصمیم‌گیری در مورد انباشته‌های مجزا تعیین می‌کند. یک برنامهٔ نمونه‌گیری به‌عنوان مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها که شامل طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش است تعریف می‌شود به‌طوری که در آنها ارتباط اندازهٔ انباشته‌ها، اندازهٔ نمونه‌ها و مشخصات رد و پذیرش همراه با میزان نمونه‌گیری و بازرسی ۱۰۰٪ مشخص می‌شود. نهایتاً یک سیستم نمونه‌گیری، مجموعه‌ای یکپارچه از یک یا چند برنامهٔ نمونه‌گیری پذیرش است. در این فصل مثال‌هایی از طرح‌های نمونه‌گیری، برنامه‌های نمونه‌گیری و سیستم‌های نمونه‌گیری ارائه خواهد شد.

در جدول ۷-۱، طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش مهم همراه با کاربرد آنها نشان داده شده است. به‌طور کلی، انتخاب یک روش نمونه‌گیری پذیرش بستگی به هدف سازمانی که نمونه‌گیری را انجام می‌دهد و سابقهٔ سازمانی که محصولش نمونه‌گیری می‌شود دارد. به‌علاوه، روش نمونه‌گیری مورد نظر همیشه دارای کاربرد یکسانی نخواهد بود. به‌عبارت دیگر، یک روش نمونه‌گیری یک سیر تکاملی طبیعی از یک سطح به سطح دیگر را طی می‌کند. به‌عنوان مثال، اگر با تأمین‌کننده‌ای که از سابقهٔ خوبی در زمینهٔ کیفیت برخوردار است داد و ستد می‌کنیم، شاید بخواهیم از یک طرح نمونه‌گیری وصفی استفاده کنیم. با گذشت زمان و کسب اطلاعات بیشتر در مورد این تأمین‌کننده و اثبات سابقهٔ کیفیت خوب او از طریق نتایج حاصل از فعالیت‌های نمونه‌گیری شاید بخواهیم روش نمونه‌گیری را به روشی که از میزان بازرسی کمتری برخوردار است تظیر نمونه‌گیری انباشته‌گذر تغییر دهیم و بالاخره با گذشت زمان و کسب تجربهٔ کافی در مورد محصول این تأمین‌کننده اگر اطمینان حاصل شود که نسبت قابلیت فرآیند او از سطح عالی برخوردار است می‌توان کلیهٔ فعالیت‌های نمونه‌گیری را متوقف

طرح نمونه‌گیری پذیرش
بیان اندازه نمونه و مشخصات رد یا پذیرش برای انباشته‌های مجزا

برنامهٔ نمونه‌گیری
مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های شامل طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش که در آنها اندازه‌های نمونه‌ها اندازه انباشته، مشخصه‌های رد یا قبول همراه با میزان نمونه‌گیری و بازرسی ۱۰۰٪ مشخص است.

سیستم نمونه‌گیری
مجموعه‌ای یکپارچه از یک یا چند برنامه نمونه‌گیری پذیرش

ساخت. در مواردی که اطلاعات یا تجارب کمی در مورد فعالیت‌های تضمین کیفیت تأمین‌کننده وجود داشته باشد، می‌توان از یک طرح وصفی که به ما اطمینان می‌دهد که سطح کیفیت از میزان خاصی کمتر نیست استفاده کرد. اگر این طرح مؤثر و عملکرد تأمین‌کننده رضایت‌بخش باشد، مخصوصاً زمانی‌که اطلاعات بیشتری در مورد فرآیند تولید تأمین‌کننده حاصل می‌شود، می‌توان روش بازرسی را از وصفی به متغیر تغییر داد. و بالاخره، می‌توان اطلاعات حاصل از طرح‌های نمونه‌گیری متغیرها همراه با اطلاعاتی که مستقیماً از فعالیت‌های انجام شده در سطح تسهیلات تأمین‌کننده به‌دست می‌آید را برای استقرار یک نظام کنترل فرآیند در سازمان تأمین‌کننده به کار برد. استقرار یک نظام موفقیت‌آمیز کنترل فرآیند در سطح سازمان تأمین‌کننده می‌تواند قابلیت فرآیند را آنقدر بهبود بخشد که دیگر نیازی به استفاده از روش‌های بازرسی نباشد.

جدول ۷-۱

روش‌های نمونه‌گیری پذیرش.

هدف	روش مشخصهٔ وصفی	روش مشخصهٔ متغیر
تخصیص سطوح کیفیت برای مصرف‌کننده / تولید کننده	انتخاب طرح برای منحنی OC مشخص	انتخاب طرح برای منحنی OC مشخص
حفظ کیفیت در نقطهٔ هدف	سیستم AQL، MIL STD 105E، ANSI/ASQC Z1.4	سیستم AQL، ANSI/ASQC Z1.9 ،MIL STD 414
تضمین سطح متوسط کیفیت خروجی	سیستم AOQL، طرح‌های داج – رومینگ	سیستم AOQL
کاهش بازرسی با اندازه نمونه‌های کوچک، سابقه کیفیت خوب	نمونه‌گیری زنجیره‌ای	اندازه زدن حد تنگ
کاهش بازرسی بعد از سابقهٔ کیفیت خوب	نمونه‌گیری انباشته‌گذر، دو بار نمونه‌گیری	نمونه‌گیری انباشته‌گذر، دوبار نمونه‌گیری
تضمین کیفیت در سطح هدف یا بهتر	طرح LTPD، طرح‌های داج – رومینگ	طرح LTPD، آزمون فرض

این مثال‌ها نشان می‌دهد که کاربرد روش‌های نمونه‌گیری پذیرش دارای یک چرخهٔ عمر است. معمولاً مشاهده می‌شود که سازمان‌هایی که فعالیت‌های خود در زمینهٔ تضمین کیفیت را تازه آغاز کرده‌اند بیشتر توجه خود را بر روش‌های نمونه‌گیری پذیرش معطوف می‌سازند. با گذشت زمان و توسعهٔ فعالیت‌های کیفیت، سازمان اهمیت کمتری به روش‌های نمونه‌گیری پذیرش می‌دهد و بیشتر فعالیت‌های خود را بر روش‌های کنترل فرآیند آماری و طراحی آزمایش‌ها متمرکز می‌سازد.

تولیدکنندگان سعی می‌کنند کیفیت محصولات خود را با کاهش تعداد تأمین‌کنندگان و با ایجاد رابطهٔ تنگاتنگ با تأمین‌کنندگانی که باقی می‌مانند بهبود بخشند. مجدداً باید به این نکته اشاره شود که یکی از ابزارهای کلیدی در زمینهٔ بهبود کیفیت، استفاده از کنترل فرآیند آماری است. نمونه‌گیری پذیرش، همیشه به‌عنوان یک جزء لاینفک هر برنامهٔ تضمین کیفیت محسوب

می‌شود ولی باید توجه داشت که نمونه‌گیری پذیرش چیزی است که به دنبال اجتناب از آن هستیم. از لحاظ اقتصادی شاید بهتر باشد که از روش‌های کنترل فرآیند در مراحل مناسب یک فرایند تولید استفاده شود. در بعضی مواقع می‌توان از روش‌های نمونه‌گیری به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به هدف نهایی استفاده کرد.

متغیرهای کلیدی در طرح نمونه‌گیری

N= اندازهٔ انباشته

n= اندازهٔ نمونه

d = تعداد معیوب

c= عدد پذیرش

۷-۲ طرح‌های یک بار نمونه‌گیری برای مشخصه‌های وصفی

۷-۲-۱ تعریف یک طرح یک بار نمونه‌گیری

فرض کنید می‌خواهیم انباشته‌ای به اندازهٔ N را بازرسی کنیم. یک **طرح یک بار نمونه‌گیری** بر اساس اندازهٔ نمونهٔ n و عدد پذیرش c تعریف می‌شود. بنابراین، اگر اندازهٔ انباشته N=۱۰,۰۰۰ باشد آنگاه طرح نمونه‌گیری

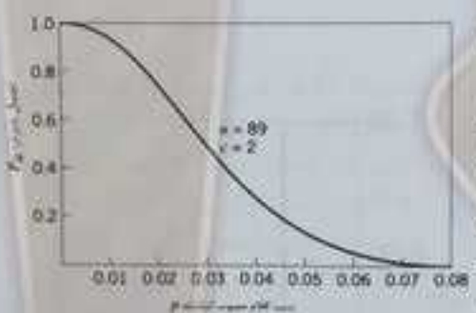
$$n=۸۹$$

$$c=۲$$

بدین‌معناست که از یک انباشتهٔ ۱۰,۰۰۰تایی یک نمونهٔ تصادفی شامل n=۸۹ واحد انتخاب و مورد بازرسی قرار می‌گیرد و تعداد واحدهای معیوب یا نامنطبق d شمارش می‌شود. اگر تعداد اقلام معیوب مشاهده شده کمتر یا مساوی عدد پذیرش c=۲ باشد انباشته پذیرش و اگر تعداد اقلام معیوب بیشتر از ۲ باشد انباشته رد می‌شود. از آنجایی‌که مشخصهٔ کیفی مورد بازرسی، وصفی است لذا هر یک از اقلام از منظر منطبق و یا نامنطبق مورد قضاوت قرار می‌گیرد. معمولاً می‌توان یک یا چند مشخصهٔ کیفی وصفی را در یک محصول بازرسی کرد. اگر محصول از یک یا چند جنبهٔ نامنطبق باشد آنگاه آن محصول معیوب شناخته می‌شود. از آنجایی‌که در این روش انباشته بر اساس اطلاعات حاصل از یک نمونهٔ n تایی رد یا پذیرش می‌شود آن را یک طرح یک بار نمونه‌گیری می‌نامند.

۷-۲-۲ منحنی OC

یکی از معیارهای مهم ارزیابی عملکرد یک طرح نمونه‌گیری پذیرش منحنی **مشخصهٔ عملکرد**[1] آن است. این منحنی احتمال پذیرش یک انباشته را بر حسب نسبت اقلام معیوب انباشته نشان می‌دهد. بنابراین، منحنی OC قدرت تمایز طرح نمونه‌گیری را منعکس می‌کند. به‌عبارت دیگر، از طریق این منحنی می‌توان احتمال پذیرش یا رد انباشته‌ای که دارای میزان اقلام معیوب خاصی است را تعیین کرد. منحنی OC طرح نمونه‌گیری n=۸۹ و c=۲ در شکل ۷-۳ نشان داده شده است. با انجام محاسبات نسبتاً ساده‌ای می‌توان مکان واقع شدن نقاط بر روی این منحنی را تعیین کرد. روش انجام محاسبات را می‌توان به‌سادگی توضیح داد. فرض کنید اندازهٔ انباشتهٔ N خیلی بزرگ (از لحاظ تئوری بی‌نهایت) است. تحت چنین شرایطی، تعداد اقلام معیوب d که در



شکل ۷-۳ منحنی OC طرح یک بار نمونه‌گیری.

1. Operating characteristic (OC) - curve

یک نمونهٔ تصادفی nتایی مشاهده می‌شود از توزیع بینم با پارامترهای n و p که در اینجا p نسبت اقلام معیوب انباشته را نشان می‌دهد پیروی می‌کند. این مطلب را می‌توان شبیه به روشی دانست که در آن انباشته‌هایی به اندازهٔ N به‌طور تصادفی از یک فرآیند بی‌نهایت ذهنی انتخاب و سپس نمونه‌های تصادفی nتایی به‌طور تصادفی از این انباشته انتخاب می‌شود. نمونه‌گیری از انباشته به این صورت، شباهت به نمونه‌گیری مستقیم از فرآیند تولید دارد. احتمال اینکه تعداد اقلام معیوب در یک نمونهٔ nتایی دقیقاً d باشد برابر است با

$$P(\text{محصول معیوب } d) = f(d) = \frac{n!}{d!(n-d)!} p^d (1-p)^{n-d} \qquad (۱-۷)$$

احتمال پذیرش عبارت است از احتمال اینکه d کوچک‌تر یا مساوی c باشد و یا

$$P_a = P\{d \le c\} = \sum_{d=0}^{c} \frac{n!}{d!(n-d)!} p^d (1-p)^{n-d} \qquad (۲-۷)$$

به‌عنوان مثال، اگر نسبت اقلام معیوب انباشته $p=۰/۰۱$، $n=۸۹$ و $c=۲$ باشد آنگاه

$$P_a = P\{d \le ۲\} = \sum_{d=0}^{۲} \frac{۸۹!}{d!(۸۹-d)} (۰/۰۱)^d (۰/۹۹)^{۸۹-d}$$

$$= \frac{۸۹!}{۰!۸۹!}(۰/۰۱)^{۰}(۰/۹۹)^{۸۹} + \frac{۸۹!}{۱!۸۸!}(۰/۰۱)^{۱}(۰/۹۹)^{۸۸}$$

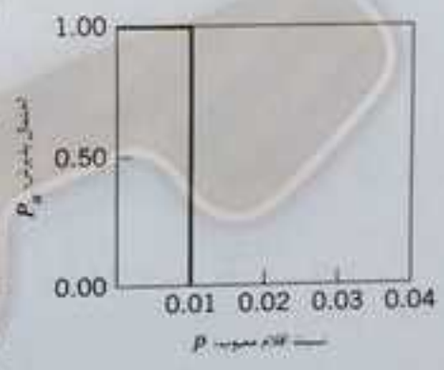
$$+ \frac{۸۹!}{۲!۸۷!}(۰/۰۱)^{۲}(۰/۹۹)^{۸۷} = ۰/۹۳۹۷$$

جدول ۷-۲

احتمالات پذیرش برای طرح یک بار نمونه‌گیری $n=۸۹$ و $c=۲$	
احتمال پذیرش، P_a	نسبت اقلام معیوب، p
۰/۹۸۹۷	۰/۰۰۵
۰/۹۳۹۷	۰/۰۱۰
۰/۷۳۶۶	۰/۰۲۰
۰/۴۹۸۵	۰/۰۳۰
۰/۳۰۴۲	۰/۰۴۰
۰/۱۷۲۱	۰/۰۵۰
۰/۰۹۱۹	۰/۰۶۰
۰/۰۴۶۸	۰/۰۷۰
۰/۰۲۳۰	۰/۰۸۰
۰/۰۱۰۹	۰/۰۹۰

منحنی OC بر اساس ارزیابی رابطهٔ (۷-۲) به ازای مقادیر مختلف p رسم می‌شود. جدول ۷-۲ مقادیر محاسبه شده برای چند نقطه که بر روی این منحنی قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد.

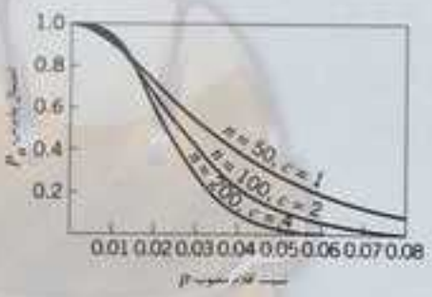
همان‌گونه که قبلاً اشاره شد منحنی OC **قدرت تمایز** طرح نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، در طرح نمونه‌گیری $n=۸۹$ و $c=۲$، اگر نسبت اقلام معیوب فرآیند ۲٪ باشد آنگاه احتمال پذیرش حدوداً ۰/۷۴ خواهد بود. این بدین معناست که اگر ۱۰۰ انباشته از فرآیندی که ۲٪ اقلام معیوب تولید می‌کند تهیه و تحت شرایط این طرح نمونه‌گیری بازرسی شود آنگاه باید انتظار داشت که ۷۴ انباشته پذیرش و ۲۶ انباشته رد شود.



شکل ۷-۴ منحنی OC ایده‌آل.

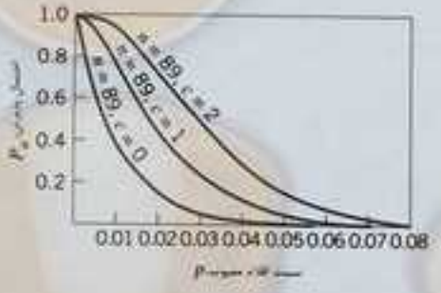
تأثیر n و c بر روی منحنی OC. یک طرح نمونه‌گیری که بتواند به‌طور ایده‌آل انباشته‌های خوب و بد را از یکدیگر تفکیک کند دارای منحنی OC شبیه به شکل ۷-۴ خواهد بود. احتمال پذیرش بر روی این منحنی تا قبل از رسیدن به میزان نسبت اقلام معیوب که "بد" شناخته می‌شود برابر $P_a = ۱/۰۰$ است و بعد از این مرحله احتمال پذیرش به $P_a = ۰/۰۰$ کاهش می‌یابد. اگر بتوان چنین طرح نمونه‌گیری را استفاده کرد آنگاه کلیهٔ انباشته‌هایی که دارای کیفیت خوب هستند پذیرش خواهند شد.

متأسفانه **منحنی OC** در شکل ۷-۴ را تقریباً هرگز نمی‌توان در عمل محقق ساخت. از لحاظ تئوری، در بحث بازرسی ایده‌آل چنین چیزی امکان‌پذیر است البته به شرط اینکه بازرسی عاری از خطا باشد. اگر اندازه نمونه را بتوان افزایش داد آنگاه شکل منحنی OC به سمت منحنی OC ایده‌آل میل خواهد کرد. با توجه به شکل ۷-۵ مشاهده می‌کنیم که شکل منحنی OC با افزایش اندازهٔ نمونه به سمت شکل منحنی OC ایده‌آل میل می‌کند (باید توجه داشت که عدد پذیرش متناسب با اندازهٔ نمونهٔ n در نظر گرفته شده است). بنابراین، میزان دقت یک طرح نمونه‌گیری در تشخیص انباشته‌های خوب از بد با افزایش اندازهٔ نمونه افزایش می‌یابد. هر چه شیب منحنی OC زیادتر باشد قدرت تمایز آن بیشتر می‌شود.



شکل ۷-۵ منحنی‌های OC برای اندازهٔ نمونه‌های متفاوت.

شکل ۷-۶ نحوهٔ تغییر شکل منحنی OC به ازای اعداد پذیرش مختلف را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، با تغییر عدد پذیرش تغییر شدیدی در شیب منحنی OC ایجاد نمی‌شود. هر چه عدد پذیرش کاهش یابد منحنی OC به سمت چپ حرکت می‌کند. طرح‌هایی که دارای مقادیر c کوچک هستند در مقایسه با طرح‌هایی که دارای مقادیر بزرگ c هستند به ازای مقادیر نسبت معیوب کوچک قدرت تمایز بیشتری از خود نشان می‌دهند.



شکل ۷-۶ تأثیر تغییر در عدد پذیرش بر روی منحنی OC.

نقاط خاص بر روی منحنی OC. در بعضی مواقع، مهندس کیفیت علاقه‌مند به بعضی از نقاط خاص بر روی منحنی OC است. تأمین‌کننده معمولاً علاقه‌مند است بداند به ازای چه سطحی از کیفیت فرآیند یا انباشته، احتمال پذیرش زیاد است. به‌عنوان مثال، نقطهٔ مورد نظر تأمین‌کننده ممکن است نقطه‌ای باشد که دارای احتمال پذیرش ۰/۹۵ است. این احتمال پذیرش سبب می‌شود تا سطحی برای میزان نسبت اقلام معیوب فرآیند تعیین شود که به ازای این میزان، احتمال پذیرش انباشته‌ها ۹۵٪ باشد. از طرف دیگر، مصرف‌کننده ممکن است به انتهای دیگر منحنی OC علاقه‌مند باشد. به‌عبارت دیگر، به ازای چه سطحی از کیفیت انباشته یا فرآیند احتمال پذیرش کم است؟

سطح کیفیت قابل قبول (AQL)
پایین‌ترین سطح کیفیت فرایند تأمین‌کننده که از دید مصرف‌کننده به‌عنوان سطح متوسط یک فرایند پذیرفته می‌شود.

در اغلب مواقع، یک مصرف‌کننده می‌خواهد با در نظر گرفتن سطح کیفیت قابل قبول[1] یا AQL، یک طرح نمونه‌گیری پذیرش برای بازرسی مستمر مواد اولیهٔ تأمین‌کننده طراحی کند. کمّیت AQL پایین‌ترین سطح کیفیت تأمین‌کننده را نشان می‌دهد که از دید مصرف‌کننده می‌تواند به‌عنوان سطح متوسط کیفیت قابل قبول در نظر گرفته شود. باید توجه داشت که AQL بستگی به فرایند تولید تأمین‌کننده دارد و ویژگی طرح نمونه‌گیری محسوب نمی‌شود. غالباً مصرف‌کننده روش نمونه‌گیری را طوری طراحی می‌کند که منحنی OC آن در نقطهٔ AQL احتمال پذیرش زیادی داشته باشد. به علاوه، AQL معمولاً به‌عنوان مشخصهٔ فنی محصول یا مقدار هدف برای فرآیند تولید تأمین‌کننده در نظر گرفته نمی‌شود. به‌عبارت دیگر، AQL استانداردی است که انباشته‌ها را می‌توان بر اساس آن ارزیابی کرد و غالباً نیز امیدواریم فرآیند تأمین‌کننده در سطحی از کیفیت عمل کند که به مراتب بهتر از مقدار AQL باشد.

نسبت اقلام معیوب مجاز انباشته (LTPD)
پایین‌ترین سطح کیفیت که مصرف کننده علاقه‌مند است برای یک انباشتهٔ مجزا بپذیرد. همچنین سطح کیفیت قابل رد (RQL) و سطح کیفیت حدی (LQL) نامیده می‌شود.

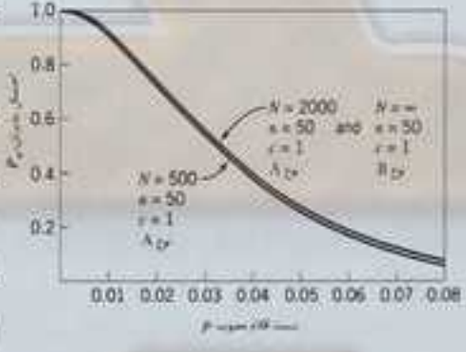
مصرف‌کننده همچنین به انتهای دیگر منحنی OC علاقه‌مند است. در این ناحیه انباشته‌های مجزا که دارای کیفیت نامطلوب هستند به سادگی پذیرش نمی‌شوند. در چنین مواقعی،

1. Acceptable quality level - AQL

مصرف‌کننده **نسبت اقلام معیوب مجاز انباشته**[1] **یا LTPD** را تعریف می‌کند. کمیت LTPD پایین‌ترین سطح کیفیت را نشان می‌دهد که مصرف‌کننده در یک انباشتهٔ مجزا قابل قبول و مجاز می‌داند. باید توجه داشت که نسبت اقلام معیوب مجاز انباشته بستگی به طرح نمونه‌گیری ندارد بلکه آن سطح کیفیت انباشته که به وسیلهٔ مصرف‌کننده مشخص می‌شود را نشان می‌دهد. نام‌های دیگری نیز برای LTPD وجود دارد که عبارتند از: **سطح کیفیت قابل رد**[2] یا **RQL** و **سطح کیفیت حدی**[3] یا **LQL**. طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش را می‌توان طوری طراحی کرد تا در نقطهٔ LTPD احتمال پذیرش خاصی حاصل شود. در بخش‌های بعد مشاهده خواهیم کرد که طرح‌های نمونه‌گیری را چگونه باید طراحی کرد تا در نقاط AQL و LTPD عملکرد خاصی داشته باشند.

منحنی‌های OC نوع A و نوع B. منحنی‌های OC که در مثال‌های قبل بحث شد را منحنی‌های OC نوع B می‌نامند. در رسم این منحنی‌ها فرض شد که نمونه‌ها از انباشته‌ای بزرگ یا مجموعه‌ای از انباشته‌ها که به‌طور تصادفی از فرآیندی انتخاب شده‌اند تهیه می‌شود. در چنین مواقعی، توزیع بینم توزیع دقیق و مناسبی است که می‌توان برای محاسبهٔ احتمال پذیرش انباشته به‌کار برد. این نوع منحنی OC را منحنی OC نوع B می‌نامند.

منحنی OC نوع A را به منظور محاسبهٔ احتمالات پذیرش یک انباشتهٔ مجزا که دارای اندازهٔ محدود است به‌کار می‌برند. فرض کنید اندازهٔ انباشته، اندازهٔ نمونه و عدد پذیرش به ترتیب N، n و c باشد. تحت چنین شرایطی تعداد محصولات معیوب در نمونهٔ انتخاب شده از توزیع فوق هندسی پیروی می‌کند.



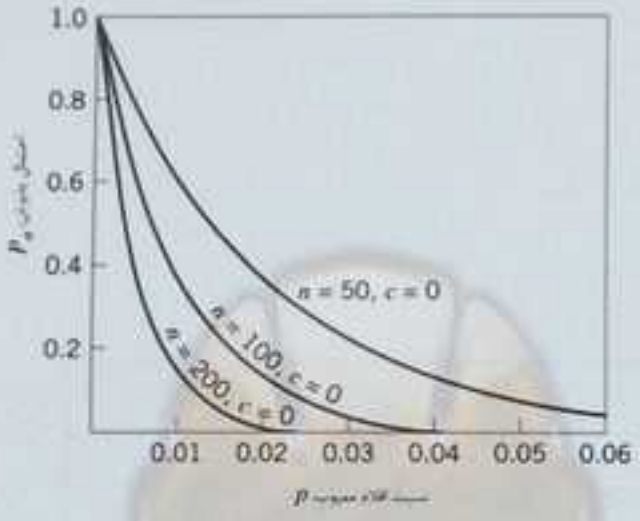
شکل ۷-۷ منحنی‌های OC نوع A و نوع B.

شکل ۷-۷ منحنی OC نوع A را برای یک طرح نمونه‌گیری با $n=۵۰$ ، $c=۱$ و $N=۵۰۰$ نشان می‌دهد. احتمالات پذیرش مربوط به این منحنی OC بر اساس توزیع فوق هندسی محاسبه شده است. در این شکل همچنین منحنی OC نوع A یک طرح نمونه‌گیری با $N=۲۰۰۰$، $n=۵۰$ و $c=۱$ نشان داده شده است. باید توجه داشت که شکل هر دو طرح خیلی به یکدیگر شباهت دارند. به‌طور کلی، افزایش اندازهٔ انباشته اثر کاهشی بر روی منحنی OC دارد. در حقیقت اگر اندازهٔ انباشته حداقل ۱۰ برابر اندازهٔ نمونه باشد منحنی‌های OC نوع A و نوع B غیرقابل تمایز می‌شوند. به‌عنوان مثال، منحنی OC نوع B برای یک طرح نمونه‌گیری با $n=۵۰$ و $c=۱$ در شکل ۷-۶ نیز نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید این طرح دقیقاً بر روی منحنی نوع A طرح $N=۲۰۰۰$ ، $n=۵۰$ و $c=۱$ منطبق می‌شود.

منحنی OC نوع A همیشه در پایین منحنی OC نوع B رسم می‌شود. به‌عبارت دیگر، اگر منحنی OC نوع B به‌عنوان تقریبی برای منحنی OC نوع A استفاده شود آنگاه احتمالات پذیرش محاسبه شده برای منحنی نوع B همیشه بیشتر از احتمالاتی خواهد بود که از طریق منحنی OC نوع A به‌دست می‌آیند. با این حال، میزان این تفاوت موقعی قابل‌ملاحظه است که اندازهٔ انباشته نسبت به اندازهٔ نمونه کوچک باشد. در این کتاب کلیهٔ منحنی‌های OC از نوع B هستند مگر در مواقعی‌که صریحاً استفاده از منحنی OC نوع A عنوان شده باشد.

---

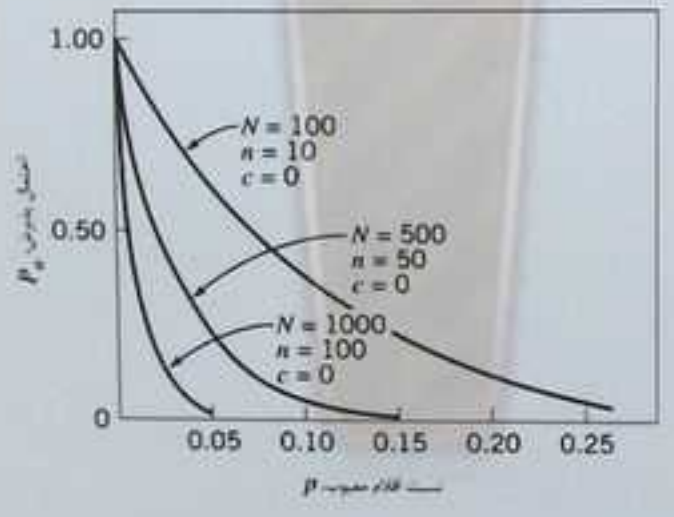
1 - Lot tolerance percent defective - LTPD
2 - Rejectable quality level - RQL
3 - Limiting quality level - LQL



شکل ۷-۸ منحنی‌های OC برای طرح یک بار نمونه‌گیری با $c=0$

سایر جنبه‌های رفتاری منحنی‌های OC. در عمل با دو روش طراحی طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش مواجه می‌شویم که هر کدام دلایل خاصی برای رفتار منحنی OC دارد. به علت مثبت نبودن کلیهٔ این دلایل شاید بهتر باشد که به این دو روش طراحی طرح‌های نمونه‌گیری اشاره شود. یکی از این دو طرح نمونه‌گیری از عدد پذیرش صفر ($c=0$) و دیگری از اندازهٔ نمونه‌ای که درصد خاصی از اندازهٔ انباشته است استفاده می‌کند.

شکل ۷-۸ چند منحنی OC را برای طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش با عدد پذیرش صفر نشان می‌دهد. با مقایسهٔ شکل‌های ۷-۶ و ۷-۸ مشاهده می‌کنیم که منحنی OC طرح‌های نمونه‌گیری با عدد پذیرش صفر خیلی با منحنی OC طرح‌های نمونه‌گیری با عدد پذیرش $c > 0$ تفاوت دارد. به‌طور کلی، شکل منحنی OC طرح‌های نمونه‌گیری که دارای عدد پذیرش صفر هستند به‌صورت محدب است. محدب بودن شکل این منحنی سبب می‌شود تا احتمال پذیرش حتی برای مقادیر کوچک نسبت اقلام معیوب انباشته به شدت کاهش یابد. این وضعیت می‌تواند شرایط را برای تأمین‌کننده بسیار دشوار سازد و حتی در بعضی مواقع نیز می‌تواند برای مصرف‌کننده غیراقتصادی باشد. به‌عنوان مثال، طرح‌های نمونه‌گیری در شکل ۷-۶ را در نظر گیرید. فرض کنید سطح کیفیت قابل‌قبول ۱٪ باشد. این بدین معناست که می‌خواهیم انباشته‌هایی که دارای نسبت اقلام معیوب ۱٪ یا کمتر هستند را پذیرش کنیم. باید توجه داشت که اگر طرح نمونه‌گیری $n=۸۹$ و $c=۱$ استفاده شود احتمال پذیرش در نقطهٔ AQL تقریباً ۰/۷۸ است. از طرف دیگر، اگر از طرح $n=۸۹$ و $c=۰$ استفاده شود، احتمال پذیرش در نقطهٔ AQL تقریباً ۰/۴۱ خواهد بود. به‌عبارت دیگر، اگر عدد پذیرش صفر استفاده شود تقریباً ۶۰٪ انباشته‌هایی که دارای کیفیتی برابر AQL هستند رد می‌شوند. اگر انباشته‌های رد شده به تأمین‌کننده عودت داده شود تعداد زیادی از انباشته‌ها به‌طور غیرضروری به تأمین‌کننده عودت داده خواهد شد و این ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی نظیر ایجاد تأخیر در فرآیند تولید تأمین‌کننده و غیره شود. اگر مصرف‌کننده کلیهٔ انباشته‌های رد شده را مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار دهد تعداد زیادی انباشته با کیفیت قابل قبول مورد بازرسی قرار می‌گیرد. در حقیقت این استفادهٔ ناکارا از منابع نمونه‌گیری است. رویکرد دیگر آن است که از **طرح‌های نمونه‌گیری زنجیره‌ای**[1] به‌عنوان جایگزینی برای طرح‌های نمونه‌گیری با عدد پذیرش صفر استفاده کرد. تحت شرایط خاص، عملکرد طرح‌های نمونه‌گیری زنجیره‌ای به مراتب بهتر از عملکرد طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش با عدد پذیرش $c=۰$ است.



شکل ۷-۹ منحنی‌های OC برای طرح‌های نمونه‌گیری وقتی اندازهٔ نمونهٔ n برابر ۱۰٪ اندازهٔ انباشته در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۷-۹ منحنی‌های OC طرح‌های نمونه‌گیری که اندازهٔ نمونهٔ آنها درصد خاصی از اندازهٔ انباشته است را نشان می‌دهد. یکی از نقاط ضعف عمدهٔ اینگونه طرح‌ها احتمالات پذیرش متفاوتی است که به ازای اندازهٔ نمونه‌های مختلف به‌دست می‌آید. شاید جالب نباشد که هر بار که اندازهٔ انباشته تغییر می‌کند احتمال پذیرش انباشته‌ای که شامل قطعات مهم و حساس است نیز تغییر کند. گرچه این روش نمونه‌گیری قبل از ارائه اصول آماری نمونه‌گیری پذیرش رایج بوده ولی متأسفانه هنوز نیز کاربرد آن به‌طور کامل منسوخ نشده است.

1. Chian – sampling plans- CSP

۷-۲-۳ طراحی یک طرح یک بار نمونه‌گیری با منحنی OC معین

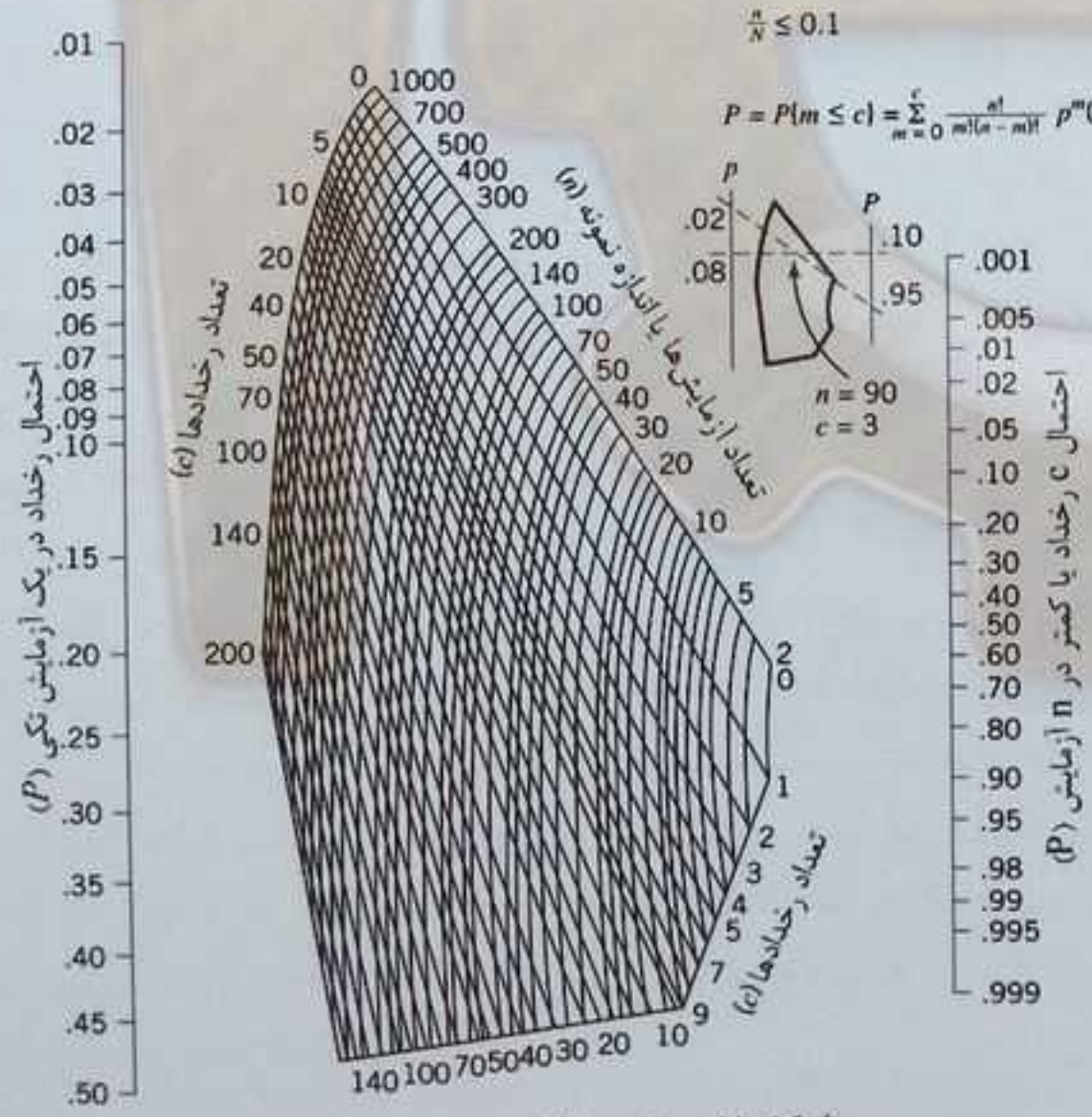
یکی از روش‌های معمول در طراحی یک طرح نمونه‌گیری پذیرش ایجاد الزام گذشتن منحنی OC از دو نقطهٔ تعیین شده است. باید توجه داشت که با یک نقطه نمی‌توان طرح نمونه‌گیری را کاملاً تعیین کرد ولی دو نقطه برای تحقق هدف مورد نظر کافی است. به‌طور کلی تفاوتی ندارد کدام دو نقطه برای این منظور استفاده می‌شود.

فرض کنید می‌خواهیم یک طرح نمونه‌گیری طراحی کنیم به‌طوری که احتمال پذیرش انباشته‌هایی که دارای نسبت اقلام معیوب p_1 هستند برابر $1-\alpha$ و احتمال پذیرش انباشته‌هایی که دارای نسبت اقلام معیوب p_2 هستند برابر β باشد. فرض کنید توزیع بینم توزیع مناسبی برای نمونه‌گیری (با منحنی OC نوع B) باشد. تحت چنین شرایطی اندازهٔ نمونهٔ n و عدد پذیرش c را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$1-\alpha = \sum_{d=0}^{c} \frac{n}{d!(n-d)!} p_1^d (1-p_1)^{n-d}$$

$$\beta = \sum_{d=0}^{c} \frac{n}{d!(n-d)!} p_2^d (1-p_2)^{n-d} \qquad (۳-۷)$$

رابطه‌های فوق با در نظر گرفتن دو نقطه بر روی منحنی OC و توزیع بینم نوشته شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید این دو رابطه غیرخطی هستند و راه حل ساده‌ای برای آنها وجود ندارد.



شکل ۷-۱۰ نموگراف بینم.

نموگراف ارائه شده در شکل ۷-۱۰ را می‌توان برای حل هم زمان این دو رابطه به‌کار برد. روش استفاده از این نمودار بسیار ساده است. ابتدا دو خط بر روی این نمودار که یکی از آنها p_1 و $1-\alpha$ و دیگری p_2 و β را به یکدیگر متصل می‌کنند رسم می‌شود. محل تقاطع این دو خط ناحیه‌ای را مشخص می‌کند که طرح نمونه‌گیری مورد نظر را شامل می‌شود.

مثال ۷-۱ استفاده از نموگراف

به منظور نشان دادن نحوهٔ استفاده از این نمودار فرض کنید می‌خواهیم یک طرح نمونه‌گیری با در نظر گرفتن $p_1 = ۰/۰۱$، $\alpha = ۰/۰۵$، $p_2 = ۰/۰۶$ و $\beta = ۰/۱۰$ طراحی کنیم. با مشخص کردن محل تقاطع دو خطی که نقاط $(p_1 = ۰/۰۱, 1-\alpha = ۰/۹۵)$ و $(p_1 = ۰/۰۶, \beta = ۰/۱۰)$ را بر روی نمودار به یکدیگر متصل می‌سازند به نظر می‌رسد طرح $n=۸۹$ و $c=۲$ دارای منحنی OC باشد که تقریباً از میان این دو نقطه می‌گذرد. بدیهی است که n و c باید اعداد صحیح باشند در این صورت از طریق این روش می‌توان چندین طرح را مشخص کرد که منحنی OC آنها تقریباً از نقاط موردنظر می‌گذرد. به‌عنوان مثال، اگر خط اول را تا رسیدن به خط c که در بالا یا پایین نقطهٔ تقاطع واقع شده است دنبال کنیم دو اندازهٔ نمونهٔ متفاوت حاصل می‌شود و در نتیجه دو طرح خواهیم داشت که هر دو دقیقاً از نقطهٔ p_1 و $1-\alpha$ می‌گذرند ولی ممکن است دقیقاً از نقطهٔ p_2 و β عبور نکنند. همین روش را می‌توان در مورد خط p_2 و β به‌کار برد. نتیجه‌ای که از این دو خط حاصل می‌شود چهار طرح است که تقریباً از دو نقطه تعیین شده بر روی منحنی OC می‌گذرند.

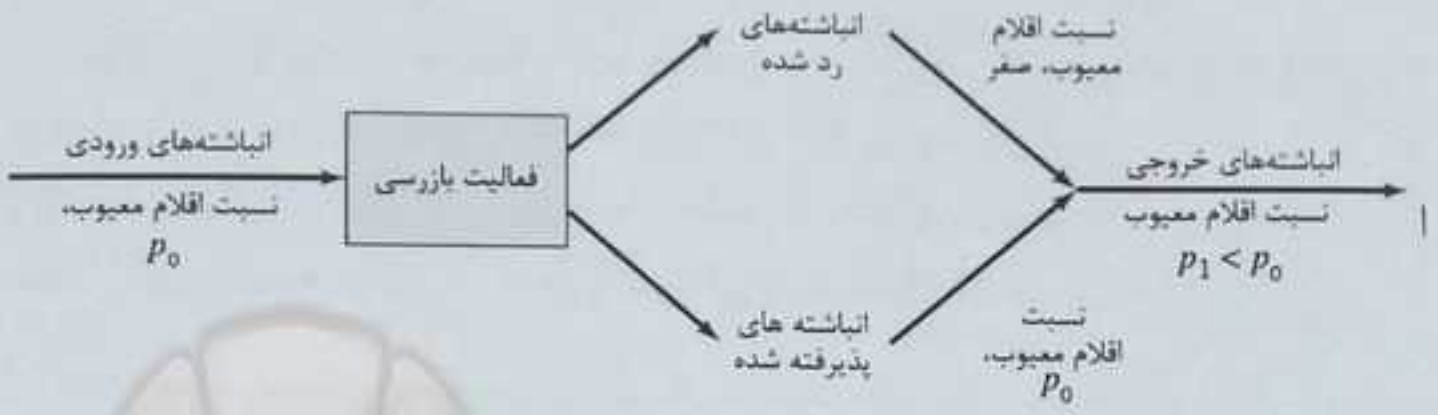
غیر از روش نموداری که برای طراحی طرح‌های نمونه‌گیری با منحنی OC خاص ارائه شد روش‌های دیگری نیز وجود دارد که از طریق جدول می‌توان طرح‌های مورد نظر را طراحی کرد.

گرچه می‌توان هر دو نقطه‌ای از منحنی OC را برای تعیین طرح نمونه‌گیری استفاده کرد ولی در اغلب صنایع از نقاط AQL و LTPD برای این منظور استفاده می‌شود. وقتی‌که سطوح در نظر گرفته شده برای کیفیت انباشته $p_1 = \text{AQL}$ و $p_2 = \text{LTPD}$ باشد نقاط متناظر بر روی منحنی OC را معمولاً به ترتیب نقطهٔ ریسک تولیدکننده و نقطهٔ ریسک مصرف‌کننده می‌نامند. بنابراین، α ریسک تولیدکننده و β ریسک مصرف‌کننده را نشان می‌دهد.

۷-۲-۴ بازرسی اصلاحی

در برنامه‌های نمونه‌گیری پذیرش معمولاً در صورت رد انباشته نیاز است اقدام اصلاحی انجام شود. غالباً در چنین مواقعی انباشته‌های رد شده مورد بازرسی ۱۰۰٪ یا **غربالی** قرار می‌گیرند و اقلام معیوب جداسازی و برای دوباره‌کاری به تأمین‌کننده عودت داده یا با اقلام سالم جایگزین می‌شوند. این برنامه‌های نمونه‌گیری را به علت تأثیری که فعالیت‌های بازرسی بر کیفیت نهایی محصول خروجی دارد **برنامه‌های بازرسی اصلاحی**[1] می‌نامند. این مطلب در شکل ۷-۱۱ نشان داده شده است. فرض کنید انباشته‌های ورودی که مورد بازرسی قرار می‌گیرند دارای نسبت

1. rectifying inspection



شکل ۷-۱۱ بازرسی اصلاحی.

اقلام معیوب p_0 هستند. بعضی از این انباشته‌ها پذیرش و بقیه رد می‌شوند. انباشته‌های رد شده کنترل و نسبت اقلام معیوب آنها صفر می‌شود. نسبت اقلام معیوب انباشته‌های پذیرش شده همان p_0 باقی می‌ماند. نتیجهٔ حاصل از این فعالیت‌های بازرسی، انباشته‌های خروجی است که از ترکیب انباشته‌هایی با نسبت اقلام معیوب p_0 و نسبت اقلام معیوب صفر تشکیل شده‌اند. بنابراین، میزان متوسط نسبت اقلام معیوب انباشته‌های خروجی در بلند مدت p_1 خواهد بود که کوچک‌تر از نسبت اقلام ورودی p_0 است. بنابراین، هدف برنامه‌های بازرسی اصلاحی، اصلاح کردن کیفیت انباشته‌ها است.

برنامه‌های بازرسی اصلاحی در مواردی استفاده می‌شود که تولیدکننده مایل به تعیین سطح متوسط کیفیت در مراحل خاصی از عملیات تولید باشد. بنابراین، برنامه‌های بازرسی اصلاحی یا در بازرسی مواد ورودی، بازرسی حین تولید محصولات نیمه ساخته و یا در بازرسی نهایی محصولات ساخته شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف استفاده از این روش در داخل سازمان کسب اطمینان از میزان متوسط کیفیت موادی است که در مرحلهٔ بعدی فعالیت‌های ساخت استفاده می‌شود.

اقدامات مختلفی را می‌توان در مورد انباشته‌های رد شده انجام داد. بهترین روش ممکن عودت دادن انباشته‌های رد شده به تأمین‌کننده، درخواست کنترل این انباشته‌ها و انجام فعالیت‌های دوباره کاری است. این کار می‌تواند اثر روانی بر تأمین‌کننده داشته باشد و سبب شود تا او در قبال محصولی که دارای کیفیت نامطلوب است احساس مسئولیت کند و شاید او آنقدر تحت فشار قرار گیرد تا مجبور شود فرآیند تولید خود را بهبود دهد و یا روش‌های کنترلی بهتری را در فرآیند تولید به‌کار گیرد. با این حال، در اغلب موارد چون قطعات یا مواد اولیه مورد نیاز است تا وقفه‌ای در برنامه‌های تولید ایجاد نشود، برنامه‌های کنترل و دوباره کاری معمولاً در سازمان مصرف‌کننده انجام می‌شود. بدیهی است که این وضعیت ایده‌آلی نیست.

معیار متوسط کیفیت خروجی[1] به‌طور گسترده برای ارزیابی طرح‌های نمونه‌گیری اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. متوسط کیفیت خروجی، سطح کیفیت انباشته که در نتیجهٔ استفاده از بازرسی اصلاحی حاصل می‌شود را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، متوسط کیفیت خروجی را می‌توان اینطور تعریف کرد که اگر انباشته‌هایی از فرآیندی که دارای نسبت اقلام معیوب p است

1. Average outgoing quality -AOQ

تهیه و مورد بازرسی اصلاحی قرار گیرد آنگاه سطح متوسط کیفیت انباشته که در بلند مدت حاصل می‌شود را متوسط کیفیت خروجی می‌نامند. با در نظر گرفتن تعریف فوق می‌توان به راحتی رابطه‌ای برای محاسبهٔ متوسط کیفیت خروجی یا AOQ تهیه کرد. فرض کنید اندازهٔ انباشته N است و کلیهٔ واحدهای بد با خوب جایگزین می‌شود. در این صورت

۱- بعد از انجام بازرسی، n واحد که نمونه را تشکیل می‌دهد به علت جایگزین کردن اقلام بد با خوب فاقد معیوب خواهد بود.

۲- اگر انباشته رد شود، $N-n$ واحد فاقد معیوب خواهد بود.

۳- اگر انباشته پذیرش شود، $N-n$ واحد دارای میزان متوسط $p(N-n)$ معیوب خواهد بود.

بنابراین، تعداد متوسط اقلام معیوب در مرحلهٔ خروجی فرآیند بازرسی برابر $P_a p(N-n)$ خواهد بود که می‌توان آن را به‌صورت متوسط نسبت اقلام معیوبی که اصطلاحاً متوسط کیفیت خروجی نامیده می‌شود بیان کرد:

$$\mathrm{AOQ} = \frac{P_a p(N-n)}{N} \qquad (۴-۷)$$

مثال ۷-۲ محاسبهٔ AOQ

به منظور استفاده از رابطهٔ (۷-۴)، فرض کنید $N=۱۰,۰۰۰$ ، $n=۸۹$ و $c=۲$ و انباشته‌های ورودی دارای کیفیت $p=۰/۰۱$ باشد. احتمال پذیرش به ازای $p=۰/۰۱$ برابر $P_a = ۰/۹۳۹۷$ است. در این صورت،

$$\mathrm{AOQ} = \frac{P_a p(N-n)}{N}$$
$$= \frac{(۰/۹۳۹۷)(۰/۰۱)(۱۰,۰۰۰-۸۹)}{۱۰,۰۰۰}$$
$$= ۰/۰۰۹۳$$

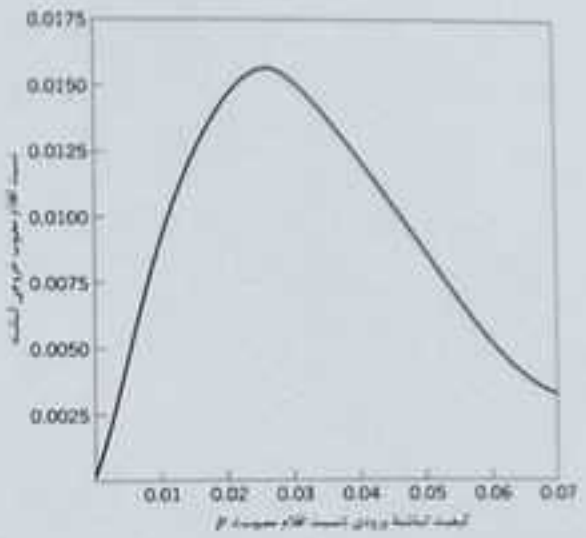
به‌عبارت دیگر، متوسط کیفیت خروجی نسبت اقلام معیوب ۰/۹۳ درصد خواهد بود.

با توجه به رابطهٔ (۷-۴) اگر N نسبت به n بزرگ باشد آنگاه می‌توان رابطهٔ AOQ را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\mathrm{AOQ} = P_a p \qquad (۵-۷)$$

تحت چنین شرایطی متوسط کیفیت خروجی با تغییر نسبت اقلام معیوب انباشته‌های ورودی تغییر خواهد کرد. اگر متوسط کیفیت خروجی برحسب کیفیت انباشتهٔ ورودی رسم شود نمودار حاصل را منحنی AOQ می‌نامند. شکل ۷-۱۲ منحنی AOQ را برای طرح نمونه‌گیری $n=۸۹$ و $c=۲$ نشان می‌دهد. با بررسی این منحنی مشاهده می‌کنیم که وقتی کیفیت انباشتهٔ ورودی بسیار خوب است متوسط کیفیت خروجی نیز بسیار خوب خواهد بود. برعکس وقتی‌که کیفیت انباشتهٔ

ورودی بسیار بد است اغلب انباشته‌ها رد و بازرسی می‌شوند که در این صورت سطح کیفیت انباشته‌های خروجی بسیار خوب خواهد بود. بین این دو نقطهٔ حدی، AOQ به حداکثر مقدار خود می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. حداکثر مقدار AOQ بیانگر بدترین میزان متوسط کیفیتی است که در نتیجهٔ استفاده از بازرسی اصلاحی حاصل می‌شود. این میزان متوسط کیفیت را **حد متوسط کیفیت خروجی**[1] یا AOQL می‌نامند. با بررسی شکل ۷-۱۲ مشاهده می‌کنیم که مقدار AOQL تقریباً برابر ۰/۰۱۵۵ است. به‌عبارت دیگر، به هر میزان که نسبت اقلام معیوب انباشته‌های ورودی بد باشد هیچ‌گاه میزان متوسط کیفیت انباشته‌های خروجی از ۱/۵۵ درصد معیوبی تجاوز نخواهد کرد. باید بر این نکته تأکید شود که این مقدار AOQL یک مقدار متوسط برای سطح کیفیت در بلندمدت را نشان می‌دهد و به هیچ عنوان این اطمینان را فراهم نمی‌سازد که یک انباشتهٔ مجزا نمی‌تواند کیفیتی بدتر از ۱/۵۵ درصد معیوبی داشته باشد.



شکل ۷-۱۲ منحنی متوسط کیفیت خروجی برای $n=89$ و $c=2$

حد متوسط کیفیت خروجی
به‌خاطر بسپارید که AOQL یک حد متوسط کیفیت در میان تعداد زیادی انباشته است.

معیار مهم دیگری که در رابطهٔ با بازرسی اصلاحی وجود دارد تعداد کل اقلام بازرسی شده در یک برنامهٔ نمونه‌گیری است. اگر اقلام معیوبی در انباشته‌ها وجود نداشته باشد هیچ‌کدام از انباشته‌ها رد نخواهد شد و تعداد بازرسی‌های انجام شده برابر اندازهٔ نمونهٔ n خواهد بود. اگر کلیهٔ اقلام انباشته معیوب باشد همهٔ انباشته‌ها مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار می‌گیرند و تعداد بازرسی‌های انجام شده در هر انباشته برابر اندازهٔ انباشتهٔ N خواهد بود. اگر کیفیت انباشته در ناحیهٔ بین صفر و یک ($0 < p < 1$) قرار داشته باشد آنگاه متوسط تعداد بازرسی‌هایی که در یک انباشته انجام می‌شود بین اندازهٔ نمونهٔ n و اندازهٔ انباشتهٔ N خواهد بود. اگر کیفیت انباشتهٔ p و احتمال پذیرش آن p_a باشد **آنگاه متوسط کل بازرسی**[2] یا ATI در هر انباشته برابر خواهد بود با

$$\text{ATI} = n + (1 - p_a)(N - n) \qquad (۶-۷)$$

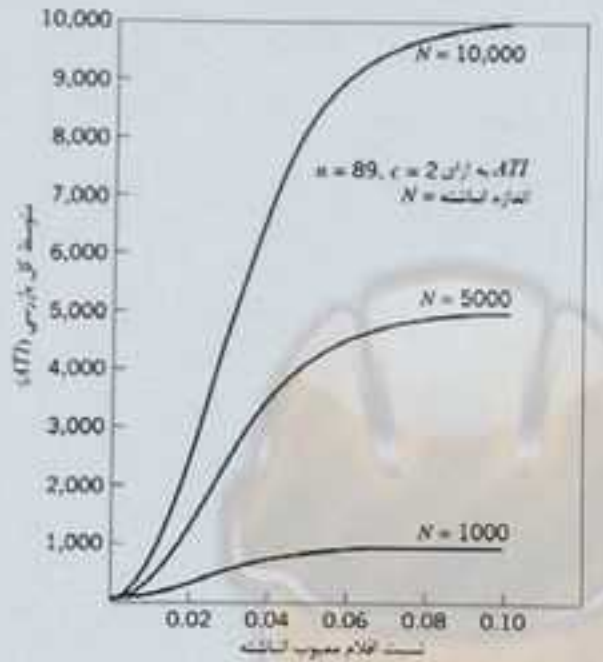
مثال ۷-۳ محاسبهٔ ATI

به منظور نشان دادن نحوهٔ استفاده از رابطهٔ (۶-۷)، طرح $N=10,000$ ، $n=89$، $c=2$ و $p=0/01$ را در نظر گیرید. احتمال پذیرش برای این طرح برابر $P_a = 0/9397$ است که در این صورت

$$\begin{aligned}\text{ATI} &= n + (1 - P_a)(N - n)\\ &= 89 + (1 - 0/9397)(10,000 - 89)\\ &= 687\end{aligned}$$

به‌عبارت دیگر، اگر انباشته‌هایی که نسبت اقلام معیوب آنها $p=0/01$ است مورد بازرسی قرار گیرند آنگاه در بلند مدت از هر انباشته به‌طور متوسط حدوداً ۶۸۷ محصول بازرسی خواهد شد.

1. average outgoing quality limit
2. Average total inspection - ATI



شکل ۷-۱۳ منحنی‌های متوسط کل بازرسی برای طرح نمونه‌گیری $n=۸۹$ و $c=۲$

از آنجایی‌که ATI تابعی از نسبت اقلام معیوب انباشته است می‌توان منحنی متوسط کل بازرسی را برحسب کیفیت انباشته رسم کرد. شکل ۷-۱۳ منحنی‌های متوسط کل بازرسی را برای طرح نمونه‌گیری $n=۸۹$ و $c=۲$ و اندازهٔ انباشته‌های ۱۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰،۰۰۰ نشان می‌دهد.

معیار AOQL یکی از مشخصه‌های مهم یک طرح بازرسی اصلاحی محسوب می‌شود. این امکان وجود دارد که بتوان طرح بازرسی اصلاحی را طوری طراحی کرد که طرح مورد نظر دارای AOQL خاصی باشد. با این حال، مشخص کردن مقدار AOQL به تنهایی برای تعیین یک طرح نمونه‌گیری منحصر به فرد کافی نخواهد بود. بنابراین، معمولاً طرحی انتخاب می‌شود که دارای AOQL مورد نظر باشد و همچنین به ازای سطح خاصی از کیفیت انباشته حداقل مقدار را برای ATI نتیجه دهد. سطح کیفیتی که معمولاً انتخاب می‌شود همان کیفیت معمول انباشته‌های ورودی است که غالباً آن را متوسط کیفیت فرآیند می‌نامند. به‌طور کلی، ضرورتی وجود ندارد که بخواهیم تمامی مراحل بحث شده در این دستورالعمل‌ها را برای تعیین طرح دنبال کنیم زیرا داج و رومیگ[1] جداولی تهیه کرده‌اند که می‌توان برای تعیین طرح‌هایی که ATI را به ازای مقادیر خاصی از متوسط کیفیت فرآیند p و AOQL کمینه می‌کنند استفاده کرد. روش استفاده از این جداول در بخش ۷-۵ توضیح داده شده است.

این امکان نیز وجود دارد که بتوان برنامهٔ بازرسی اصلاحی را طوری طراحی کرد که در نقطهٔ LTPD میزان اطمینان خاصی حاصل و به‌طور هم‌زمان متوسط کل بازرسی به ازای مقدار خاصی از متوسط کیفیت فرآیند P کمینه شود. جداول بازرسی نمونه‌گیری داج – رومیگ امکان تهیهٔ طرح‌های LTPD را نیز فراهم می‌سازد. در بخش ۷-۵ روش استفاده از جداول داج - رومیگ برای تعیین طرح‌هایی که دارای LTPD خاصی هستند توضیح داده خواهد شد.

پارامترهای طرح دو بار نمونه‌گیری

n_1 = اندازهٔ نمونهٔ اول

c_1 = عدد پذیرش برای نمونهٔ اول

n_2 = اندازهٔ نمونهٔ دوم

c_2 = عدد پذیرش برای هر دو نمونه

۷-۳ طرح‌های دوبار و چندبار نمونه‌گیری و نمونه‌گیری پی‌درپی

طرح‌های نمونه‌گیری مفید دیگری نیز برای مشخصه‌های وصفی وجود دارد. این طرح‌ها شامل طرح‌های دو بار نمونه‌گیری[2]، طرح‌های چند بار نمونه‌گیری[3] و طرح‌های نمونه‌گیری پی‌درپی[4] می‌شود. در این بخش روش طراحی و استفاده از این طرح‌های نمونه‌گیری بحث خواهد شد.

۷-۳-۱ طرح‌های دو بار نمونه‌گیری

یک طرح دو بار نمونه‌گیری روشی را ارائه می‌کند که تحت شرایط خاصی نمونهٔ دوم انتخاب و سپس تصمیم گرفته می‌شود که آیا انباشته رد یا پذیرش شود. یک طرح دو بار نمونه‌گیری دارای چهار پارامتر است.

مثال ۷-۴ تشریح یک طرح دو بار نمونه‌گیری

فرض کنید $n_1 = ۵۰,\ c_1 = ۱,\ n_2 = ۱۰۰,\ c_2 = ۳$ باشد. در این صورت، یک نمونهٔ تصادفی به اندازهٔ $n_1 = ۵۰$ از انباشته انتخاب و تعداد اقلام معیوب نمونه d_1 شمارش می‌شود.

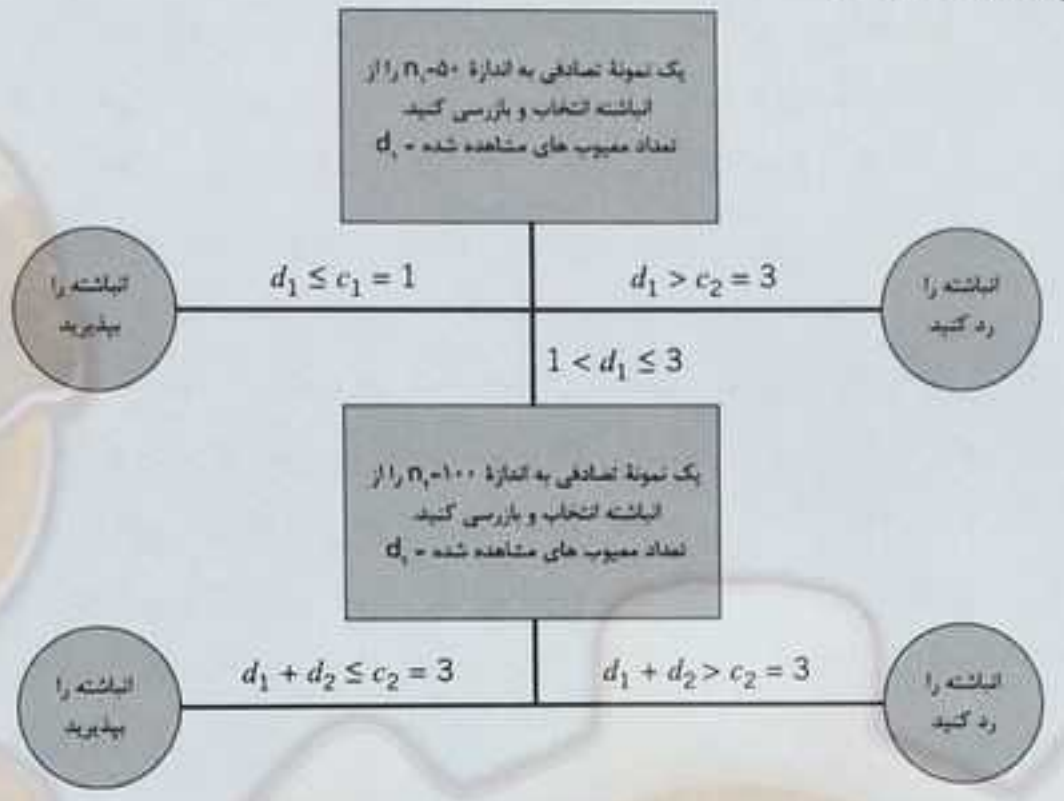
اگر $d_1 \le c_1 = ۱$ باشد، انباشته بر اساس نمونهٔ اول پذیرش می‌شود. اگر $d_1 > c_2 = ۳$ باشد، انباشته بر اساس نمونهٔ اول رد می‌شود.

اگر $c_1 < d_1 \le c_2$ باشد، نمونهٔ تصادفی دوم به اندازهٔ $n_2 = ۱۰۰$ از انباشته انتخاب و تعداد اقلام معیوب آن d_2 شمارش می‌شود.

---

1. dodge and roming
2. double sampling plans
3. multiple sampling plans
4. sequential sampling plans

در این مرحله از مجموع اقلام معیوب در هر دو نمونه یا d_1+d_2 برای نتیجه‌گیری در مورد انباشته استفاده می‌شود. اگر $d_1+d_2\le c_2=3$ باشد انباشته پذیرش و اگر $d_1+d_2>c_2=3$ باشد انباشته رد می‌شود. روش نموداری استفاده از طرح دو بار نمونه‌گیری در شکل ۷-۱۴ نشان داده شده است.



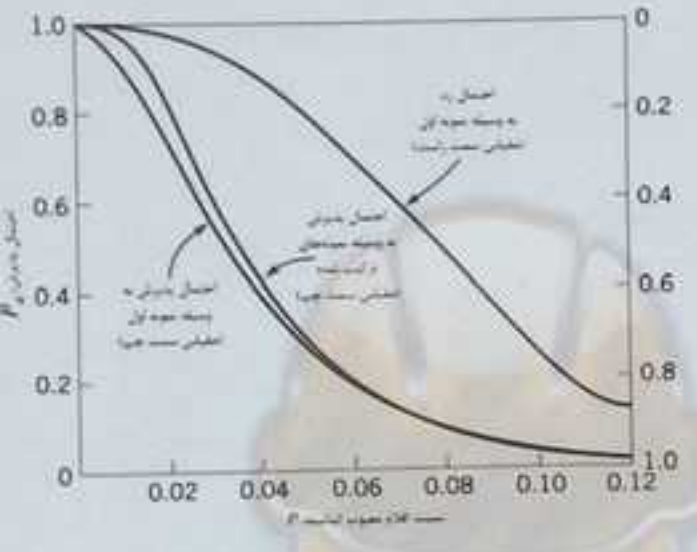
شکل ۷-۱۴ روش اجرای طرح دو بار نمونه‌گیری $c_2=3\ ,\ n_2=100\ ,\ c_1=1\ ,\ n_1=50$

برتری اصلی یک طرح دو بار نمونه‌گیری نسبت به یک طرح یک بار نمونه‌گیری امکان کاهش تعداد کل بازرسی‌های مورد نیاز است. فرض کنید در یک طرح دو بار نمونه‌گیری نمونهٔ اول کوچک‌تر از نمونه‌ای باشد که از یک طرح یک بار نمونه‌گیری معادل (اطمینان یکسان برای مصرف‌کننده) به‌دست می‌آید. در چنین شرایطی اگر انباشته بر اساس نمونهٔ اول پذیرش یا رد شود هزینهٔ بازرسی برای طرح دو بار نمونه‌گیری کمتر از طرح یک بار نمونه‌گیری خواهد بود. این امکان نیز وجود دارد که یک انباشته بدون بازرسی کامل نمونهٔ دوم رد شود (این روش را بازرسی کوتاه شده[1] در نمونهٔ دوم می‌نامند). بنابراین، استفاده از طرح‌های دو بار نمونه‌گیری در اغلب مواقع باعث کاهش هزینه کل بازرسی می‌شود. از طرف دیگر، در بعضی مواقع یک طرح دو بار نمونه‌گیری می‌تواند با توجه به فراهم ساختن فرصت مجددی برای انباشته از یک مزیت روحی نسبی نیز برخوردار باشد. این موضوع می‌تواند از دید تأمین‌کننده مطلوب به نظر رسد. با این حال، باید توجه داشت که از این منظر طرح‌های دو بار نمونه‌گیری و یک بار نمونه‌گیری نمی‌توانند بر یکدیگر ارجحیت داشته باشند زیرا می‌توان این طرح‌ها را طوری طراحی کرد تا منحنی OC آنها یکسان باشد. بنابراین، هر دو طرح می‌توانند ریسک‌های یکسانی را برای پذیرش و رد انباشته‌هایی فراهم سازند که از کیفیت خاصی برخوردار هستند.

طرح‌های دو بار نمونه‌گیری می‌توانند دارای دو ضعف بالقوه باشند. ابتدا اینکه تعداد کل بازرسی در طرح‌های دو بار نمونه‌گیری تحت شرایط خاصی می‌تواند بیشتر از طرح‌های یک بار نمونه‌گیری معادل باشد مگر اینکه از بازرسی کوتاه شده در نمونهٔ دوم استفاده شود. دوم اینکه طرح‌های دو بار نمونه‌گیری از لحاظ اجرایی پیچیده‌تر از طرح‌های یک بار نمونه‌گیری هستند و

بعضی از مؤلفان نمادهای $Re_2=Ac_2+1$, Ac_2, n_2, Re_1, Ac_1, n_1 را ترجیح می‌دهند. از آنجایی که عدد رد در نمونهٔ اول Re_1 لزوماً برابر Re_2 نیست لذا این باعث ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتری در طراحی طرح‌های دو بار نمونه‌گیری می‌شود. استانداردهای نظامی MIL STD 105E و ANSI/ASQC Z1.4 از این نمادگذاری استفاده می‌کنند. از آنجایی‌که فرض $Re_1 = Re_2$ تأثیر جدی بر طرح‌های حاصل نخواهد داشت لذا این سیستم نسبتاً ساده‌تر تشریح می‌شود.

1. curtailment



شکل ۷-۱۵ منحنی‌های OC برای طرح دو بار نمونه‌گیری، $c_2 = ۳, n_2 = ۱۰۰, c_1 = ۱, n_1 = ۵۰$

این می‌تواند خطاهای بازرسی را افزایش دهد. از طرف دیگر، امکان بروز مشکلات نگهداری و حمل و نقل مواد اولیه و قطعات در طول زمانی که نمونهٔ اول انتخاب شده و منتظر انتخاب نمونهٔ دوم و اتخاذ تصمیم در مورد رد یا پذیرش انباشته هستیم وجود خواهد داشت.

منحنی OC. عملکرد یک طرح دو بار نمونه‌گیری را می‌توان به راحتی از طریق منحنی مشخصهٔ عملکرد یا OC آن خلاصه کرد. محاسبات مورد نیاز برای رسم نمودار OC یک طرح دو بار نمونه‌گیری قدری پیچیده‌تر از یک طرح یک بار نمونه‌گیری است. در این بخش روش انجام محاسبات و رسم منحنی‌های OC نوع B برای طرح‌های دو بار نمونه‌گیری توضیح داده خواهد شد. یک طرح دو بار نمونه‌گیری دارای یک منحنی OC اصلی است که احتمال پذیرش را بر حسب تابعی از کیفیت انباشته یا متوسط کیفیت فرآیند نشان می‌دهد. این منحنی همچنین دارای منحنی‌های OC مکمل است که احتمال پذیرش و رد انباشته را بر اساس نمونهٔ اول نشان می‌دهند. منحنی OC برای احتمال رد نمونهٔ اول همان منحنی OC برای طرح یک بار نمونه‌گیری با $n = n_1$ و $c = c_1$ است. منحنی‌های OC اصلی و مکمل برای طرح $c_2 = ۳ , n_2 = ۱۰۰ , c_1 = ۱ , n_1 = ۵۰$ در شکل ۷-۱۵ نشان داده شده است.

مثال ۷-۵ محاسبهٔ منحنی OC برای یک طرح دو بار نمونه‌گیری

حال طرح $n_1 = ۵۰ , c_1 = ۱ , n_2 = ۱۰۰ , c_2 = ۳$ را در نظر گیرید. اگر احتمال پذیرش انباشته به وسیلهٔ هر دو نمونه را با P_a و احتمالات پذیرش به وسیلهٔ نمونهٔ اول و نمونهٔ دوم را به ترتیب با P_a^I و P_a^{II} نشان دهیم آنگاه

$$P = P_a^I + P_a^{II}$$

در این صورت P_a^I احتمال مشاهدهٔ $d_1 \le c_2 = ۱$ واحد معیوب در نمونهٔ تصادفی $n_1 = ۵۰$ است. بنابراین،

$$P_a^I = \sum_{d_1=۰}^{۱} \frac{۵۰!}{d_1!(۵۰-d_1)!} P^{d_1}(۱-P)^{۵۰-d_1}$$

اگر نسبت اقلام معیوب انباشته ورودی $p=۰/۰۵$ باشد آنگاه

$$P_a^I = \sum_{d_1=۰}^{۱} \frac{۵۰!}{d_1!(۵۰-d_1)!}(۰/۰۵)^{d_1}(۰/۹۵)^{۵۰-d_1} = ۰/۲۷۹$$

به منظور محاسبهٔ احتمال پذیرش به وسیلهٔ نمونهٔ دوم باید تمامی ترکیب‌هایی که برای انتخاب نمونهٔ دوم وجود دارد را در نظر گرفت. نمونهٔ دوم فقط موقعی انتخاب می‌شود که دو یا سه واحد معیوب $(c_1 < d_1 \le c_2)$ در نمونهٔ اول وجود داشته باشد. انباشته به وسیلهٔ نمونهٔ دوم پذیرش می‌شود:

۱- اگر $d_1 = ۲$ و $d_2 = ۰$ یا $d_2 = ۱$ و یا به‌عبارت دیگر دو واحد معیوب در نمونهٔ اول و یک واحد یا کمتر معیوب در نمونهٔ دوم وجود داشته باشد. احتمال این ترکیب برابر است با

$$P\{d_1 = ۲, d_2 \le ۱\} = P\{d_1 = ۲\}.P\{d_2 \le ۱\}$$

$$= \frac{۵۰!}{۲!۴۸!}(۰/۰۵)^{۲}(۰/۹۵)^{۴۸} \sum_{d_2=۰}^{۱} \frac{۱۰۰!}{d_2!(۱۰۰-d_2)!}(۰/۰۵)^{d_2}(۰/۹۵)^{۱۰۰-d_2}$$

$$= (۰/۲۶۱)(۰/۰۳۷)$$

$$= ۰/۰۰۹۷$$

۲- اگر $d_1 = ۳$ و $d_2 = ۰$ و یا به‌عبارت دیگر سه واحد معیوب در نمونهٔ اول و صفر واحد معیوب در نمونهٔ دوم وجود داشته

باشد، احتمال این ترکیب برابر است با

$$P\{d_1 = ۳, d_2 = ۰\} = P\{d_1 = ۳\}.P\{d_2 = ۰\}$$
$$= \frac{۵۰!}{۳!۴۷!}(۰/۰۵)^{۳}(۰/۹۵)^{۴۷}\frac{۱۰۰!}{۰!۱۰۰!}(۰/۰۵)^{۰}(۰/۹۵)^{۱۰۰}$$
$$= (۰/۲۲۰)(۰/۰۰۵۹)$$
$$= ۰/۰۰۱$$

بنابراین، احتمال پذیرش به وسیلهٔ نمونهٔ دوم برابر است با

$$P_a^{II} = P\{d_1 = ۲, d_2 \le ۱\} = P\{d_1 = ۳, d_2 = ۰\}$$
$$= ۰/۰۰۹۷ + ۰/۰۰۱ = ۰/۰۱۰۷$$

بنابراین، احتمال پذیرش انباشته‌ای با نسبت اقلام معیوب $p = ۰/۰۵$ برابر خواهد بود با

$$P_a = P_a^{I} + P_a^{II}$$
$$= ۰/۲۷۹ + ۰/۰۱۰۷ = ۰/۲۸۹۷$$

محاسبات مربوط به سایر نقاط منحنی OC نیز به همین صورت انجام می‌شود.

منحنی متوسط تعداد نمونه[1]. یکی از منحنی‌های دیگر که می‌تواند برای مهندس کیفیت مفید باشد منحنی متوسط تعداد نمونه یا ASN طرح‌های دو بار نمونه‌گیری است. در طرح‌های یک بار نمونه‌گیری اندازهٔ نمونه‌ای که بازرسی می‌شود همیشه ثابت است ولی در طرح‌های دو بار نمونه‌گیری اندازهٔ نمونه‌ای که بازرسی می‌شود بستگی به این دارد که آیا نمونهٔ دوم نیاز است یا خیر. احتمال نیاز به نمونهٔ دوم با نسبت اقلام معیوب انباشتهٔ ورودی تغییر می‌کند. اگر در طرح‌های دوبار نمونه‌گیری، نمونهٔ دوم تحت شرایط بازرسی کوتاه شده بازرسی نشود، آنگاه متوسط اندازهٔ نمونه برابر خواهد بود با اندازهٔ نمونهٔ اول ضرب در احتمال نیاز به یک نمونه به اضافهٔ مجموع دو نمونه ضرب در احتمال نیاز به نمونهٔ دوم. بنابراین، در طرح‌های دوبار نمونه‌گیری موقعی‌که بازرسی کوتاه شده استفاده نمی‌شود، رابطهٔ کلی زیر را می‌توان برای محاسبهٔ متوسط تعداد نمونه به‌کار برد:

$$\begin{aligned} \text{ASN} &= n_1 P_I + (n_1 + n_2)(1 - P_I) \\ &= n_1 + n_2(1 - P_I) \end{aligned} \qquad (۷-۷)$$

در رابطهٔ فوق، P_I احتمال نتیجه‌گیری به وسیلهٔ نمونهٔ اول را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر

$$P_I = P\{\text{رد انباشته به وسیلهٔ نمونهٔ اول}\} + P\{\text{پذیرش انباشته به وسیلهٔ نمونهٔ اول}\}$$

اگر رابطهٔ (۷-۷) را به ازای مقادیر مختلف نسبت اقلام معیوب p ارزیابی و مقادیر حاصل را برحسب p رسم کنیم آنگاه نمودار حاصل را منحنی متوسط تعداد نمونه[2] می‌نامند.

---
1. Average sample number - ASN
2. average sample number curve

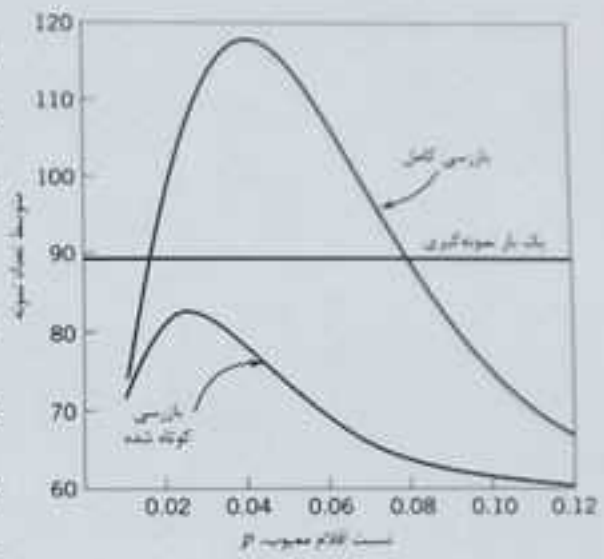
در عمل زمانی‌که نمونهٔ دوم در حال بازرسی است، اگر مجموع واحدهای معیوب در دو نمونه از عدد پذیرش c_2 بیشتر شود بازرسی نمونهٔ دوم نا تمام رها خواهد شد. این نوع بازرسی را بازرسی کوتاه شده در نمونهٔ دوم می‌نامند. بازرسی کوتاه شده سبب می‌شود تا متوسط تعداد نمونه در طرح‌های دو بار نمونه‌گیری کاهش یابد. معمولاً از آنجایی‌که می‌خواهیم با استفاده از اندازهٔ نمونهٔ ثابتی کیفیت فرآورده‌های تأمین شده توسط تأمین کننده‌ای را برآورد کنیم پیشنهاد می‌شود از بازرسی کوتاه شده در یک بار نمونه‌گیری یا نمونهٔ اول دو بار نمونه‌گیری استفاده نشود. اگر بازرسی کوتاه شده در یک بار نمونه‌گیری یا نمونهٔ اول دو بار نمونه‌گیری استفاده شود آنگاه برآوردی که برای نسبت اقلام معیوب انباشته یا فرآیند به‌دست می‌آید اریب خواهد بود. به‌عنوان مثال، فرض کنید عدد پذیرش برابر یک باشد. اگر دو واحد اول نمونه معیوب باشد، طبق بازرسی کوتاه شده بازرسی خاتمه یافته و نسبت اقلام معیوب فرآیند یا انباشته ۱۰۰٪ برآورد می‌شود. بر اساس این اطلاعات حتی افراد یا مهندسانی که هیچگونه آموزش آماری نداشته‌اند باور نخواهند کرد که ۱۰۰٪ انباشته معیوب است.

ASN مربوط به طرح‌های دو بار نمونه‌گیری که از بازرسی کوتاه شده در نمونهٔ دوم استفاده می‌کنند را می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

$$\mathrm{ASN} = n_1 + \sum_{j=c_1+1}^{c_2} P(n_1, j)\left[n_2 P_L(n_2, c_2 - j) + \frac{c_2 - j + 1}{p} P_M(n_2 + 1, c_2 - j + 2)\right] \qquad (۸-۷)$$

در رابطهٔ (۸-۷)، $P(n_1, j)$ احتمال مشاهدهٔ j واحد معیوب در نمونه‌ای به اندازهٔ n_1، $P_L(n_2, c_2 - j)$ احتمال مشاهدهٔ $c_2 - j$ واحد یا کمتر معیوب در نمونه‌ای به اندازهٔ n_2 و $P_M(n_2 + 1, c_2 - j + 2)$ احتمال مشاهدهٔ $c_2 - j + 2$ واحد معیوب در نمونه‌ای به اندازهٔ $n_2 + 1$ را نشان می‌دهد.

شکل ۷-۱۶ منحنی‌های متوسط تعداد نمونه را برای بازرسی کامل و کوتاه شدهٔ طرح دو بار نمونه‌گیری $n_1 = 60$ ، $c_1 = 2$ ، $n_2 = 120$ ، $c_2 = 3$ و متوسط تعداد نمونهٔ طرح یک بار نمونه‌گیری $n=89$ و $c=2$ نشان می‌دهد. بدیهی است که اندازهٔ نمونه در طرح‌های یک بار نمونه‌گیری ثابت است. طرح دوبار نمونه‌گیری فوق به دلیل دارا بودن منحنی OC تقریباً یکسان با طرح یک بار نمونه‌گیری $n=89$ و $c=2$ انتخاب شده است. به‌عبارت دیگر، هر دو طرح حدوداً اطمینان یکسانی را برای مصرف‌کننده و تولیدکننده فراهم می‌سازند. با توجه به شکل ۷-۱۶ مشاهده می‌کنیم که منحنی ASN طرح دو بار نمونه‌گیری که از بازرسی کامل استفاده می‌کند در کل بازهٔ نسبت اقلام معیوب انباشته کمتر از اندازهٔ نمونهٔ طرح یک بار نمونه‌گیری نیست. اگر انباشته‌ها دارای کیفیت بسیار خوب باشند معمولاً آنها به وسیلهٔ نمونهٔ اول پذیرش می‌شوند در حالی که اگر کیفیت انباشته‌ها بسیار بد باشد، انباشته‌ها به وسیلهٔ نمونهٔ اول رد می‌شوند. بنابراین، در طرح دو بار نمونه‌گیری اگر کیفیت انباشته بسیار خوب یا بسیار بد باشد، ASN حاصل کمتر از اندازهٔ نمونهٔ طرح یک بار نمونه‌گیری معادل آن خواهد بود. اگر انباشته‌ها دارای کیفیت متوسط



شکل ۷- ۱۶ منحنی‌های متوسط تعداد نمونه برای طرح‌های یک بار و دو بار نمونه‌گیری.

باشند آنگاه در اغلب موارد برای تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد انباشته‌ها انتخاب نمونهٔ دوم ضروری خواهد بود. اگر کیفیت انباشته در این بازه قرار داشته باشد، طرح دوبار نمونه‌گیری از منظر ASN عملکردی به مراتب بدتر از طرح یک بار نمونه‌گیری نشان خواهد داد.

مثال فوق بیانگر این نکتهٔ مهم است که استفاده از طرح دو بار نمونه‌گیری باید با دقت انجام شود. به‌عبارت دیگر، باید اطمینان حاصل شود که کیفیت فرآیند یا انباشته در بازه‌ای قرار دارد که طرح دو بار نمونه‌گیری مؤثر واقع می‌شود در غیر این صورت برتری‌های اقتصادی طرح‌های دو بار نمونه‌گیری نسبت به طرح‌های یک بار نمونه‌گیری از بین خواهد رفت. شاید بهتر آن باشد که برآورد مستمری از نسبت اقلام معیوب انباشته یا فرآیند وجود داشته باشد تا در صورت تغییر این مقدار به دامنه‌ای که دیگر طرح دو بار نمونه‌گیری در آن دامنه مقرون به صرفه نیست بتوانیم طرح دو بار نمونه‌گیری را به طرح یک بار نمونه‌گیری (یا هر راهبرد مناسب دیگر) تغییر دهیم. راه حل دیگر ثبت تعداد دفعاتی است که از نمونهٔ دوم برای تصمیم‌گیری استفاده شده است.

همچنین شکل ۷-۱۶ منحنی ASN را زمانی‌که بازرسی کوتاه شده در نمونهٔ دوم استفاده می‌شود نشان می‌دهد. باید توجه داشت که اگر بازرسی کوتاه شده استفاده شود منحنی متوسط تعداد نمونه برای طرح دو بار نمونه‌گیری همیشه در پایین اندازهٔ نمونهٔ طرح یک بار نمونه‌گیری قرار می‌گیرد.

طراحی طرح‌های دو بار نمونه‌گیری با مقادیر تعیین شده برای p_1 ، $1-\alpha$ ، p_2 و β. در بعضی مواقع طراحی یک طرح دو بار نمونه‌گیری که دارای منحنی OC خاصی باشد ضروری به نظر می‌رسد. فرض کنید $(p_1, 1-\alpha)$ و (p_2, β) دو نقطهٔ مورد نظر بر روی منحنی OC باشد. اگر رابطهٔ دیگری نیز برای پارامترهای طرح در نظر گیریم آنگاه می‌توان با استفاده از یک روش بسیار ساده چنین طرح‌هایی را طراحی کرد

بازرسی اصلاحی. اگر در طرح‌های دو بار نمونه‌گیری از بازرسی اصلاحی استفاده شود منحنی AOQ را می‌توان با ارزیابی رابطهٔ زیر رسم کرد:

$$\mathrm{AOQ} = \frac{\left[P_a^I (N - n_1) + P_a^{II} (N - n_1 - n_2)\right] P}{N} \qquad (۹-۷)$$

در رابطهٔ فوق، فرض شده است کلیهٔ اقلام معیوب (چه در مرحلهٔ نمونه‌گیری و چه در مرحلهٔ بازرسی ۱۰۰٪ با اقلام خوب جایگزین می‌شود. در اینگونه طرح‌ها منحنی متوسط کل بازرسی را می‌توان با ارزیابی رابطهٔ زیر رسم کرد:

$$\mathrm{ATI} = n_1 P_a^I + (n_1 + n_2) P_a^{II} + N(1 - P_a) \qquad (۱۰-۷)$$

باید توجه داشت که $P_a = P_a^I + P_a^{II}$ احتمال پذیرش نهایی را برای انباشته نشان می‌دهد و احتمالات پذیرش بستگی به سطح کیفیت انباشته و یا فرآیند دارد.

۷-۳-۲ طرح‌های چند بار نمونه‌گیری

عدد رد	عدد پذیرش	اندازهٔ نمونهٔ تجمعی
۳	۰	۲۰
۴	۱	۴۰
۵	۳	۶۰
۷	۵	۸۰
۹	۸	۱۰۰

طرح‌های چند بار نمونه‌گیری به دلیل نیاز به بیش از دو نمونه برای اتخاذ تصمیم در مورد پذیرش یا رد انباشته‌ها حالت تعمیم یافته‌ای از طرح‌های دو بار نمونه‌گیری محسوب می‌شوند. به‌عنوان مثال، طرح چند بار نمونه‌گیری مقابل که شامل پنج مرحله است را در نظر گیرید.

عملکرد این طرح بدین صورت است که اگر در هر مرحله از نمونه‌گیری تعداد اقلام معیوب کمتر یا مساوی عدد پذیرش باشد انباشته پذیرش و اگر تعداد اقلام معیوب مساوی یا بیشتر از عدد رد باشد انباشته رد و در غیر این صورت نمونهٔ دیگری انتخاب می‌شود. این طرح چند بار نمونه‌گیری می‌تواند تا مرحلهٔ پنجم که مرحله نهایی برای تصمیم‌گیری در مورد انباشته است ادامه یابد. نمونهٔ اول معمولاً بازرسی ۱۰۰٪ می‌شود و سایر نمونه‌ها معمولاً مورد بازرسی کوتاه شده قرار می‌گیرند.

محاسبات مربوط به منحنی OC طرح چند بار نمونه‌گیری را می‌توان با تعمیم روشی که برای دو بار نمونه‌گیری مورد استفاده قرار گرفت انجام داد. این امکان نیز وجود دارد که بتوان محاسبات مربوط به متوسط تعداد نمونه را انجام داد و منحنی آن را رسم کرد. همچنین می‌توان طرح‌های چند بار نمونه‌گیری را به ازای مقادیر خاصی از p_1 ، $1-\alpha$ ، p_2 و β طراحی کرد.

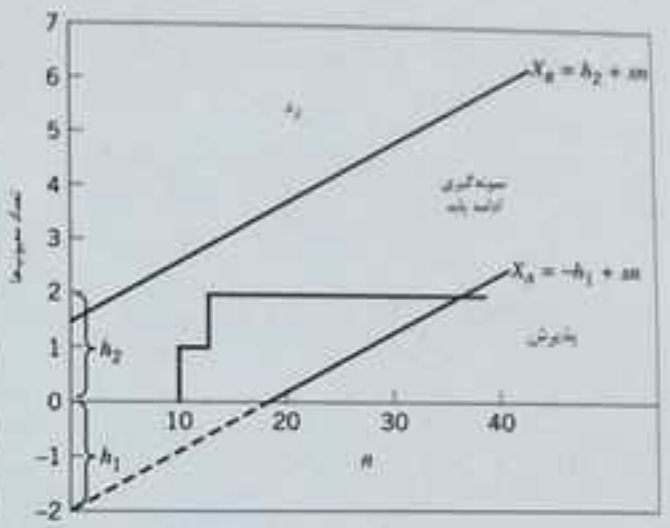
برتری اصلی طرح‌های چند بار نمونه‌گیری در کوچک بودن اندازه نمونهٔ هر مرحله نسبت به اندازهٔ نمونه‌های مورد نیاز در طرح‌های یک بار و دو بار نمونه‌گیری است. بنابراین، این‌گونه طرح‌ها می‌توانند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشند ولی از لحاظ اجرایی آنها از پیچیدگی بیشتری برخوردار هستند.

۷-۳-۳ طرح‌های نمونه‌گیری پی‌درپی

نمونه‌گیری پی‌درپی مفهوم تعمیم یافته‌ای از دو بار و چند بار نمونه‌گیری است. در نمونه‌گیری پی‌درپی نمونه‌های پی‌درپی از انباشته انتخاب و تعداد نمونه‌ها بر اساس نتایج حاصل از فرآیند نمونه‌گیری تعیین می‌شود. نمونه‌گیری پی‌درپی از لحاظ تئوری می‌تواند آنقدر ادامه یابد تا ۱۰۰٪ انباشته بازرسی شود. همچنین در عمل، فرآیند نمونه‌گیری در طرح‌های نمونه‌گیری پی‌درپی زمانی که تعداد اقلام بازرسی شده به سه برابر اندازهٔ نمونهٔ یک طرح یک بار نمونه‌گیری معادل برسد بازرسی متوقف می‌شود. اگر اندازهٔ نمونه‌ای که در هر مرحله انتخاب می‌شود بیشتر از یک باشد، فرآیند نمونه‌گیری را معمولاً نمونه‌گیری پی‌درپی گروهی[1] می‌نامند. اگر اندازهٔ نمونه‌ای که در هر مرحله بازرسی می‌شود برابر با یک باشد فرآیند نمونه‌گیری، نمونه‌گیری پی‌درپی قلم به قلم[2] نامیده می‌شود.

1 - group sequential sampling
2 - item- by- item sequential sampling

نمونه‌گیری پی‌درپی قلم به قلم بر اساس آزمون نسبت احتمال پی‌درپی[1] یا SPRT که به وسیلهٔ والد[2] در سال ۱۹۴۷ ارائه شد پایه‌گذاری شده است. روش عملکرد یک طرح نمونه‌گیری پی‌درپی قلم به قلم در شکل ۷-۱۷ نشان داده شده است. مجموع تعداد اقلام معیوب بر روی این نمودار رسم شده است. برای هر نقطه، محور افقی بیانگر تعداد کل اقلام انتخاب شده تا آن زمان و محور عمودی بیانگر تعداد کل اقلام معیوب مشاهده شده است. اگر نقاط رسم شده در ناحیهٔ بین کران‌های پذیرش و رد واقع شوند آنگاه نمونهٔ دیگری انتخاب می‌شود. به محض آنکه نقطه‌ای بر روی خط رد یا بالای آن واقع شود انباشته رد می‌شود. زمانی‌که یک نقطه بر روی خط پذیرش یا پایین آن واقع می‌شود انباشته پذیرش می‌شود. معادلات خطوط حدی برای مقادیر خاصی از $p_0, 1-\alpha, p_1$ و β به‌صورت زیر است:



شکل ۷-۱۷ نحوهٔ عملکرد نمونه‌گیری پی‌درپی

$$X_A = -h_1 + sn \quad \text{(خط پذیرش)} \qquad (۷-۱۱\text{الف})$$

$$X_R = h_2 + sn \quad \text{(خط رد)} \qquad (۷-۱۱\text{ب})$$

مقادیر مربوط به h_1، h_2، k و s از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$h_1 = \left(log \frac{1-\alpha}{\beta} \right) \Big/ k \qquad (۷-۱۲)$$

$$h_2 = \left(log \frac{1-\beta}{\alpha} \right) \Big/ k \qquad (۷-۱۳)$$

$$k = log \frac{p_2(1-p_1)}{p_1(1-p_2)} \qquad (۷-۱۴)$$

$$s = log\left[(1-p_1)/(1-p_2)\right] \Big/ k \qquad (۷-۱۵)$$

به جای استفاده از نمودار برای تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد انباشته می‌توان طرح نمونه‌گیری پذیرش را به‌صورت جدولی نظیر جدول ۷-۳ ارائه کرد. اعداد داخل جدول با جایگزین کردن مقادیر مختلف n در معادلات خطوط پذیرش و رد محاسبه می‌شوند. به‌عنوان مثال، به ازای n=۴۵ محاسبات به‌صورت زیر انجام می‌شود:

$$X_A = -۱/۲۲ + ۰/۰۲۸n$$
$$= -۱/۲۲ + ۰/۰۲۸(۴۵) = ۰/۰۴$$
$$X_R = ۱/۵۷ + ۰/۰۲۸n$$
$$= ۱/۵۷ + ۰/۰۲۸(۴۵) = ۲/۸۳$$

1. Sequential probability ratio test - SPRT
2. wald

مثال ۷-۶ تهیهٔ یک طرح نمونه‌گیری پی‌درپی

فرض کنید می‌خواهیم یک طرح نمونه‌گیری پی‌درپی به ازای $p_1 = ۰/۰۱$ ، $\alpha = ۰/۰۵$ ، $p_2 = ۰/۰۶$ ، $\beta = ۰/۱۰$ طراحی کنیم. در این صورت

$$k = log \frac{p_2(1-p_1)}{p_1(1-p_2)}$$

$$= log \frac{(۰/۰۶)(۰/۹۹)}{(۰/۰۱)(۰/۹۴)} = ۰/۸۰۰۶۶$$

$$h_1 = \left(log \frac{1-\alpha}{\beta} \right) \Big/ k = \left(log \frac{۰/۹۵}{۰/۱۰} \right) \Big/ (۰/۸۰۰۶۶) = ۱/۲۲$$

$$h_2 = \left(log \frac{1-\beta}{\alpha} \right) \Big/ k = \left(log \frac{۰/۹۰}{۰/۰۵} \right) \Big/ (۰/۸۰۰۶۶) = ۱/۵۷$$

$$s = log\left[(1-p_1)/(1-p_2) \right] \Big/ k = \left[log(۰/۹۹)/(۰/۹۴) \right] \Big/ (۰/۸۰۰۶۶) = ۰/۰۲۸$$

بنابراین، خطوط حدی برابر خواهند بود با

(خط پذیرش) $$X_A = -۱/۲۲ + ۰/۰۲۸n$$

و

(خط رد) $$X_R = ۱/۵۷ + ۰/۰۲۸n$$

می‌دانیم که اعداد پذیرش و رد باید اعداد صحیح باشند. بنابراین، اعداد پذیرش و رد به ترتیب برابر با نزدیک‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر یا مساوی X_A و نزدیک‌ترین عدد صحیح بزرگ‌تر یا مساوی X_R خواهند بود. در مثال فوق، به ازای n=۴۵ عدد پذیرش صفر و عدد رد ۳ به‌دست می‌آید. باید توجه داشت که انباشته تا زمانی‌که حداقل ۴۴ محصول بازرسی نشده باشد نمی‌تواند پذیرش شود. معمولاً در طرح‌های نمونه‌گیری پی‌درپی قلم به قلم بعد از بازرسی ۲۶۷ محصول (سه برابر اندازه نمونه‌ای که در یک طرح یک بار نمونه‌گیری معادل بازرسی می‌شود) فرآیند بازرسی متوقف می‌شود.

منحنی OC و منحنی ASN برای نمونه‌گیری پی‌درپی. منحنی OC یک طرح نمونه‌گیری پی‌درپی را می‌توان به آسانی رسم کرد. دو نقطه بر روی این منحنی عبارتند از: $(p_1, 1-\alpha)$ و (p_2, β) . نقطهٔ سوم $p \approx$ و $P_a = h_2/(h_1+h_2)$ در نزدیکی وسط این منحنی واقع می‌شود.

در یک نمونه‌گیری پی‌درپی متوسط تعداد نمونه را می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

$$\text{ASN} = P_a\left(\frac{A}{C}\right) + (1-P_a)\frac{B}{C} \qquad (۱۶-۷)$$

جدول ۷-۳

طرح نمونه‌گیری پی‌درپی قلم به قلم. $p_1 = ۰/۱۰$ ، $p_2 = ۰/۰۶$ ، $\alpha = ۰/۰۵$ ، $\beta = ۰/۱۰$ (فقط ۴۶ واحد اول)

عدد رد	عدد پذیرش	تعداد اقلام بازرسی شده، n	عدد رد	عدد پذیرش	تعداد اقلام بازرسی شده، n
۳	a	۲۴	b	a	۱
۳	a	۲۵	۲	a	۲
۳	a	۲۶	۲	a	۳
۳	a	۲۷	۲	a	۴
۳	a	۲۸	۲	a	۵
۳	a	۲۹	۲	a	۶
۳	a	۳۰	۲	a	۷
۳	a	۳۱	۲	a	۸
۳	a	۳۲	۲	a	۹
۳	a	۳۳	۲	a	۱۰
۳	a	۳۴	۲	a	۱۱
۳	a	۳۵	۲	a	۱۲
۳	a	۳۶	۲	a	۱۳
۳	a	۳۷	۲	a	۱۴
۳	a	۳۸	۲	a	۱۵
۳	a	۳۹	۳	a	۱۶
۳	a	۴۰	۳	a	۱۷
۳	a	۴۱	۳	a	۱۸
۳	a	۴۲	۳	a	۱۹
۳	a	۴۳	۳	a	۲۰
۳	۰	۴۴	۳	a	۲۱
۳	۰	۴۵	۳	a	۲۲
۳	۰	۴۶	۳	a	۲۳

a یعنی پذیرش امکان پذیر نیست. b یعنی رد امکان‌پذیر نیست

کمیت‌های A، B و C از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$A = log \frac{\beta}{۱ - \alpha}$$

$$B = log \frac{۱ - \beta}{\alpha}$$

و

$$C = p\ log\left(\frac{p_۲}{p_۱}\right) + (۱ - p) log\left(\frac{۱ - p_۲}{۱ - p_۱}\right)$$

بازرسی اصلاحی. در یک نمونه‌گیری پی‌درپی متوسط کیفیت خروجی تقریبی را می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

$$\mathrm{AOQ} = P_a p \qquad (۱۷-۷)$$

متوسط کل بازرسی نیز به آسانی قابل‌محاسبه است. باید توجه داشت که میزان نمونه‌گیری زمانی که انباشته پذیرش می‌شود برابر A/C و زمانی که انباشته رد می‌شود برابر N است. بنابراین، متوسط کل بازرسی از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:

$$ATI = P_a\left(\frac{A}{C}\right) + (1 - P_a)N \qquad (۱۸-۷)$$

۷-۴ استاندارد نظامی 105E (ANSI/ASQC Z1.4, ISO 2859)

۷-۴-۱ تشریح استاندارد

طرح‌های نمونه‌گیری استاندارد برای بازرسی مشخصه‌های کیفی وصفی در دوران جنگ جهانی دوم تدوین شد. امروزه یکی از متداول‌ترین سیستم‌های نمونه‌گیری پذیرش برای مشخصه‌های کیفی وصفی MIL STD 105E است. این استاندارد برای اولین بار در سال ۱۹۵۰ تحت عنوان MIL STD 105A منتشر شد. از آن زمان تا به حال چهار بار این استاندارد بازنگری شده است. آخرین بازنگری آن در سال ۱۹۸۹ تحت عنوان MIL STD 105E منتشر شد.

طرح‌های نمونه‌گیری که در بخش‌های قبل این فصل بحث شدند طرح‌های نمونه‌گیری انفرادی یا مجزا محسوب می‌شوند. یک برنامهٔ نمونه‌گیری، یک راهبرد کلی را برای استفاده از طرح‌های نمونه‌گیری مشخص می‌سازد. موضوع اصلی بحث در این بخش استاندارد MIL STD 105E است. گرچه این استاندارد تحت عنوان استاندارد نظامی مطرح می‌شود ولی یک استاندارد غیرنظامی معادل آن نیز تحت عنوان ANSI/ASQCZ1.4 وجود دارد که بسیار به استاندارد MIL STD 105E شباهت دارد. سازمان بین‌المللی استاندارد نیز این استاندارد را تحت عنوان ISO 2859 پذیرفته است.

استاندارد MIL STD 105E امکان سه نوع نمونه‌گیری را فراهم می‌سازد: یک بار نمونه‌گیری، دو بار نمونه‌گیری و چند بار نمونه‌گیری. برای هر یک از طرح‌های نمونه‌گیری نیز سه روش بازرسی در نظر گرفته شده است: بازرسی نرمال[1]، بازرسی تنگ‌تر شده[2] و به بازرسی کاسته شده[3]. بازرسی نرمال در ابتدای فعالیت‌های بازرسی استفاده می‌شود. بازرسی تنگ‌تر شده زمانی استفاده می‌شود که سطح کیفیت محصولات اخیر تأمین‌کننده پایین آمده باشد. شرایط پذیرش انباشته‌ها در بازرسی تنگ‌تر شده به مراتب مشکل‌تر از بازرسی نرمال است. بازرسی کاسته شده زمانی استفاده می‌شود که سابقهٔ کیفیت محصولات اخیر تأمین‌کننده به‌طور قابل

1. normal inspection
2. tightened inspection

ملاحظه‌ای بهبود یافته باشد. به‌طور کلی، اندازهٔ نمونه تحت شرایط بازرسی کاسته شده کمتر از اندازهٔ نمونه‌ای است که تحت شرایط بازرسی نرمال استفاده می‌شود.

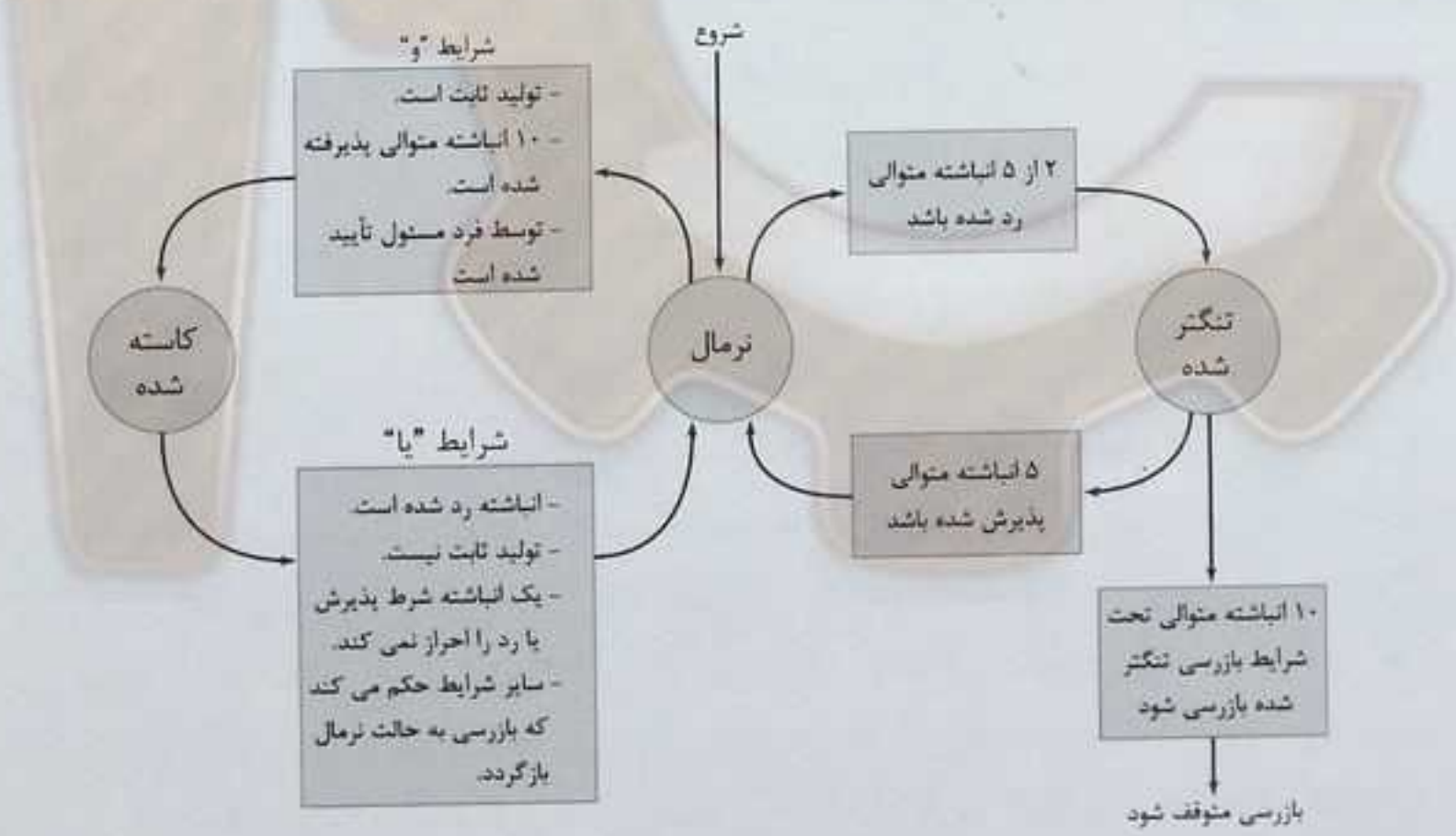
استاندارد MIL STD 105E بر اساس سطح کیفیت قابل قبول یا AQL پایه‌گذاری شده است. این استاندارد برای مجموعه‌ای از مقادیر AQL تدوین شده است. وقتی طرح‌ها بر اساس نسبت اقلام معیوب طراحی می‌شوند دامنهٔ AQL از ۰/۱۰٪ تا ۱۰٪ در نظر گرفته خواهد شد. برای طرح‌هایی که بر اساس تعداد نقص‌ها در واحد طراحی شده‌اند تعداد ده AQL اضافی در نظر گرفته شده است که در این صورت وسعت این دامنه به ۱۰۰۰ نقص در ۱۰۰ واحد می‌رسد. بنابراین، در این استاندارد دامنهٔ ۰/۱۰ الی ۱۰۰۰ را می‌توان در مورد تعداد نقص‌ها در ۱۰۰ واحد استفاده کرد. باید توجه داشت که برای سطوح کوچک‌تر AQL یک طرح یکسان را می‌توان هم برای کنترل نسبت اقلام معیوب و هم برای کنترل تعداد نقص‌ها در واحد به‌کار برد. مقادیر AQL به‌صورت صعودی نوشته شده‌اند و هر AQL تقریباً از AQL قبلی ۱/۵۸۵ برابر بزرگ‌تر است.

مقدار AQL معمولاً در قرارداد مشخص یا به وسیلهٔ مسئول نمونه‌گیری تعیین می‌شود. مقادیر مختلفی از AQL را می‌توان در مورد نقص‌های مختلف به کار برد. به‌عنوان مثال، این استاندارد بین نقص‌های بحرانی، نقص‌های اصلی و نقص‌های جزئی تفاوت قائل می‌شود. در عمل متداول است که از AQL یک درصد برای نقص‌های اصلی و از AQL دو و نیم درصد برای نقص‌های جزئی استفاده کرد. نقص‌های بحرانی غیر قابل قبول هستند.

در استاندارد MIL STD 105E اندازهٔ نمونه به وسیلهٔ اندازهٔ انباشته و انتخاب سطح بازرسی تعیین می‌شود. سه سطح بازرسی کلی در استاندارد در نظر گرفته شده است. سطح II سطح بازرسی نرمال نامیده می‌شود. میزان بازرسی در سطح I حدوداً نصف میزان بازرسی مورد نیاز در سطح II است و زمانی کاربرد دارد که تمایز کمتری مورد نیاز باشد. میزان بازرسی در سطح III حدوداً دو برابر میزان بازرسی مورد نیاز در سطح II است و زمانی کاربرد دارد که تمایز بیشتری مورد نیاز باشد. در این استاندارد، چهار سطح بازرسی ویژهٔ S_1, S_2, S_3 و S_4 نیز وجود دارد. اندازهٔ نمونه‌های حاصل از سطوح بازرسی ویژه بسیار کوچک هستند و بدین علت این سطوح را باید زمانی به‌کار برد که استفاده از اندازهٔ نمونه‌های بسیار کوچک ضرورت داشته و ریسک‌های نمونه‌گیری بزرگ قابل تحمل باشد.

به ازای یک AQL، سطح بازرسی و اندازهٔ انباشتهٔ خاص می‌توان از طریق استاندارد MIL STD 105E یک طرح نمونه‌گیری نرمال تهیه و از آن تا زمانی‌که کیفیت محصولات تأمین‌کننده در سطح AQL یا بهتر قرار داشته باشد استفاده کرد. این استاندارد همچنین روشی را برای تغییر روش بازرسی از "نرمال" به "تنگ‌تر شده" و "کاسته شده" فراهم می‌سازد که می‌توان آن را در زمانی‌که احساس می‌شود کیفیت محصولات تأمین‌کننده تغییر یافته است، استفاده کرد. دستورالعمل‌های مورد نیاز برای تغییر روش بازرسی "نرمال" به تنگ‌تر شده و کاسته شده به‌صورت نمودار در شکل ۷-۱۸ نشان داده و در ادامه تشریح شده است.

۱- نرمال به تنگ‌تر شده.	در بازرسی نرمال، هر گاه دو از پنج انباشتهٔ متوالی در بازرسی اولیه رد شود بازرسی نرمال به بازرسی تنگ‌ترشده تغییر پیدا می‌کند.
۲- تنگ‌تر شده به نرمال.	در بازرسی تنگ‌تر شده، هرگاه پنج انباشتهٔ متوالی در بازرسی اولیه پذیرش شود بازرسی تنگ‌تر شده به بازرسی نرمال تغییر می‌یابد.
۳- نرمال به کاسته شده.	در بازرسی نرمال، هرگاه چهار شرط زیر برقرار باشد بازرسی نرمال به بازرسی کاسته شده تغییر پیدا می‌کند: الف- ده انباشتهٔ قبلی براساس بازرسی نرمال بازرسی و پذیرش شده باشد. ب- تعداد کل اقلام معیوب مشاهده شده در نمونه‌های مربوط به ده انباشتهٔ قبل، کمتر از عدد حدی تعریف شده در استاندارد باشد. ج- میزان تولید در یک سطح ثابت قرار دارد و یا به‌عبارت دیگر مشکلاتی نظیر خرابی دستگاه کمبود مواد و یا مشکلاتی که اخیراً سازمان با آن مواجه بوده است وجود نداشته باشد. د- بازرسی کاسته شده از دید فرد مسئول نمونه‌گیری مناسب به نظر می‌رسد.
۴- کاسته شده به نرمال.	در بازرسی کاسته شده، هر گاه یکی از چهار شرط زیر رخ دهد، بازرسی کاسته شده به بازرسی نرمال تغییر می‌یابد: الف. یک انباشته رد شود. ب- وقتی‌که روش نمونه‌گیری بدون دستیابی به معیارهای پذیرش یا رد خاتمه یابد، انباشته پذیرفته می‌شود ولی بازرسی بعد از این انباشته به بازرسی نرمال تغییر پیدا می‌کند. ج- تولید غیرعادی و یا با تأخیر مواجه است. د- شرایط دیگر، استفاده از بازرسی نرمال را مجاب می‌سازد.
۵- توقف بازرسی.	در مواقعی که ده انباشتهٔ متوالی براساس روش بازرسی تنگ‌تر شده بازرسی شود، طبق استاندارد MIL STD 105E بازرسی باید متوقف شود و اقداماتی در سطح سازمان تأمین‌کننده انجام گیرد تا کیفیت انباشته‌ها بهبود یابد.



شکل ۷-۱۸ قوانین تغییر روش بازرسی برای بازرسی نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده، MIL STD 105E

۷-۴-۲ رویه

رویهٔ گام به گام استفاده از استاندارد MIL STD 105E شامل مراحل زیر است:

۱- انتخاب AQL

۲- انتخاب سطح بازرسی

۳- تعیین اندازهٔ انباشته

۴- تعیین حرف کد اندازهٔ نمونه از جدول ۷-۴

۵- تعیین نوع طرح نمونه‌گیری مناسب برای استفاده (یک بار، دو بار، چند بار)

۶- انتخاب جدول مناسب برای تعیین طرح مورد نظر

۷- تعیین طرح‌های نمونه‌گیری برای استفاده تحت شرایط بازرسی نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده

جدول ۷-۴ حروف کد اندازهٔ نمونه را برای استاندارد MIL STD 105E نشان می‌دهد. در جداول ۷-۵، ۷-۶ و ۷-۷ به ترتیب طرح‌های یک بار نمونه‌گیری برای بازرسی‌های نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده ارائه شده است. این استاندارد همچنین شامل جداولی برای طرح‌های دوبار و چندبار نمونه‌گیری برای بازرسی‌های نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده است.

مثال ۷-۷ استفاده از MIL STD 105E

فرض کنید محصولی در انباشته‌هایی به اندازهٔ N=۲۰۰۰ مورد بازرسی قرار می‌گیرد. سطح کیفیت قابل قبول ۰/۶۵٪ است. با استفاده از این استاندارد، طرح‌های یک بار نمونه‌گیری تحت شرایط بازرسی‌های نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده تعیین می‌شود.

برای انباشته‌های ۲۰۰۰ تایی و سطح بازرسی II از جدول ۷-۴ حرف کد اندازهٔ نمونهٔ K به‌دست می‌آید. بنابراین، از جدول ۷-۵ برای طرح‌های یک بار نمونه‌گیری تحت شرایط بازرسی نرمال، طرح بازرسی نرمال با اندازهٔ نمونهٔ n=۱۲۵ عدد پذیرش c=۲ و عدد رد r=۳ به‌دست می‌آید. از جدول ۷-۶ طرح بازرسی تنگ‌تر شده n=۱۲۵، c=۱ و r=۲ به‌دست می‌آید. باید توجه داشت که وقتی روش بازرسی از نرمال به تنگ‌تر شده تغییر می‌کند اندازهٔ نمونه ثابت می‌ماند ولی عدد پذیرش یک واحد کاهش می‌یابد. این یک رویکرد کلی در استاندارد MIL STD 105E برای تغییر به بازرسی تنگ‌تر شده است. اگر عدد پذیرش بازرسی نرمال ۵، ۷، ۱۰ یا ۱۴ باشد میزان کاهش برای بازرسی تنگ‌تر شده دو واحد خواهد بود. برای مثال فوق، از جدول ۷-۷ تحت شرایط بازرسی کاسته شده n=۵۰، c=۱ و r=۳ به‌دست می‌آید. بنابراین، اگر دو واحد معیوب مشاهده شود انباشته پذیرش ولی انباشتهٔ بعدی تحت شرایط بازرسی نرمال بازرسی می‌شود.

در زمان استفاده از این جداول باید به این نکته توجه داشت که اگر با یک فلش عمودی مواجه شدیم اولین طرح نمونه‌گیری که در بالا یا پایین فلش قرار دارد را باید استفاده کنیم. وقتی‌که چنین حالتی رخ می‌دهد حرف کد اندازهٔ نمونه و خود اندازهٔ نمونه تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال، اگر AQL یک طرح یک بار نمونه‌گیری ۱/۵٪ و حرف کد اندازهٔ نمونه F باشد آنگاه حرف کد به G و اندازهٔ نمونه از ۲۰ به ۳۲ تغییر پیدا می‌کند.

جدول ۷-۴ حروف کد اندازهٔ نمونهٔ (MIL STD 105E ، جدول ۱)

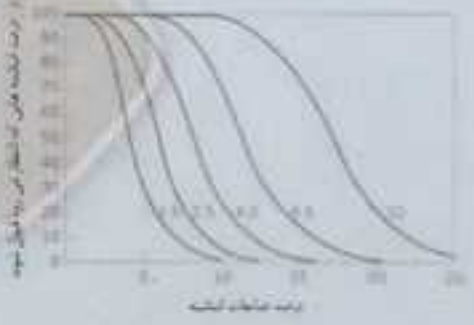
اندازه انباشته یا دسته	سطوح بازرسی ویژه				سطوح بازرسی عمومی		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
۲ الی ۸	A	A	A	A	A	A	B
۹ الی ۱۵	A	A	A	A	A	B	C
۱۶ الی ۲۵	A	A	B	B	B	C	D
۲۶ الی ۵۰	A	B	B	C	C	D	E
۵۱ الی ۹۰	B	B	C	C	C	E	F
۹۱ الی ۱۵۰	B	B	C	D	D	F	G
۱۵۱ الی ۲۸۰	B	C	D	E	E	G	H
۲۸۱ الی ۵۰۰	B	C	D	E	F	H	J
۵۰۱ الی ۱۲۰۰	C	C	E	F	G	J	K
۱۲۰۱ الی ۳۲۰۰	C	D	E	G	H	K	L
۳۲۰۱ الی ۱۰۰۰۰	C	D	F	G	J	L	M
۱۰۰۰۱ الی ۳۵۰۰۰	C	D	F	H	K	M	N
۳۵۰۰۱ الی ۱۵۰۰۰۰	D	E	G	J	L	N	P
۱۵۰۰۰۱ الی ۵۰۰۰۰۰	D	E	G	J	M	P	Q
۵۰۰۰۰۱ و بیشتر	D	E	G	K	N	Q	R

۷-۴-۳ بررسی

MIL STD 105E منحنی های OC طرح‌های یکبار نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. اینها همگی منحنی‌های OC نوع B هستند. منحنی‌های OC طرح‌های دو و چند بار نمونه‌گیری تقریباً با طرح‌های مرتبط یکبار نمونه‌گیری قابل مقایسه هستند. شکل ۷-۱۹ یک مثال از این طرح های نمونه گیری با کد K را نشان می دهد. منحنی‌های OC استاندارد فقط برای طرح نمونه‌گیری اولیه هستند. آنها منحنی‌های OC برای برنامه بازرسی جامع شامل تغییر وضعیت به بازرسی سختگیرانه یا کاسته شده نیستند.

منحنی‌های مربوط به متوسط تعداد نمونه با فرض بر اینکه از هیچ کوتاه‌سازی تصادفی استفاده نشده است، ارائه شده‌اند. این منحنی‌ها در ارزیابی متوسط اندازهٔ نمونه‌ها، که انتظار می‌رود تحت اجرای برنامه‌های نمونه‌برداری متنوع برای کیفیت یک بسته یا فرآیند انجام شده باشند، مفید هستند.

نکات فراوانی در مورد MIL STD 105E وجود دارند که باید به آن‌ها اشاره گردد. ابتدا اینکه MIL STD 105E، تمرکز خود را در انتهای منحنی OC بر ریسک تولیدکننده گذاشته و بنابراین AQL- محور است. تنها راه کنترل این قدرت نامطلوب برنامه‌های نمونه‌برداری (برای مثال، شیب تند منحنی OC) از طریق انتخاب سطح بازرسی مناسب محیا خواهد شد.



شکل ۷-۱۹ منحنی‌های OC برای اندازهٔ نمونه حرف K، MIL STD 105E.

جدول ۷-۵ جدول بازرسی نرمال یک بارنمونه‌گیری (MIL STD 105E جدول IIA).

حرف کد اندازه نمونه	اندازه نمونه	سطح کیفیت قابل قبول (AQL)ـ بازرسی نرمال																									
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.1	0.15	0.25	0.4	0.65	1	1.5	2.5	4	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑	↑
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑	↑	↑
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
L	200	↓	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
M	315	↓	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N	500	↓	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
P	800	↓	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Q	1250	0 1	↑	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	2000	↑	↑	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

↑ اولین طرح نمونه‌گیری بالا پیکان را استفاده کنید.
↓ اولین طرح نمونه‌گیری پایین پیکان را استفاده کنید.

Ac عدد پذیرش

Re عدد رد

جدول ۷-۶ جدول بازرسی تنگ‌تر شده ، یک بار نمونه‌گیری (MIL STD 105E ، جدول II-B)

حرف کد اندازه نمونه	اندازه نمونه	سطح کیفیت قابل قبول (AQL) - بازرسی تنگ‌تر شده																															
		0		0		0		0		0.1		0.1		0.2		0.3		0.4		0.65		1		1.5		2.5		4		6.5		10		15	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2	↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		⇩		↓		↓	
B	3																											0 1					
C	5																									0 1				1 2			
D	8																							0 1				1 2		2 3		3 4	
E	13																					0 1				1 2		2 3		3 4		5 6	
F	20																							1 2		2 3		3 4		5 6		8 9	
G	32																			0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9	
H	50																	0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13	
J	80															0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19	
K	125													0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19			
L	200											0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19					
M	315									0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19							
N	500							0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19									
P	800					0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19											
Q	1250			0 1				1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19													
R	2000	0 1	⇧			1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19		⇧													
S	3150																																

حرف کد اندازه نمونه	اندازه نمونه	سطح کیفیت قابل قبول (AQL) - بازرسی تنگ‌تر شده																															
		25		40		65		100		150		250		400		650		1000															
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re														
A	2	⇩		1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19		27 28															
B	3	1 2		2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19		27 28		41 42															
C	5	2 3		3 4		5 6		8 9		12 13		18 19		27 28		41 42																	
D	8	3 4		5 6		8 9		12 13		18 19		27 28		41 42																			
E	13	5 6		8 9		12 13		18 19		27 28		41 42																					
F	20	8 9		12 13		18 19																											
G	32	12 13		18 19																													
H	50	18 19																															
J	80	⇧																															
K	125																																
L	200																																
M	315																																
N	500																																
P	800																																
Q	1250																																
R	2000																																
S	3150																																

⇧ اولین طرح نمونه‌گیری بالا پیکان را استفاده کنید.

⇩ اولین طرح نمونه‌گیری پایین پیکان را استفاده کنید.

Ac عدد پذیرش

Re عدد رد

جدول ۷-۷ جدول بازرسی کاسته شده، یک بار نمونه‌گیری (MIL STD 105E، جدول II-C)

حرف کد اندازه نمونه	اندازه نمونه	سطح کیفیت قابل پذیرش (AQL) - بازرسی کاسته شده †																												
		0.01		0.02		0.03		0.04		0.07		0.1		0.15		0.25		0.4		0.65		1		1.5		2.5		4		6.5		
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	
A	2																									⇩		0	1	
B	2																									0	1	⇧		
C	2																											⇧		
D	3																													
E	5																													
F	8																													
G	13																													
H	20																													
J	32																													
K	50																													
L	80																													
M	125																													
N	200																													
P	315																													
Q	500																													
R	800																													

حرف کد اندازه نمونه	اندازه نمونه	سطح کیفیت قابل پذیرش (AQL) - بازرسی کاسته شده †																												
		10		15		25		40		65		100		150		250		400		650		1000								
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re							
A	2	⇩		⇩		1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	15	15	21	22	30	31							
B	2	⇧		0	2	1	3	2	4	3	5	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31							
C	2	⇧		1	3	1	4	2	5	3	6	5	8	7	10	10	13	14	17	21	24	⇧								
D	3																													
E	5																													
F	8																													
G	13																													
H	20																													
J	32																													
K	50																													
L	80																													
M	125																													
N	200																													
P	315																													
Q	500																													
R	800																													

⇩ اولین طرح نمونه گیری پایین پیکان را استفاده کنید. اگر اندازه نمونه مساوی یا بزرگتر از اندازه انباشته باشد، بازرسی ۱۰۰٪ انجام شود.

⇧ اولین طرح نمونه گیری بالا پیکان را استفاده کنید.

† اگر از عدد پذیرش بیشتر ولی از عدد رد کمتر باشد، انباشته را بپذیرید ولی به بازرسی نرمال برگردید.

Ac عدد پذیرش

Re عدد رد

ANSI /ASQC Z1.4 عملکرد طرح استاندارد را به ازای منحنی OC و درصد نقاط متناظر آن را ارایه می‌کند.

دوم اینکه اندازهٔ نمونه‌هایی که در استاندارد MIL STD 105E برای استفاده انتخاب می‌شوند برابر ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۳، ۲۰، ۵۰، ۸۰، ۱۲۵، ۲۰۰، ۳۱۵، ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۲۵۰ و ۲۰۰۰ است. بنابراین، هر اندازهٔ نمونه ای را نمی‌توان استفاده کرد. از طرف دیگر بین بعضی از اعداد نظیر ۱۲۵ و ۲۰۰ و همچنین بین ۲۰۰ و ۳۱۵ فاصلهٔ زیادی وجود دارد.

سوم اینکه در استاندارد MIL STD 105E اندازهٔ نمونه‌ها به اندازهٔ انباشته‌ها وابسته است. به منظور پی بردن به وجود این رابطه، بازهٔ مربوط به اندازهٔ انباشته‌ها را در نظر گیرید، نقطهٔ وسط هر یک را محاسبه کنید و لگاریتم اندازهٔ نمونهٔ مربوط به بازهٔ اندازهٔ انباشته را برحسب لگاریتم نقطهٔ وسط بازهٔ اندازهٔ انباشته رسم کنید. نمودار حاصل تقریباً یک خط راست را نشان می‌دهد که تا رسیدن به $n=۸۰$ ادامه می‌یابد و بعد از آن به یک خط راست دیگر با شیب کمتر تبدیل می‌شود. بنابراین، اندازهٔ نمونه با افزایش اندازهٔ انباشته، افزایش می‌یابد. با این حال، نسبت اندازهٔ نمونه به اندازهٔ انباشته سریعاً کاهش پیدا می‌کند. این امر سبب می‌شود تا در هزینهٔ بازرسی هر محصول وقتی‌که انباشته‌های بزرگ مورد بازرسی قرار می‌گیرد صرفه‌جویی شود. برای یک AQL خاص، اثر افزایش اندازهٔ نمونه با افزایش اندازهٔ انباشته به‌صورت افزایش احتمال پذیرش انباشته‌هایی که دارای کیفیت AQL هستند ظاهر می‌شود. احتمال پذیرش برای یک AQL خاص با افزایش اندازهٔ نمونه از حدود ۰/۹۱ تا حدود ۰/۹۹ تغییر می‌کند. این قسمت از استاندارد از ابتدا تا به حال سؤال‌برانگیز بوده است. بحثی که در حمایت از استاندارد MIL STD 105E وجود دارد این است که رد یک انباشتهٔ بزرگ عواقب جدی‌تری را برای تأمین‌کننده به همراه دارد تا رد یک انباشتهٔ کوچک و اگر احتمال پذیرش در نقطهٔ AQL با افزایش اندازهٔ نمونه افزایش یابد آنگاه ریسک اشتباهی رد کردن یک انباشتهٔ بزرگ کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، یک نمونهٔ بزرگ، یک منحنی OC با قدرت تمایز بیشتری را فراهم می‌سازد و این بدین معناست که ریسک مصرف‌کننده برای پذیرش یک انباشتهٔ بد مجزا نیز کاهش می‌یابد.

چهارم اینکه، قوانین تغییر روش بازرسی از نرمال به تنگ‌تر شده و از تنگ‌تر شده به نرمال نیز عاری از انتقاد نبوده‌اند. مخصوصاً مهندسان کنترل کیفیت ژاپنی این قوانین را دوست ندارند. آنها معتقدند که غالباً تعداد زیادی اشتباه در تغییر روش بازرسی از نرمال به تنگ‌تر شده یا از نرمال به کاسته شده وقتی‌که فرآیند، انباشته‌هایی با کیفیت AQL را تولید می‌کند رخ می‌دهد. آنها همچنین به این نکته اشاره کرده‌اند که حتی اگر کاهش واقعی هم در سطح کیفیت ایجاد نشده باشد، فرآیند به احتمال زیاد متوقف می‌شود. ژاپنی‌ها به علت خجالت‌آور دانستن بازرسی تنگ‌تر شده از قوانین تغییر روش بازرسی که در استاندارد MIL STD 105E عنوان شده است استفاده نمی‌کنند. قوانین تغییر روش بازرسی ژاپنی‌ها دارای دستورالعملی است که از آن طریق متوسط کیفیت فرآیند بر اساس پنج انباشتهٔ آخر برآورد می‌شود. این شبیه به قوانین تغییر روش بازرسی است که در بازنگری‌های قدیم MIL STD 105E استفاده می‌شد. باید به این نکته اشاره شود که AQL حداکثر نسبت اقلام معیوب قابل قبول را نشان می‌دهد و در حقیقت متوسط

کیفیت فرآیند باید کمتر از AQL باشد. قوانین تغییر روش بازرسی که تولید در سطح AQL را تشویق می‌کنند (نظیر قوانینی که در ژاپن استفاده می‌شود) با تغییر متوسط کیفیت فرآیند به سطح بالاتر از AQL حمایت از مصرف‌کننده را کاهش می‌دهند.

پنجم اینکه در MIL STD 105E یک **اشتباه** و **سوء استفادهٔ متداول** وجود دارد و آن عدم استفاده از قوانین تغییر روش بازرسی است. وقتی‌که این اشتباه رخ دهد نتیجهٔ آن یک بازرسی غیرمؤثر و گمراه‌کننده و افزایش قابل‌ملاحظهٔ ریسک مصرف‌کننده خواهد بود. بدین علت استفاده از استاندارد MIL STD 105E بدون در نظر گرفتن قوانین تغییر روش بازرسی از نرمال به تنگ‌تر شده و نرمال به کاسته شده پیشنهاد نمی‌شود.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد استاندارد مدنی یا غیر نظامی معادل MIL STD 105E، استاندارد ANSI/ASQC Z 1.4 یا ISO 2859 است. شاید در اینجا مناسب باشد که استاندارد MIL STD 10SE را با استانداردهای غیر نظامی آن مقایسه کرد. استاندارد ANSI/ASQC Z 1.4 در سال ۱۹۸۱ به رسمیت شناخته شد. جنبه‌هایی از استاندارد ANSI/ASQC Z 1.4 که با استاندارد MIL STD 105E تفاوت دارند در زیر عنوان شده است:

۱- واژه‌های عدم تطابق، عدم انطباق و نسبت (یا درصد) اقلام نامنطبق استفاده شده است.

۲- قوانین تغییر روش بازرسی کمی تغییر داده شده‌اند تا زمینه‌ای برای استفاده از بازرسی کاسته شده بدون در نظر گرفتن اعداد حدی فراهم شود.

۳- چند جدول که معیارهای عملکرد برنامهٔ نمونه‌گیری (شامل قوانین تغییر روش بازرسی) را نشان می‌دهند ارائه شده است. بعضی از این معیارهای عملکرد عبارتند از: AOQL (کیفیت حدی به ازای $P_a = ۰/۱۰$ و $P_a = ۰/۰۵$)، ASN و منحنی‌های مشخصهٔ عملکرد.

۴- بخشی به استاندارد اضافه شده است که روش استفادهٔ صحیح از طرح‌های نمونه‌گیری مجزا که از سیستم نمونه‌گیری استخراج شده‌اند را نشان می‌دهد.

۵- شکلی که قوانین تغییر روش بازرسی را نشان می‌دهد به استاندارد افزوده شده است.

این بازنگری‌ها، واژه‌های مورد استفاده را به هنگام و بر مفهوم سیستم استاندارد تأکید کرده‌اند. کلیهٔ جداول، اعداد و دستورالعمل‌هایی که در استاندارد MIL STD 105E استفاده شده در استاندارد ANSI/ASQC Z 1.4 نیز وجود دارد.

۵-۷ طرح‌های نمونه‌گیری داج- رومیگ

اچ – اف داج[1] و اچ – جی رومیگ[2] مجموعه‌ای از جداول بازرسی نمونه‌گیری برای بازرسی انباشته به انباشتهٔ محصول با مشخصه‌های وصفی با استفاده از دو نوع طرح نمونه‌گیری مبتنی بر

1. H. F. Dodge
2. H. G. Romig

نسبت اقلام معیوب مجاز انباشته (LTPD) و حد متوسط کیفیت خروجی (AOQL) تهیه کردند. برای هر یک از این روش‌های طراحی طرح‌های نمونه‌گیری، جداولی برای یک بار و دو بار نمونه‌گیری وجود دارد.

طرح‌های نمونه‌گیری که بر تأمین LTPD تأکید دارند نظیر طرح‌های داج– رومیگ غالباً بر طرح‌های نمونه‌گیری مبتنی بر AQL نظیر MIL STD 105E، مخصوصاً برای قطعات و اجزاء بحرانی، ترجیح داده می‌شوند. اغلب تولیدکنندگان احساس می‌کنند که در گذشته خیلی به AQL اهمیت داده شده و حالا زمان اهمیت دادن به معیارهای دیگری نظیر قطعات معیوب در میلیون (ppm) فرا رسیده است. جدول مقابل را در نظر گیرید.

قطعات معیوب در میلیون	AQL
۱۰۰,۰۰۰	٪۱۰
۱۰,۰۰۰	٪۱
۱,۰۰۰	٪۰/۱
۱۰۰	٪۰/۰۱
۱۰	٪۰/۰۰۱
۱	٪۰/۰۰۰۱

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حتی مقادیر کوچک AQL تعداد زیادی قطعهٔ معیوب در میلیون را نتیجه می‌دهد. در محصولات پیچیده این می‌تواند اثر نابود کننده‌ای داشته باشد.

طرح‌های AOQL داج–رومیگ طوری طراحی شده‌اند که متوسط کل بازرسی به ازای مقادیر خاصی از AOQL و متوسط کیفیت فرآیند p کمینه می‌شود. همچنین طرح‌های LTPD طوری طراحی شده‌اند که متوسط کل بازرسی کمینه شود. بدین علت طرح‌های داج–رومیگ برای بازرسی‌های درون سازمانی محصولات نیمه ساخته بسیار مفید است.

طرح‌های داج – رومیگ فقط در برنامه‌هایی کاربرد دارد که انباشته-های رد شده مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار می‌گیرد.

طرح‌های داج–رومیگ فقط در مواردی کاربرد دارد که انباشته‌های رد شده مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار می‌گیرد. اگر بازرسی اصلاحی استفاده نشود آنگاه مفهوم AOQL بی‌معنا خواهد بود. به علاوه، در زمان استفاده از این طرح‌ها باید متوسط کیفیت فرآیند یا به‌عبارت دیگر متوسط اقلام معیوب محصولات ورودی مشخص باشد. اگر تأمین‌کننده سازمان جدیدی باشد معمولاً نسبت اقلام معیوب فرآیند او معلوم نیست. در بعضی مواقع این امکان وجود دارد که بتوان با استفاده از نمونه‌های اولیه یا اطلاعات ارائه شده توسط تأمین‌کننده برآوردی برای نسبت اقلام معیوب فرآیند او به‌دست آورد. روش دیگر، انتخاب بزرگ‌ترین مقدار ممکن از جدول برای متوسط کیفیت فرآیند است. این مقدار تا زمانی‌که اطلاعات کافی برای دقیق‌تر برآورد کردن نسبت اقلام معیوب فرآیند تأمین‌کننده به‌دست نیامده است استفاده می‌شود. برآورد دقیق‌تر نسبت اقلام معیوب محصولات ورودی یا متوسط کیفیت فرآیند، این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان طرح نمونه‌گیری مناسب‌تری را استفاده کرد. شاید این یک امر عادی باشد که بازرسی نمونه‌گیری ابتدا با یک طرح آغاز و بعد از به‌دست آمدن اطلاعات کافی در مورد نسبت اقلام معیوب، فرآیند تأمین‌کننده مجدداً این نسبت برآورد و طرح جدیدی استفاده شود. معمولاً از نمودارهای کنترل جهت برآورد عملکرد متوسط فرآیند استفاده می‌شود.

۷-۵-۱ طرح‌های AOQL

جداول داج– رومیگ که در سال ۱۹۵۹ منتشر شد امکان تهیهٔ طرح‌های نمونه‌گیری AOQL را به ازای مقادیر AOQL ۰/۱٪، ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪، ۲٪، ۲/۵٪، ۳٪، ۴٪، ۵٪، ۷٪ و ۱۰٪ فراهم می‌سازد. به ازای هر یک از این مقادیر AOQL، شش گروه برای مقادیر مختلف متوسط کیفیت فرآیند مشخص شده است. جداولی برای طراحی طرح‌های یک‌بار و دوبار

نمونه‌گیری تهیه شده است. این طرح‌ها طوری طراحی شده‌اند که متوسط کل بازرسی به ازای مقادیر خاصی از AOQL و متوسط کیفیت فرآیند تقریباً کمینه می‌شود.

نمونه‌ای از طرح‌های منتخب داج–رومیگ در جدول ۷–۸ نشان داده شده است. به منظور نشان دادن روش استفاده از این جداول، فرض کنید بازرسی مؤلفه‌های حافظهٔ LSI یک نوع رایانهٔ شخصی مورد نظر است. اگر انباشته‌ها در اندازه‌های N=۵۰۰۰ حمل شود و نسبت اقلام معیوب فرآیند تأمین‌کننده ۱٪ باشد آنگاه به ازای AOQL=۳٪ از جدول ۷–۸ طرح یک‌بار نمونه‌گیری زیر به‌دست می‌آید:

c=۳ و n=۶۵

همچنین از جدول ۷–۸ مقدار LTPD مربوط به این طرح نمونه‌گیری ۱۰/۳٪ به‌دست می‌آید. این نقطه‌ای است بر روی منحنی OC که احتمال پذیرش آن P_a = ۰/۱۰ است. بنابراین، طرح نمونه‌گیری n=۶۵ و c=۳ دارای AOQL ۳٪ معیوبی خواهد بود و این اطمینان را نیز فراهم می‌سازد که ۹۰٪ انباشته‌های ورودی که کیفیت آنها ۱۰/۳٪ معیوبی یا بدتر است رد می‌شود. با فرض اینکه کیفیت ورودی برابر با متوسط کیفیت فرآیند و احتمال پذیرش انباشته در چنین سطحی از کیفیت برابر با P_a = ۰/۹۹۵۷ است می‌توان متوسط کل بازرسی را برای این طرح به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\begin{aligned} \text{ATI} &= n + (1 - P_a)(N - n) \\ &= 65 + (1 - 0/9957)(5000 - 65) = 86/22 \end{aligned}$$

بنابراین، به منظور نتیجه‌گیری در مورد یک انباشته به‌طور متوسط از هر انباشته تقریباً ۸۶ واحد بازرسی می‌شود.

۷–۵–۲ طرح‌های LTPD

جداول LTPD داج–رومیگ طوری طراحی شده است که احتمال پذیرش انباشته به ازای LTPD خاصی برابر ۰/۱ باشد. جداولی برای مقادیر LTPD ۰/۵٪، ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۴٪، ۵٪، ۷٪ و ۱۰٪ تهیه شده است. جدول ۷–۹ یک نمونه از جداول داج–رومیگ را نشان می‌دهد. به منظور نشان دادن روش استفاده از این جداول، فرض کنید بازرسی مؤلفه‌های حافظهٔ LSL یک نوع رایانهٔ شخصی مورد نظر است. اگر انباشته‌ها در اندازه‌های N=۵۰۰۰ حمل شود و نسبت اقلام معیوب فرآیند تأمین‌کننده ۰/۲۵٪ باشد آنگاه به ازای LTPD=۱٪ از جدول ۷–۹ طرح یک بار نمونه‌گیری زیر به‌دست می‌آید:

c=۴ و n=۷۷۰

اگر فرض شود انباشته‌های رد شده مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار می‌گیرد و اقلام معیوب با خوب جایگزین می‌شود آنگاه AOQL این طرح تقریباً برابر ۰/۲۸٪ خواهد بود.

جدول ۷-۸ جدول بازرسی داج- رومیگ، طرح‌های یک بار نمونه‌گیری AOQL=٪۳

	Process Average																	
	0–0.06%			0.07–0.60%			0.61–1.20%			1.21–1.80%			1.81–2.40%			2.41–3.00%		
Lot Size	*n*	*c*	LTPD %	*n*	*c*	LTPD %	*n*	*c*	LTPD %	*n*	*c*	LTPD %	*n*	*c*	LTPD %	*n*	*c*	LTPD %
1–10	All	0	—	All	0	—	All	0	—	All	0	—	All	0	—	All	0	—
11–50	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0
51–100	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	22	1	16.4
101–200	12	0	17.0	12	0	17.0	12	0	17.0	25	1	15.1	25	1	15.1	25	1	15.1
201–300	12	0	17.0	12	0	17.0	26	1	14.6	26	1	14.6	26	1	14.6	40	2	12.8
301–400	12	0	17.1	12	0	17.1	26	1	14.7	26	1	14.7	41	2	12.7	41	2	12.7
401–500	12	0	17.2	27	1	14.1	27	1	14.1	42	2	12.4	42	2	12.4	42	2	12.4
501–600	12	0	17.3	27	1	14.2	27	1	14.2	42	2	12.4	42	2	12.4	60	3	10.8
601–800	12	0	17.3	27	1	14.2	27	1	14.2	43	2	12.1	60	3	10.9	60	3	10.9
801–1,000	12	0	17.4	27	1	14.2	44	2	11.8	44	2	11.8	60	3	11.0	80	4	9.8
1,001–2,000	12	0	17.5	28	1	13.8	45	2	11.7	65	3	10.2	80	4	9.8	100	5	9.1
2,001–3,000	12	0	17.5	28	1	13.8	45	2	11.7	65	3	10.2	100	5	9.1	140	7	8.2
3,001–4,000	12	0	17.5	28	1	13.8	65	3	10.3	85	4	9.5	125	6	8.4	165	8	7.8
4,001–5,000	28	1	13.8	28	1	13.8	65	3	10.3	85	4	9.5	125	6	8.4	210	10	7.4
5,001–7,000	28	1	13.8	45	2	11.8	65	3	10.3	105	5	8.8	145	7	8.1	235	11	7.1
7,001–10,000	28	1	13.9	46	2	11.6	65	3	10.3	105	5	8.8	170	8	7.6	280	13	6.8
10,001–20,000	28	1	13.9	46	2	11.7	85	4	9.5	125	6	8.4	215	10	7.2	380	17	6.2
20,001–50,000	28	1	13.9	65	3	10.3	105	5	8.8	170	8	7.6	310	14	6.5	560	24	5.7
50,001–100,000	28	1	13.9	65	3	10.3	125	6	8.4	215	10	7.2	385	17	6.2	690	29	5.4

جدول ۷-۹ جدول یک بار نمونه‌گیری داج- رومیگ برای نسبت اقلام معیوب مجاز انباشته LTPD=٪۱

Lot Size	Process Average																	
	0-0.010%			0.011-0.10%			0.11-0.20%			0.21-0.30%			0.31-0.40%			0.41-0.50%		
	n	*c*	AOQL %	*n*	*c*	AOQL %	*n*	*c*	AOQL %	*n*	*c*	AOQL %	*n*	*c*	AOQL %	*n*	*c*	AOQL %
1-120	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0	All	0	0
121-150	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06
151-200	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08
201-300	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10
301-400	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12
401-500	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13
501-600	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	305	1	0.14
601-800	200	0	0.14	200	0	0.14	200	0	0.14	330	1	0.15	330	1	0.15	330	1	0.15
801-1,000	205	0	0.14	205	0	0.14	205	0	0.14	335	1	0.17	335	1	0.17	335	1	0.17
1,001-2,000	220	0	0.15	220	0	0.15	360	1	0.19	490	2	0.21	490	2	0.21	610	3	0.22
2,001-3,000	220	0	0.15	375	1	0.20	505	2	0.23	630	3	0.24	745	4	0.26	870	5	0.26
3,001-4,000	225	0	0.15	380	1	0.20	510	2	0.24	645	3	0.25	880	5	0.28	1,000	6	0.29
4,001-5,000	225	0	0.16	380	1	0.20	520	2	0.24	770	4	0.28	895	5	0.29	1,120	7	0.31
5,001-7,000	230	0	0.16	385	1	0.21	655	3	0.27	780	4	0.29	1,020	6	0.32	1,260	8	0.34
7,001-10,000	230	0	0.16	520	2	0.25	660	3	0.28	910	5	0.32	1,150	7	0.34	1,500	10	0.37
10,001-20,000	390	1	0.21	525	2	0.26	785	4	0.31	1,040	6	0.35	1,400	9	0.39	1,980	14	0.43
20,001-50,000	390	1	0.21	530	2	0.26	920	5	0.34	1,300	8	0.39	1,890	13	0.44	2,570	19	0.48
50,001-100,000	390	1	0.21	670	3	0.29	1,040	6	0.36	1,420	9	0.41	2,120	15	0.47	3,150	23	0.50

با بررسی جداول LTPD داج–رومیگ ملاحظه می‌کنیم که مقادیر در نظر گرفته شده برای متوسط کیفیت فرآیند در بازهٔ صفر تا نصف مقدار LTPD واقع می‌شوند. تهیهٔ جداولی برای طرح‌هایی که دارای متوسط کیفیت فرآیند بزرگ‌تری هستند غیرضروری به نظر می‌رسد. علت آن است که بازرسی ۱۰۰٪ زمانی مقرون به صرفه‌تر از بازرسی به شیوهٔ نمونه‌گیری خواهد بود که متوسط کیفیت فرآیند از نصف مقدار LTPD مورد نظر بیشتر باشد.

۷-۶ استاندارد MIL STD 414 (ANSI/ASQC Z1.9)

۷-۶-۱ تشریح کلی استاندارد

اغلب مشخصه‌های کیفی به‌صورت متغیر بیان می‌شوند. اصلی‌ترین برتری طرح‌های نمونه‌گیری متغیر نسبت به طرح‌های نمونه‌گیری وصفی آن است که در طرح‌های نمونه‌گیری متغیر می‌توان با اندازهٔ نمونهٔ کوچک‌تری همان منحنی OC طرح نمونه‌گیری وصفی را به‌دست آورد. بنابراین، در صورت امکان باید از طرح‌های متغیر بجای طرح‌های وصفی استفاده کرد.

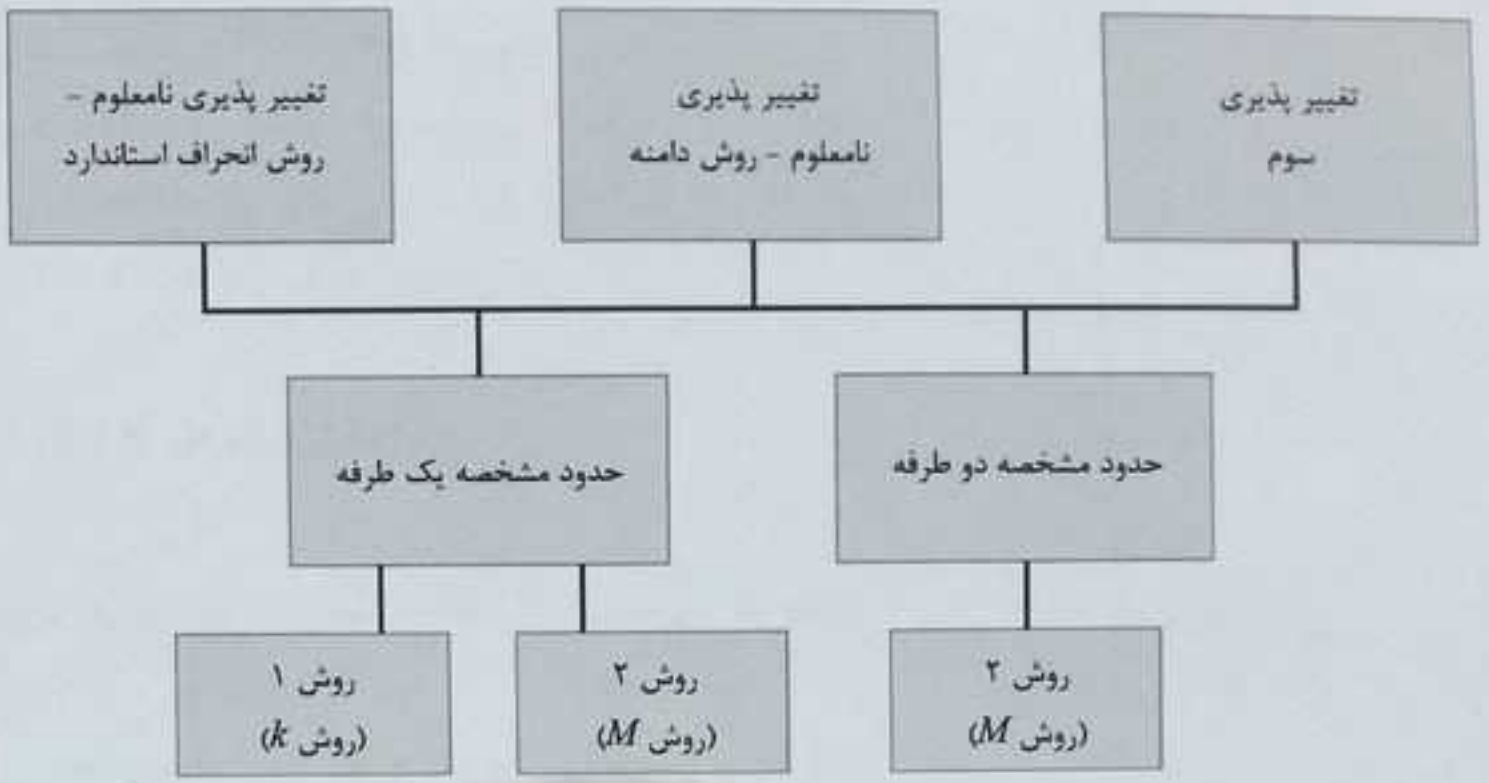
استاندارد MIL STD 414 یک طرح نمونه‌گیری پذیرش انباشته به انباشته برای متغیرهاست. این استاندارد در سال ۱۹۵۷ معرفی شد. استاندارد مذکور بر اساس سطح کیفیت قابل قبول (AQL) با در نظر گرفتن دامنهٔ ۰/۰۴٪ تا ۱۵٪ طراحی شده است. در این استاندارد پنج سطح عمومی برای بازرسی وجود دارد که سطح IV به‌عنوان سطح بازرسی نرمال معرفی شده است. منحنی OC سطح بازرسی V در مقایسه با منحنی OC سطح بازرسی IV از شیب بیشتری برخوردار است. سطوح بازرسی کوچکتر وقتی استفاده می‌شود که کاهش هزینه‌های نمونه‌گیری ضروری باشد و بتوان ریسک‌های بزرگتری را تحمل کرد. همانند استاندارد مشخصه‌های وصفی (MIL STD 105E) در این استاندارد نیز از حروف کد اندازه نمونه استفاده شده است ولی یک حرف کد در این دو استاندارد اندازه نمونه یکسانی را نتیجه نمی‌دهد. به علاوه، دسته‌بندی اندازهٔ انباشته‌ها در این دو استاندارد با یکدیگر تفاوت دارد. اندازهٔ نمونهٔ تابعی از اندازهٔ انباشته و سطح بازرسی است. در استاندارد MIL STD 414 نیز بازرسی نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده در نظر گرفته شده است. کلیهٔ طرح‌های نمونه‌گیری و دستورالعمل‌ها در این استاندارد با فرض نرمال بودن توزیع مشخصهٔ کیفی تهیه شده است.

شکل ۷-۲۰ ساختار این استاندارد را نشان می‌دهد. با بررسی این نمودار مشاهده می‌کنیم که طرح‌های نمونه‌گیری را می‌توان برای شرایط انحراف معیار انباشته یا فرآیند معلوم یا نامعلوم و همچنین حدود مشخصات یک طرفه یا دو طرفه استفاده کرد. برای حالتی که حدود مشخصات یک طرفه استفاده می‌شود می‌توان روش ۱ یا روش ۲ را به‌کار برد.

همان‌طور که در زیر توضیح داده شده است می‌توان محاسبات مورد نیاز برای طرح نمونه‌گیری متغیرها را به دو صورت سازماندهی کرد.

روش ۱. یک نمونهٔ n واحدی از انباشته انتخاب و آمارهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_{LSL} = \frac{\bar{x} - LSL}{\sigma} \qquad (۱۹-۷)$$



شکل ۷-۲۰ ساختار MIL STD 414.

در رابطهٔ فوق، Z_{LSL} فاصلهٔ بین میانگین نمونهٔ $\bar{x}$ و حد مشخصهٔ پایین را برحسب انحراف معیار نشان می‌دهد. هر چه مقدار Z_{LSL} بزرگتر باشد فاصلهٔ میانگین نمونه $\bar{x}$ از حد مشخصهٔ پایین بیشتر و در نتیجه نسبت اقلام معیوب انباشته p نیز کمتر خواهد بود. اگر قرار باشد نسبت اقلام معیوب انباشته از یک مقدار بحرانی خاص بیشتر نباشد آنگاه می‌توان این مقدار بحرانی را برای Z_{LSL} به یک فاصلهٔ بحرانی مثلاً k تبدیل کرد. در این صورت اگر $Z_{LSL} \geq k$ باشد انباشته پذیرش می‌شود. این پذیرش بر اساس اطلاعات موجود در نمونه و واقع شدن میانگین انباشته در بالای LSL به فاصلهٔ کافی و کسب اطمینان از اینکه نسبت اقلام معیوب انباشته رضایت‌بخش است انجام می‌گیرد. اگر $Z_{LSL} < k$ باشد، فاصلهٔ میانگین از LSL بسیار کم است و در نتیجه انباشته باید رد می‌شود.

روش ۲. یک نمونهٔ n واحدی از انباشته انتخاب و آمارهٔ Z_{LSL} در رابطهٔ (۷-۱۹) محاسبه می‌شود. با استفاده از Z_{LSL} ناحیهٔ سمت چپ Z_{LSL} که نسبت اقلام معیوب انباشته یا فرآیند را برآورد می‌کند از توزیع نرمال استاندارد محاسبه می‌شود. در حقیقت، هدف اصلی استفاده از $Q_{LSL} = Z_{LSL}\sqrt{n/(n-1)}$ به‌عنوان متغیر نرمال استاندارد فراهم شدن برآورد نسبتاً بهتری از p است. فرض کنید $\hat{p}$ برآوردی برای p باشد. در این صورت اگر $\hat{p}$ از یک مقدار حداکثر خاصی مانند M بیشتر باشد، انباشته رد و در غیر این صورت انباشته پذیرش می‌شود.

برای حدود مشخصه‌های یک طرفه می‌توان از رویهٔ ۱ یا ۲ استفاده کرد ولی برای حدود مشخصه‌های دو طرفه باید از رویهٔ ۲ استفاده کرد. اگر تغییرپذیری فرآیند معلوم و پایدار باشد آنگاه طرح‌های مبتنی بر تغییرپذیری معلوم می‌توانند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌ترین طرح‌ها باشند. وقتی تغییرپذیری انباشته یا فرآیند معلوم نباشد می‌توان از انحراف معیار یا دامنهٔ نمونه برای طرح نمونه‌گیری استفاده کرد.

استاندارد MIL STD 414 به چهار بخش تقسیم می‌شود. بخش A یک تشریح کلی از طرح‌های نمونه‌گیری است که شامل تعاریف، حروف کد اندازهٔ نمونه و منحنی‌های OC طرح‌های نمونه‌گیری مختلف می‌شود. در بخش B استاندارد، طرح‌های نمونه‌گیری برای متغیرها بر اساس انحراف معیار نمونه وقتی انحراف معیار انباشته یا فرآیند نامعلوم فرض می‌شود ارائه شده است. بخش C استاندارد طرح‌های نمونه‌گیری برای متغیرها را ارائه می‌کند که بر اساس روش دامنهٔ نمونه تهیه شده‌اند. بخش D استاندارد شامل طرح‌های نمونه‌گیری برای متغیرها می‌شود که بر اساس فرض انحراف معیار معلوم تدوین شده‌اند.

۷-۶-۲ استفاده از جداول

دو نمونه از جداول استاندارد MIL STD 414 در جداول ۷-۱۰ و ۷-۱۱ ارایه شده است. مثال زیر روش استفاده ار این جداول را نشان می‌دهد.

در استاندارد MIL STD 414 شرایط مورد نیاز برای تغییر روش بازرسی به بازرسی تنگ‌ترشده یا کاسته شده ارائه شده است. متوسط کیفیت فرآیند به‌عنوان معیار تغییر روش بازرسی استفاده می‌شود. متوسط کیفیت فرآیند به‌عنوان متوسط برآوردهای نسبت اقلام معیوب انباشته‌هایی که مورد بازرسی اولیه قرار می‌گیرند تعریف می‌شود. متوسط کیفیت فرآیند معمولاً بر اساس اطلاعات موجود در ده انباشتهٔ اخیر محاسبه می‌شود. جزئیات کامل تغییر روش بازرسی کاسته شده در گزارش فنی MIL STD 414 که از طرف نیروی دریایی آمریکا منتشر شد به چاپ رسیده است.

مثال ۷-۸ استفاده از استاندارد MIL STD 414

یک شرکت نوشابه‌سازی شیشه‌های نوشابهٔ خود را از تأمین‌کننده‌ای خریداری می‌کند. حد مشخصهٔ پایین برای قدرت تحمل در مقابل فشار psi ۲۲۵ است. فرض کنید AQL به ازای این حد مشخصهٔ ۱٪ باشد. همچنین فرض کنید انباشته‌ها در اندازه‌های ۱۰۰،۰۰۰تایی حمل می‌شود. حال با فرض نامعلوم بودن انحراف معیار، یک طرح نمونه‌گیری با استفاده از روش ۱ از طریق استاندارد MIL STD 414 تهیه کنید.

راه حل

اگر سطح بازرسی IV در نظر گرفته شود آنگاه با مراجعه به جدول ۷-۲۴ حرف کد اندازهٔ نمونهٔ O به‌دست می‌آید. این کد در جدول ۷-۲۵ اندازهٔ نمونهٔ $n=۱۰۰$ را نتیجه می‌دهد. مقدار k به ازای سطح کیفیت قابل قبول ۱٪ و روش بازرسی نرمال ۲/۰۰ به‌دست می‌آید. اگر بازرسی تنگ‌ترشده استفاده شود مقدار مناسب برای $k=۲/۱۴$ خواهد بود. باید به این نکته توجه داشت که بازرسی نرمال و تنگ‌تر شده هر دو از یک جدول استفاده می‌کنند. مقادیر AQL برای بازرسی نرمال و تنگ‌تر شده به ترتیب در بالا و پایین جدول ارائه شده است.

جدول۷-۱۰

حروف کد اندازهٔ نمونه (جدول MIL STD 414 A-2).

اندازه انباشته	سطوح بازرسی				
	I	II	III	IV	V
۳ الی ۸	B	B	B	B	C
۹ الی ۱۵	B	B	B	B	D
۱۶ الی ۲۵	B	B	B	C	E
۲۶ الی ۴۰	B	B	B	D	F
۴۱ الی ۶۵	B	B	C	E	G
۶۶ الی ۱۱۰	B	B	D	F	H
۱۱۱ الی ۱۸۰	B	C	E	G	I
۱۸۱ الی ۳۰۰	B	D	F	H	J
۳۰۱ الی ۵۰۰	C	E	G	I	K
۵۰۱ الی ۸۰۰	D	F	H	J	L
۸۰۱ الی ۱۳۰۰	E	G	I	K	L
۱۳۰۱ الی ۳۲۰۰	F	H	J	L	M
۳۲۰۱ الی ۸۰۰۰	G	I	L	M	N
۸۰۰۱ الی ۲۲۰۰۰	H	J	M	N	O
۲۲۰۰۱ الی ۱۱۰۰۰۰	I	K	N	O	P
۱۱۰۰۰۱ الی ۵۵۰۰۰۰	I	K	O	P	Q
۵۵۰۰۰۱ و بیشتر	I	K	P	Q	Q

در استاندارد MIL STD 414 به منظور استفاده از روش ۲ نیاز به برآورد نسبت اقلام معیوب داریم. این برآورد برای اجرای قوانین تغییر روش بازرسی از نرمال به تنگترشده یا کاسته‌شده و بالعکس ضروری است. در این استاندارد سه جدول برای برآورد نسبت اقلام معیوب در نظر گرفته شده است.

در زمان استفاده از استاندارد MIL STD 414 می‌توان روش انحراف معیار معلوم یا روش انحراف معیار نامعلوم را انتخاب کرد. اگر دلیلی بر معلوم بودن انحراف معیار وجود نداشته باشد باید طرح‌هایی که بر اساس انحراف معیار نامعلوم تدوین شده‌اند را استفاده کرد. با این حال شاید تهیهٔ یک نمودار R یا s بر اساس اطلاعات حاصل از انباشته‌ها برای کسب اطلاعاتی در مورد وضعیت کنترل آماری فرآیند تولید ایدهٔ خوبی باشد. اگر این نمودار کنترل، شرایط تحت کنترل را نشان دهد آنگاه این امکان وجود دارد که بتوان این طرح نمونه‌گیری را بر اساس σ معلوم تعیین کرد. اگر این تغییر انجام شود اندازهٔ نمونه کاهش خواهد یافت. حتی اگر فرآیند به‌طور کامل تحت کنترل نباشد، استفاده از نمودار کنترل سبب می‌شود تا بتوان σ را بهتر برآورد و در نتیجه از طرح‌های σ معلوم استفاده کرد.

جدول ۷-۱۱ جدول بازرسی نرمال و تنگ‌ترشده برای طرح‌هایی با تغییرپذیری نامعلوم (روش انحراف معیار)

(حد مشخصه یک‌طرفه – فرم ۱) (جدول MIL STD 414 B-1)

حرف کد اندازه نمونه	اندازه نمونه	سطح کیفیت قابل قبول (بازرسی نرمال)													
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	▼	▼	1.12	.958	.765	.566	.341
C	4								1.45	1.34	1.17	1.01	.814	.617	.393
D	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	.874	.675	.455
E	7				↓	2.00	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	.955	.755	.536
F	10				2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611
G	15	2.64	2.53	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	.886	.664
H	20	2.69	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695
I	25	2.72	2.61	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	.936	.712
J	30	2.73	2.61	2.51	2.41	2.28	2.15	2.00	1.86	1.73	1.55	1.36	1.15	.946	.723
K	35	2.77	2.65	2.54	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18	.969	.745
L	40	2.77	2.66	2.55	2.44	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.58	1.39	1.18	.971	.746
M	50	2.83	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00	.774
N	75	2.90	2.77	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03	.804
O	100	2.92	2.80	2.69	2.58	2.43	2.29	2.14	2.00	1.86	1.67	1.48	1.26	1.05	.819
P	150	2.96	2.84	2.73	2.61	2.47	2.33	2.18	2.03	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07	.841
Q	200	2.97	2.85	2.73	2.62	2.47	2.33	2.18	2.04	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07	.845
		.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	
		سطح کیفیت قابل قبول (بازرسی تنگ‌تر شده)													

تمام مقادیر AQL بر حسب درصد معیوبی است.

↓ اندازه نمونه و مقدار k اولین طرح نمونه گیری پایین پیکان را استفاده کنید. وقتی اندازه نمونه مساوی یا بزرگتر از اندازه انباشته باشد، تمام اقلام انباشته باید بازرسی شود.

استاندارد MIL STD 414 شامل دستورالعمل خاصی است که به وسیلهٔ آن می‌توان طرح‌های نمونه‌گیری پذیرش که دارای ترکیبی از مشخصه‌های کیفی وصفی و متغیر هستند را تعیین کرد. اگر انباشته شرط پذیرش طرح نمونه‌گیری برای متغیرها را دارا نباشد، یک طرح یک بار نمونه‌گیری از روش بازرسی تنگ‌تر شده و همان AQL از استاندارد MIL STD 105E تهیه می‌شود. یک انباشته می‌تواند به وسیلهٔ هر یک از طرح‌ها، پذیرش ولی باید به وسیلهٔ هر دو طرح رد شود.

۷-۶-۳ توضیحات

در سال ۱۹۸۰ انستیتو استانداردهای ملی آمریکا[1] و انجمن کنترل کیفیت آمریکا[2] معادل غیر نظامی استاندارد MIL STD 414 را تحت عنوان استاندارد ANSI / ASQC Z1.9 منتشر کردند. استاندارد MIL STD 414 ابتدا به منظور فراهم ساختن همان اطمینانی که استاندارد MIL STD 105A (۱۹۵۰) فراهم می‌کرد تهیه شد. زمانی که استاندارد MIL STD 105D در سال ۱۹۶۳ پذیرفته شد تعداد جداول و دستورالعمل‌های بازنگری شدهٔ این استاندارد آن‌قدر زیاد بود که از لحاظ سطح و میزان اطمینان، تفاوت‌هایی بین این استاندارد و استاندارد MIL STD 414 به وجود آمد. در نتیجه اگر اطمینان مستمری به ازای اندازهٔ انباشته‌ها و مقادیر AQL خاصی مورد نظر باشد این امکان وجود ندارد که بتوان از یک طرح نمونه‌گیری وصفی در استاندارد MIL STD 105E مستقیماً به یک طرح نمونه‌گیری برای متغیرها در استاندارد MIL STD 414 تغییر وضعیت داد.

معادل مدنی یا غیرنظامی استاندارد MIL STD 414 یا استاندارد ANSI/ASQC Z1.9، این شباهت اولیه را حفظ کرده است. به‌عبارت دیگر، حالا استاندارد ANSI/ASQC Z1.9 مستقیماً با استاندارد MIL STD 105E و معادل غیرنظامی آن یا استاندارد ANSI/ASQC Z1.4 سازگاری دارد. این سازگاری با به‌کارگیری بازنگری‌های زیر در استاندارد ANSI/ASQC Z1.9 حاصل شده است:

۱- بازهٔ اندازهٔ انباشته‌ها طوری که با استاندارد MIL STD 105E متناظر باشد تعدیل شده است.
۲- حروف کد در نظر گرفته شده برای بازه‌های اندازهٔ انباشته طوری مرتب شده تا سطح اطمینان یکسانی از این استاندارد و استاندارد MIL STD 105E حاصل شود.
۳- مقادیر AQL ۰/۰۴، ۰/۰۶۵ و ۱۵ حذف شدند.
۴- سطوح بازرسی اولیهٔ I، II، III، IV و V به ترتیب به S_1 ، S_2 ، I، II، III تغییر عنوان دادند.
۵- قوانین تغییر روش بازرسی اولیه با قوانین ارائه شده در استاندارد MIL STD 105E با کمی تغییر جایگزین شدند.

---

1. American Notional Standards Institution - ANSI
2. American Society for Quality Control - ASQC

به علاوه، به منظور به هنگام کردن واژه‌های این استاندارد از کلمات عدم انطباق به جای عیب، نامنطبق به جای معیوب، درصد نامنطبق به جای درصد معیوب استفاده شد. منحنی‌های مشخصهٔ عملکرد مجدداً محاسبه و رسم شدند و همچنین با انجام چند ویرایش بر روی محتوای توصیفی سعی شد تا این استاندارد به استاندارد MIL STD 105E نزدیک شود. نهایتاً، یک ضمیمه به استاندارد اضافه شد که رابطهٔ بین ANSI/ASQC Z1.9 ، MIL STD 105E و معادل غیر نظامی آن یعنی ANSI/ASQC Z1.4 را نشان می‌دهد. این ضمیمه همچنین نقاط درصدی منحنی‌های OC این استانداردها و تفاوت‌های آنها را منعکس می‌کند.

تا زمان تألیف این کتاب، وزارت دفاع آمریکا به‌طور رسمی استاندارد ANSI/ASQC Z1.9 را نپذیرفته است و هنوز از استاندارد MIL STD 414 استفاده می‌کند. احیاناً هر دو استاندارد در آینده کاربرد زیادی خواهند داشت. برتری اصلی استاندارد ANSI/ASQC Z1.9 این است که می‌توان بازرسی را با یک برنامهٔ نمونه‌گیری برای وصفی‌ها از استاندارد MIL STD 105E یا ANSI/ASQC Z1.4 شروع و سپس اطلاعات کافی جهت استفاده از نمونه‌گیری برای متغیرها جمع‌آوری کرد و در نهایت برنامهٔ نمونه‌گیری را به یک برنامهٔ نمونه‌گیری برای متغیرها با همان ترکیب حرف کد، اندازهٔ نمونه و AQL تغییر داد. تحت چنین شرایطی این امکان نیز وجود دارد که بتوان در صورت عدم برقراری مفروضات مورد نیاز در برنامهٔ نمونه‌گیری برای متغیرها، مجدداً به برنامهٔ نمونه‌گیری برای وصفی‌ها بازگشت. همچنین این امکان وجود دارد که بتوان از طریق اطلاعات حاصل از طرح‌های نمونه‌گیری برای وصفی‌ها و متغیرها به‌گونه‌ای منطقی به سمت کنترل فرآیند آماری حرکت کرد.

همانند MIL STD 414، در استاندارد ANSI/ASQC Z1.9 نیز فرض می‌شود که مشخصهٔ کیفی مورد نظر از توزیع نرمال پیروی می‌کند. این فرض مهمی است و قبلاً به اندازهٔ کافی در مورد آن بحث شد. در استاندارد مذکور پیشنهاد شده است که از یک آزمون برای بررسی فرض نرمال بودن داده‌ها استفاده شود. یک راه انجام این کار رسم نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و s (یا $\bar{x}$ و R) با استفاده از داده‌های حاصل از هر انباشته است. بعد از تهیهٔ مشاهدات کافی می‌توان با رسم مشاهدات بر روی کاغذ احتمال نرمال یا انجام یکی از آزمون‌های آماری در مورد نرمال بودن توزیع مشخصه کیفی اطمینان حاصل کرد. پیشنهاد می‌شود که در این آزمون آماری از اندازهٔ نمونهٔ نسبتاً بزرگی استفاده شود. قبل از انجام هرگونه آزمونی در مورد نرمال بودن داده‌ها حداقل باید ۱۰۰ مشاهده تهیه شود و ما معتقد هستیم که اندازه نمونه باید به‌طور معکوس با AQL افزایش یابد. اگر فرض نرمال بودن داده‌ها اشتباهاً نقض شود آنگاه باید یک طرح نمونه‌گیری مخصوص برای متغیرها تهیه کرد و یا باید به روش بازرسی نمونه‌گیری برای وصفی‌ها بازگشت.

برتری دیگری که در مورد استفاده از یک نمودار کنترل برای کنترل اطلاعات حاصل از هر انباشته وجود دارد این است که اگر انحراف معیار فرآیند برای حداقل ۳۰ نمونه تحت کنترل باشد، این امکان وجود دارد که بتوان طرح نمونه‌گیری را به یک طرح نمونه‌گیری با انحراف

معیار معلوم تغییر و در نتیجه اندازهٔ نمونه را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. گرچه این کار را می‌توان در هر برنامهٔ نمونه‌گیری مرکب که شامل طرح‌های نمونه‌گیری برای وصفی‌ها و متغیرها است انجام داد ولی انجام این کار با استفاده از استانداردهای ANSI/ASQC به دلیل شباهت موجود بین روش‌های وصفی‌ها و متغیرها ساده‌تر خواهد بود.

۷-۷ نمونه‌گیری زنجیره‌ای

در مواقعی که با آزمایش‌های مخرب یا پرهزینه سروکار داریم معمولاً از طرح‌های نمونه‌گیری که دارای اندازهٔ نمونهٔ کوچک هستند استفاده می‌شود. عدد پذیرش در این طرح‌ها غالبا صفر است. طرح‌های نمونه‌گیری با عدد پذیرش صفر دارای منحنی OC محدب هستند و این یک مشخصهٔ نامطلوب محسوب می‌شود. این بدین‌معناست که با افزایش نسبت اقلام معیوب انباشته احتمال پذیرش به شدت کاهش می‌یابد. چنین طرح‌هایی غالباً برای تولیدکننده عادلانه نخواهد بود و در صورت استفاده از بازرسی اصلاحی می‌توانند مصرف‌کننده را مجبور سازند که تعداد زیادی انباشته با کیفیت مطلوب را بازرسی ۱۰۰٪ کند. شکل‌های ۷-۶ و ۷-۸ منحنی‌های OC طرح‌های نمونه‌گیری با عدد پذیرش صفر و عدد پذیرش بزرگتر از صفر را نشان می‌دهند.

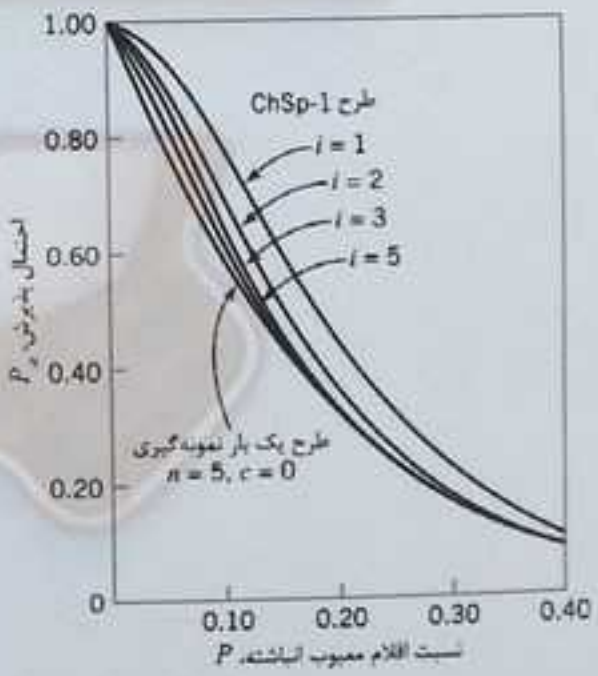
داج در سال ۱۹۵۵ روش دیگری به نام نمونه‌گیری زنجیره‌ای[1] را معرفی کرد که می‌توان از آن در مواقع خاصی به‌عنوان جایگزینی برای طرح‌های یک بار نمونه‌گیری متداول که دارای عدد پذیرش صفر هستند استفاده کرد. در طرح‌های نمونه‌گیری زنجیره‌ای از نتایج تجمعی چند انباشتهٔ قبلی برای نتیجه‌گیری استفاده می‌شود. دستورالعمل کلی برای این طرح‌ها عبارت است از:

۱- از هر انباشته نمونه‌ای به اندازهٔ n انتخاب و تعداد اقلام معیوب آن تعیین می‌شود.

۲- اگر در نمونه معیوبی وجود نداشته باشد، انباشته پذیرش می‌شود، اگر در نمونه دو معیوب یا بیشتر وجود داشته باشد انباشته رد می‌شود و اگر در نمونه یک معیوب مشاهده شود انباشته به شرطی پذیرش می‌شود که i انباشتهٔ قبلی که هر کدام با انتخاب یک نمونهٔ nتایی بازرسی شده‌اند بدون مشاهدهٔ معیوب پذیرش شده باشند.

بنابراین، برای طرح نمونه‌گیری زنجیره‌ای $n = 5$ و $i = 3$ ابتدا یک نمونهٔ تصادفی پنج‌تایی انتخاب و بازرسی می‌شود. اگر در این نمونه معیوبی وجود نداشته باشد انباشته پذیرش می‌شود، اگر در نمونه یک معیوب وجود داشته باشد انباشته به این شرط پذیرش می‌شود که هر یک از سه انباشتهٔ قبلی که بر اساس نمونهٔ پنج‌تایی بازرسی شده‌اند بدون مشاهده معیوب پذیرش شده باشند و اگر دو معیوب وجود داشته باشد انباشته رد می‌شود. این طرح نمونه‌گیری را طرح ChSP-۱ می‌نامند.

استفاده از طرح نمونه‌گیری زنجیره‌ای باعث می‌شود تا منحنی OC در اطراف مبداء شکل مطلوب‌تری داشته باشد. به‌عبارت دیگر، انباشته‌هایی که دارای نسبت اقلام معیوب کم هستند از



شکل ۷-۲۱ منحنی‌های OC برای طرح ChSP-۱ با $n = 5$، $c = 0$ و $i = 1, 2, 3, 5$

1.Chain sampling - ChSp

طریق یک طرح ChSP-۱ در مقایسه با یک طرح یک بار نمونه‌گیری با عدد پذیرش صفر راحت‌تر پذیرش می‌شوند. شکل ۷-۲۱ منحنی‌های OC را برای طرح‌های ChSP-۱ با $n = ۵$، $c = ۰$ و $i = ۱,۲,۳$ و ۵ نشان می‌دهد. منحنی OC مربوط به به i=۱ با نقطه‌چین نشان داده شده است و انتخاب مناسبی محسوب نمی‌شود. در عمل، منحنی‌های OC این‌گونه طرح‌ها به‌عنوان تقریبی برای منحنی OC طرح یک بار نمونه‌گیری در نظر گرفته می‌شود. به این دلیل مقدار i معمولاً بین سه و پنج استفاده می‌شود. نقاط واقع شده بر روی منحنی OC طرح ChSP-۱ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شوند:

$$P_a = P(۰,n) + P(۱,n)\left[P(۰,n)\right]^i \qquad (۲۰-۷)$$

در رابطهٔ فوق، $p(۰,n)$ و $p(۱,n)$ به ترتیب احتمال مشاهدهٔ صفر و احتمال مشاهدهٔ یک معیوب در یک نمونهٔ تصادفی nتایی را نشان می‌دهند. به منظور نشان دادن روش استفاده از این رابطه، طرح ChSP-۱ با $n = ۵$، $c = ۰$ و $i = ۳$ را در نظر گیرید. اگر $p = ۰/۱۰$ باشد آنگاه مقادیر $p(۰,n)$ و $p(۱,n)$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P(۰,n) = \frac{n!}{d!(n-d)!}p^d(۱-p)^{n-d} = \frac{۵!}{۰!۵!}(۰/۱۰)^۰(۰/۹۰)^۵ = ۰/۵۹۰$$

$$P(۱,n) = \frac{n!}{d!(n-d)!}p^d(۱-p)^{n-d} = \frac{۵!}{۱!(۵-۱)!}(۰/۱۰)^۱(۰/۹۰)^۴ = ۰/۳۲۸$$

و

$$P_a = P(۰,n) + P(۱,n)\left[P(۰,n)\right]^i$$
$$= ۰/۵۹۰ + (۰/۳۲۸)(۰/۵۹۰)^۳$$
$$= ۰/۶۵۷$$

استفادهٔ مناسب از نمونه‌گیری زنجیره‌ای نیاز به برقراری شرایط زیر دارد:

۱- انباشته باید بخشی از یک سری انباشتهٔ پیوسته باشد که تحت شرایط یکسان تولید و به ترتیب تولید برای بازرسی ارائه شده باشد.

۲- انباشته‌ها معمولاً باید دارای کیفیت مورد نظر یکسان باشند.

۳- نباید دلیلی برای بازرس وجود داشته باشد تا او احساس کند که سطح کیفیت انباشته پایین‌تر از انباشته‌های قبلی است.

۴- تأمین‌کننده باید از سابقهٔ کیفیت خوبی برخوردار باشد.

۵- بازرس باید به تأمین‌کننده اطمینان داشته باشد که او در بعضی مواقع از سابقهٔ خوب خود سوء استفاده نمی‌کند و انباشته‌های بد را وقتی‌که از احتمال پذیرش بالایی برخوردار هستند برای بازرسی ارسال نمی‌کند.

۷-۸ نمونه‌گیری پیوسته

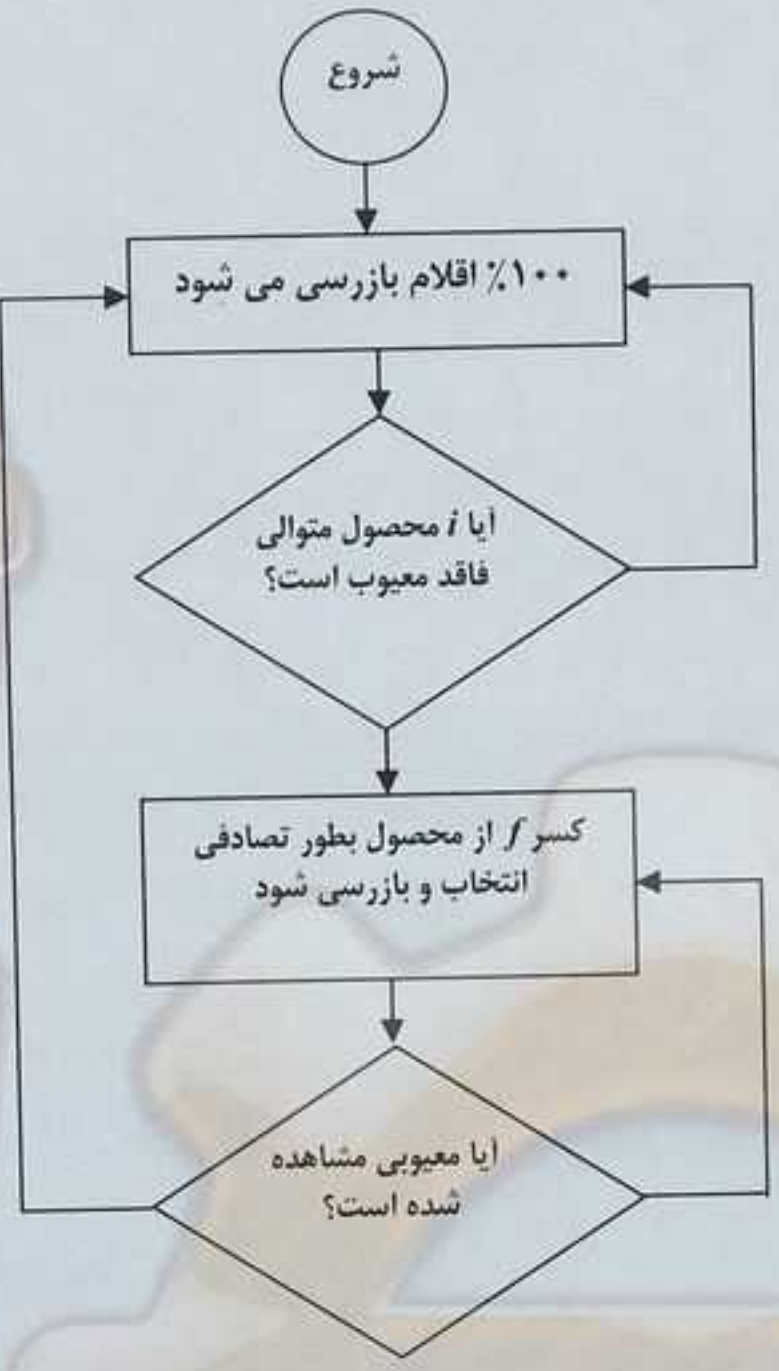
تمامی طرح‌های نمونه‌گیری که قبلاً بحث شد طرح‌های نمونه‌گیری انباشته به انباشته هستند. در این طرح‌ها فرض می‌شود که محصول در قالب انباشته برای بازرسی ارسال می‌شود و هدف اصلی طرح نمونه‌گیری نیز تصمیم‌گیری در مورد انباشته‌های مجزا است. با این حال، اغلب عملیات تولیدی، مخصوصاً فرآیندهای مونتاژ پیچیده، منجر به تشکیل انباشته نمی‌شود. به‌عنوان مثال، تولید اغلب محصولات الکترونیکی، نظیر رایانه‌های شخصی، بر روی تسمهٔ نقاله انجام می‌گیرد.

زمانی‌که تولید به‌صورت پیوسته باشد دو راه برای تشکیل انباشته وجود دارد. در روش اول، محصولات تولید شده در مکان خاصی از فرآیند مونتاژ جمع‌آوری می‌شود. ضعف این روش به وجود آوردن موجودی در حین تولید در مکان‌های مختلف است و این خود نیاز به فضای اضافی دارد. به علاوه، این روش ممکن است خطراتی را نیز به همراه داشته باشد و به‌طور کلی از لحاظ مدیریت خط‌مونتاژ روش مناسبی محسوب نمی‌شود. در روش دوم، بخشی از تولید به‌طور اختیاری به‌عنوان انباشته در نظر گرفته می‌شود. ضعف این روش این است که اگر انباشته‌ای رد شود و نیاز به انجام بازرسی ۱۰۰٪ باشد باید محصولاتی که به مراحل بعدی تولید ارسال شده‌اند را برای بازرسی جمع‌آوری کرد.

بدین‌دلیل، طرح‌های نمونه‌گیری خاصی برای تولیدات پیوسته طراحی شده است. **طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته** ترکیبی از بازرسی نمونه‌گیری و بازرسی ۱۰۰٪ است. این طرح‌ها با بازرسی ۱۰۰٪ شروع می‌شوند و زمانی‌که تعداد مشخصی از واحدها (این تعداد از واحدها را معمولاً با i نشان می‌دهند) فاقد نقص باشند، بازرسی نمونه‌گیری برقرار می‌شود. در حقیقت طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته، طرح‌های بازرسی اصلاحی هستند که با انجام بازرسی ۱۰۰٪ (که به‌صورت جزئی انجام می‌شود) کیفیت محصول را بهبود می‌بخشند.

۷-۸-۱ طرح CSP-۱

طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته ابتدا توسط هارولد اف. داج در سال ۱۹۴۳ ارائه شد. طرح اولیه داج CSP-۱ نامیده می‌شود. در آغاز طرح، تمامی واحدها مورد بازرسی ۱۰۰٪ قرار می‌گیرند. به محض مشاهدهٔ i محصول متوالی فاقد نقص، بازرسی ۱۰۰٪ رها و فقط کسر f از واحدها بازرسی می‌شود. این واحدهای نمونه به‌صورت تصادفی و مجزا از خط تولید انتخاب می‌شوند. اگر یک واحد معیوب مشاهده شود مجدداً بازرسی ۱۰۰٪ آغاز می‌شود. تمامی واحدهای معیوب مشاهده شده دوباره‌کاری و یا با محصولات خوب جایگزین می‌شود. دستورالعمل اجرای طرح CSP-۱ در شکل ۷-۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۲ روش اجرای طرح‌های CSP-۱ .

یک طرح CSP-۱ دارای یک مقدار AOQL کلی است. مقدار AOQL بستگی به مقادیر i و کسر نمونه‌گیری f دارد. مقدار AOQL یکسانی را می‌توان به ازای ترکیب‌های مختلفی از i و f به‌دست آورد. جدول ۷-۱۲ مقادیر i و f که منجر به AOQL خاصی می‌شوند را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشاهده می‌کنیم که برای دو طرح نمونه‌گیری $i = ۵۹$ و $f = \frac{۱}{۳}$ و $i = ۱۱۳$ و $f = \frac{۱}{۷}$ مقدار یکسان ۰/۷۹٪ برای AOQL حاصل می‌شود.

معمولاً انتخاب مقادیر i و f با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف فرآیند تولید تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال، مقادیر i و f ممکن است با توجه به حجم کار بازرس‌ها و اپراتورهای سیستم تعیین شود. در عمل، متداول است که از بازرس‌های تضمین کیفیت برای انجام بازرسی نمونه‌گیری استفاده شود و بازرسی ۱۰۰٪ را بر عهدهٔ تولیدکننده واگذار می‌کنند. با این حال، به‌عنوان یک قانون کلی، انتخاب مقادیر کوچکتر از $\frac{۱}{۲۰۰}$ برای f (به علت افزایش احتمال پذیرش محصولات بد در یک تولید پیوسته) پیشنهاد نمی‌شود.

جدول ۷-۱۲

مقادیر i برای طرح‌های CSP-۱

	AOQL (%)													
۱۱/۴۶	۷/۱۲	۴/۹۴	۲/۹۰	۱/۹۰	۱/۲۲	۰/۷۹	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۱۹۸	۰/۱۴۳	۰/۱۱۳	۰/۰۷۴	۰/۰۴۶	۰/۰۳۳	۰/۰۱۸	f
۳	۵	۶	۱۰	۱۵	۲۳	۳۶	۵۳	۸۴	۱۴۰	۱۹۴	۲۴۵	۳۷۵	۶۰۰	۸۴۰	۱۵۴۰	۱/۲
۵	۷	۱۰	۱۶	۲۵	۳۸	۵۹	۸۷	۱۴۰	۲۳۲	۳۲۱	۴۰۵	۶۲۰	۱۰۰۰	۱۳۹۰	۲۵۵۰	۱/۳
۶	۹	۱۳	۲۱	۳۲	۴۹	۷۶	۱۱۳	۱۸۲	۳۰۳	۴۲۰	۵۳۰	۸۱۰	۱۳۱۰	۱۸۲۰	۳۳۴۰	۱/۴
۷	۱۱	۱۵	۲۵	۳۸	۵۸	۹۱	۱۳۵	۲۱۷	۳۶۰	۴۹۸	۶۳۰	۹۶۵	۱۵۵۰	۲۱۶۰	۳۹۶۰	۱/۵
۸	۱۳	۱۸	۳۱	۴۷	۷۳	۱۱۳	۱۶۸	۲۷۰	۴۵۰	۶۲۳	۷۹۰	۱۲۰۵	۱۹۴۰	۲۷۰۰	۴۹۵۰	۱/۷
۱۰	۱۶	۲۲	۳۸	۵۷	۸۹	۱۳۸	۲۰۷	۳۳۵	۵۵۰	۷۶۲	۹۶۵	۱۴۷۰	۲۳۷۰	۳۳۰۰	۶۰۵۰	۱/۱۰
۱۲	۱۹	۲۷	۴۶	۷۰	۱۰۸	۱۷۰	۲۵۵	۴۱۰	۶۷۲	۹۳۰	۱۱۵۰	۱۸۰۰	۲۸۹۰	۴۰۳۰	۷۳۹۰	۱/۱۵
۱۴	۲۳	۳۳	۵۷	۸۶	۱۳۴	۲۱۰	۳۱۵	۵۰۰	۸۲۸	۱۱۴۷	۱۴۵۰	۲۲۱۵	۳۵۷۰	۴۹۷۰	۹۱۱۰	۱/۲۵
۱۸	۲۹	۴۲	۷۲	۱۱۰	۱۷۵	۲۷۰	۴۰۰	۶۴۰	۱۰۶۷	۱۴۷۷	۱۸۷۰	۲۸۵۵	۴۵۹۰	۶۴۰۰	۱۱۷۳۰	۱/۵۰
۲۲	۳۶	۵۲	۸۹	۱۳۵	۲۱۵	۳۳۰	۵۰۰	۷۹۰	۱۳۰۲	۱۸۲۰	۲۳۰۵	۳۴۸۵	۵۶۰۰	۷۸۱۰	۱۴۳۲۰	۱/۱۰۰
۲۶	۴۳	۶۲	۱۰۶	۱۶۵	۲۵۵	۴۰۰	۵۹۰	۹۵۰	۱۵۸۳	۲۱۷۸	۲۷۶۰	۴۲۳۵	۶۸۱۰	۹۵۰۰	۱۷۴۲۰	۱/۲۰۰

متوسط تعداد واحدهایی که در مرحلهٔ بازرسی ۱۰۰٪ بعد از مشاهدهٔ یک محصول معیوب بازرسی می‌شود برابر است با

$$u = \frac{1-q^i}{pq^i} \tag{۷-۳۱}$$

در رابطهٔ فوق، p نسبت اقلام معیوب را وقتی فرآیند تحت کنترل است نشان می‌دهد و q برابر با $q = 1-p$ است. متوسط تعداد واحدهایی که در مرحلهٔ نمونه‌گیری قبل از مشاهدهٔ یک محصول معیوب پذیرش می‌شود برابر است با

$$v = \frac{1}{fp} \tag{۷-۳۲}$$

متوسط نسبت کل واحدهای تولید شده که در بلند مدت مورد بازرسی قرار می‌گیرد برابر است با

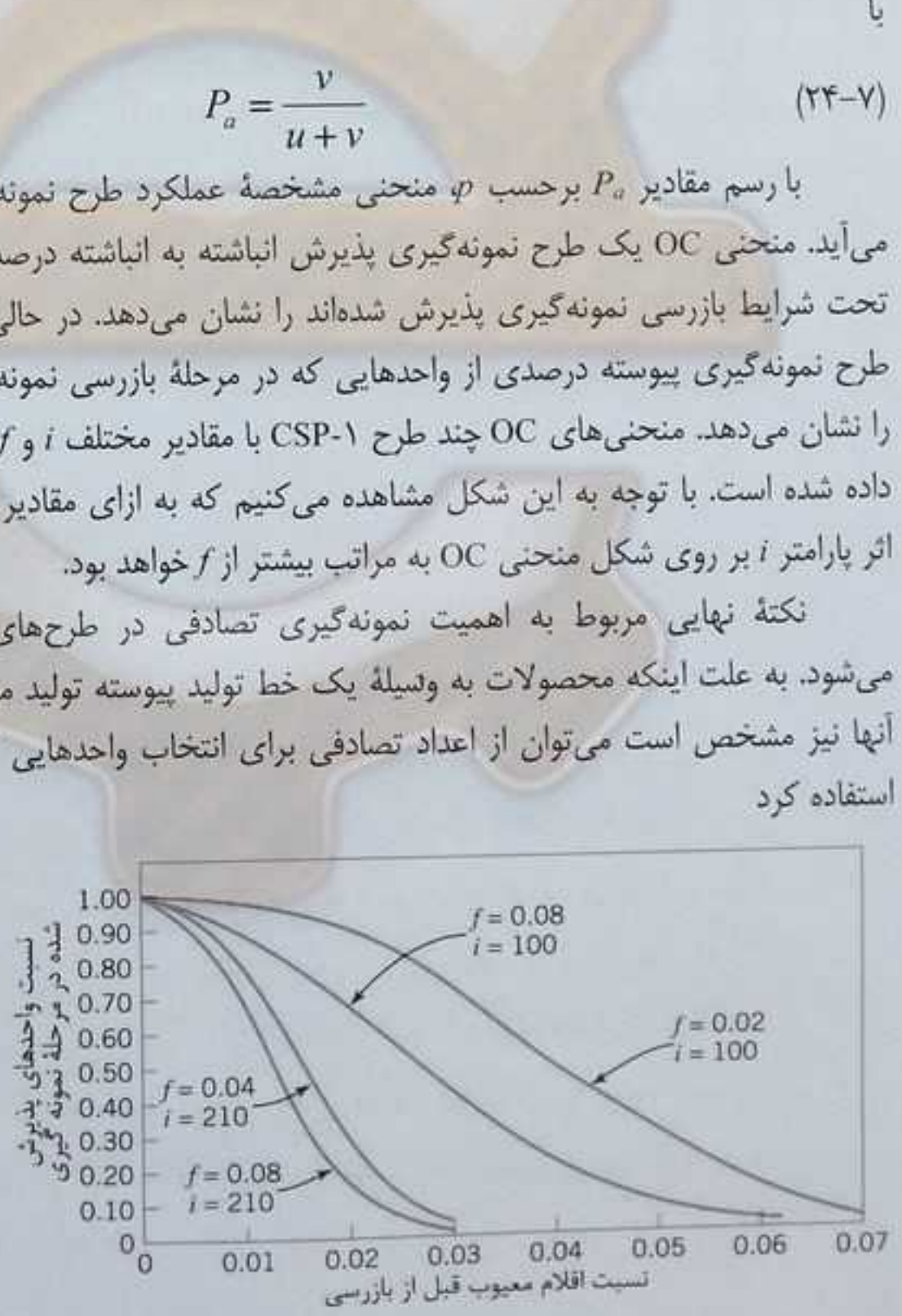
$$AFI = \frac{u+fv}{u+v} \tag{۷-۳۳}$$

و متوسط نسبت واحدهای تولید شده که در مرحلهٔ نمونه‌گیری پذیرش می‌شود برابر است با

$$P_a = \frac{v}{u+v} \tag{۷-۳۴}$$

با رسم مقادیر P_a برحسب p منحنی مشخصهٔ عملکرد طرح نمونه‌گیری پیوسته به‌دست می‌آید. منحنی OC یک طرح نمونه‌گیری پذیرش انباشته به انباشته درصدی از انباشته‌هایی که تحت شرایط بازرسی نمونه‌گیری پذیرش شده‌اند را نشان می‌دهد. در حالی که منحنی OC یک طرح نمونه‌گیری پیوسته درصدی از واحدهایی که در مرحلهٔ بازرسی نمونه‌گیری پذیرش شده‌اند را نشان می‌دهد. منحنی‌های OC چند طرح CSP-۱ با مقادیر مختلف i و f در شکل ۷-۲۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌کنیم که به ازای مقادیر کوچک تا متوسط f، اثر پارامتر i بر روی شکل منحنی OC به مراتب بیشتر از f خواهد بود.

نکتهٔ نهایی مربوط به اهمیت نمونه‌گیری تصادفی در طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته می‌شود. به علت اینکه محصولات به وسیلهٔ یک خط تولید پیوسته تولید می‌شوند و ترتیب تولید آنها نیز مشخص است می‌توان از اعداد تصادفی برای انتخاب واحدهایی که باید بازرسی شوند استفاده کرد



شکل ۷-۲۳ منحنی‌های مشخصهٔ عملکرد برای چند طرح نمونه‌گیری پیوسته، CSP-۱.

این کار به دو صورت می‌تواند انجام شود. در روش اول، برای هر یک از گروه‌هایی که شامل $1/f$ واحد است، یک عدد از دامنه اعداد ۱ تا $1/f$ انتخاب می‌شود. بنابراین، اگر $f=0/10$ باشد برای هر یک از گروه‌های ۱۰ واحدی یک عدد تصادفی از دامنهٔ اعداد ۱ تا ۱۰ از جدول اعداد تصادفی انتخاب و به این صورت اقلام مورد نیاز برای بازرسی مشخص می‌شوند. در روش دوم، با استفاده از یک جدول اعداد تصادفی تعیین می‌شود که آیا هر واحد مجزا باید بازرسی شود یا اینکه بدون بازرسی پذیرش شود. اگر عدد تصادفی از ۰/۱ کمتر باشد، واحد مورد نظر بازرسی می‌شود.

۷-۸-۲ سایر طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته

با ایجاد تغییرات متفاوت در طرح CSP-۱ اولیهٔ داج، طرح‌های متفاوتی حاصل شده است. یکی از این طرح‌ها بر اساس این نگرش طراحی شده است که مشاهدهٔ یک واحد معیوب لزوماً نباید باعث بازگشت به بازرسی ۱۰۰٪ شود و این موضوع مخصوصاً در مواقعی که با نقص‌های جزئی سروکار داریم صادق است. به منظور رفع این مشکل طرح‌های CSP-۲ و CSP-۳ در سال ۱۹۵۱ ارائه شد. در طرح CSP-۲ وقتی بازرسی نمونه‌گیری برقرار است، بازرسی ۱۰۰٪ شروع نمی‌شود مگر اینکه دو واحد معیوب در فاصلهٔ K واحد نمونه‌گیری شده از یکدیگر مشاهده شود. به منظور سهولت معمولاً K برابر با i تعریف می‌شود. جداول طرح‌های CSP-۲ بر اساس AOQL خاصی که حاصل ترکیب‌های مختلفی از i و f است ارایه می‌شود. CSP-۳ بسیار شباهت به CSP-۲ دارد ولی شاید تفاوت بارز آنها در این باشد که CSP-۳ در زمان نامنظم بودن تولید اطمینان بیشتری را فراهم می‌سازد. از طریق این طرح، به محض مشاهدهٔ اولین معیوب چهار واحد بعدی نیز باید بازرسی شود. اگر در میان این چهار واحد، معیوبی مشاهده شود بازرسی ۱۰۰٪ شروع می‌شود و در غیر این صورت بازرسی تحت شرایط CSP-۲ ادامه خواهد یافت.

انتقاد دیگری که در مورد طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته وجود دارد تغییر ناگهانی بین بازرسی نمونه‌گیری و بازرسی ۱۰۰٪ است. به منظور رفع این مشکل طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته چند سطحی در سال ۱۹۵۵ ارائه شد. طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته چند سطحی همانند CSP-۱ با بازرسی ۱۰۰٪ شروع و به محض مشاهدهٔ i محصول سالم متوالی فقط یک کسر f از تولیدات بازرسی می‌شود. با این حال، زمانی که واحدها تحت شرایط بازرسی نمونه‌گیری با نرخ f بازرسی می‌شوند، اگر i واحد نمونه‌گیری شده پی‌درپی فاقد نقص باشد نمونه‌گیری با نرخ f^2 ادامه می‌یابد. اگر i نمونه پی‌درپی نیز فاقد نقش مشاهده شود نمونه‌گیری می‌تواند با میزان f^3 ادامه یابد. این کاهش در فراوانی نمونه‌گیری تا آنجایی که بازرس بخواهد می‌تواند ادامه یابد. در مرحلهٔ نمونه‌گیری اگر معیوبی مشاهده شود نرخ نمونه‌گیری به یک مرحله قبل تغییر می‌یابد. از طریق این طرح نمونه‌گیری پیوسته چند سطحی وقتی فرآیند تولید دارای سطح کیفیت خوبی باشد میزان فعالیت‌های بازرسی کاهش و زمانی که فرآیند تولید از سطح کیفیت خوبی برخوردار نباشد میزان این‌گونه فعالیت‌ها افزایش می‌یابد. همچنین این شدت بازرسی بدون تغییر ناگهانی در حجم بازرسی محقق می‌شود.

اغلب فعالیت‌های انجام شده در خصوص طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته در استاندارد MIL STD 1235C لحاظ شده است. در این استاندارد پنج طرح نمونه‌گیری مختلف وجود دارد. همچنین در این استاندارد جداولی ارائه شده است که می‌توان از آنها برای طراحی طرح‌های نمونه‌گیری استفاده کرد. CSP-۱ و CSP-۲ بخشی از MIL STD 1235C هستند. به علاوه، در این استاندارد دو روش نمونه‌گیری پیوسته یک سطحی تحت عنوان CSP-F و CSP-V نیز وجود دارد. پنجمین طرح این استاندارد یک طرح نمونه‌گیری پیوستهٔ چند سطحی تحت عنوان CSP-T است.

طرح‌های نمونه‌گیری در استاندارد MIL STD 1235C با حرف کد فراوانی نمونه‌گیری و AOQL فهرست شده‌اند. این طرح‌ها همچنین با در نظر گرفتن مقادیر AQL استاندارد MIL STD 105E فهرست شده‌اند. این جنبهٔ MIL STD 1235C بحث برانگیز بوده است. طرح‌های CSP طرح‌های مبتنی بر AQL نیستند و به‌طور ذاتی نیز با مقادیر AQL سروکار ندارند. استاندارد MIL STD 105E که بر AQL تمرکز دارد برای شرایط تولیدی که تشکیل انباشته برای آنها یک امر عادی تلقی می‌شود طراحی شده است. این استاندارد همچنین شامل مجموعه‌ای از قوانین ارزیابی برای انباشته‌ها است تا AQL خاصی تأمین شود. طرح‌های CSP برای شرایط تولیدی که دارای تولید پیوسته هستند و همچنین تشکیل انباشته برای آنها یک امر عادی محسوب نمی‌شود طراحی شده است. در استاندارد MIL STD 1235C جداول طرح‌های نمونه‌گیری دارای این زیرنویس هستند، "مقادیر AQL فقط به‌عنوان فهرست در این طرح استفاده شده‌اند و هیچ‌گونه معنای دیگری ندارند".

۷-۹ طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر

در این بخش یک سیستم طرح‌های بازرسی انباشته به انباشته که فقط کسری از انباشته‌های ورودی را بازرسی می‌کند تشریح می‌شود. اینگونه طرح‌ها را طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر می‌نامند. به‌طور کلی، طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر فقط زمانی باید استفاده شوند که محصولات تأمین‌کننده از کیفیت خوبی برخوردار باشد.

طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر اولین بار توسط داج در سال ۱۹۵۶، به‌عنوان نمونهٔ تعمیم یافته‌ای از طرح‌های نمونه‌گیری پیوستهٔ نوع CSP ارائه شد. به‌عبارت دیگر، یک طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر کاربرد نمونه‌گیری پیوسته را در مورد بازرسی انباشته‌ها نشان می‌دهد. طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر اولیه که توسط داج پیشنهاد شد فقط با استفاده از یک مقدار یا یک تحلیل، پذیرش یا عدم پذیرش انباشته را مشخص می‌کرد. این طرح‌ها را طرح‌های SkSP-۱ می‌نامند. طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر که با عنوان SkSP-۲ معرفی می‌شوند گام منطقی بعدی را دنبال می‌کنند و یا به‌عبارت دیگر هر یک از انباشته‌های مورد نظر بر اساس یک طرح نمونه‌گیری وصفی خاص، نمونه‌گیری و بازرسی می‌شود.

یک طرح نمونه‌گیری انباشته گذر نوع SkSP-۲ از یک طرح بازرسی انباشته‌ای خاص، که

طرح نمونه‌گیری مرجع[1] نامیده می‌شود، همراه با قوانین زیر برای تصمیم‌گیری در مورد کیفیت انباشته‌ها استفاده می‌کند:

۱- با استفاده از طرح مرجع بازرسی را شروع کنید. در این مرحله، هر یک از انباشته‌ها مورد بازرسی قرار می‌گیرد.

۲- وقتی i انباشتهٔ متوالی با استفاده از طرح مرجع پذیرش شد، روش بازرسی را به بازرسی انباشته گذر تغییر دهید. در این روش بازرسی، فقط یک کسر f از انباشته‌ها بازرسی می‌شود.

۳- وقتی انباشته‌ای در مرحلهٔ بازرسی انباشته‌ای رد شود روش بازرسی را به بازرسی با طرح مرجع تغییر دهید.

پارامترهای f و i، پارامترهای طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر SkSP-۲ هستند. به‌طور کلی، i یک عدد صحیح مثبت و کسر نمونه‌گیری f عددی در فاصلهٔ $0 < f < 1$ است. زمانی‌که کسر نمونه‌گیری $f=1$ باشد طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر به طرح نمونه‌گیری مرجع اولیه تبدیل می‌شود. اگر احتمال پذیرش یک انباشته از طرح نمونه‌گیری مرجع برابر P در نظر گرفته شود آنگاه احتمال پذیرش برای طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر SkSP-۲ برابر خواهد بود با

$$P_a(f,i)=\frac{fP+(1-f)P^i}{f+(1-f)P^i} \qquad (۲۵-۷)$$

برای یک طرح نمونه‌گیری مرجع معین و یک مقدار خاصی از i وقتی $f_1 < f_2$ باشد می‌توان نشان داد که رابطهٔ زیر برقرار است:

$$P_a(f_1,i) \le P_a(f_2,i) \qquad (۲۶-۷)$$

به علاوه، برای اعداد صحیح $j > i$، یک مقدار ثابت f و یک طرح نمونه‌گیری مرجع معین، رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$P_a(f,i) \le P_a(f,i) \qquad (۲۷-۷)$$

این خواص یک طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر برای طرح نمونه‌گیری مرجع $n=۲۰$ و $c=۱$ در شکل‌های ۷-۲۳ و ۷-۲۴ همراه با منحنی OC طرح نمونه‌گیری مرجع نشان داده شده است.

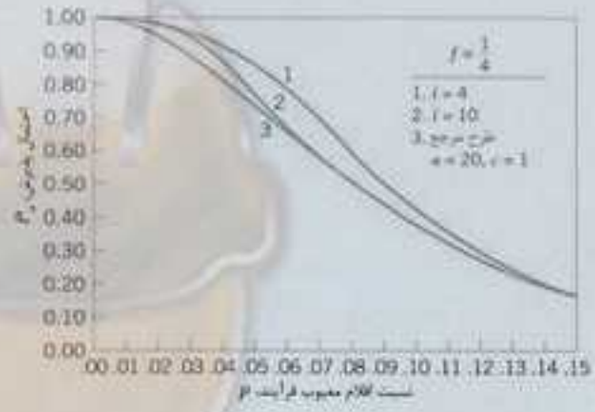
یکی از خواص بسیار مهم یک طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر مقدار متوسط بازرسی مورد نیاز است. به‌طور کلی، طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر در مواقعی که کاهش میزان متوسط بازرسی ضروری باشد استفاده می‌شوند. متوسط تعداد نمونه برای یک طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{ASN}(SkSP)=\mathrm{ASN}(R)F \qquad (۲۸-۷)$$

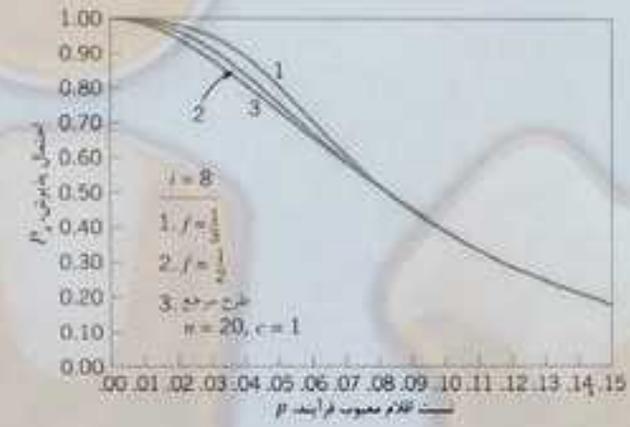
در رابطهٔ فوق، F میزان متوسط انباشته‌هایی که نمونه‌گیری می‌شوند و ASN(R) متوسط تعداد نمونه برای طرح نمونه‌گیری مرجع را نشان می‌دهند. می‌توان نشان داد که

$$F=\frac{f}{(1-f)P^i+f} \qquad (۲۹-۷)$$

1. reference sampling plan



شکل ۷-۲۴ منحنی‌های OC برای طرح‌های انباشته گذر ۲- SkSP : طرح مرجع یک بار نمونه‌گیری، f یکسان و i متفاوت.



شکل ۷-۲۵ منحنی‌های OC برای طرح‌های انباشته‌گذر ۲- SkSP : طرح مرجع یک بار نمونه‌گیری، i یکسان و f متفاوت.

بنابراین، از آنجایی‌که $0 < F < 1$ است نتیجه می‌گیریم که

$$\mathrm{ASN}(SkSP) < \mathrm{ASN}(R) \qquad (۳۰-۷)$$

در این صورت طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر **متوسط تعداد نمونه** را کاهش می‌دهد. میزان این کاهش زمانی قابل توجه خواهد بود که کیفیت انباشته‌های ورودی بسیار خوب باشد.

به منظور نشان دادن رفتار متوسط تعداد نمونه یک طرح نمونه‌گیری انباشته‌گذر، طرح نمونه‌گیری مرجع $n=۲۰$ و $c=۱$ را در نظر گیرید. می‌دانیم که متوسط تعداد نمونه برای یک طرح یک بار نمونه‌گیری برابر $n=\mathrm{ASN}$ است. در این صورت

$$\mathrm{ASN}(SkSP) = n\left(F\right)$$

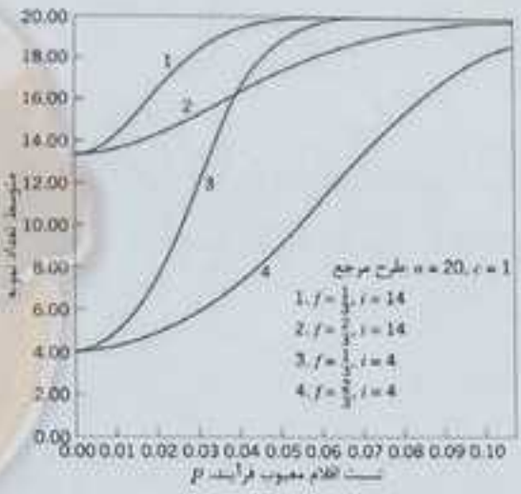
شکل ۷-۲۶ منحنی‌های ASN را برای طرح‌های نمونه‌گیری زیر همراه با طرح نمونه‌گیری مرجع $n=۲۰$ و $c=۱$ نشان می‌دهد:

$$۱.\ f = \frac{۱}{۳} \quad ,i = ۴$$

$$۲.\ f = \frac{۱}{۳} \quad ,i = ۱۴$$

$$۳.\ f = \frac{۲}{۳} \quad ,i = ۴$$

$$۴.\ f = \frac{۲}{۳} \quad ,i = ۱۴$$



شکل ۷-۲۶ منحنی‌های متوسط تعداد نمونه (ASN) برای طرح‌های انباشته‌گذر ۲- SkSP با طرح مرجع یک بار نمونه‌گیری.

با بررسی شکل ۷-۲۶ مشاهده می‌کنیم که وقتی نسبت اقلام معیوب انباشته‌های ورودی کم است، استفاده از طرح‌های فوق کاهش قابل ملاحظه‌ای را در متوسط تعداد نمونه نتیجه می‌دهد. اگر کیفیت انباشته‌های ورودی بسیار خوب باشد (حدوداً نزدیک به صفر) مقدار کوچکی برای f (احیاناً ۱/۴ یا ۱/۵) می‌توان در نظر گرفت. اگر کیفیت انباشته‌های ورودی کمی بدتر باشد یک مقدار مناسب برای f می‌تواند ۱/۲ باشد.

طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر یک روش نمونه‌گیری پذیرش مؤثری محسوب می‌شود و می‌توان آنها را به‌عنوان یک سیستم بازرسی کاسته شده به‌کار برد. میزان اثربخشی آنها مخصوصاً زمانی خوب است که کیفیت انباشته‌های ورودی بسیار خوب باشد. با این حال، در زمان استفاده از طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر باید خیلی با احتیاط عمل کرد و فقط زمانی از آنها استفاده شود که تأمین‌کننده از شهرت خوبی در زمینه کیفیت برخوردار باشد و یا به‌عبارت دیگر اطمینان حاصل شود که انباشته‌های ورودی دارای کیفیت بسیار خوبی است. از طرف دیگر، اگر فرآیند تأمین‌کننده از ثبات کافی برخوردار نباشد و تغییرات زیادی بین انباشته‌ها مشاهده شود آنگاه طرح‌های نمونه‌گیری انباشته‌گذر نمی‌تواند طرح‌های مناسب و مفیدی محسوب شوند. این طرح‌ها زمانی مناسب خواهند بود که فرآیند تولید تأمین‌کننده تحت کنترل آماری قرار داشته باشد و یا زمانی که نسبت قابلیت فرآیند آنقدر بزرگ باشد که تقریباً محصولات تولیدشده فاقد عیب باشند.

واژه‌ها و مفاهیم مهم

ابزو ۲۸۵۹	طرح نمونه‌گیری پی‌درپی	متوسط کل بازرسی
بازرسی اصلاحی	طرح‌های نمونه‌گیری داج-رومیگ	منحنی OC ایده‌آل
بازرسی ۱۰۰٪	طرح نمونه‌گیری پذیرش	منحنی‌های OC نوع A و نوع B
داده‌های وصفی	طرح‌های LTPD	نسبت اقلام مجاز انباشته (LTPD)
طرح چند بار نمونه‌گیری	طرح‌های AOQL	نمونه‌گیری تصادفی
طرح دو بار نمونه‌گیری	قوانین تغییر روش نمونه‌گیری	ANSI/ASQ Z1.9
طرح یک بار نمونه‌گیری	متوسط کیفیت خروجی	MIL STD 105E

تمرین‌ها

۷-۱ منحنی OC نوع B را برای طرح یک بار نمونه‌گیری $n=۵۰$ و $c=۱$ رسم کنید.

۷-۲ منحنی OC نوع B را برای طرح یک بار نمونه‌گیری $n=۱۰۰$ و $c=۲$ رسم کنید.

۷-۳ فرض کنید محصولی در انباشته‌هایی به اندازه $N=۵۰۰۰$ حمل می‌شود. این انباشته‌ها در محل دریافت به وسیله طرح یک بار نمونه‌گیری $n=۵۰$ و $c=۱$ بازرسی می‌شوند.

الف – منحنی OC نوع A را برای این طرح رسم کنید.

ب- منحنی OC نوع B را برای این طرح رسم کنید و آن را با منحنی OC نوع A که در قسمت الف رسم شد مقایسه کنید.

۷-۴ یک طرح یک بار نمونه‌گیری طراحی کنید که دارای شرایط

$p_1 = ۰/۰۱ , p_2 = ۰/۱۰ \beta = ۰/۱۰ , \alpha = ۰/۰۵$, باشد.

۷-۵ یک طرح یک بار نمونه‌گیری طراحی کنید که دارای شرایط

$p_1 = ۰/۰۵ , p_2 = ۰/۱۵ \quad , \alpha = ۰/۰۵ , \beta = ۰/۱۰$ باشد.

۷-۶ یک طرح یک بار نمونه‌گیری طراحی کنید که دارای شرایط

$p_1 = ۰/۰۲ , p_2 = ۰/۰۶ \quad , \alpha = ۰/۰۱ , \beta = ۰/۱۰$ باشد.

۷-۷ شرکتی کیفیت انباشته‌های ورودی را از روش نمونه‌گیری پذیرش زیر ارزیابی می‌کند. نمونه‌ای به اندازه ۱۰٪ اندازه انباشته تهیه می‌شود. اگر ۲٪ یا کمتر از اقلام نمونه معیوب باشد انباشته پذیرش و در غیر این صورت انباشته رد می‌شود. اگر انباشته‌ها بین ۵۰۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ تغییر کند آنگاه در مورد تضمینی که این طرح برای شرکت فراهم خواهد کرد چه می‌توان گفت؟ اگر LTPD مورد نظر ۰/۰۵ باشد آیا این روش بازرسی، سطح تضمینی مناسبی را برای مصرف‌کننده فراهم می‌سازد؟

۷-۸ شرکتی کیفیت انباشته‌های ورودی را بر اساس نمونه‌ای به اندازه جذر اندازه انباشته ارزیابی می‌کند. اگر ۱٪ یا کمتر از اقلام نمونه معیوب باشد انباشته پذیرش و در غیر این صورت انباشته رد می‌شود. اگر اندازه انباشته‌ها بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ تغییر کند، در مورد اثربخشی این روش بازرسی چه می‌توان گفت؟

۷-۹ طرح یک بار نمونه‌گیری که در تمرین ۷-۴ به‌دست آمد را در نظر گیرید. فرض کنید اندازه انباشته‌ها $N=۲۰۰۰$ است. منحنی ATI را برای این طرح رسم کنید. منحنی AOQ را رسم و مقدار AOQL را تعیین کنید.

۷-۱۰ فرض کنید انباشته‌هایی به اندازه $N=۳۰۰۰$ به وسیله طرح یک بار نمونه‌گیری $n=۱۵۰$ و $c=۲$ بازرسی می‌شود.

الف- منحنی OC این طرح را رسم کنید.

ب- منحنی AOQ را رسم و مقدار AOQL را تعیین کنید.

ج- منحنی ATI را برای این طرح رسم کنید.

۷-۱۱ فرض کنید تأمین‌کننده‌ای قطعات تولید شده را در انباشته‌هایی به اندازه $N=۵۰۰۰$ حمل می‌کند. این انباشته‌ها در محل دریافت به وسیله طرح یک بار نمونه‌گیری $n=۵۰$ و $c=۲$ بازرسی می‌شوند. انباشته‌های رد شده مورد بازرسی قرار می‌گیرند و کلیه اقلام معیوب دوباره‌کاری و مجدداً به انباشته بازگردانده می‌شوند.

الف- منحنی OC این طرح را رسم کنید.

ب- سطح کیفیت انباشته که ۹۰٪ از مواقع رد می‌شود را تعیین کنید.

ج- مدیریت استفاده از طرح فوق را نامناسب دانسته و می‌خواهد از طرحی با عدد پذیرش $c=۰$ استفاده کند. دلیل مدیریت برای انجام این کار سازگاری طرح جدید با برنامه نقص صفر ذکر شده است. نظر خود را در مورد این تصمیم بیان کنید.

د- یک طرح یک بار نمونه‌گیری با $c=۰$ طراحی کنید که با احتمال ۰/۹۰ انباشته‌هایی که دارای سطح کیفیت محاسبه شده در قسمت (ب) هستند را رد کند. باید توجه داشت که این دو طرح حالا در نقطه LTPD یکسان عمل می‌کنند. منحنی OC این طرح را رسم و آن را با منحنی OC طرح $n=۵۰$ و $c=۲$ که در قسمت (الف) به‌دست آمد مقایسه کنید.

هـ- فرض کنید انباشته‌های ورودی دارای ۰/۵٪ اقلام

معیوب باشند. احتمال رد انباشته‌ها را تحت شرایط هر یک از دو طرح محاسبه کنید. در این نقطه معیار ATI را برای هر یک از دو طرح محاسبه کنید. کدام طرح را ترجیح می‌دهید؟ چرا؟

۷-۱۲ منحنی‌های OC اصلی و مکمل را برای طرح دو بار نمونه‌گیری زیر رسم کنید:

$n_1 = ۵۰$, $c_1 = ۲$, $n_2 = ۱۰۰$, $c_2 = ۶$. اگر نسبت اقلام معیوب انباشته‌های ورودی $p=۰/۰۵$ باشد، احتمال پذیرش به وسیله نمونه اول چه مقدار خواهد بود. احتمال پذیرش نهایی چه مقدار خواهد بود؟ احتمال پذیرش به وسیله نمونه اول را محاسبه کنید.

۷-۱۳ الف- یک طرح نمونه‌گیری پی‌درپی قلم به قلم طراحی کنید که دارای شرایط

$p_1 = ۰/۰۱$, $\alpha = ۰/۰۵$, $p_2 = ۰/۰۱$, $\beta = ۰/۱۰$

باشد.

ب- منحنی OC این طرح را رسم کنید.

۷-۱۴ الف- یک طرح نمونه‌گیری قلم به قلم طراحی کنید که دارای شرایط

$p_1 = ۰/۰۱$, $\alpha = ۰/۰۵$, $p_2 = ۰/۰۱$, $\beta = ۰/۱۰$ باشد.

ب- منحنی OC این طرح را رسم کنید.

۷-۱۵ بازرسی اصلاحی را برای طرح‌های یک بار نمونه‌گیری در نظر گیرید. رابطه‌ای برای AOQ با این فرض که اقلام معیوب بدون جایگزینی از انباشته حذف می‌شوند تهیه کنید.

۷-۱۶ تأمین‌کننده‌ای قطعات تولید شده را در انباشته‌هایی به اندازه $N=۳۰۰۰$ حمل می‌کند. اگر AQL برای این محصول ۱٪ در نظر گرفته شود آنگاه طرح‌های یک بار نمونه‌گیری نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده را از طریق MIL STD 105E برای سطح بازرسی II تهیه کنید.

۷-۱۷ تمرین ۷-۱۶ را با استفاده از سطح بازرسی I مجدداً حل کنید. تفاوت‌های موجود بین طرح‌های نمونه‌گیری مختلف را بحث کنید.

۷-۱۸ محصولی در انباشته‌هایی به اندازه $N=۱۰,۰۰۰$ حمل می‌شود. AQL دارای مقدار ۰/۱۰٪ است.

الف- طرح‌های یک بار نمونه‌گیری نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده را از طریق استاندارد MIL STD 105E برای سطح بازرسی II تهیه کنید.

ب- طرح‌های دو بار نمونه‌گیری نرمال، تنگ‌تر شده و کاسته شده را از طریق استاندارد MIL STD 105E برای سطح بازرسی II تهیه کنید.

۷-۱۹ از استاندارد MIL STD 105E برای بازرسی انباشته‌های ورودی به اندازه $N=۵۰۰۰$ استفاده می‌شود. شرایط مورد نظر عبارتند از: طرح یک بار نمونه‌گیری، سطح بازرسی II و AQL برابر با ۰/۶۵٪.

الف- طرح‌های بازرسی نرمال، تنگتر شده و کاسته شده را تعیین کنید.

ب- منحنی‌های OC طرح‌های بازرسی نرمال، تنگتر شده و کاسته شده را بر روی یک نمودار رسم کنید.

۷-۲۰ محصولی در انباشته‌هایی به اندازه $N=۲۰۰۰$ حمل می‌شود. با فرض اینکه فرآیند به‌طور متوسط ۰/۲۵٪ معیوبی تولید می‌کند یک طرح یک بار نمونه‌گیری از روش داج- رومیگ با LTPD=۱٪ طراحی کنید. منحنی‌های OC و ATI این طرح را رسم کنید. AOQL برای این طرح نمونه‌گیری چه مقدار خواهد بود؟

۷-۲۱ طراحی یک طرح یک بار نمونه‌گیری مورد نظر است. فرآیند تأمین‌کننده در سطح معیوبی ۰/۵۰٪ عمل می‌کند و می‌خواهیم AOQL حاصل از فعالیت‌های بازرسی ۳٪ باشد.

الف- یک طرح مناسب از روش داج- رومیگ تهیه کنید.

ب- منحنی‌های OC و ATI این طرح را رسم کنید. اگر کیفیت فرآیند تأمین‌کننده به سطح متوسط معیوبی نزدیک باشد، به‌طور متوسط برای هر انباشته چه مقدار بازرسی لازم خواهد بود؟

ج- مقدار LTPD حاصل از این طرح چه مقدار است؟

۷-۲۲ محصولی در انباشته‌هایی به اندازه $N=۵۰۰۰$ حمل می‌شود. می‌خواهیم از یک طرح یک بار نمونه‌گیری با AOQL=۲/۵٪ استفاده کنیم. نسبت اقلام معیوب فرآیند تأمین‌کننده معلوم نیست ولی حدس زده می‌شود که فرآیند او در سطح ۱٪ معیوبی عمل می‌کند.

الف- یک طرح نمونه‌گیری مناسب از روش داج-رومیگ تهیه کنید.

ب- مقدار ATI را با فرض اینکه انباشته‌های ورودی دارای سطح معیوبی ٪۱ باشند برای این طرح محاسبه کنید.

ج- فرض کنید برآورد ما از نسبت اقلام معیوب فرآیند تأمین‌کننده اشتباه بوده است و میزان واقعی ٪۰/۲۵ است. در این صورت چه طرح نمونه‌گیری باید مورد استفاده قرار می‌گرفت. چه میزان کاهش در ATI به‌دست می‌آمد اگر طرح نمونه‌گیری صحیح استفاده می‌شد؟

۷-۲۳ بازرسی می‌خواهد با استفاده از ٪۱/۵ =AQL و N=۷۰۰۰ یک طرح نمونه‌گیری برای متغیرها طراحی کنید. اگر انحراف معیار فرآیند یا انباشته نامعلوم فرض شود آنگاه با استفاده از روش ۱ از استاندارد MIL STD 414 یک طرح نمونه‌گیری طراحی کنید.

۷-۲۴ اندازه نمونه‌هایی که در تمرین ۷-۲۳ به‌دست آمد را با اندازه نمونه‌هایی که تحت شرایط MIL STD 105E به‌دست می‌آید مقایسه کنید.

۷-۲۵ انباشته‌ای به اندازهٔ N=۵۰۰ مورد بازرسی قرار می‌گیرد. فرض کنید می‌خواهیم با استفاده از سطح بازرسی II یک طرح نمونه‌گیری از استاندارد MIL STD 414 تهیه کنیم. اگر ٪۴ =AQL باشد، با استفاده از روش ۱ یک طرح نمونه‌گیری طراحی کنید.

۷-۲۶ یک شرکت نوشابه سازی شیشه‌های یک بار مصرف خود را از تأمین کننده خریداری می‌کند. حد مشخصه پایین برای قدرت تحمل در مقابل فشار برای شیشه‌ها از طرف شرکت نوشابه سازی ۲۲۵ psi تعیین شده است. شرکت نوشابه سازی در نظر دارد از یک طرح نمونه‌گیری برای متغیرها با ٪۱=AQL استفاده کند. با استفاده از استاندارد MIL STD 414 طرح‌های نمونه‌گیری نرمال و تنگ‌تر شده را تعیین کنید. فرض کنید انباشته‌ای مورد بازرسی قرار می‌گیرد و اطلاعات زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{x} = ۲۲۵ \text{ psi} \qquad s = ۱۰ \text{ psi}$$

آیا انباشته از روش ۱ پذیرش می‌شود؟ اندازهٔ انباشته ۱۰۰,۰۰۰ است.

۷-۲۷ یک نوع ماده شیمیایی در ظروف فلزی بسته بندی می‌شود. یک محموله بزرگ از این ظروف تحویل یک شرکت تولیدی می‌شود. میانگین چگالی این ماده شیمیایی نباید از $۰/۱۵ \text{g/cm}^۳$ کمتر باشد. فرض کنید چنین انباشته‌هایی باید با احتمال ٪۹۵ پذیرش شوند. اگر میانگین چگالی۰/۱۴۵۰ باشد احتمال پذیرش انباشته باید۰/۱۰ باشد. فرض کنید انحراف معیار چگالی معلوم و حدوداً برابر $۰/۰۰۵ \text{g/cm}^۳$ است. یک طرح نمونه‌گیری برای متغیرها طراحی کنید که بتوان به وسیله آن کیفیت چنین انباشته‌هایی را ارزیابی کرد.

۷-۲۸ استاندارد ۰/۳ ppm به‌عنوان سطح تشعشع برای فورمالدئید محصولات چوبی در نظر گرفته شده است. فرض کنید انحراف معیار سطح تشعشع در یک صفحه چوبی $\sigma = ۰/۱۰$ ppm باشد. انباشته‌ای که ٪۱ یا کمتر از اقلام آن دارای سطح تشعشعی بیشتر از ۰/۳ ppm باشد قابل قبول و انباشته‌ای که ٪۸ یا بیشتر از اقلام آن دارای سطح تشعشعی بیشتر از ۰/۳ ppm باشد غیرقابل قبول محسوب می‌شود. احتمال پذیرش انباشته‌های خوب باید ۰/۹۵ و احتمال پذیرش انباشته‌های بد باید ۰/۹۰ باشد.

الف- یک طرح نمونه‌گیری برای متغیرها که دارای شرایط فوق باشد طراحی کنید.

ب- با استفاده از ٪۱=AQL و فرض اینکه هر انباشته شامل ۵۰۰۰ صفحه است یک مجموعه از طرح‌های نمونه‌گیری مناسب از طریق استاندارد MIL STD 414 طراحی کنید. اندازه نمونه‌ها و سطح اطمینانی که هم تولید کننده و هم مصرف کننده از این طرح و طرح‌های تعیین شده در قسمت (الف) به‌دست می‌آورند را با یکدیگر مقایسه کنید.

ج- یک طرح نمونه‌گیری برای وصفی‌ها طراحی کنید که منحنی OC آن با منحنی OC حاصل از طرح تعیین شده در قسمت (الف) یکسان باشد.

د- با استفاده از ٪۱=AQL یک طرح نمونه‌گیری برای وصفی‌ها از استاندارد MIL STD 105E طراحی کنید. اندازه نمونه‌ها و سطح اطمینان حاصل از این طرح و طرح‌های تعیین شده در قسمت‌های (الف)، (ب) و (ج) را با یکدیگر مقایسه کنید.

۲۹-۷ یک طرح یکبار نمونه‌گیری با n=۲۵ و c =۰ را در نظر گیرید. منحنی OC این طرح را رسم کنید. حال طرح‌های نمونه‌گیری زنجیره‌ایی با n=۲۵ ، c =۰ و ۷، ۵، ۲، ۱ = i را در نظر گیرید. منحنی‌های OC این طرح‌ها را بر روی همان نمودار قبل رسم کنید. تحت شرایط فوق، در مورد رفتار طرح زنجیره‌ایی در مقایسه با طرح یک‌بار نمونه-گیری معمولی با c =۰ چه می‌توان گفت؟

۳۰-۷ یک شرکت الکترونیکی تجهیزات حافظه را در انباشته‌هایی به اندازهٔ N= ۳۰,۰۰۰ از تأمین‌کننده‌ایی خریداری می‌کند. این تأمین کننده از سابقه خوبی در کیفیت برخوردار است. متوسط نسبت اقلام معیوب فرآیند او ۰/۱۰٪ است. بخش مهندسی کیفیت استفاده از یک طرح نمونه‌گیری پذیرش معمولی با n =۳۲ و c =۰ را پیشنهاد کرده است.

الف- منحنی OC این طرح نمونه‌گیری را رسم کنید.

ب- اگر کیفیت انباشته‌ها نزدیک به متوسط کیفیت فرآیند تامین کننده باشد، متوسط کل بازرسی در چنین سطحی از کیفیت چه مقدار خواهد بود؟

ج- طرح نمونه‌گیری زنجیره‌ایی با n=۳۲ ، c =۰ و i=۳ را در نظر گیرید. عملکرد این طرح را با طرح نمونه‌گیری معمولی با n =۳۲ و c =۰ مقایسه کنید.

د- اگر در قسمت (ج) از i=۴ استفاده شود، چه تغییری در عملکرد طرح زنجیره‌ایی فوق حاصل خواهد شد؟

۳۱-۷ یک طرح CSP-۱ دارای پارامترهای n=۴ ، c =۰ و i=۳ است. منحنی OC آن را رسم کنید.

۳۲-۷ از یک طرح نمونه‌گیری زنجیره‌ای برای بازرسی انباشته‌هایی به اندازه N=۵۰۰ استفاده می‌شود. اندازه نمونه برابر n=۶ است. اگر در نمونه واحد معیوبی مشاهده نشود، انباشته پذیرش می‌شود. اگر یک واحد معیوب مشاهده شود به شرط آنکه در نمونه‌های انتخاب شده از چهار انباشته قبل واحد معیوبی مشاهده نشده باشد، انباشته پذیرش می‌شود. تحت این شرایط، احتمال پذیرش انباشته‌ایی که ۲٪ معیوب داشته باشد را محاسبه کنید.

۳۳-۷ فرض کنید فرآیند تولیدی به‌صورت پیوسته عمل می‌کند و تحت این شرایط می‌توان از طرح‌های نمونه‌گیری پیوسته برای انجام بازرسی استفاده کرد. سه طرح نمونه‌گیری CSP-۱ مختلف تعیین کنید که دارای AOQL= ۰/۱۹۸ باشد.

۳۴-۷ با در نظر گرفتن طرح‌های نمونه‌گیری تهیه شده در تمرین ۷-۳۱، عملکرد آنها را بر اساس معیار متوسط نسبت کل واحدهای بازرسی شده با فرض اینکه فرآیند تولید در سطح متوسط نسبت اقلام معیوب ۰/۱۵٪ تحت کنترل است مقایسه کنید. این طرح‌ها را با استفاده از منحنی‌های OC حاصل با یکدیگر مقایسه کنید.

۳۵-۷ فرض کنید از طرح نمونه‌گیری CSP-۱ برای حفظ کیفیت یک فرآیند تولید در سطح AOQL=٪۱/۹۰ استفاده می‌شود. دو طرح CSP-۱ که می‌توانند چنین مقادیری را برای AOQL نتیجه دهند تعیین کنید.

۳۶-۷ متوسط نسبت کل واحدهای بازرسی شده (AFI) و منحنی‌های OC دو طرح نمونه‌گیری تهیه شده در تمرین ۷-۳۳ را با یکدیگر مقایسه کنید. اگر p= ۰/۰۳۷۵ باشد کدام طرح برتری دارد؟