مبانی کنترل کیفیت

علی سلماس‌نیا

عضو هیئت علمی دانشگاه قم

مرکز نشر دانشگاهی
۱۵۶۷

فنی و مهندسی (صنایع)
۱۵

مبانی کنترل کیفیت

علی سلماس‌نیا

ویراستار و نسخه‌پرداز: نادیا فرهادتوسکی
حروفچین و صفحه‌آرا: داود ربیعی
طراح جلد: علیرضا دربانی
ناظر چاپ: حمیدرضا دمیرچی
دانشگاه جامع علمی‌کاربردی؛ مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۹۸
تعداد ۳۰۰۰
چاپ و صحافی: شرکت چاپ و انتشارات سازمان اوقاف و امور خیریه
۲۵۰۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه‌روی سینما سپیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۰۸۸۹۱، ۶۶۴۱۰۶۸۶

فروش اینترنتی: www.iup.ac.ir

17185164681000011111

حق چاپ برای دانشگاه جامع علمی‌کاربردی و مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است.

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانهٔ ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: سلماس‌نیا، علی، ۱۳۶۴-
عنوان و نام پدیدآور: مبانی کنترل کیفیت/ علی سلماس‌نیا.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه جامع علمی‌کاربردی؛ مرکز نشر دانشگاهی ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری: ۲۳۱ ص.: مصور (بخش رنگی)، جدول (بخش رنگی)، نمودار (بخش رنگی).
فروست: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۵۶۷. فنی و مهندسی (صنایع)؛ ۱۵.
شابک: 978-600-5607-98-7 978-964-01-1567-1
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
موضوع: کنترل کیفی ـ مدیریت
موضوع: Quality control-Management
موضوع: کیفیت فراگیر ـ مدیریت
موضوع: Total quality Management
شناسه افزوده: مرکز نشر دانشگاهی
شناسه افزوده: Iran University Press
شناسه افزوده: دانشگاه جامع علمی‌کاربردی
رده‌بندی کنگره: ۱۵۶ TS
رده‌بندی دیویی: ۶۵۸/۵۶۲
شماره کتابشناسی ملی: ۵۸۸۱۸۷۶

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار ناشر	نه
پیشگفتار	یازده
۱ مقدمه	۱
۱ـ۱ مقدمه	۱
۱ـ۲ اصول و تاریخچهٔ کیفیت	۲
۱ـ۳ تعریف کنترل کیفیت	۳
۱ـ۴ اصول ۱۴گانه بهبود کیفیت و بهره‌وری از دیدگاه ادوارد دمینگ	۴
۱ـ۵ طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول APQP	۴
۱ـ۵ـ۱ مراحل اجرای طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول	۵
۱ـ۶ هزینهٔ کیفیت	۱۴
۱ـ۶ـ۱ هزینه‌های پیشگیری	۱۵
۱ـ۶ـ۲ هزینهٔ ارزیابی	۱۶
۱ـ۶ـ۳ هزینه‌های خرابی داخلی	۱۷
۱ـ۶ـ۴ هزینه‌های خرابی خارجی	۱۸
۱ـ۶ـ۵ مدیریت هزینه‌های کیفیت	۱۹
۱ـ۷ مدیریت کیفیت جامع	۲۰
۱ـ۸ موانع پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت	۲۱
۱ـ۹ اهمیت روش‌های آماری کنترل کیفیت	۲۳
۱ـ۱۰ تمرین‌ها	۲۴
۲ مدل‌های کیفیت	۲۵
۲ـ۱ مقدمه	۲۵

عنوان	صفحه
۲ـ۲ توصیف عددی داده‌ها	۲۶
۲ـ۳ توصیف گرافیکی داده‌ها	۲۸
۲ـ۳ـ۱ توزیع فراوانی و هیستوگرام	۲۹
۲ـ۳ـ۲ نمودار شاخه و برگ	۳۱
۲ـ۳ـ۳ نمودار جعبه‌ای	۳۳
۲ـ۴ توزیع‌های آماری	۳۴
۲ـ۴ـ۱ امید ریاضی	۳۶
۲ـ۴ـ۲ واریانس	۳۷
۲ـ۵ توزیع‌های گسستهٔ مهم	۳۸
۲ـ۵ـ۱ توزیع بینم یا دوجمله‌ای	۳۸
۲ـ۵ـ۲ توزیع فوق‌هندسی	۳۹
۲ـ۵ـ۳ توزیع پوآسون	۴۱
۲ـ۵ـ۴ توزیع دوجمله‌ای منفی یا پاسکال	۴۲
۲ـ۶ توزیع‌های پیوسته مهم	۴۳
۲ـ۶ـ۱ توزیع نرمال	۴۳
۲ـ۶ـ۲ توزیع نمایی	۴۶
۲ـ۶ـ۳ توزیع گاما	۴۷
۲ـ۶ـ۴ توزیع وایبول	۴۸
۲ـ۷ تمرین‌ها	۴۹
۳ اشاره‌ای به کیفیت	۵۳
۳ـ۱ مقدمه	۵۳
۳ـ۲ نمونه‌گیری تصادفی	۵۴
۳ـ۳ آماره و توزیع نمونه‌ای	۵۴
۳ـ۴ برخی توزیع‌های مهم	۵۸
۳ـ۴ـ۱ توزیع مجذور خی یا مربع کای χ^2	۵۸
۳ـ۴ـ۲ توزیع t–استیودنت (t-student)	۶۰
۳ـ۴ـ۳ توزیع فیشر F	۶۲
۳ـ۵ برآورد پارامترهای فرایند	۶۳

عنوان	صفحه
۳ـ۵ـ۱ برآورد نقطه‌ای	۶۳
۳ـ۵ـ۲ برآورد فاصله‌ای	۶۸
۳ـ۶ آزمون فرضیه بر پارامترهای فرایند	۷۶
۳ـ۷ تمرین‌ها	۹۱
۴ روش‌ها و فلسفهٔ کنترل کیفیت آماری	۹۴
۴ـ۱ مقدمه	۹۴
۴ـ۲ نقش انحرافات تصادفی و بادلیل در تغییرپذیری کیفیت	۹۴
۴ـ۳ اصول آماری و نمودارهای کنترل	۹۶
۴ـ۳ـ۱ حدود کنترل	۱۰۲
۴ـ۳ـ۲ حدود هشدار	۱۰۳
۴ـ۳ـ۳ حدود مشخصهٔ فنی	۱۰۴
۴ـ۳ـ۴ حدود تلورانس طبیعی	۱۰۵
۴ـ۳ـ۵ توانایی فرایند	۱۰۵
۴ـ۳ـ۶ منحنی توان آزمون و منحنی مشخصهٔ عملکرد	۱۰۷
۴ـ۳ـ۷ اندازهٔ نمونه و فراوانی نمونه‌گیری	۱۰۸
۴ـ۳ـ۸ متوسط طول دنباله	۱۱۰
۴ـ۳ـ۹ زیرگروه منطقی	۱۱۱
۴ـ۳ـ۱۰ تجزیه‌وتحلیل الگوی نمودارهای کنترل	۱۱۲
۴ـ۳ـ۱۱ قوانین حساس‌سازی نمودارهای کنترل	۱۱۵
۴ـ۴ سایر ابزارهای ۷گانه **SPC**	۱۱۶
۴ـ۴ـ۱ برگهٔ کنترل	۱۱۶
۴ـ۴ـ۲ نمودار تمرکز نقص‌ها	۱۱۸
۴ـ۴ـ۴ نمودار پارتو	۱۱۹
۴ـ۴ـ۵ نمودار علت و معلول	۱۲۰
۴ـ۴ـ۶ نمودار پراکندگی (پراکنش)	۱۲۱
۴ـ۵ تمرین‌ها	۱۲۲
۵ نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر	۱۲۴
۵ـ۱ مقدمه	۱۲۴

عنوان	صفحه
۵ـ۲ فازهای ۱ و۲ در نمودارهای کنترل	۱۲۵
۵ـ۳ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R	۱۲۶
۵ـ۳ـ۱ حدود کنترل، حدود مشخصات و حدود تلورانس طبیعی	۱۳۲
۵ـ۳ـ۲ حدود احتمال برای نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R	۱۳۴
۵ـ۴ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S	۱۳۵
۵ـ۵ نمودار کنترل	۱۴۱
۵ـ۶ کاربردهای نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر	۱۴۲
۵ـ۷ تمرین‌ها	۱۴۳
۶ اصول و ابزارهای مدیریت کیفیت جامع	۱۴۹
۶ـ۱ مقدمه	۱۴۹
۶ـ۲ مشتری‌مداری	۱۵۰
۶ـ۳ رضایت مشتری	۱۵۰
۶ـ۳ـ۱ مدل شاخص رضایت مشتری در امریکا (ACSI)	۱۵۱
۶ـ۴ سامانهٔ مدیریت شکایت مشتریان و بازخورد آن	۱۵۲
۶ـ۴ـ۱ ضرورت یک سامانه برای مدیریت بر شکایات مشتریان	۱۵۳
۶ـ۵ حفظ مشتری	۱۵۸
۶ـ۶ مشارکت پرسنل	۱۵۹
۶ـ۷ بهبود مستمر	۱۶۰
۶ـ۸ فلسفهٔ دمینگ، جوران و کرازبی در بهبود کیفیت	۱۶۰
۶ـ۸ـ۱ فلسفهٔ دمینگ	۱۶۰
۶ـ۸ ـ۲ روش اجرایی جوران برای مدیریت کیفیت جامع	۱۶۱
۶ـ۸ ـ۳ روش اجرایی فیلیپ کرازبی در مدیریت کیفیت جامع	۱۶۳
۶ـ۹ سیکل **PDCA**	۱۶۴
۶ـ۱۰ کایزن	۱۶۵
۶ـ۱۱ اصول و مبانی **5S**	۱۶۷
۶ـ۱۲ مشارکت پیمانکاران	۱۶۷
۶ـ۱۲ـ۱ اصول روابط سازمان ـ تأمین‌کننده	۱۶۸
۶ـ۱۲ـ۲ تشریک مساعی	۱۶۹

عنوان	صفحه
۶ـ۱۳ برون‌سپاری	۱۷۰
۶ـ۱۴ ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده	۱۷۱
۶ـ۱۵ ابزارهای مدیریت کیفیت جامع	۱۷۲
۶ـ۱۵ـ۱ نگهداری ـ تعمیرات بهره‌ور فراگیر	۱۷۲
۶ـ۱۵ـ۲ بنچ‌مارکینگ	۱۷۲
۶ـ۱۶ گسترش عملکرد کیفیت	۱۷۴
۶ـ۱۷ تمرین‌ها	۱۷۷
۷ سیستم‌های مدیریت کیفیت	۱۷۹
۷ـ۱ مقدمه	۱۷۹
۷ـ۲ سیر تکامل مدیریت کیفیت	۱۸۰
۷ـ۲ـ۱ سیر توسعه و تکامل استانداردهای مدیریت کیفیت	۱۸۱
۷ـ۲ـ۲ سیر تاریخی استانداردهای مدیریت کیفیت	۱۸۳
۷ـ۲ـ۳ بیست عنصر مشترک در خانوادهٔ استاندارد ایزو ۹۰۰۰	۱۸۵
۷ـ۳ استاندارد **ISO9001, 2015**	۱۸۸
۷ـ۳ـ۱ هدف و دامنهٔ کاربرد	۱۸۹
۷ـ۳ـ۲ مراحل استقرار و پیاده‌سازی استانداردهای ایزو در بنگاه‌ها و سازمان	۱۹۰
۷ـ۴ استاندارد **OHSAS18001-2007**	۱۹۱
۷ـ۴ـ۱ الزامات سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی	۱۹۲
۷ـ۵ استاندارد **ISO 14001,2015**	۲۰۱
۷ـ۵ـ۱ هدف از استقرار یک سیستم مدیریت زیست محیطی	۲۰۲
۷ـ۵ـ۲ عوامل موفقیت	۲۰۲
۷ـ۵ـ۳ الزامات سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی	۲۰۳
۷ـ۶ معرفی تعدادی از استانداردهای دیگر	۲۰۳
۷ـ۷ تمرین‌ها	۲۰۵
پیوست‌ها	۲۰۷
منابع	۲۱۸

پیشگفتار ناشر

جهان معاصر عرصهٔ رقابت در زمینهٔ کیفیت‌بخشی و ارائهٔ خدمات مطلوب است. اصلی‌ترین عامل موفقیت در این رقابت، مطلوبیت نهایی محصولات و خدمات است که جز با تحقیق و پژوهش علمی‌کاربردی و توجه خاص به مؤلفه‌های استانداردسازی، کیفیت‌بخشی، نیازهای بازار کار و پاسخگویی به مطالبات عمومی میسر نمی‌شود.

از آنجا که ارتقای کمّی و کیفی نظام آموزش‌های علمی کاربردی و اعتلای امر آموزش و پژوهش مهارتی، یکی از اهداف اساسی نظام آموزش عالی در توسعهٔ علمی کشور به شمار می‌رود، دانشگاه جامع علمی‌کاربردی با هدف اصلاح هرم شغلی و تربیت نیروی انسانی ماهر در بخش‌های مختلف تأسیس و مشغول فعالیت شد. با توجه به رسالت این دانشگاه، مبنی بر آموزش و پژوهش در مرزهای فناوری و ایجاد اشتغال، با به‌کارگیری استانداردهای لازم دانش‌آموختگانی تربیت می‌شوند که علاوه بر تأمین نیاز بازار کار، در کارآفرینی نیز خلاق و توانمند باشند.

گسترهٔ مخاطبان دروس مهارت‌های مشترک، فقر منابع درسی در این زمینه و نیز تأکید رئیس محترم دانشگاه جامع علمی‌کاربردی مبنی بر اجرای برنامه‌های ارتقای کیفیت آموزش‌های عالی علمی‌کاربردی، انتشارات دانشگاه را بر آن داشت تا با همکاری مرکز نشر دانشگاهی، به‌عنوان یکی از مراکز مهم در عرصهٔ نشر علم و تأمین محتوای علمی، به تولید و نشر منابع مورد نیاز این دروس اقدام کند. حاصل این تعامل، مجموعه کتاب‌هایی است که با یاری خداوند متعال و همت استادان، مدرسان، مؤلفان، و دست‌اندرکاران این دو مجموعه مطابق با سرفصل‌های دروس مهارت‌های مشترک آماده شود و در دسترس دانشجویان قرار گیرد. بی‌تردید، انتقادها و

پیشنهادهای صاحب‌نظران و مدرسان در راستای توسعهٔ نظام آموزش‌های علمی‌کاربردی در ارتقای کیفیت این کتاب‌ها تأثیرگذار خواهد بود. به همین منظور می‌توانید نظرات خود را از طریق ایمیل daftaretamin1397@gmail.com با ما در میان بگذارید.

در پایان، مراتب قدردانی خود را از مؤلفان محترم کتاب و دیگر عزیزانی که زحمات بی دریغ آنها نقش مهم و اساسی در شکل‌گیری و چاپ این مجموعه داشته‌اند، اعلام می‌کنیم.

مرکز اسناد و انتشارات دانشگاه جامع علمی‌کاربردی
و مرکز نشر دانشگاهی
زمستان ۱۳۹۷

پیشگفتار

در طی چند دههٔ گذشته مسئلهٔ کیفیت به عنوان عاملی اساسی و تأثیرگذار در عرصهٔ تولید کالا شناخته شده است. واحدهای تولیدی با پیاده‌سازی تکنیک‌های مرتبط با کیفیت، توانسته‌اند به جلوگیری از تولید اقلام معیوب و درنتیجه کاهش هزینه‌های ضایعات و دوباره‌کاری بپردازند. پایش آماری فرایندها در طول زمان و کنترل تمامی مشخصه‌ها از مواد اولیه تا محصول نهایی، باعث بهبود کیفیت محصولات، تأمین نیازهای مشتریان و درنتیجه باعث افزایش سودآوری واحدهای تولیدی و خدماتی می‌شود. امروزه، مباحث کیفیت با در نظر گرفتن روش‌های آماری برای افزایش بهره‌وری و بهبود شرایط تولید، با عنوان کنترل کیفیت آماری مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته است.

کتاب حاضر نتیجهٔ چندین سال تدریس و تحقیق در زمینهٔ کنترل کیفیت و استفاده از روش‌های آماری برای مشکلات صنعتی بوده که می‌تواند برای محققان و مشاورانی که در زمینهٔ کیفیت فعالیت می‌کنند، و همچنین دانشجویان رشته‌های مهندسی، آمار، مدیریت و زمینه‌های مرتبط، مفید واقع شود.

در این کتاب سعی شده است پس از مرور مبانی و مفاهیم اولیه کنترل کیفیت، نحوهٔ استفاده از روش‌های آماری برای کنترل و بهبود کیفیت محصولات تولیدی و خدماتی، به زبانی ساده توضیح داده شود. همچنین، این کتاب به معرفی نمودارهای کنترلی و تشریح اصول و ابزارهای مدیریت کیفیت یکپارچه می‌پردازد، سیستم‌های مدیریت کیفیت یکپارچه را معرفی می‌کند و در آخر نیز متداول‌ترین استانداردهای مدیریت کیفیت را ارائه می‌دهد. به طور کلی، در هر فصل شرح درس کاملی به همراه مثال‌های تسهیل‌کننده موضوع آورده شده و در انتهای هر فصل تمرین‌هایی برای تثبیت مطالب، ارائه شده است.

بدیهی است که به‌رغم تلاش فراوان در نگارش، مطالب این کتاب به دور از ضعف و کاستی نخواهد بود، به همین دلیل از دانشجویان و پژوهشگرانی که کتاب حاضر را مطالعه می‌کنند تقاضا می‌شود، نظرات و پیشنهادهای اصلاحی خود را از طریق پست الکترونیکی a.salmasnia@qom.ac.ir به نویسنده منتقل کنند.

در پایان لازم می‌دانم از عزیزانی که در گردآوری این کتاب نقش داشتند تشکر و قدردانی کنم و امیدوارم که این مجموعه در توسعهٔ دانش کنترل کیفیت آماری اثربخش بوده و برای خوانندگان سودمند باشد.

علی سلماس‌نیا
عضو هیئت علمی دانشگاه قم
پاییز ۱۳۹۷

۱

مقدمه

اهداف فصل

۱ـ آشنایی با اصول و تاریخچهٔ کیفیت؛
۲ـ آشنایی با شاخص‌های سنجش کیفیت؛
۳ـ معرفی اصول بهبود کیفیت و بهره‌وری از دیدگاه دمینگ؛
۴ـ آشنایی با طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول و مراحل اجرای آن؛
۵ـ معرفی هزینه‌های کیفیت؛
۶ـ آشنایی با ابعاد ۸گانهٔ کیفیت محصول از دیدگاه گاروین.

۱ـ۱ مقدمه

در این فصل بعضی از مبانی و مفاهیم کیفیت به اختصار توضیح داده شده و زمینه برای درک بهتر فصول بعدی مهیا شده است. به عبارت دیگر این فصل مقدمه‌ای بر مفاهیم، تعاریف و اصطلاحاتی است که در کنترل کیفیت آماری و مدیریت کیفیت استفاده می‌شوند. تبیین تعاریف کیفیت، رویکردهای بهبود کیفیت و اصطلاحات و تعاریف کنترل کیفیت آماری ازجمله مواردی هستند که در این فصل به آنها اشاره می‌شود.

۱ـ۲ اصول و تاریخچهٔ کیفیت

در ادامه تعاریف کیفیت از دیدگاه بنیانگذاران این علم و سازمان جهانی استاندارد آمده است:

تعریف دمینگ: برآورده کردن نیاز امروز و فردای مشتری؛

تعریف ژوران: شایستگی به منظور استفاده؛

تعریف کرازبی: تطابق با نیازهای مشتری؛

تعریف سازمان جهانی استاندارد: تمامی ویژگی‌های یک محصول که در توانایی آن برای برآورده کردن نیازهای تصریح‌شده یا تلویحی مؤثر است.

در تعریف جدید، کیفیت عکس پراکندگی تعریف شده است. به عبارت دیگر، هرچه پراکندگی کمتر شود کیفیت ارتقا پیدا می‌کند. بر این مبنا، تاگوچی کیفیت را ضروری می‌داند که یک محصول از زمانی که به بازار می‌آید، در جامعه به‌وجود می‌آورد و دو عامل پراکندگی و تغییرپذیری را عامل ایجاد ضرر تعریف می‌کند. به عبارت دیگر، مطابق با رابطهٔ زیر، هرچه مجذور فاصلهٔ مشخصهٔ کیفی از مقدار هدف کمتر باشد، محصول تولیدشده کیفیت بالاتری دارد.

$$E(Y-T)^2=E((Y-\mu)+(\mu-T))^2=E(Y-\mu)^2+E(\mu-T)^2+2E(Y-\mu)(\mu-T)=Var(Y)+E(\mu-T)^2$$

در رابطهٔ بالا Y مشخصهٔ کیفی و T مقدار هدف متناظر با آن است که اولی یک متغیر تصادفی و دومی یک مقدار ثابت هستند.

۱ـ۳ تعریف کنترل کیفیت

پایه و اساس کنترل کیفیت آماری به مفهوم امروزی آن تنها در دههٔ دوم قرن بیستم گذاشته شد. برای فهم بهتر واژهٔ کنترل کیفیت، تعریف جداگانه کلمات کیفیت و کنترل لازم است:

همچنان که پیش از این ذکر شد، کیفیت یعنی شایستگی برای استفادهٔ به‌خصوص و میزانی است که یک محصول انتظارات مصرف‌کنندهٔ خود را برآورده می‌کند و کنترل به معنی اعمال ضوابط و راهنمایی‌ها در مورد کسی یا چیزی به منظور اطمینان از کسب نتایج مورد نظر است.

معنی کنترل کیفیت تعریف جداگانهٔ دو واژه فوق را دربر می‌گیرد. در صنعت برداشت‌های مختلفی از کنترل کیفیت وجود دارد. بعضی از شرکت‌ها که برای اطمینان از کیفیت محصول تنها عملیات بازرسی را انجام می‌دهند، به این عملیات کنترل کیفیت می‌گویند. در مقابل در شرکت‌هایی که در سازمان کنترل کیفیت آنها بیشتر کار شده و به

این موضوع اهمیت داده می‌شود، واژهٔ کنترل کیفیت علاوه بر عملیات بازرسی به سایر عملیات از قبیل برنامه‌ریزی کیفیت، کنترل کیفیت در حین تولید، کنترل مواد ورودی، تجزیه و تحلیل و اقدام چاره‌جویانه در مواقع نقص‌های تولید و تهیه روش‌ها و گزارش‌های مربوط به مسائل کیفی نیز گفته می‌شود. کنترل کیفیت نباید به کاربرد محدود واژهٔ آن منحصر شود، بلکه باید تمامی فعالیت‌های لازم برای به‌دست آوردن سطح مطلوبی از درستی و بی‌عیبی محصول را شامل شود.

کنترل کیفیت سیستمی است برای رسیدن به سطح مطلوبی از کیفیت یک محصول یا یک فرایند تولید و نگهداری آن با برنامه‌ریزی دقیق، استفاده از ماشین‌آلات مناسب، بازرسی مستمر و عمل اصلاح‌کننده هرگاه که لازم باشد.

کیفیت یک محصول معمولاً با سه عامل کیفیت طرح، کیفیت انطباق و کیفیت عملکرد تعیین می‌شود که با هزینه و اقتصاد کیفیت ارتباط نزدیکی دارند.

کیفیت طرح

دو محصول ممکن است برای کار مشابهی استفاده شوند ولی در طراحی آنها اختلاف زیاد وجود داشته باشد. یک محصول ممکن است از پلاستیک معمولی و از قطعاتی نامرغوب ساخته شده باشد که مسلماً در این صورت عمر استفاده از آن هم کوتاه می‌شود. محصول دیگر ممکن است به‌خوبی طراحی شده و در آن مواد مرغوب و مقاوم به کار رفته باشد و قطعات آن با اندازه‌های دقیق ساخته شده و تمام علائم توانایی تحمل استفادهٔ طولانی را داشته باشد. به‌وضوح مشخص است که کیفیت طراحی محصول دوم به مراتب برتر از کیفیت طراحی محصول اول است.

کیفیت انطباق

کیفیت انطباق درجهٔ همسوئی محصول با مشخصات، استانداردها و معیارهای تعیین‌شده برای ساخت آن محصول است. محصولی که مطابق مشخصات و در شرایط تولید تحت کنترل ساخته می‌شود، چنانچه مشخصات آن به‌خوبی بیانگر نیازهای مصرف‌کننده باشد کیفیتی مطلوب داشته و رضایت مشتری را جلب می‌کند.

کیفیت عملکرد

کیفیت عملکرد یک محصول تابعی از کیفیت طرح و کیفیت انطباق آن محصول است. حفظ سطحی بالا از هر دو کیفیت مذکور، به سطحی بالا از کیفیت عملکرد منجر می‌شود. اگر کیفیت طرح ضعیف باشد یا با مشخصات مناسب تطابق نداشته باشد،

کیفیت عملکرد محصول کاهش می‌یابد. مسلماً داشتن بالاترین سطح تطابق با مشخصات محصول چنانچه طراحی محصول ضعیف باشد، فایده‌ای نخواهد داشت.

۱ـ۴ اصول ۱۴گانه بهبود کیفیت و بهره‌وری از دیدگاه ادوارد دمینگ

۱ـ یک هدف مستمر با تمرکز بر بهبود محصول و خدمات ایجاد کنید.
۲ـ فلسفهٔ جدید نپذیرفتن محصولات معیوب، مهارت‌های نامناسب و یا خدمات بد را پذیرا باشید.
۳ـ به منظور کنترل کیفیت محصولات، از بازرسی انبوه اجتناب کنید.
۴ـ قراردادهای خود را با تأمین‌کنندگان فقط براساس قیمت تنظیم نکنید، بلکه جنبهٔ کیفیت را نیز در نظر بگیرید.
۵ـ بر بهبود مستمر تأکید کنید. به طور مستمر سعی کنید تا سیستم خدمات و تولید بهبود یابد.
۶ـ روش‌های آموزش نوین را به کار بگیرید و در راستای آموزش تمامی افراد سازمان سرمایه‌گذاری کنید.
۷ـ روش‌های جدید نظارت را به کار بگیرید. نظارت نباید فقط شامل تحت نظر گرفتن کارگران باشد.
۸ـ ترس را از بین ببرید و فضای اعتماد و نوآوری ایجاد کنید.
۹ـ موانع بین بخش‌های مختلف کاری سازمان را از میان بردارید (برای حل مشکلات از طریق فعالیت همه گروه‌ها).
۱۰ـ اهداف، شعارها و اعداد وارقام را از سر راه نیروی کار حذف کنید.
۱۱ـ سهمیه‌های عددی و استانداردهای کاری را حذف کنید.
۱۲ـ موانعی که باعث می‌شوند کارکنان در انجام کار خویش دلسرد شوند را از میان بردارید.
۱۳ـ یک برنامهٔ مستمر آموزشی و تعلیمی برای تمامی افراد سازمان فراهم کنید (مزایای رقابتی ریشه در آگاهی و دانش کارکنان سازمان دارد).
۱۴ـ ساختاری برای مدیریت ارشد طراحی کنید که از ۱۳ اصل بالا به طور جدی حمایت کند.

۱ـ۵ طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول APQP [1]

طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول، یعنی طرح‌ریزی پیشرفتهٔ کیفیت محصول به گونه‌ای که به جای اینکه کیفیت محصول کنترل شود در محصول طراحی شود. به

1. Advance Product Quality Planning

عبارت دیگر یک روش ساختاریافته است که برای برقراری مراحل ضروری از فاز دریافت الزامات محصول تا تولید محصول، و انجام فعالیت‌های آن در زمان لازم در جهت رضایت مشتری صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، APQP یک روش نظام‌مند برای تعریف و اجرای مقدمات لازم برای اطمینان از برآورده شدن رضایت مشتری است.

شرکت خودروسازی فورد در دسامبر ۱۹۹۴ اقدام به شروع ابتکاری سیستم طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول کرد. از آن به بعد تأمین‌کنندگان داخلی و خارجی شرکت خودروسازی فورد از APQP به منظور نظارت بر فعالیت‌های خود استفاده کردند.

هدف از اجرای APQP ارتباط با تأمین‌کنندگان به منظور برنامه‌ریزی کیفیت محصول و ایجاد خطوط راهنما به صورت مشترک است. در قدم دیگر سعی بر آسان کردن ارتباط بین افراد درگیر فرایند است و اینکه آیا گام‌های برداشته‌شده به‌درستی پیش رفته و کامل شده‌اند.

به طور کلی به کارگیری APQP مزایای زیر را در پی خواهد داشت:

- با تشخیص تغییرات لازم قبل از تولید انبوه محصول باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود.
- هزینهٔ اضافی ایجاد نمی‌کند و در زمان کم و سریع قابل اجراست.
- فرصت بسیار مناسبی برای استفاده از تکنیک‌هایی مانند QFD و FMEA و... است.

گسترش عملکرد کیفیت QFD[1]: به عنوان یکی از تکنیک‌های مهندسی کیفیت و روشی بسیار مؤثر و کارا برای تحقق مشتری‌گرایی از طریق درک خواسته‌های مشتری است.

آنالیز آثار و حالات خرابی FMEA[2]: شناسایی و ارزیابی خرابی‌های بالقوه و انجام دادن اقدامات لازم برای کاهش احتمال وقوع خطا و آثار آن و افزایش قابلیت کشف خرابی‌ها در طراحی سیستم محصول و فرایند است.

۱ـ۵ـ۱ مراحل اجرای طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول

طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول از ۵ فاز تشکیل شده است:

- طرح‌ریزی

1. Quality Functional Deployment
2. Failure Model and Effect Analysis

- طراحی و توسعهٔ محصول
- طراحی و توسعهٔ فرایند
- صحه‌گذاری محصول و فرایند
- بازخورد، ارزیابی و اقدامات اصلاحی

مرحلهٔ اول: طرح‌ریزی

هدف این مرحله شناسایی تمامی نیازمندی‌ها و انتظارات مشتری به منظور ارائهٔ محصولاتی بهتر از سایر رقباست. پس باید در اولین گام، از خواسته‌ها و انتظارات مشتری مطمئن شد و به درکی صحیح از آن رسید. این مرحله و فعالیت‌های آن به تأمین‌کننده کمک می‌کند خواسته‌های مشترک را درک کند. برای این منظور، این مرحله ورودی‌ها و خروجی‌های زیر را شامل می‌شود.

ورودی‌های مرحلهٔ طرح‌ریزی

۱ـ **صدای مشتری:** مجموعهٔ شکایت‌ها، توصیه‌ها، خواسته‌ها و اطلاعاتی که از مشتری داخلی و خارجی به‌دست می آید.

۲ـ **طرح تجاری:** مسائل مربوط به طرح تجاری مانند زمان، سرمایه، هزینه، موقعیت محصول، منابع تحقیق‌وتوسعه و غیره که بر فعالیت‌های سازمان تأثیر می‌گذارد. همچنین اطلاعات مربوط به فروش خود و رقبا و استراتژی بازار باید مدنظر قرار گیرد.

آیا مشتری این قطعات و طرح جدید را خریداری خواهد کرد؟

آیا بازار جدیدی در پی محصول خواهیم داشت؟

چقدر هزینه می‌کنیم و چقدر سرمایه باز می‌گردد؟

چقدر وقت در برگشت سرمایه صرف می‌شود؟

آیا سرمایه لازم در شرکت برای این طرح موجود است؟

۳ـ **فرضیات فرایند/محصول:** با در نظر گرفتن شکل و طرح محصول/فرایند فرضیاتی از جمله تکنولوژی جدید، نوآوری‌های فنی، مواد جدید مدنظر قرار می‌گیرد.

۴ـ **مطالعات قابلیتِ اطمینان محصول:** مطالعات قابلیت اطمینان محصول، تناوب تعمیر یا جایگزینی اجزا در بازهٔ زمانی که قطعه برای آن طراحی شده است.

خروجی‌های مرحلهٔ طرح‌ریزی

۱ـ **اهداف طراحی:** نیازهای مشتری به اهداف طراحی که قابلیت اندازه‌گیری دارد،

تبدیل می‌شود. اهمیت این قسمت از آن جهت است که در مرحلهٔ تبدیل یک سری از نیازهای عام مشتری به زبان فنی هستیم.

۲ـ **اهداف کیفی و قابلیت اطمینان:** اهداف کیفی و قابلیت اطمینان مورد نظر مشتریان ارزیابی می‌شود. به عنوان مثال بررسی نبود هرگونه خرابی که بر ایمنی تأثیر بگذارد، گزارش‌های مصرف‌کنندگان از تعداد تعمیر یا تناوب آن در یک بازهٔ زمانی مشخص.

۳ـ **فهرست مواد اولیه BOM:** فهرستی از موادی که برای تولید محصول استفاده می‌شود. این فهرست شامل فهرست تأمین‌کنندگان نیز می‌شود.

۴ـ **نمودار جریان فرایند PFC:** تأکید شده که فرایند ساخت براساس فرضیات فرایند/محصول و فهرست اولیهٔ مواد که قبلاً تهیه شده است به صورت نمودار جریان نشان داده شود.

۵ـ **فهرست مشخصات ویژهٔ محصول و فرایند:** مشخصات ویژه باید براساس نیازها و انتظارات مشتری تعیین شود.

۶ـ **طرح تضمین محصول:** طرح تضمین محصول اهداف طراحی را به نیازمندی‌های طراحی تبدیل می‌کند. اهداف طراحی وابسته به خواسته‌ها، انتظارات و نیازمندی‌های مشتری است. در طرح تضمین باید موارد ذیل مدنظر قرار گیرد:

تیتر کردن نیازمندی‌های برنامه، مشخص کردن قابلیت اطمینان و دوام ارزیابی هر عاملی که برنامه را با خطر مواجه خواهد کرد. مانند تکنولوژی جدید، پیچیدگی تکنولوژی، مواد، محیط، کاربرد، بسته‌بندی، خدمات و نیازمندی‌های ساخت توسعه و بهبود تحلیل حالات خرابی، تجزیه‌وتحلیل حالات خرابی از فرایند قبلی و فعلی به‌نحوی که از وقوع آن حالات خرابی در آینده جلوگیری کند.

۷ـ **حمایت مدیریت:** ارائهٔ گزارش‌های پیشرفت و مشکلات در سر راه برنامه برای اطلاع مدیریت و کمک گرفتن از مدیریت.

مرحله دوم: طراحی و توسعهٔ محصول

در این مرحله ویژگی‌ها و وضعیت طراحی تا نزدیک شدن به شکل نهایی آن بررسی می‌شود. تأکید می‌شود تیم طرح‌ریزی تمامی فاکتورهای طراحی را در این مرحله در نظر بگیرد، حتی اگر طراحی را مشتری یا به صورت مشترک، مشتری و تأمین‌کننده انجام داده باشند. ارزیابی و امکان‌پذیری فرایند تولید مطابق با حجم تولید و برنامهٔ زمانی از دیگر نتایج این قسمت است. توانایی سازگاری با مشخصات مهندسی، کیفیت، قابلیت اطمینان، هزینهٔ سرمایه‌گذاری‌شده و هزینهٔ هر واحد تولید در امکان‌سنجی مدنظر است.

ورودی‌های این مرحله همان خروجی‌های مرحلهٔ اول است اما خروجی‌های این مرحله عبارت‌اند از:

۱ـ **آنالیز حالات خرابی طراحی و آثار آن (DFMA)**[1]: مدرکی زنده که احتمال وقوع خرابی را بررسی می‌کند.

۲ـ **طراحی برای قابلیت ساخت و مونتاژ:** طراحی باید به گونه‌ای صورت گیرد که ضمن فراهم آوردن کیفیت مورد نیاز مشتری، قابلیت مونتاژ و ساخت مناسبی فراهم شود.

تیم طرح‌ریزی کیفیت محصول نکات زیر را باید مدنظر قرار دهد:

فرایند ساخت یا مونتاژ، تلرانس‌های ابعادی، نیازمندی‌های عملکرد، تعداد اجزا، تنظیمات فرایند، قوانین دولتی، نیازمندی‌های خدمات پس از فروش و تجربیات تیم.

۳ـ **تصدیق طراحی:** این قسمت به منظور تصدیق معیارها و مشخصات ابتدای طراحی انجام می‌شود. تصدیق طراحی می‌تواند شامل روش‌های زیر باشد:

انجام محاسبات با روش‌های دیگر، انجام محاسبات توسط شخص دیگر، مقایسه با طراحی‌های مشابه، انجام آزمون‌ها و اثبات عملی برای بررسی خواص عملکردی محصول که از آن جمله می‌توان به قابلیت نگهداری تعویض‌پذیری، تولیدپذیری، قابلیت تعمیر و موارد مشابه اشاره کرد.

۴ـ **بازنگری طرح:** بازنگری طرح روش مؤثری است که از وقوع اشتباهات و مشکلات و همچنین برداشت‌های غلط جلوگیری می‌کند. ضمن اینکه بر پیشرفت کار نیز نظارت دارد.

۵ـ **طرح کنترل ـ ساخت نمونهٔ اول (پروتوتایپ**[2]**):** طرح کنترل نمونهٔ اول یا *پروتوتایپ* توصیفی از اندازه‌گیری ابعادی، مواد و تست‌های کارکردی است. در حین تولید نمونهٔ اول تأمین‌کننده می‌تواند میزان انطباق محصول را با خواست مشتری مقایسه کند. در این قسمت موارد ذیل باید در نظر گرفته شوند.

- اطمینان از اینکه محصول تمامی مشخصات را برآورده می‌کند.
- اطمینان از اینکه به مشخصات ویژهٔ محصول و فرایند توجه شده است.
- اطمینان از اینکه اطلاعات و تجربیات تیم برای تعریف مشخصات فرایند و بسته‌بندی به کار بسته شده است.
- اطمینان از اینکه انحرافات ناشی از موارد نگران‌کننده و هزینه‌های اضافی به اطلاع مشتری رسانده شده است.

---

1. Design Failure Moods Analysis
2. prototype

۶ـ **نقشه‌های مهندسی:** نقشه‌ها را حتی اگر خود مشتری فراهم کرده، باید بازنگری شود. مشخصات ویژهٔ قانونی و ایمنی در صورتی که در نقشه موجود است در طرح کنترل قید شود.

در صورت نبود مشخصات ویژه در نقشهٔ مشتری باید این مشخصات با توجه به مقررات دولتی و ایمنی در نقشه‌ها اضافه شوند. بازنگری نقشه‌ها به منظور کافی بودن اطلاعات ابعادی انجام می‌گیرد. باید موقعیت‌های کنترل در نقشه مشخص شود تا بتوان ابزار و گیج‌های مناسب را تهیه کرد. تمامی ابعاد به منظور امکان‌پذیر بودن اندازه‌گیری و سازگاری با استانداردهای ساخت و اندازه‌گیری ارزیابی شود. اطمینان از سازگاری و داده‌های ریاضی با سیستم مشتری برای برقراری ارتباط دوطرفه انجام شود. تیم با بازنگری دقیق مشخصات کنترلی الزامات مربوط به ظاهر، دوام، عمر و کارکرد اجزا یا مجموعه را تعیین می‌کند.

۷ـ **الزامات تسهیلات، ابزار و تجهیزات جدید:** در DFMA طرح تعیین محصول و بازنگری طرح ابزارآلات و تسهیلات مورد نیاز شناسایی می‌شود. ضمناً تجهیزات از لحاظ توانایی بررسی می‌شود و باید از زمان تحویل به موقع تجهیزات مطمئن شد.

۸ـ مشخصات ویژهٔ محصول/فرایند: با توجه به فهرست مشخصات ویژهٔ محصول/فرایند که در مرحلهٔ اول براساس صدای مشتری تهیه شده است باید بازنگری و نهایی شود.

۹ـ **الزامات تجهیزات آزمایش/گیج‌ها:** تجهیزات آزمایش و گیج‌ها شناسایی و یک گانت چارت برای تهیه آنها فراهم شود.

۱۰ـ **تعهد تیم به منظور امکان‌پذیری طرح و حمایت مدیریت:** تیم امکان‌پذیر بودن طرح را از جنبه‌های گوناگون ازجمله قابل قبول بودن هزینه‌ها، برنامهٔ زمان‌بندی مونتاژ، تست، بسته‌بندی و تحویل به موقع به مشتری ارزیابی می‌کند.

مرحلهٔ سوم: طراحی و توسعهٔ فرایند

این مرحله بیشتر به ساخت می‌پردازد و ساخت محصول باکیفیت براساس نیازهای مشتری را دنبال می‌کند. خروجی‌های مرحلهٔ دوم ورودی‌های این مرحله را تشکیل می‌دهند و خروجی‌های آن به این شرح هستند:

خروجی‌های مرحلهٔ طراحی و توسعه فرایند

۱ـ **استانداردهای بسته‌بندی:** استانداردهای بسته‌بندی، ابعاد و نحوهٔ بسته‌بندی را برای سالم ماندن محصول در طول حمل و انبار مشخص می‌کند.

معمولاً مشتری استانداردهای بسته‌بندی را ارائه می‌دهد. این استانداردها باید به مشخصات اضافه شود. در صورت نبود استانداردی خاص، باید بسته‌بندی به گونه‌ای باشد تا صحت و سلامت کالا را تا استفاده تضمین کند.

۲ـ **بازنگری سیستم کیفیت فرایند/محصول:** تیم باید سیستم کیفیت را بازنگری کند تا در صورت نیاز تغییرات مورد نظر را ایجاد کند. نظام‌نامهٔ سیستم کیفیت به‌روز شده و در طرح کنترل ساخت نیز قید شود. این مرحله شرایط به‌روز شدن و بهبود سیستم کیفیت را مطابق با ورودی مشتری و تجربیات را فراهم می‌کند.

۳ـ **نمودار جریان فرایند:** از این نمودار می‌توان منابع تغییر در ماشین‌آلات، مواد، روش و نیروی انسانی را از شروع تا پایان شناسایی کرد. تأثیر تغییرات و منابع آن را در نظر گرفت و تجزیه‌وتحلیل فرایند را به صورت کلی انجام داد.

۴ـ **طرح چیدمان کارگاه:** چیدمان کارگاه در موارد زیر بازنگری می‌شود:

- محل و موقعیت بازرسی
- محل نصب نمودارهای کنترل
- ایستگاه‌های تعمیر
- محل‌های کنترل چشمی
- محل نگهداری مواد معیوب

۵ـ **طرح کنترل پیش از تولید:** ابعاد عملکرد آزمون‌های مواد در این طرح قید شده و باید اندازه‌گیری‌ها بعد از پروتوتایپ و قبل از تولید انبوه انجام شود. به عبارت دیگر، باید قبل از تولید انبوه و قبل از صحه‌گذاری فرایند تولید، کنترل‌های بیشتری اعمال شود تا عدم انطباق‌های بالقوه قبل از تولید شناسایی شود.

۶ـ **ماتریس مشخصات:** این ماتریس ارتباط بین مشخصات محصول/فرایند و ایستگاه‌های ساخت را نشان می‌دهد.

۷ـ **توافق گروهی در امکان‌سنجی و پشتیبانی مدیریت:** مواردی که باید در امکان‌سنجی لحاظ شود عبارت‌اند از:

- معرفی و سوابق کاری شرکت
- گزارش تکنولوژی ساخت محصول
- اطلاعات امکان‌سنجی دریافتی
- سوابق مشکلات کیفی محصول

- ویژگی‌های فنی محصول
- مغایرت بین نقشه و نمونه دریافتی
- لیست استانداردهای محصول
- مشخصات مهم محصول
- مشخصات مهم فرایند
- نمودار فرایند عملیات (OPC)
- تجهیزات کنترلی، بازرسی و اندازه‌گیری
- تجهیزات و ابزارآلات تولیدی
- لیست دستگاه‌ها و ماشین‌آلات
- ساختار مدیریت پروژه
- خدمات تأمین‌کنندگان پروژه
- مواد اولیه مورد نیاز و نحوهٔ تهیه
- ظرفیت‌سنجی تولید
- بیان مشکلات فنی ساخت یا ارائهٔ خدمت
- آنالیز قیمت نیروی انسانی
- آنالیز قیمت ماشین‌آلات و دستگاه‌ها
- آنالیز قیمت مواد اولیه
- آنالیز قیمت مواد مصرفی
- آنالیز قیمت تجهیزات و ابزارالات
- آنالیز قیمت قالب‌ها و ابزارها
- آنالیز قیمت زیرساخت‌ها و استهلاک
- نقشهٔ اجزا یا برنامهٔ تهیهٔ نقشهٔ اجزا
- شناسایی مشکلات فنی ساخت
- برنامه زمان‌بندی اجرای پروژه
- پیشنهاد برای بهبود پروژه
- تعهد امکان‌سنجی
- کسری مدارک فنی
- شناسایی تکنولوژی‌های مورد نیاز
- پیشنهاد برای تعیین پیشرفت پروژه طبق برنامه

۸ـ **روش و طرح تجزیه‌وتحلیل سیستم اندازه‌گیری:** در این قسمت، دقت و صحت ابزارآلات اندازه‌گیری مد نظر قرار می‌گیرد.

۹ـ **شاخص کارایی طرح مطالعهٔ اولیهٔ فرایند:** مشخصات تعیین‌شده در طرح کنترل به عنوان مبنای طرح مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

۱۰ـ **مشخصات بسته‌بندی**

- تیم باید از طراحی کامل بسته‌بندی مطمئن شود. حتی بخش‌های داخلی بسته‌بندی مد نظر قرار گیرد.
- در صورت وجود استانداردهای خاص و عمومی، در مشخصات بسته‌بندی قید شود.
- طراحی بسته‌بندی متناسب با تجهیزات و وسایل حمل باشد.

۱۱ـ **حمایت مدیریت:** مدیریت از مراحل مختلف مطلع و برای حل مشکلات حمایت لازم را داشته باشد.

مرحلهٔ چهارم: صحه‌گذاری محصول و فرایند

در این مرحله با ارزیابی تولید آزمایشی قسمت‌های مهم فرایند ساخت تصدیق می‌شود، طرح کنترل نمودار جریان فرایند تطابق محصول با الزامات مشتری ارزیابی می‌شود و در تولید آزمایشی مواردی که باعث نگرانی در تولید انبوه می‌شود را بررسی می‌کند. ورودی‌های این مرحله خروجی‌های مرحلهٔ سوم هستند و خروجی‌های آن عبارت‌اند از:

۱ـ **تولید آزمایشی**

- تولید باید کاملاً با ابزارآلات، ماشین‌آلات، اپراتورها و تسهیلات مرحلهٔ تولید انبوه انجام شود.
- این تولید، پیش درآمد اثربخشی فرایند ساخت است.
- حداقل تولید آزمایشی توسط مشتری بیان می‌شود.
- تیم می‌تواند تعداد تولید آزمایشی را افزایش دهد.

تولید آزمایشی موارد ذیل را ارائه می‌دهد:

- مطالعات قابلیت فرایند مقدماتی
- ارزیابی سیستم اندازه‌گیری
- امکان‌سنجی نهایی
- تأیید نهایی طرح‌ریزی کیفیت

- بازنگری فرایند
- آزمایش‌های صحه‌گذاری تولید
- تأیید قطعهٔ تولیدشده
- ارزیابی بسته‌بندی
- تأئید نهایی طرح‌ریزی کیفیت

۲ـ ارزیابی سیستم‌های اندازه‌گیری: ابزارآلات اندازه‌گیری و مشخصات ویژه ارزیابی می‌شوند.

۳ـ مطالعات قابلیت فرایند مقدماتی: در تولید آزمایشی قبل از تولید انبوه توسط تیم ارزیابی، قابلیت فرایند بررسی می‌شود.

۴ـ تأیید قطعهٔ تولیدشده: هدف صحه‌گذاری محصولات ساخته‌شده با ابزار فرایند موجود و صحه‌گذاری بر الزامات مهندسی است.

۵ـ آزمایش‌های صحه‌گذاری تولید: این آزمایش‌های مهندسی صحه‌گذاری می‌کند که محصولات تولیدشده با این ابزار و فرایند کاملاً مطابق با استانداردهای مهندسی است.

۶ـ ارزیابی بسته‌بندی: محفوظ ماندن کالا در حین جابه‌جایی معمولی و عوامل محیطی نامطلوب ارزیابی می‌شود.

۷ـ طرح کنترل تولید: این طرح توصیفی مکتوب از کنترل فرایند ارائه می‌دهد، که به طور مداوم بازنگری و به‌روز می‌شود.

۸ـ تأیید نهایی طرح‌ریزی کیفیت و حمایت مدیریت: این مرحله تأیید و اطمینان از به‌کار بردن همهٔ نمودارهای جریان و طرح‌های کنترل در حین تولید آزمایشی است. در این مرحله معمولاً موارد زیر بازنگری می‌شوند:

- وجود و قابل دسترس بودن طرح‌های کنترل در تمامی عملیات
- گیج‌ها، فیکسچرها و تجهیزات آزمایش که در طرح کنترل به آنها اشاره شده

مرحلهٔ پنجم: بازخورد، ارزیابی و اقدامات اصلاحی

طرح‌ریزی کیفیت با صحه‌گذاری فرایند و اجرای آن خاتمه نمی‌یابد. عواملی که به‌وجود آورنده تغییرات در فرایند هستند در مراحل صحه‌گذاری همچنان باقی است و باید به گونه‌ای شناسایی و ارزیابی شوند. برای این منظور، باید داده‌های وصفی و متغیر با روش‌های کنترل آماری فرایند (SPC) اندازه‌گیری شوند. ورودی‌های این مرحله خروجی‌های مرحلهٔ چهارم هستند.

۱ـ **کاهش نوسانات:** برای این منظور، از نمودارهای کنترل و سایر فنون آماری برای شناسایی نوسانات فرایند استفاده می‌شود و نهایتاً اقدامات اصلاحی برای کاهش نوسانات انجام می‌شود.

۲ـ **رضایت مشتری:** انجام جزئیات مربوط به طرح‌ریزی کیفیت همیشه باعث رضایت مشتری نیست. باید شرایط عملکردی محصول در محیط و نزد مشتری سنجیده شود، شناسایی نواقص با همکاری مشتری انجام پذیرد تا درنهایت دستیابی به رضایت حاصل شود.

۳ـ **تحویل و ارائهٔ خدمات:** ارائهٔ خدمات بعدی، قیمت محصول و تحویل به‌موقع که تأمین‌کننده به مشتری می‌دهد تا نظر مشتری نهایی تأمین شود. تجربیات این مرحله در کاهش هزینه‌ها ازجمله قیمت تمام‌شده، هزینه‌های کیفیت و... تأثیر دارد و می‌توان برای محصولات بعدی از این موارد استفاده کرد.

۱ـ۶ هزینهٔ کیفیت

کلیهٔ سازمان‌ها به‌نحوی از کنترل‌های مالی برای ارزیابی فعالیت‌های خود استفاده می‌کنند. این کنترل‌های مالی به صورت مقایسه بین هزینه‌های واقعی و هزینه‌های پیش‌بینی‌شده در بودجه همراه با تجزیه وتحلیل‌های مورد نیاز برای بررسی اختلافات بین این دو هزینه انجام می‌گیرد. این کنترل‌های مالی را معمولاً برای ارزیابی عملکرد بخشی از سازمان یا فعالیت خاصی به کار می‌برند. برای سالیان متمادی، هیچ‌گونه سعی و تلاشی برای ارزیابی فعالیت‌های کیفیت وجود نداشت. ولی از دههٔ ۱۹۵۰ به بعد تعداد زیادی از سازمان‌ها به طور رسمی شروع به ارزیابی و بررسی هزینه‌های کیفیت کردند. دلایل مختلفی برای در نظر گرفتن این گونه هزینه‌ها وجود دارد که از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱ـ افزایش هزینه‌های کیفیت با پیشرفت فناوری و افزایش پیچیدگی محصولات تولیدشده.

۲ـ افزایش آگاهی و شناخت در مورد هزینه‌های دورهٔ زندگی محصول نظیر تعمیرات و نگهداری، نیروی کارگری، لوازم یدکی و هزینه‌های ناشی از خرابی محصول در حین استفاده.

درنتیجه، هزینه‌های کیفیت به عنوان ابزار کنترل مالی در خدمت مدیریت قرار خواهد گرفت تا از این طریق هزینه‌های کیفیت شناسایی و کاسته شوند.

به طور کلی، 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 خرابی داخلی و هزینه‌های خرابی خارجی. حال هر یک از این گروه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱ـ۶ـ۱ هزینه‌های پیشگیری

هزینه‌های پیشگیری آن دسته از هزینه‌ها هستند که در مورد طراحی و تولید محصول به منظور پیشگیری از تولید محصولات فاقد انطباق صرف گردیده‌اند. به طور کلی، هزینه‌های پیشگیری هزینه‌هایی هستند که به منظور تولید فرآورده به طور درست در بار اول صرف شده‌اند. هزینه‌های اصلی این گروه عبارت‌اند از:

مهندسی و برنامه‌ریزی کیفیت

هزینه‌های مربوط به طرح جامع کیفیت، طرح بازرسی، طرح قابلیت اطمینان، سیستم داده‌ها و تمامی طرح‌های ویژهٔ مرتبط با فعالیت‌های تضمین کیفیت از قبیل تهیهٔ نظام‌نامه‌ها و رویه‌هایی که به وسیلهٔ آنها طرح کیفیت اشاعه داده می‌شود و هزینه‌های ممیزی سیستم را هزینه‌های مهندسی و برنامه‌ریزی کیفیت نامند.

بازنگری محصولات جدید

هزینه‌های تهیه قراردادهای مناقصه، ارزیابی طرح‌های جدید از دید کیفیت، آماده‌سازی آزمایش‌ها و برنامه‌های تجربی برای ارزیابی عملکرد محصولات جدید و فعالیت‌های دیگر مرتبط با کیفیت در طی مراحل توسعه و قبل از تولید نهایی محصولات یا طراحی‌های جدید، هزینه‌های بازنگری محصول جدید نامیده می‌شود.

طراحی محصول/فرایند

هزینه‌های صرف‌شده در مرحلهٔ طراحی محصول یا انتخاب فرایندهای تولید که انتظار می‌رود کیفیت کلی محصول را بهبود بخشند را هزینه‌های طراحی محصول/فرایند می‌نامند. به عنوان مثال، یک سازمان ممکن است به منظور افزایش قابلیت اطمینان محصول خود و همچنین افزایش زمان متوسط بین خرابی‌ها، یک قطعه را بیش از یک بار در یک مدار استفاده کند. همچنین ممکن است تصمیم گرفته شود که به جای استفاده

از فرایند **A** از فرایند **B** استفاده شود چرا که فرایند **A** می‌تواند محصولاتی با تلورانس کمتری تولید کند و این خود به کاهش مشکلات تولید و مونتاژ کمک خواهد کرد.

کنترل فرایند

هزینه‌های استفاده از روش‌های کنترل فرایند نظیر نمودارهای کنترل که فرایند تولید را به منظور کاهش میزان تغییرات و ایجاد کیفیت کنترل می‌کنند.

آزمایش نهایی

هزینهٔ آزمایش محصول قبل از حمل از کارخانه که باعث خواهد شد تا از میزان خرابی‌های زودرس در حین استفاده کاسته شود، هزینهٔ آزمایش نهایی نامیده می‌شود.

آموزش

هزینه توسعه، تهیه، اجرا، انجام و برقراری برنامه‌های رسمی کیفیت، هزینه آموزش نامیده می‌شود.

جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌های مربوط به کیفیت

هزینهٔ استقرار سیستم داده‌های کیفیت به منظور تهیه داده‌های مربوط به عملکرد فرایند و محصول، هزینهٔ جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نامیده می‌شود. این هزینه همچنین شامل تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به منظور شناسایی مشکلات و فعالیت‌های مربوط به خلاصه کردن و نشر اطلاعات کیفیت برای مدیریت می‌شود.

۱ـ۶ـ۲ هزینهٔ ارزیابی

هزینه‌های ارزیابی، آن دسته از هزینه‌ها هستند که به دلیل اندازه‌گیری، ارزیابی یا ممیزی محصولات، قطعات و مواد خریداری‌شده برای کسب اطمینان از اینکه آنها با استانداردهای از قبل تعیین‌شده انطباق دارند، به وجود می‌آیند. به عبارت دیگر، این هزینه‌ها به علت ارزیابی و تعیین وضعیت کیفی محصول به منظور کسب اطمینان از وجود مشخصات مورد نظر در آنها ایجاد می‌شوند. هزینه‌های اصلی این گروه عبارت‌اند از:

بازرسی و آزمایش مواد ورودی

هزینه‌های مربوط به بازرسی و آزمایش تمامی مواد تأمین‌شده به وسیلهٔ فروشنده را هزینه‌های بازرسی و آزمایش مواد ورودی می‌نامند. این هزینه‌ها شامل بازرسی و

آزمایش مواد دریافتی، آزمایش و ارزیابی در محل تسهیلات تأمین‌کننده و ممیزی‌های دوره‌ای سیستم تضمین کیفیت آن می‌شود. تأمین‌کننده می‌تواند شامل تأمین‌کنندگان داخلی نیز باشد.

بازرسی و آزمایش محصول

هزینهٔ ارزیابی میزان انطباق محصول با خواسته‌های از قبل تعیین‌شده در مراحل مختلف تولید از قبیل آزمایش، پذیرش 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. این هزینه همچنین شامل آزمایش طول عمر و دوام محصول، آزمایش زیست محیطی و آزمایش قابلیت اطمینان است.

مواد و خدمات مصرف‌شده

هزینه‌های مواد و محصولات مصرف‌شده در آزمایش‌های مخرب یا آزمایش‌های قابلیت اطمینان را هزینه‌های مواد و خدمات مصرف‌شده می‌نامند.

دقیق نگاه داشتن دستگاه‌های آزمایش

هزینهٔ برقراری سیستمی که دستگاه‌های اندازه‌گیری را همیشه در وضعیت کالیبره نگه می‌دارد، هزینهٔ دقیق نگاه داشتن دستگاه‌های آزمایش نامیده می‌شود.

۱ـ۶ـ۳ هزینه‌های خرابی داخلی

هزینه‌های خرابی داخلی زمانی به وجود می‌آیند که محصولات، قطعات، مواد و خدمات ارائه‌شده نتوانند خواسته‌های کیفی مورد نظر را برآورده کنند. این گونه ناتوانایی‌ها قبل از رسیدن به دست مشتری در درون سازمان شناسایی می‌شوند. زیرگروه‌های اصلی این هزینه‌ها عبارت‌اند از:

دورریز

هزینهٔ صرف‌شده برای کارگر، مواد و هزینه‌های بالاسری که به علت تولید محصول معیوب از لحاظ اقتصادی دیگر قابل جایگزین نیستند را هزینه دورریز می‌نامند.

دوباره‌کاری

هزینه‌های مرتبط با درست کردن محصولات فاقد استاندارد و تبدیل آنها به محصولات سالم، هزینه‌های دوباره‌کاری نامیده می‌شود. در بعضی از فرایندهای تولید هزینه‌های

دوباره‌کاری شامل مراحل عملیاتی اضافی می‌شوند که به منظور برطرف کردن عیب‌های دیرینه یا عیب‌های موردی در محصول استفاده می‌شوند.

آزمایش مجدد

هزینهٔ بازرسی و آزمایش مجدد محصولاتی که تحت عملیات دوباره‌کاری یا اصلاحی قرار گرفته‌اند را هزینه آزمایش مجدد می‌نامند.

تجزیه‌وتحلیل خرابی

هزینه‌های حاصل از بررسی و تعیین دلایل ایجاد خرابی را هزینه‌های تجزیه‌وتحلیل خرابی نامند.

توقف خط تولید

هزینهٔ توقف خط تولید به دلیل نبود خواسته‌های مورد نظر در محصول را هزینهٔ توقف خط تولید می‌نامند. توقف در خط تولید ممکن است به علت استفاده از محصول اولیهٔ معیوب که در مرحلهٔ بازرسی مواد ورودی از دید بازرس پنهان مانده است به وجود آید.

بازده ازدست‌رفته

هزینهٔ بازده کم فرایند به علت استفاده نکردن از روش‌های کنترلی بهبودیافته (به عنوان مثال، میزان نوشابهٔ سرریزشده از شیشه‌های نوشابه به علت وجود تغییرات زیاد در دستگاه پرکن)، هزینهٔ بازده ازدست‌رفته نامیده می‌شود.

مرغوبیت کمتر

اختلاف بین قیمت معمولی محصول و قیمت ناشی از نبودن خواسته‌های مورد نیاز در محصول باعث ایجاد چنین هزینه‌ای می‌شود. مرغوبیت کمتر یک امر عادی در صنایع نساجی، پوشاک و الکترونیک است. مشکل اصلی این گونه محصولات این است که آنها باید با ضرر به فروش برسند و یا حداقل اینکه سودی برای تولیدکننده به همراه نخواهد داشت.

۱ـ۶ـ۴ هزینه‌های خرابی خارجی

هزینه‌های خرابی خارجی موقعی به وجود می‌آیند که محصول تولیدشده زمانی که به دست مشتری می‌رسد عملکرد رضایت‌بخشی از خود نشان ندهد. اگر هر یک از

محصولات تولیدشده با خواسته‌های مورد نظر انطباق داشته باشد آنگاه این گونه هزینه‌ها به وجود نمی‌آیند.

تنظیم شکایات

تمامی هزینه‌های مربوط به بررسی و تنظیم شکایات محصولاتی که از دید مشتری فاقد استانداردهای مورد نظر باشند را هزینه‌های تنظیم شکایات می‌نامند.

محصول/مواد برگشتی

تمامی هزینه‌های دریافت، حمل‌ونقل و جایگزینی محصول یا مواد برگشتی از طرف مشتری را هزینه‌های محصول/مواد برگشتی می‌نامند.

هزینه‌های گارانتی

تمامی هزینه‌های که به عنوان خدمات بعد از فروش در اختیار مشتری قرار داده شده است.

هزینه‌های مسئولیت

هزینه‌ها یا غرامت‌های پرداخت‌شده به علت اعتراض یا پیگیری قانونی در پی ارائهٔ یک محصول زیان‌بار را هزینه‌های مسئولیت در قبال محصول می‌نامند.

هزینه‌های غیرمستقیم

اضافه بر هزینه‌های عملیاتی مستقیم خرابی‌های خارجی، هزینه‌های سنگین دیگری نیز وجود دارد که به علت عدم رضایت مشتری از سطح کیفیت محصول ایجاد می‌شوند. هزینه‌های غیرمستقیم می‌تواند شامل سلب اطمینان مشتری از شرکت تولیدکننده باشد و یا به عبارت دیگر باعث از بین رفتن شهرت و کاهش سهم بازار شرکت شود؛ که این فقط به دلیل نبود کیفیت مورد نظر در محصولات یا خدمات است.

۱ـ۶ـ۵ مدیریت هزینه‌های کیفیت

هزینه‌های کیفیت چه مقدار هستند؟ جواب به این سؤال بستگی به نوع سازمان و میزان موفقیت آنها در فعالیت‌های بهبود کیفیت نهفته است. در بعضی از سازمان‌ها، هزینه‌های کیفیت به مقدار ۴ تا ۵ درصد فروش را به خود اختصاص می‌دهند. در حالی که این میزان در بعضی سازمان‌ها به ۳۵ الی ۴۰ درصد فروش می‌رسد. البته هزینه‌های کیفیت، مثلاً برای یک تولیدکنندهٔ رایانه یا فناوری پیشرفته، با هزینه‌های کیفیت مربوط به یک

صنعت خدماتی نظیر فروشگاه‌ها و هتل‌ها خیلی متفاوت است. اگرچه در اغلب سازمان‌ها هزینه‌های کیفیت بیشتر از حد معمول هستند ولی مدیریت باید سعی بر این داشته باشد که با تلاش مستمر، انجام ارزیابی‌های مورد نیاز و تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، این گونه هزینه‌ها را کاهش دهد.

مفید واقع شدن هزینه‌های کیفیت به علت اثر اهرمی آن است. به عبارت دیگر، هزینه‌های صرف‌شده در مراحل پیشگیری و ارزیابی باعث می‌شود که هزینه‌های ایجاد شده در مراحل خرابی داخلی و خارجی که معمولاً بیشتر از هزینه‌های اولیه هستند کاهش یابند. به عنوان مثال، برای هر یک واحد پولی، که در مرحلهٔ پیشگیری هزینه می‌شود این امکان وجود دارد که ده درصد یا حتی مقدار بیشتری نیز از هزینه‌های خرابی داخلی و خارجی کاسته شود.

هدف اصلی از تجزیه‌وتحلیل هزینه‌های کیفیت کاهش این گونه هزینه‌ها از طریق شناسایی و تعیین موقعیت‌های بهبود کیفیت است. این کار معمولاً به وسیله تجزیه‌وتحلیل پارتو انجام می‌گیرد.

۱ـ۷ مدیریت کیفیت جامع

کیفیت محصول یک مفهوم چندگانه است که گاروین برای آن ۸ بُعد به شرح زیر تبیین می‌کند.

عملکرد: آیا محصول کاری که باید انجام دهد را انجام می‌دهد؟

مشتریان معمولاً یک محصول را به منظور پی بردن به توانایی آن در حین انجام وظیفه و همچنین چگونگی انجام آن وظیفه ارزیابی می‌کنند. به عنوان مثال، با انجام این نوع ارزیابی ممکن است مشخص شود که یک نرم‌افزار از لحاظ سرعت اجرا به مراتب از سایر نرم‌افزارهای مشابه برتری دارد.

قابلیت اطمینان: محصول هرچند وقت یک بار خراب می‌شود؟

محصولات پیچیده نظیر لوازم خانگی، اتومبیل یا هواپیماه در طول مدت عمرشان نیاز به تعمیر دارند. ولی اگر محصول مورد نظر به طور مداوم نیاز به تعمیر داشته باشد آنگاه گفته می‌شود که آن محصول غیرقابل اطمینان است.

قابلیت دوام: محصول به طور کلی چقدر عمر می‌کند؟

قابلیت دوام، طول عمر مفید محصول محسوب می‌شود. بدیهی است که مصرف‌کنندگان

محصولاتی را می‌خواهند که طی یک مدت زمان طولانی عملکرد رضایت‌بخشی از خود نشان دهند.

قابلیت تعمیرپذیری: آیا تعمیر این محصول سخت است؟
در اغلب صنایع دیدگاه مشتری نسبت به کیفیت مستقیماً تحت تأثیر زمان و هزینه تعمیر و فعالیت‌های نگهداری-تعمیرات محصول قرار دارد.

زیبایی: محصول چگونه به نظر می‌رسد؟
این بُعد از کیفیت وضع ظاهری محصول را با در نظرگرفتن عواملی نظیر شکل، رنگ، مدل، بسته‌بندی و خواص مشابه دیگر توصیف می‌کند.

ویژگی‌ها: محصول چه کارهایی می‌تواند انجام دهد؟
مشتریان معمولاً محصولات با ویژگی‌ها و کاربردهای بیشتر را محصولات با کیفیت بالاتر محسوب می‌کنند.

انطباق با استانداردها: آیا چیزی که به عنوان محصول تولید شده با چیزی که در ذهن طراح بوده یکی است؟
این شاخص به میزان انطباق محصول با خواسته‌های از قبل تعیین‌شده برای آن می‌پردازد. به عنوان مثال، کاپوت یک اتومبیل با چه مقدار انطباق روی اتومبیل تولیدشده مونتاژ می‌شود.

کیفیت درک‌شده: آیا محصول یا شرکت تولیدکننده شناخته شده 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 فرا خواندن آن به منظور تعمیر اساسی توسط تولیدکننده و چگونگی برخورد با مشتری وقتی که یک مشکل کیفی گزارش می‌شود، قرار دارد. کیفیت درک‌شده، حسن نیت و خرید مجدد به وسیلهٔ مشتری با یکدیگر رابطهٔ نزدیک دارند.

۱ـ۸ موانع پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت

برخی از مهم‌ترین موانع پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت عبارت‌اند از:

فقدان تعهد مدیریت
موفقیت در هرگونه تلاش سازمانی نیاز مبرم به تعهد مدیریت سازمان به مدیریت زمان

و منابع سازمانی دارد. هدف باید به صورت شفاف و مستمر با تمام پرسنل هماهنگ شود و مدیریت باید همواره اصول مدیریت کیفیت را اجرا کند.

ناتوانی در تغییر فرهنگ سازمانی

تغییر فرهنگ یک سازمان بسیار دشوار است و تقریباً به ۵ سال زمان نیاز دارد. مدیریت باید مفاهیم اساسی تغییر را بفهمد و به کار بَرَد. این مفاهیم عبارت‌اند از:

- افراد زمانی تغییر می‌کنند که بخواهند و نیز در جهت تأمین نیازهای خودشان باشد.
- هرگز انتظار نداشته باشید که فردی برای تأمین و برآورده کردن ارزش‌های سازمان قدم بردارد مگر دلایل کافی و مناسب به وی ارائه شود.
- برای اینکه تغییر مورد پذیرش قرار گیرد، افراد باید از ترس و نگرانی رهایی یافته و به سوی اعتماد سوق داده شوند.

موانعی که در راه تغییر فرهنگی وجود دارند، عبارت‌اند از: فقدان یک ارتباط اثربخش و تأکید بر حصول نتایج در کوتاه مدت. سازمان‌هایی که زمان بیشتری را صرف جنبه‌های فرهنگی استقرار مدیریت کیفیت جامع می‌کنند احتمال موفقیت خود را افزایش می‌دهند.

برنامه‌ریزی نامناسب

به جای اهداف مالی و فروش، رضایت مشتری باید هدف اصلی سازمان باشد. به عنوان مثال، شرکت پترسون پروداکتس به عنوان یک شرکت صنایع فلزی در حومهٔ شیکاگو است که تحویل به موقع خود را بهبود بخشید و این امر منجر به ۲۵٪ افزایش در فروش شد. به عبارت دیگر، با تمرکز بر کیفیت، اهداف دیگر در پی آن محقق خواهند شد.

فقدان آموزش و تحصیل مستمر

در ابتدا باید نیازها را تعیین و سپس برنامه‌ای برای دستیابی به آنها طراحی کرد. آموزش و یادگیری در صورتی بسیار مؤثر می‌شود که مدیریت ارشد، آموزش اصول مدیریت کیفیت را برعهده بگیرد. اطلاع‌رسانی منظم و مستمر از تلاش‌های انجام‌شده پیرامون مدیریت کیفیت به همه افراد، خود یک آموزش غیررسمی است.

تکنیک‌های اندازه‌گیری ناکارآمد و عدم دسترسی به داده‌ها و نتایج

مشخصات اساسی سازمان را باید اندازه‌گیری کرد تا اتخاذ تصمیمات مؤثر امکان‌پذیر باشد. به منظور بهبود یک فرایند، به اندازه‌گیری تأثیر ایده‌های بهبود نیاز است.

توجه ناکافی به مشتریان داخلی و خارجی

سازمان‌ها نیاز به شناسایی و درک نیازها و انتظارات متغیر مشتریان خود دارند. وقتی سازمانی در اقتدار بخشیدن به افراد و تیم‌ها توفیق نمی‌یابد نمی‌تواند مسئولیت نتایج حاصله را به گردن آنها بیندازد.

استفاده ناکافی از توانمندسازی و کار تیمی

تیم‌ها به آموزش مناسب و حداقل در شروع کار به یک تسهیل‌کننده، نیاز دارند. در صورت امکان باید توصیه‌های تیم را اجرا کرد.

عدم تفوق در بهبود مستمر

فقدان بهبود مستمر در فرایندها، محصول و یا خدمات، سازمان را از اوج به حضیض خواهد رساند.

ساختار سازمانی ناسازگار و افراد و بخش‌های ایزوله‌شده

استفاده از تیم‌های چندوظیفه‌ای به برطرف کردن موانع بزرگ کمک می‌کند.

۱ـ۹ اهمیت روش‌های آماری کنترل کیفیت

مؤثرترین راهی که تاکنون برای کنترل کیفیت محصولات پیدا شده است روش‌های آماری است. با روش‌های آماری می‌توان تصویری از وضعیت کل تولید به دست آورد. با توجه به اینکه تغییرپذیری، یک پدیدهٔ دائمی و جزء لاینفک همه محصولات است، روش‌های آماری مؤثرترین وسیلهٔ بررسی و کنترل این تغییرات است. مادامی که از مواد، افراد، روش‌ها و ماشین‌ها برای تولید استفاده می‌شود، مشکل تغییر کیفیت وجود دارد، و مادامی که این مشکل وجود داشته باشد، روش‌های آماری کنترل کیفیت نیز لازم است.

در فرایندهای تولید معمولاً بررسی کیفیت تمام اقلام حاصل از یک فرایند امکان‌پذیر نیست و ناگزیر باید با مطالعهٔ کیفیت یک تعداد محدود از اقلام درباره کیفیت کل فرایند قضاوت شود. عملی که به بهترین وجه امکان جمع‌آوری داده‌ها، خلاصه و توصیف کردن آنها را فراهم می‌کند و کسب اطلاعات بیشتر دربارهٔ کل فرایند را از بررسی اطلاعات موجود در یک تعداد کم اقلام نمونه امکان‌پذیر می‌کند، علم آمار است.

اگر کیفیت انطباق با تغییرات کوچک همراه باشد و لازم شود از تأمین آن مطمئن

شویم، باید بتوان تغییرات را اندازه‌گیری و کنترل کرد و راهی برای کاهش آن پیدا کرد. برای تمامی اینها، داده‌ها و اطلاعات دربارهٔ سیستمی که محصول را تولید می‌کند و به عبارت دیگر آمار لازم است.

مبتنی بر اصول آمار و احتمالات، کنترل کیفیت آماری یک وسیلهٔ مناسب تصمیم‌گیری است که برای کسب اطمینان از رسیدن به یک سطح مطلوب کیفیت محصولات تولیدشده از سوی مدیریت به کار گرفته می‌شود. البته هدف کنترل کیفیت حذف تمامی تغییرات در اقلام تولیدشده که امری غیرممکن است نیست، بلکه کاهش تغییرپذیری و محدود کردن آن به حدودی که به لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر باشد مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱ـ۱۰ تمرین‌ها

۱ـ کیفیت را از دیدگاه تاگوچی تعریف کنید.
۲ـ واژهٔ «کنترل کیفیت» را تعریف کنید.
۳ـ کیفیت یک محصول با چه شاخص‌هایی سنجیده می‌شود؟
۴ـ اصول بهبود کیفیت و بهره‌وری را از دیدگاه ادوارد دمینگ نام ببرید.
۵ـ مراحل اجرای طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول را توضیح دهید.
۶ـ هدف از اجرای طرح‌ریزی پیشاپیش کیفیت محصول چیست؟
۷ـ هزینه‌های کیفیت را شرح دهید.
۸ـ ابعاد ۸گانهٔ کیفیت محصول از دیدگاه گاروین را شرح دهید.
۹ـ موانع پیاده‌سازی مدیریت کیفیت چیست؟

۲

مدل‌های کیفیت

اهداف فصل

۱ـ آشنایی با متداول‌ترین مفاهیم برای توصیف عددی داده‌ها؛
۲ـ آشنایی با متداول‌ترین ابزارها برای توصیف گرافیکی داده‌ها؛
۳ـ معرفی مهم‌ترین توزیع‌های گسسته؛
۴ـ معرفی مهم‌ترین توزیع‌های پیوسته.

۲ـ۱ مقدمه

آمار توصیفی شاخه‌ای از علم آمار است که به سازماندهی، تجزیه‌وتحلیل و خلاصه‌سازی داده‌ها می‌پردازد. در این مورد، از دو رویکرد کلی «توصیف عددی داده‌ها» و «توصیف گرافیکی داده‌ها» استفاده می‌شود. در این فصل، ابتدا دو رویکرد آمار توصیفی مطرح می‌شوند. سپس، متغیرهای تصادفی به دو دسته اصلی «گسسته» و «پیوسته» تقسیم می‌شوند و پرکاربردترین آنها معرفی می‌شوند.

۲ـ۲ توصیف عددی داده‌ها

هیچ‌گاه دو محصول تولیدشده با یک فرایند، به علت وجود تغییرات[1] اجتناب‌ناپذیر یکسان نیستند. به عنوان مثال، محتوی یک شیشه نوشابه از یک شیشه به شیشه دیگر کمی متفاوت است و یا ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه از یک دستگاه به دستگاه دیگر کاملاً یکسان نیست. آمار، علم تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و کسب نتایج با در نظر گرفتن تغییرات موجود در داده‌هاست. در رویکرد توصیف عددی داده‌ها توابعی روی مشاهدات موجود در نمونه تعریف شده و به کمک آن به توصیف خواص نمونه پرداخته می‌شود. این توابع را می‌توان به دو دستهٔ کلی «معیارهای مرکزی یا مکانی» و «معیارهای پراکندگی» تقسیم کرد.

میانگین حسابی

دسته‌ای از معیارها که بیان‌کنندهٔ مکان تمرکز داده‌ها هستند معیارهای مرکزی نامیده می‌شوند، که شناخته‌شده‌ترین آنها میانگین حسابی است. فرض کنید که x_1، x_2، ...، x_n مشاهدات موجود در یک نمونه باشند. در این صورت میانگین حسابی n مشاهده به شرح زیر خواهد بود:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (۱ـ۲)$$

واریانس

معیارهای پراکندگی معیارهایی هستند که میزان پراکندگی حول پارامترهای مکانی یک توزیع را اندازه‌گیری می‌کنند. واریانس یکی از متداول‌ترین معیارهای اندازه‌گیری پراکندگی مجموعه‌ای از داده‌هاست که نخستین‌بار فیشر آن را در سال ۱۹۱۸ معرفی کرد. که x_1، x_2، ...، x_n مشاهدات موجود در یک نمونه باشند. در این صورت واریانس نمونه[2] به صورت زیر اندازه‌گیری می‌شود.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \qquad (۲ـ۲)$$

باید توجه داشت که واریانس نمونه، مجموع مربعات اختلاف هر مشاهده از میانگین نمونه است که بر اندازهٔ نمونه منهای یک تقسیم می‌شود. اگر تغییرپذیری در نمونه

1. Variation
2. Sample Variance

وجود نداشته باشد، آنگاه هر مشاهده نمونه برابر با میانگین نمونه یا $x_i = \bar{x}$ خواهد بود و درنتیجه واریانس نمونه $s^2 = 0$ خواهد شد. به طور کلی هرچه واریانس نمونه s^2 بزرگ‌تر باشد، تغییرپذیری داده‌های نمونه بیشتر خواهد بود. واحد واریانس نمونه s^2 مربع واحد داده‌های اولیه است. این موضوع معمولاً نامعقول و تعبیر و تفسیر آن نیز دشوار است. بنابراین معمولاً ترجیح داده می‌شود که از جذر s^2 که انحراف معیار نمونهٔ s نامیده می‌شود به عنوان معیار پراکندگی استفاده کرد که به صورت زیر است.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (۳_۲)$$

برتری اصلی انحراف معیار نمونه این است که واحد آن همان واحد مشاهدات اولیه است.

مثال ۲ـ۱ جدول ۲ـ۱ مشاهدات مربوط به قطر داخلی ۱۲۵ رینگ پیستون که در یک نوع موتور اتومبیل استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. این مشاهدات از طریق جمع‌آوری ۲۵ نمونهٔ ۵تایی به دست آمده است. میانگین حسابی، واریانس و انحراف استاندارد مشاهدات را به دست آورید.

جدول ۲ـ۱ قطر داخلی رینگ پیستون (برحسب میلی‌متر)

شماره نمونه	اندازه‌ها				
۱	۷۴.۰۰۸	۷۳.۹۹۲	۷۴.۰۱۹	۷۴.۰۰۲	۷۴.۰۳۰
۲	۷۴.۰۰۴	۷۴.۰۱۱	۷۴.۰۰۱	۷۳.۹۹۲	۷۳.۹۹۵
۳	۷۴.۰۰۲	۷۴.۰۰۵	۷۴.۰۲۱	۷۴.۰۲۴	۷۳.۹۸۸
۴	۷۴.۰۰۹	۷۴.۰۱۵	۷۳.۹۹۳	۷۳.۹۹۶	۷۴.۰۰۲
۵	۷۴.۰۱۴	۷۳.۹۸۹	۷۴.۰۱۵	۷۴.۰۰۷	۷۳.۹۹۲
۶	۷۳.۹۹۳	۷۳.۹۸۵	۷۳.۹۹۷	۷۳.۹۹۴	۷۴.۰۰۹
۷	۷۴.۰۰۵	۷۴.۰۰۰	۷۳.۹۹۴	۷۴.۰۰۶	۷۳.۹۹۵
۸	۷۳.۹۹۸	۷۴.۰۱۵	۷۳.۹۹۳	۷۴.۰۰۳	۷۳.۹۸۵
۹	۷۴.۰۰۴	۷۴.۰۰۵	۷۴.۰۰۹	۷۳.۹۹۵	۷۴.۰۰۸
۱۰	۷۳.۹۹۵	۷۴.۰۰۷	۷۳.۹۹۰	۷۴.۰۰۰	۷۳.۹۹۸
۱۱	۷۳.۹۹۰	۷۳.۹۹۵	۷۳.۹۹۴	۷۳.۹۹۸	۷۳.۹۹۴
۱۲	۷۳.۹۹۶	۷۴.۰۰۰	۷۴.۰۰۷	۷۴.۰۰۰	۷۴.۰۰۴
۱۳	۷۴.۰۱۲	۷۴.۹۹۷	۷۳.۹۹۸	۷۴.۰۰۲	۷۳.۹۸۳

جدول ۲ـ۱ (ادامه)

شماره نمونه	اندازه‌ها				
۱۴	۷۳.۹۸۴	۷۴.۰۰۰	۷۳.۹۹۴	۷۳.۹۶۷	۷۴.۰۰۶
۱۵	۷۴.۰۰۷	۷۳.۹۹۹	۷۳.۹۹۸	۷۴.۰۱۴	۷۴.۰۱۲
۱۶	۷۳.۹۹۶	۷۳.۹۹۸	۷۴.۰۰۵	۷۳.۹۸۴	۷۴.۰۰۰
۱۷	۷۴.۰۰۷	۷۴.۰۰۵	۷۳.۹۸۶	۷۴.۰۱۲	۷۳.۹۹۴
۱۸	۷۴.۰۰۰	۷۴.۰۰۳	۷۴.۰۱۸	۷۴.۰۱۰	۷۴.۰۰۶
۱۹	۷۳.۹۹۷	۷۴.۰۰۵	۷۴.۰۰۳	۷۴.۰۰۲	۷۳.۹۸۴
۲۰	۷۴.۰۰۳	۷۴.۰۲۰	۷۴.۰۱۳	۷۴.۰۱۰	۷۴.۰۰۰
۲۱	۷۳.۹۹۶	۷۴.۰۰۵	۷۴.۰۰۹	۷۴.۰۰۱	۷۳.۹۸۸
۲۲	۷۴.۰۰۹	۷۴.۰۰۶	۷۳.۹۹۰	۷۳.۹۹۹	۷۴.۰۰۴
۲۳	۷۴.۰۱۴	۷۴.۰۰۹	۷۳.۹۹۰	۷۳.۹۸۹	۷۴.۰۱۰
۲۴	۷۴.۰۱۰	۷۴.۰۰۰	۷۳.۹۹۳	۷۴.۰۰۸	۷۴.۰۱۵
۲۵	۷۴.۰۱۳	۷۴.۰۱۷	۷۳.۹۹۵	۷۳.۹۸۴	۷۳.۹۸۲

حل: میانگین حسابی، واریانس نمونه و انحراف استاندارد نمونه برای داده‌های مربوط به رینگ پیستون‌ها طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{125} x_i}{125} = \frac{9250.125}{125} = 74.001$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{125} (x_i - 74.001)^2}{124} = 0.000102$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{125} (x_i - 74.001)^2}{124}} = 0.010$$

باید توجه داشت که در این مثال واحد اندازه‌گیری $\bar{x}$ و s میلی‌متر و واحد اندازه‌گیری s^2 مجذور میلی‌متر است.

۲ـ۳ توصیف گرافیکی داده‌ها

در این رویکرد، داده‌ها به کمک نمودارها، شکل‌ها و گراف‌های شناخته‌شده نمایش داده

می‌شوند، به طوری که این شکل‌ها بتوانند به طرز مفیدی نتایج و تحلیل‌های مربوط به نمونه را ارائه دهند.

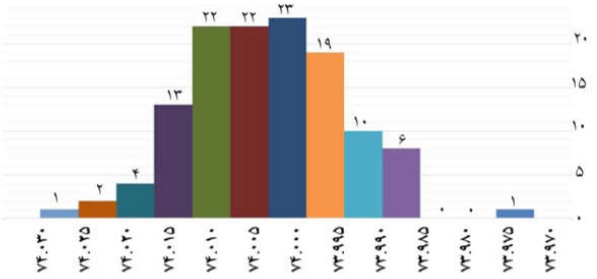
۲ـ۳ـ۱ توزیع فراوانی[1] و هیستوگرام[2]

توزیع فراوانی، مجموعهٔ مرتبی از داده‌هاست که براساس اندازهٔ داده‌ها تهیه می‌شود. به عنوان مثال، توزیع فراوانی داده‌های مربوط به رینگ پیستون در جدول ۲ـ۲ نشان داده شده است. همان طور که در جدول ۲ـ۲ مشاهده می‌کنیم، یک رینگ دارای قطر بین ۷۳.۹۶۵ میلی‌متر و ۷۳.۹۷۰ میلی‌متر است. ۸ رینگ دارای قطرهای بین ۷۳.۹۸ میلی‌متر و ۷۳.۹۸۵ میلی‌متر هستند و بقیه نیز به همین ترتیب گروه‌بندی شده‌اند.

جدول ۲ـ۲ توزیع فراوانی قطر رینگ پیستون

قطر رینگ x (mm)	فراوانی
$۷۳.۹۶۵ \le x < ۷۳.۹۷۰$	۱
$۷۳.۹۷۰ \le x < ۷۳.۹۷۵$	۰
$۷۳.۹۷۵ \le x < ۷۳.۹۸۰$	۰
$۷۳.۹۸۰ \le x < ۷۳.۹۸۵$	۸
$۷۳.۹۸۵ \le x < ۷۳.۹۹۰$	۱۰
$۷۳.۹۹۰ \le x < ۷۳.۹۹۵$	۱۹
$۷۳.۹۹۵ \le x < ۷۴.۰۰۰$	۲۳
$۷۴.۰۰۰ \le x < ۷۴.۰۰۵$	۲۲
$۷۴.۰۰۵ \le x < ۷۴.۰۱۰$	۲۲
$۷۴.۰۱۰ \le x < ۷۴.۰۱۵$	۱۳
$۷۴.۰۱۵ \le x < ۷۴.۰۲۰$	۴
$۷۴.۰۲۰ \le x < ۷۴.۰۲۵$	۲
$۷۴.۰۲۵ \le x < ۷۴.۰۳۰$	۱
	مجموع = ۱۲۵

1. Frequency Distribution
2. Histogram



شکل ۲ـ۱ هیستوگرام برای داده‌های قطر رینگ پیستون

هیستوگرام ابزاری برای نمایش فراوانی داده‌هاست که کاربرد فراوانی در تعیین خصوصیات مشاهدات را دارد. نمودار فراوانی‌های مشاهده‌شده برحسب قطر رینگ در شکل ۲ـ۱ نشان داده شده است. ارتفاع هر ستون در این شکل نمایانگر فراوانی قطر رینگ در آن فاصله است. هیستوگرام یک تصویری از داده‌ها ارائه می‌دهد که با آن می‌توان سه ویژگی ۱) شکل توزیع، ۲) مکان یا تمایل مرکزی توزیع و ۳) پراکندگی یا گسترش توزیع را مشاهده کرد.

در داده‌های مربوط به قطر رینگ پیستون مشاهده می‌کنیم که توزیع قطر رینگ حدوداً متقارن با یک نما و تمایل مرکزی نزدیک به ۷۴ میلی‌متر است. تغییرپذیری موجود در قطر رینگ نسبتاً زیاد است. این بدین دلیل است که بعضی از قطرها به کوچکی ۷۳.۹۶۷ میلی‌متر و بعضی از آنها به بزرگی ۷۴.۰۳۰ میلی‌متر هستند.

در زمان رسم هیستوگرام توجه به چند نکته مفید است. وقتی داده‌ها به صورت عددی هستند، گروه‌بندی آنها به دسته‌هایی نظیر داده‌های مربوط به مثال رینگ پیستون مفید خواد بود. به طور کلی:

۱ـ بین ۴ تا ۲۰ دسته استفاده شود. در اغلب مواردی که تعداد دسته‌ها تقریباً برابر با جذر اندازهٔ نمونه در نظر گرفته می‌شود، محاسبات معمولاً به‌راحتی انجام می‌گیرد.

۲ـ اندازه یا عرض هر دسته یکنواخت است.

۳ـ حد پایین اولین دسته، اندکی کمتر از اندازهٔ کوچک‌ترین عدد در نظر گرفته شود.

گروه‌بندی داده‌ها به دسته‌های مختلف، باعث خلاصه شدن دادها می‌شود و درنتیجه

بعضی از جزئیات از بین می‌رود. بنابراین موقعی که تعداد مشاهدات نسبتاً کم است یا زمانی که مشاهدات فقط مقادیر معدودی را اختیار می‌کنند، می‌توان هیستوگرام را براساس توزیع فراوانی داده‌های گروه‌بندی‌نشده تهیه کرد.

۲ـ۳ـ۲ نمودار شاخه و برگ

فرض کنید داده‌ها را بتوان به صورت x_1، x_2، x_3 ...، x_n که هر عدد x_i حداقل دو رقمی باشد، نشان داد. برای رسم نمودار شاخه و برگ هر عدد به دو قسمت تقسیم می‌شود. شاخه که شامل یک یا دو رقم اصلی است و برگ که شامل بقیه رقم‌ها است. به عنوان مثال اگر داده‌های مربوط به درصد معیوب انباشته‌هایی از پولک‌های نیمه‌هادی را در نظر بگیریم که می‌توان هر عددی بین صفر تا صد درصد باشد، آنگاه می‌توان عدد ۷ مربوط به درصد معیوبی ۷۶ را برای شاخه و عدد ۶ را برای برگ استفاده کرد. به طور کلی باید تعداد شاخه‌های انتخاب‌شده در مقایسه با تعداد مشاهدات کمتر باشد. معمولاً بهترین حالت موقعی است که تعداد شاخه‌ها بین ۵ تا ۲۰ عدد باشد. با تعیین تعداد شاخه‌ها، آنها را در سمت چپ نمودار در زیر یکدیگر قرار می‌دهیم و در سمت راست آنها کلیهٔ برگ‌های مربوط به مشاهدات به همان ترتیبی که مشاهدات در گروه داده‌ها قرار دارند نوشته می‌شوند.

مثال ۲ـ۲ داده‌های ارائه‌شده در جدول ۲ـ۳ که مربوط به بازدهٔ هفتگی یک تسهیلات تولید نیمه‌هادی است. یک نمودار شاخه و برگ مربوط به این مشاهدات را رسم کنید.

جدول‌های ۲ـ۴ و ۲ـ۵ دو نمودار شاخه و برگ مختلف مربوط به داده‌های جدول ۲ـ۳ را نشان می‌دهند. در جدول ۲ـ۴، رقم دهگان به عنوان شاخه و رقم یکان به عنوان برگ در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ـ۵، رقم دهگان به دو بخش تبدیل شده است. به عنوان مثال VL به معنی مشاهداتی است که رقم دهگان آنها ۷ و رقم یکان آنها کمتر از ۵ است.

در انتخاب شاخه‌های مورد نظر باید دقت کرد. اگر تعداد شاخه‌ها زیاد باشد، برگ‌های کمی در هر شاخه وجود خواهد داشت. در این صورت نمودار اثربخشی لازم را ندارد. همچنین اگر تعداد شاخه‌ها بیش از اندزه کم باشد، برگ‌ها بسیار زیاد خواهد شد و تفاوت بین شاخه‌ها آشکار نمی‌شود.

جدول ۲ـ۳ داده‌های مربوط به بازدهٔ هفتگی تسهیلات تولید نیمه‌هادی

هفته	بازده	هفته	بازده
۱	۵۸	۲۱	۶۴
۲	۶۳	۲۲	۶۸
۳	۶۹	۲۳	۶۷
۴	۷۲	۲۴	۶۰
۵	۵۱	۲۵	۵۹
۶	۷۹	۲۶	۶۳
۷	۸۳	۲۷	۶۴
۸	۸۶	۲۸	۵۲
۹	۸۵	۲۹	۷۰
۱۰	۷۸	۳۰	۹۲
۱۱	۸۷	۳۱	۷۵
۱۲	۸۳	۳۲	۷۶
۱۳	۶۴	۳۳	۸۱
۱۴	۷۳	۳۴	۷۴
۱۵	۸۱	۳۵	۸۲
۱۶	۶۸	۳۶	۷۶
۱۷	۷۲	۳۷	۷۵
۱۸	۶۵	۳۸	۶۲
۱۹	۹۱	۳۹	۶۳
۲۰	۸۸	۴۰	۹۲

جدول ۲ـ۴ نمودار شاخه و برگ (الف)

فراوانی	برگ														شاخه
۴	۲	۹	۱	۸	۵
۱۳	۳	۲	۴	۳	۰	۷	۸	۴	۵	۸	۴	۹	۳	۶
۱۱	۵	۶	۴	۶	۰	۵	۲	۳	۸	۹	۲	۷
۹	۲	۱	۸	۱	۳	۷	۵	۶	۳	۸
۳	۲	۲	۲	۱	۹

جدول ۲ـ۵ نمودار شاخه و برگ (ب)

شاخه	برگ								فراوانی
۵L	۱	۲							۲
۵U	۸	۹							۲
۶L	۳	۴	۴	۰	۳	۴	۲	۳	۸
۶U	۹	۸	۵	۸	۷				۵
۷L	۲	۳	۲	۰	۴				۵
۷U	۹	۸	۵	۶	۶	۵			۶
۸L	۳	۳	۱	۱	۲				۵
۸U	۶	۵	۷	۸					۴
۹L	۱	۲	۲						۳
۹U									۰

۲ـ۳ـ۳ نمودار جعبه‌ای[1]

یک نمودار جعبه‌ای مقادیر مربوط به سه چارک مختلف حداقل و حداکثر داده‌ها را با یک جعبهٔ مستطیل‌شکل به صورت افقی یا عمودی نشان می‌دهد. این جعبه دامنهٔ چارک درونی را نیز شامل می‌شود. لذا خط سمت چپ جعبه نشانگر مقدار چارک اول Q_1 و خط سمت راست آن نشانگر مقدار چارک سوم Q_3 است. یک خط نیز در داخل جعبه رسم می‌شود که نشان‌دهنده چارک دوم (که همان پنجاهمین صده یا میانه است) $Q_2 = \tilde{x}$ است. به منظور نشان دادن مقادیر حداقل و حداکثر به انتهای هر طرف جعبه یک خط متصل می‌شود. این خطوط را بعضی مواقع سبیل[2] می‌نامند که برای داده‌هایی که تعداد آنها زیاد باشد این سبیل‌ها می‌توانند نمایانگر دهمین صده و نودمین صده یا پنجمین صده و نودوپنجمین صده باشد. در بعضی مواقع نمودار جعبه‌ای را نمودار سبیل نیز می‌نامند.

مثال ۲ـ۳ داده‌های جدول ۲ـ۶ قطر (به میلی‌متر) یک قطعه را که در نوعی هواپیمای مسافرتی به کار می‌رود، برای ۱۲ هواپیما نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که میانهٔ نمونه بین ششمین و هفتمین مشاهده رتبه‌بندی شده یا ۱۲۰.۶ =۲/ (۱۲۰.۷+ ۱۲۰.۵) قرار دارد و

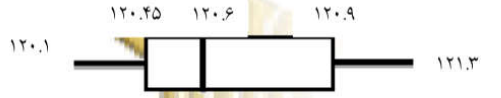
1. Box Plot
2. Whisker

جدول ۲ـ۶ قطر قطعه (برحسب میلی‌متر)

۱۲۰.۵	۱۲۰.۴	۱۲۰.۷
۱۲۰.۹	۱۲۰.۲	۱۲۱.۱
۱۲۰.۳	۱۲۰.۱	۱۲۰.۹
۱۲۱.۳	۱۲۰.۵	۱۲۰.۸

چارک‌ها برابر هستند با Q_1=۱۲۰.۴۵ و Q_3 =۱۲۰.۹ هستند. نمونهٔ جعبه‌ای مربوط به این داده‌ها در جدول ۲ـ۶ نشان داده شده است. این نمودار بیانگر این نکته است که توزیع سوراخ‌ها، دقیقاً در حول مقدار مرکزی متقارن نیست. این بدین دلیل است که سبیل‌های راست و چپ و جعبه‌های راست و چپ واقع شده در دو طرف میانه دارای طول یکسانی نیستند.

نمودار جعبه‌ای برای جدول ۲ـ۶ به صورت زیر است.



۲ـ۴ توزیع‌های آماری

هیستوگرام، نمودار شاخه و برگ یا نمودار جعبه‌ای را می‌توان برای توصیف داده‌های نمونه به کار برد. یک نمونه مجموعه‌ای از مقادیر انتخاب‌شده از یک منبع بزرگ‌تری به اسم جامعه[1] است. به عنوان مثال ۱۲۵ قطر مربوط به مثال رینگ پیستون که در جدول ۲ـ۱ ارائه شد، نمونه‌ای از فرایند تولید رینگ‌های پیستون است. جامعهٔ مورد مطالعه در این مثال مجموعهٔ کل رینگ‌های پیستون تولیدشده در این فرایند تولید است. با به‌کارگیری روش‌های آماری، این امکان هست که بتوان داده‌های مربوط به قطر رینگ‌های پیستون را تجزیه‌وتحلیل کرد و به نتایجی در مورد فرایند تولید این رینگ‌ها دست یافت. یک توزیع احتمال[2] یک مدل ریاضی است که مقدار متغیر مورد نظر را به احتمال مشاهدهٔ این مقدار در جامعه مرتبط می‌کند. به عبارت دیگر می‌توان قطر رینگ پیستون را به عنوان یک متغیر تصادفی[3] فرض کرد، زیرا این قطر می‌تواند مقادیر مختلفی را در جامعه براساس یک مکانیزم تصادفی اختیار

1. Population
2. Probability Distribution
3. Random variable

کند. در این صورت توزیع احتمال قطر رینگ پیستون، احتمال مشاهدهٔ هر مقداری را برای قطر رینگ پیستون در جامعه توصیف می‌کند. دو نوع توزیع احتمال وجود دارد:

توزیع‌های پیوسته

مواقعی که متغیر مورد مطالعه را بتوان در مقیاس پیوسته تعریف کرد، توزیع احتمال آن توزیع پیوسته نامیده می‌شود.

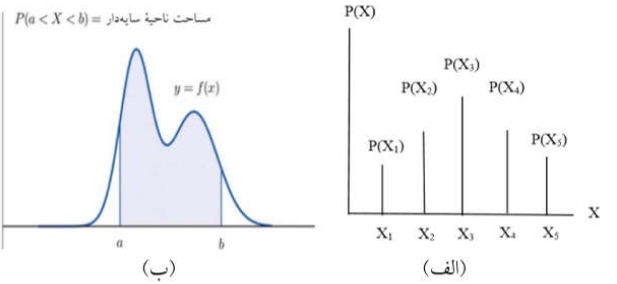
توزیع‌های گسسته

مواقعی که پارامتر یا مشخصهٔ اندازه‌گیری‌شده فقط می‌تواند مقادیر خاصی را نظیر اعداد صحیح ۰، ۱، ۲، ... داشته باشد، آنگاه توزیع احتمال آن توزیع گسسته نامیده می‌شود. به عنوان مثال توزیع تعداد عدم انطباق‌ها یا نقص‌ها در مدارهای چاپ‌شده توزیع گسسته است. مثال‌های مربوط به توزیع‌های گسسته و پیوسته در شکل‌های ۲ـ۲الف و ۲ـ۲ب به ترتیب نشان داده شده‌اند. یک توزیع گسسته به وسیلهٔ خطوط عمودی که برروی آن رسم شده‌اند مشخص می‌شود. ارتفاع هر خط متناسب با احتمال است. احتمال اینکه متغیر تصادفی X مقداری برابر x_i داشته باشد را به صورت زیر نشان می‌دهیم.

$$P\{X = x_i\} = P(x_i)$$

یک توزیع پیوسته به وسیلهٔ یک منحنی هموار شناسایی می‌شود که ناحیه زیر این منحنی بیانگر میزان احتمال است. بنابراین احتمال اینکه X در فاصلهٔ بین a و b قرار بگیرد به صورت زیر نشان داده شده است:

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



شکل ۲ـ۲ توزیع‌های احتمال الف) حالت گسسته، ب) حالت پیوسته.

۲ـ۴ـ۱ امید ریاضی

یکی از مهم‌ترین مفاهیم نظریهٔ احتمال، مفهوم امید ریاضی است که برای یک متغیر تصادفی گسسته X، با $E(X)$ نشان داده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E(X)=\sum_{X} xP(X=x) \qquad (۴ـ۲)$$

مفهوم امید ریاضی در واقع یک میانگین وزنی از مقادیر ممکن X است که وزن هر مقدار برابر با احتمالی است که متغیر X در آن مقدار اختیار می‌کند. به عنوان مثال در یک متغیر تصادفی که مقادیر ۱ و۲ و ۴ را با احتمال‌های $\frac{1}{4}$، $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{2}$ اختیار می‌کند، امید ریاضی برابر است با:

$$E(X)=\frac{\sum_{i=1}^{3} p_i x_i}{\sum_{i=1}^{3} p_i}=1\times\frac{1}{4}+2\times\frac{1}{4}+4\times\frac{1}{2}=\frac{11}{4}$$

اگر Y یک متغیر تصادفی پیوسته با تابع چگالی $f(Y)$ باشد، آنگاه برای مقادیر کوچک dy داریم:

$$P\left(y\le Y\le y+dy\right)=f(y)dy$$

در این صورت برای محاسبهٔ امید ریاضی متغیر تصادفی Y می‌توان همان مفهومی را که برای محاسبهٔ امید ریاضی متغیر تصادفی گسسته X مطرح شد به کار گرفت. بنابراین امید ریاضی متغیر تصادفی پیوسته Y عبارت است از:

$$E(Y)=\int_{-\infty}^{+\infty} yf(y)dy \qquad (۵ـ۲)$$

مثال ۲ـ۴ امید ریاضی مجموع پرتاب دو تاس سالم را محاسبه کنید.

حل:

$$E(\mathrm{X})=\sum_{x=2}^{12} xP\left(X=x\right)=2\times\frac{1}{36}+3\times\frac{2}{36}+\ldots+12\times\frac{1}{36}=7$$

مثال ۲ـ۵ در گروهی از مردان، تفاوت بین مقدار اسید اوریک از مقدار استاندارد آن متغیری است تصادفی که تابع چگالی احتمال آن به صورت زیر است:

$$f(x)=\begin{cases}-\frac{1}{2}\left(2x-3x^2\right) & -1\le x\le 1\\ 0 & O.W\end{cases}$$

امید ریاضی تفاوت‌ها را برای این گروه محاسبه کنید.

حل:

$$E(X)=\int_{-1}^{+1}-\frac{1}{2}x\left(2x-3x^2\right)dx=-\frac{2}{3}$$

۲ـ۴ـ۲ واریانس

همچنان که پیش از این ذکر شد، واریانس متداول‌ترین شاخص برای تفسیر چگونگی توزیع و پخش شدن مقادیر متغیر تصادفی است که عبارت است از متوسط مجذور فاصله بین مقادیر متغیر تصادفی و امید ریاضی آن.

$$Var(X)=E\left[\left(X-E(X)\right)^2\right] \qquad (۶ـ۲)$$

که اگر X یک متغیر تصادفی گسسته با میانگین μ باشد، آنگاه داریم:

$$Var(X)=E\left[\left(X-\mu\right)^2\right]=\sum_{x_i}\left(x_i-\mu\right)^2P(x_i) \qquad (۷ـ۲)$$

و در صورتی که یک متغیر تصادفی پیوسته با میانگین μ باشد، داریم:

$$Var(X)=\int_{x_i}\left(x_i-\mu\right)^2f(x)=E\left(X^2\right)-\left[E(X)^2\right] \qquad (۸ـ۲)$$

مثال ۲ـ۶ اگر X نتیجهٔ پرتاب یک تاس سالم باشد، واریانس X را به دست آورید.

حل:

$$E(X)=\mu=\sum_{x=1}^{6}xP(X=x)=1\times\frac{1}{6}+\ldots+6\times\frac{1}{6}=\frac{7}{2}$$

$$Var(X)=\sum_{x=1}^{6}\left(x-\frac{7}{2}\right)^2\times\frac{1}{6}=\frac{35}{12}$$

مثال ۲ـ۷ تقاضای روزانه یک محصول متغیر تصادفی X با تابع چگالی $f(x)=2(x-1)\quad 1\le x\le 2$ است. واریانس X را پیدا کنید.

حل:

$$E(X)=\int_1^2 2x(x-1)dx=\frac{5}{3}$$

$$E(X^2)=\int_1^2 2x^2(x-1)dx=\frac{17}{6}$$

$$Var(X)=E(X^2)-\left[E(X)\right]^2=\frac{1}{18}$$

۲ـ۵ توزیع‌های گسستهٔ مهم

۲ـ۵ـ۱ توزیع بینم[1] یا دوجمله‌ای

فرایندی را در نظر بگیرید که متشکل از n آزمایش مستقل است به طوری که نتیجه هر آزمایش یا موفقیت است و یا عدم موفقیت. چنین آزمایش‌هایی را آزمایش‌های برنولی[2] می‌نامند. اگر احتمال موفقیت در هر آزمایش ثابت و برابر با P باشد، در این صورت تعداد موفقیت‌ها در n آزمایش برنولی دارای توزیع بینم یا دوجمله‌ای خواهد بود.

$$P(x)=\binom{n}{x}P^x(1-P)^{n-x} \quad , \quad x=0,1,2,...,n \qquad (۹ـ۲)$$

پارامترهای توزیع دوجمله‌ای n و P هستند که n یک عدد صحیح مثبت و $0<P<1$ است. میانگین و واریانس توزیع دوجمله‌ای برابر است با:

$$\mu=np \qquad (۱۰ـ۲)$$

$$\sigma^2=np(1-p) \qquad (۱۱ـ۲)$$

توزیع دوجمله‌ای یکی از توزیع‌هایی است که در کنترل کیفیت بسیار استفاده می‌شود. این توزیع مدل احتمال مناسبی برای نمونه‌گیری از یک جامعه نامحدود است به طوری که p درصد محصولات معیوب یا فاقد انطباق با استانداردهای مورد نظر جامعه را نشان می‌دهد. در صورتی که X تعداد محصولات معیوب یا فاقد انطباق در یک نمونه nتایی باشد، آنگاه متغیر تصادفی $\hat{P}=\frac{X}{n}$ نسبت اقلام معیوب[3] یا فاقد انطباق نمونه[4] را نشان می‌دهد و توزیع احتمال آن از طریق توزیع دوجمله‌ای تعیین می‌شود زیرا:

$$P\{\hat{P}\le a\}=P\left\{\frac{X}{n}\le a\right\}=P\{X\le na\}=\sum_{x=0}^{[na]}\binom{n}{x}P^x(1-p)^{n-x}$$

که $[na]$ برابر با بزرگ‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر یا مساوی na است.

---

1. Binomial Distribution
2. Bernoulli Trials
3. Sample Fraction Defective
4. Sample Fraction Nonconforming

مثال ۲ـ۸ فرض کنید قطعات تولیدشده در یک کارخانه به طور مستقل به احتمال ۰.۰۵ خراب هستند. این قطعات در بسته‌های ۱۰تایی به فروش می‌رسند و چنانچه یک بسته بیش از یک قطعه معیوب داشته باشد به شرکت بازگردانده می‌شود. چه نسبتی از بسته‌های تولیدی این شرکت بازگردانده می‌شوند؟

حل:

$$P(X>1)=1-P(X=0)-P(X=1)$$
$$=1-\binom{10}{0}(0.05)^0(0.95)^{10}-\binom{10}{1}(0.05)^1(0.95)^9=0.086$$

۲ـ۵ـ۲ توزیع فوق‌هندسی

یک جامعه محدود N عضوی را در نظر بگیرید. تعداد $D(D\geq 1)$ عضو این جامعه در یک گروه خاص قرار می‌گیرند. یک نمونهٔ تصادفی nتایی از جامعه بدون جایگزینی انتخاب می‌شود. فرض کنید تعداد عضوهای نمونه که در آن گروه خاص قرار می‌گیرند برابر x باشد. در این صورت x یک متغیر تصادفی فوق‌هندسی است با توزیع احتمال زیر.

$$P(x)=\frac{\binom{D}{x}\binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}} \qquad x=\max(0,n+D-N),\ldots,\min(n,D) \qquad (۱۲ـ۲)$$

و $\binom{a}{b}=\frac{a!}{b!(a-b)!}$ برابر است با تعداد ترکیبات a عضو اگر هر مرتبه b عضو انتخاب شود. میانگین و واریانس توزیع فوق‌هندسی به صورت زیر هستند.

$$\mu=\frac{nD}{N} \qquad (۱۳ـ۲)$$

$$\sigma^2=\frac{nD}{N}\left(1-\frac{D}{N}\right)\left(\frac{N-n}{N-1}\right) \qquad (۱۴ـ۲)$$

توزیع فوق‌هندسی یک مدل احتمال مناسب برای انتخاب بدون جایگزینی یک نمونه تصادفی nتایی از یک جامعهٔ Nتایی است به طوری که Dتای آن فاقد انطباق‌های لازم یا معیوب است. در این گونه کاربردها، x معمولاً تعداد عناصر فاقد انطباق در نمونه را نشان می‌دهد.

مثال ۲ـ۹ یک انباشتهٔ ۱۰۰۰تایی از یک نوع محصول را در نظر بگیرید که ۵تای آنها فاقد

استانداردهای لازم هستند. اگر تعداد ۱۰ عضو از این انباشته بدون جایگزینی انتخاب شود، آنگاه احتمال اینکه حداکثر یک عضو نمونه فاقد استانداردهای لازم باشد را به دست آورید.

حل:

$$P\{x \le 1\} = P\{x = 0\} + P\{x = 1\} = \frac{\binom{5}{0}\binom{95}{10}}{\binom{100}{10}} + \frac{\binom{5}{1}\binom{95}{5}}{\binom{100}{10}} = 0.923$$

تقریب توزیع فوق‌هندسی به وسیلهٔ توزیع دوجمله‌ای

اگر نسبت $\frac{n}{N}$ (که در اغلب موارد از آن به عنوان نسبت نمونه‌گیری نام می‌برند) کم باشد، مثلاً $\frac{n}{N} = 0.1$، آنگاه توزیع بینم با پارامترهای $P = \frac{D}{N}$ و n تقریب خوبی برای توزیع فوق‌هندسی خواهد بود. هرچه نسبت $\frac{n}{N}$ کوچک‌تر باشد تقریب بهتر می‌شود.

این تقریب در طراحی طرح‌های نمونه‌گیری برای پذیرش مفید است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، توزیع فوق‌هندسی مدل مناسبی برای تعداد اقلام معیوب در یک نمونهٔ nتایی است که از یک انباشتهٔ محدود به اندازهٔ N انتخاب شده است. بنابراین اگر اندازهٔ نمونه نسبت به اندازهٔ انباشته کوچک باشد آنگاه تقریب دوجمله‌ای را می‌توان استفاده کرد و معمولاً این کار محاسبات را به میزان قابل توجهی ساده می‌کند.

مثال ۲ـ۱۰ فرض کنید یک انباشتهٔ ۲۰۰تایی دارای ۵ عدد محصول فاقد انطباق یا معیوب است. اگر یک نمونهٔ تصادفی ۱۰تایی از این انباشته انتخاب شود، آنگاه احتمال اینکه محصول معیوبی در این نمونه وجود داشته باشد چقدر است؟

حل:

$$p(0) = \frac{\binom{5}{0}\binom{195}{10}}{\binom{200}{10}} = 0.7717$$

از آنجایی که نسبت $\frac{n}{N} = \frac{5}{200} = 0.025$ تقریباً کوچک است، می‌توان تقریب دوجمله‌ای را با $n = 10$ و $P = \frac{n}{N} = \frac{5}{200} = 0.025$ استفاده کرد که در این صورت:

$$P(0) = \binom{10}{0}(0.025)^0(0.975)^{10} = 0.7763$$

۲ـ۵ـ۳ توزیع پوآسون[1]

یکی از توزیع‌های مفید در کنترل کیفیت آماری توزیع پوآسون است. متغیر تصادفی X که یکی از مقادیر ۰، ۱، ۲، ... را اختیار می‌کند، یک متغیر تصادفی پوآسون با پارامتر λ نامیده می‌شود، هرگاه به‌ازای $\lambda > 0$ داشته باشیم:

$$P(X = x) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!} \quad , \quad x = 1,2,3,... \qquad (۱۵_۲)$$

میانگین و واریانس توزیع پوآسون به ترتیب برابرند با:

$$\mu = \lambda \qquad (۱۶_۲)$$

$$\sigma^2 = \lambda \qquad (۱۷_۲)$$

به عبارت دیگر میانگین و واریانس توزیع پوآسون هر دو با هم مساوی و برابر با پارامتر λ هستند. توزیع پوآسون معمولاً در کنترل کیفیت به عنوان مدلی برای نشان دادن تعداد نقص‌ها یا عدم انطباق‌ها در واحد محصول استفاده می‌شود. در حقیقت در اغلب موارد هر پدیدهٔ تصادفی که در واحد مورد نظر (واحد سطح، واحد حجم، واحد زمان و ...) مشاهده شود، به‌خوبی می‌تواند به وسیلهٔ توزیع پوآسون مدل‌سازی شود.

مثال ۲ـ۱۱ فرض کنید تعداد نقص‌هایی که در یک قطعهٔ نیمه‌هادی مشاهده می‌شود دارای توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda = 4$ باشد. در این صورت احتمال اینکه در یک قطعه نیمه‌هادی که به طور تصادفی انتخاب می‌شود دو یا کمتر نقص مشاهده شود را به دست آورید.

حل:

$$P\{x \le 2\} = \sum_{x=0}^{2} \frac{e^{-4}4^{x}}{x!} = 0.0183 + 0.0733 + 0.1464 = 0.2380$$

تقریب توزیع دوجمله‌ای به پوآسون

این امکان وجود دارد که بتوان توزیع پوآسون را به صورت حدی از طریق توزیع دوجمله‌ای نتیجه‌گیری کرد. به عبارت دیگر در توزیع دوجمله‌ای با پارامترهای n و p اگر n به سمت بی‌نهایت و p به سمت صفر میل کند، به طوری که $np = \lambda$ ثابت بماند، آنگاه توزیع پوآسون حاصل می‌شود. یادآور می‌شود که اگر شرط $np > 5$ برقرار باشد، تقریب مذکور مناسب خواهد بود.

مثال ۲ـ۱۲ فرض کنید یک کارخانه قطعات خود را در بسته‌های ۲۰تایی می‌فروشد. هر

1. Poisson Distribution

قطعه با احتمال ۰.۰۵ معیوب است. مطلوب است احتمال اینکه کمتر از ۳ قطعه معیوب در یک بسته تولیدی این کارخانه باشد.

حل: ابتدا مسئله را با استفاده از تابع جرم توزیع دوجمله‌ای حل می‌کنیم

$$P(X<3)=P(X=0)+P(X=1)+P(X=2)$$
$$=\binom{20}{0}(0.05)^0(0.95)^{20}+\binom{20}{1}(0.05)^1(0.95)^{19}+\binom{20}{2}(0.05)^2(0.95)^{18}$$
$$=0.358+0.377+0.189=0.924$$

اگر از تقریب پوآسون استفاده کنیم، مقدار $\lambda=20\times0.05=1$ است، در پی داریم:

$$P(X=0)+P(X=1)+P(X=2)$$
$$=\frac{e^{-1}\times1^0}{0!}+\frac{e^{-1}\times1^1}{1!}+\frac{e^{-1}\times1^2}{2!}=0.368+0.368+0.184=0.920$$

۲ـ۵ـ۴ توزیع دوجمله‌ای منفی یا پاسکال

توزیع دوجمله‌ای منفی مانند توزیع دوجمله‌ای براساس آزمایش‌های برنولی پایه‌گذاری شده است. یک سلسله از آزمایش‌ها را در نظر بگیرید که در هر کدام احتمال موفقیت P باشد و X متغیر تصادفی تعداد آزمایش‌های لازم تا مشاهدهٔ rامین موفقیت باشد. در چنین شرایطی X یک متغیر تصادفی دوجمله‌ای منفی با توزیع احتمال زیر خواهد بود:

$$x=r,r+1,r+2,\ldots\ P(X=x)=\binom{x-1}{r-1}P^r(1-P)^{x-r} \qquad (۱۸_۲)$$

در رابطهٔ فوق r یک عدد صحیح بزرگ‌تر یا مساوی یک است. میانگین و واریانس توزیع دوجمله‌ای منفی به صورت زیر است:

$$\mu=\frac{r}{p} \qquad (۱۹_۲)$$

$$\sigma^2=\frac{r(1-p)}{p^2} \qquad (۲۰_۲)$$

نکته: اگر در توزیع دوجمله‌ای منفی $r=1$ در نظر گرفته شود، توزیع حاصل توزیع هندسی[1] نامیده می‌شود. به عبارت دیگر تعداد آزمایش‌های برنولی تا مشاهده اولین موفقیت از توزیع هندسی پیروی می‌کند.

1. Geometric Distribution

مثال ۲ـ۱۳ اگر یک تاس سالم را به طور مرتب پرتاب کنیم، احتمال اینکه دومین نتیجه ۶ در پنجمین پرتاب حاصل شود را به دست آورید.

$$P(X=5)=\binom{4}{1}\left(\frac{1}{6}\right)^2\left(\frac{5}{6}\right)^3$$

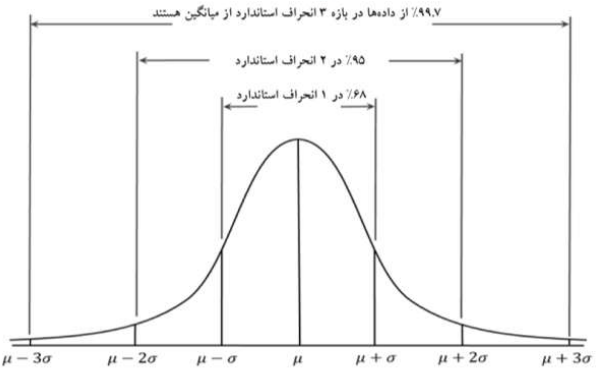
۲ـ۶ توزیع‌های پیوسته مهم

۲ـ۶ـ۱ توزیع نرمال

توزیع نرمال از مهم‌ترین توزیع‌هایی است که هم در مباحث تئوری و هم در کاربرد علم آمار اهمیت ویژه‌ای دارد. اگر X یک متغیر تصادفی نرمال باشد، آنگاه تابع جرم احتمال X برابر خواهد بود با:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2},\quad -\infty<x<\infty \qquad (۲۱ـ۲)$$

پارامترهای توزیع نرمال، میانگین μ $(-\infty<\mu<\infty)$ و واریانس $\sigma^2>0$ هستند. معمولاً از علامت $N(\mu,\sigma^2)$ به معنای X استفاده می‌شود که دارای توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 است. شکل توزیع نرمال به صورت یک منحنی متقارن تک‌نمایی و یا به صورت زنگوله‌ای است که در شکل ۲ـ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲ـ۳ توزیع نرمال.

تعبیر و تفسیر ساده‌ای در مورد انحراف معیار توزیع نرمال وجود دارد که با استفاده از شکل ۲ـ۳ توضیح داده می‌شود. با توجه به این شکل ۶۸.۲۶٪ مقادیر جامعه بین حدود میانگین به اضافه و منهای یک انحراف معیار $(\mu \pm \sigma)$ و ۹۵.۴۶٪ مقادیر جامعه بین حدود میانگین به اضافه و منهای دو انحراف معیار $(\mu \pm 2\sigma)$ و ۹۹.۷۳٪ مقادیر جامعه بین حدود میانگین به اضافه و منهای سه انحراف معیار $(\mu \pm 3\sigma)$ واقع می‌شوند. معمولاً این مقادیر به ۶۸٪، ۹۵٪، ۹۹٪ گرد می‌شوند. تابع توزیع تجمعی نرمال، نشان‌دهندهٔ احتمال این است که متغیر X دارای مقدار کمتر یا مساوی مقدار a باشد

$$P(x \le a) = F(a) = \int_{-\infty}^{a} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} dx \qquad (۲۲_۲)$$

به طور کلی این انتگرال را به شکل بسته نمی‌توان ارزیابی کرد. ولی با استفاده از تغییر متغیر زیر این امکان به وجود می‌آید که بتوان این متغیر را به صورت مستقل از μ و σ^2 ارزیابی کرد

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \qquad (۲۳_۲)$$

$$P\{x \le a\} = P\left\{z \le \frac{a-\mu}{\sigma}\right\} = \phi(\frac{a-\mu}{\sigma}) \qquad (۲۴_۲)$$

در رابطهٔ فوق $\phi(0)$ تابع توزیع تجمعی توزیع نرمال استاندارد[1] (۰= میانگین و ۱= واریانس) است. تغییر متغیر رابطهٔ (۲ـ۲۲) را معمولاً متغیر استانداردشده می‌نامند، زیرا به وسیلهٔ این رابطه یک متغیر تصادفی $N(\mu,\sigma^2)$ به یک متغیر تصادفی $N(0,1)$ تبدیل می‌شود.

مثال۲ـ۱۴ قدرت کششی کاغذ یکی از مشخصات کیفی مهم در تولید پاکت‌های مختلف است. فرض کنید قدرت کششی یک نوع کاغذ دارای توزیع نرمال با میانگین $\mu = 40lb/in^2$ و انحراف معیار $\sigma = 2lb/in^2$ است. خریدار این نوع پاکت‌ها، حداقل قدرت کششی $35lb/in^2$ را درخواست کرده است. احتمال اینکه قدرت کششی این پاکت‌ها با درخواست مورد نیاز مطابقت داشته باشد برابر است با $P(X \ge 35)$ است. با استفاده از جدول نرمال استاندارد این احتمال را به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد

1. Standard Normal Distribution

$$P(x \geq 35) = 1 - P(x \leq 35) = 1 - P\left(z \leq \frac{35-40}{2}\right)$$
$$= 1 - P(z \leq -2.5) = 1 - \phi(-2.5) = 1 - 0.0062$$

نکته: اگر x_1، x_2، x_3، ...، x_n متغیرهای تصادفی مستقل نرمال با میانگین‌های μ_1، μ_2، μ_3،...، μ_n و واریانس‌های σ_1^2، σ_2^2، σ_3^2،...، σ_n^2 باشند آنگاه:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + ... + a_nx_n$$

دارای توزیع نرمال خواهد بود یا میانگین:

$$\mu_y = a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + ... + a_n\mu_n$$

و واریانس

$$\sigma_y^2 = a_1^2\sigma_1^2 + a_2^2\sigma_2^2 + ... + a_n^2\sigma_n^2$$

در رابطه‌های فوق a_1، a_2، a_3،...، a_n مقادیر ثابت هستند.

قضیهٔ حد مرکزی[1]

توزیع نرمال را معمولاً به عنوان مدل احتمال مناسب برای یک متغیر تصادفی استفاده می‌کنند. در اغلب موارد، بررسی این فرض مشکل خواهد بود ولی تئوری حد مرکزی این اجازه را به ما می‌دهد که بتوان از توزیع نرمال استفاده کرد. اگر x_1، x_2، x_3، ...، x_n متغیرهای مستقل با میانگین μ_i و واریانس σ_i^2 باشند و اگر $y = x_1 + x_2 + ... + x_n$ باشد، آنگاه توزیع

$$\frac{y - \sum_{i=1}^{n} \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2}}$$

به سمت توزیع $N(0,1)$ میل خواهد کرد اگر n افزایش یابد.

قضیهٔ حد مرکزی این نکته را بیان می‌کند که جمع n متغیر تصادفی مستقل تقریباً نرمال خواهد بود بدون اینکه نیازی به در نظر گرفتن توزیع هریک از متغیرها باشد. هرچه اندازهٔ نمونهٔ n افزایش یابد، نتیجهٔ حاصل از این تقریب بهتر خواهد شد. در بعضی موارد نظیر $n > ۱۰$ تقریب مناسب خواهد بود و در بعضی موارد نیاز به اندازهٔ

1. Central Limit Theorem

نمونه‌های بزرگ نظیر $n>۱۰۰$ خواهد بود تا نتیجه حاصل از تقریب رضایت‌بخش باشد. به طور کلی اگر متغیرها مشابه باشند و توزیع هریک چندان تفاوتی با توزیع نرمال نداشته باشد، آنگاه قضیهٔ حد مرکزی حتی برای اندازهٔ نمونه‌های کوچک نظیر $n \geq ۴۰$ نیز کاربرد خواهد داشت.

۲ـ۶ـ۲ توزیع نمایی

تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی نمایی به صورت زیر است:

$$f(x)=\lambda e^{-\lambda x} \quad , \quad x \geq 0 \qquad (۲۵_۲)$$

در رابطهٔ فوق λ یک مقدار ثابت و مثبت است. میانگین و واریانس توزیع نمایی به ترتیب برابرند با:

$$\mu=\frac{1}{\lambda} \qquad (۲۶_۲)$$

$$\sigma^2=\frac{1}{\lambda^2} \qquad (۲۷_۲)$$

تابع توزیع تجمعی نمایی به صورت زیر است:

$$F(a)=P\left(X \leq a\right)=\int_0^a \lambda e^{-\lambda x}dt=1-e^{-\lambda a} \qquad (۲۸_۲)$$

توزیع نمایی یکی از توزیع‌هایی است که به عنوان مدل مدت زمان تا خرابی یک قطعه یا سیستم در زمینهٔ مهندسی قابلیت اطمینان کاربرد فراوان دارد. در این گونه کاربردها، پارامتر λ میزان خرابی سیستم و میانگین توزیع $۱/\lambda$ میانگین زمان تا خرابی نامیده می‌شود.

مثال ۲ـ۱۵ فرض کنید یک قطعهٔ الکترونیکی در یک رادار هوایی عمر مفیدی دارد که از توزیع نمایی با میزان متوسط $۱.۱۰^{-۴}$ خرابی در ساعت پیروی می‌کند. احتمال خراب شدن این قطعه را قبل از عمر مفیدش محاسبه کنید.

$$P\left(X \leq \frac{1}{\lambda}\right)=\int_0^{1/\lambda} \lambda e^{-\lambda t}dt=1-e^{-1}=0.63212$$

نکته: اگر متغیر تصادفی X نشان‌دهندهٔ تعداد مشاهدات یک نوع پیشامد در واحد مورد نظر و از توزیع پوآسون با پارامتر λ پیروی کند، آنگاه توزیع فاصلهٔ زمانی بین مشاهدات متوالی از توزیع نمایی با تابع چگالی $f(y)=\lambda e^{-\lambda y} \quad y \geq 0$ پیروی خواهد کرد.

مثال ۲ـ۱۶ فروشگاهی از ساعت ۸ صبح شروع به کار می‌کند، اگر تعداد مشتریانی که در ساعت وارد فروشگاه می‌شوند دارای توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda=3$ باشد، احتمال اینکه بین ورود مشتری دوم و مشتری سوم حداقل ۴۰ دقیقه انتظار بکشیم چقدر است؟

$$P\left(Y \geq \frac{40}{60}\right)=\int_{\frac{2}{3}}^{\infty} 3e^{-3y}dy = e^{-3\times\frac{2}{3}}=e^{-2}$$

۲ـ۶ـ۳ توزیع گاما

توزیع احتمال متغیر تصادفی گاما به صورت زیر است:

$$f(x)=\frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)}(\lambda x)^{\alpha-1}e^{-\lambda x} \quad , \quad x \geq 0 \qquad (۲۹_۲)$$

در رابطهٔ فوق پارامترهای λ و α بزرگ‌تر از صفر هستند و به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس نامیده می‌شوند. $\Gamma(a)$ در مخرج رابطهٔ (۲ـ۲۸) تابع گاماست که به صورت $\Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty} x^{\alpha-1}e^{-x}dx$ تعریف می‌شود. اگر α یک عدد صحیح مثبت باشد، آنگاه $\Gamma(\alpha)=(\alpha-1)!$ خواهد بود. میانگین و واریانس توزیع گاما به ترتیب برابرند با:

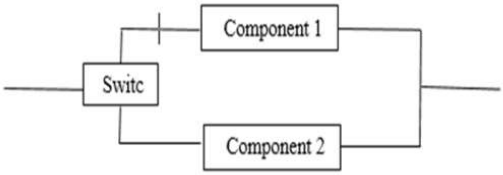
$$\mu=\frac{\alpha}{\lambda} \qquad (۳۰_۲)$$

$$\sigma^2=\frac{r}{\lambda^2} \qquad (۳۱_۲)$$

نکته: باید توجه داشت که اگر $\alpha=1$ باشد، توزیع گاما به توزیع نمایی با پارامتر λ تبدیل خواهد شد.

نکته: اگر پارامتر α یک عدد صحیح باشد، آنگاه توزیع گاما جمع α توریع نمایی مستقل مشابه خواهد بود که هر کدام دارای پارامتر λ هستند. به عبارت دیگر اگر متغیرهای تصادفی x_1، x_2، x_3، ...، x_n هر کدام از توزیع نمایی با پارامتر λ پیروی کنند آنگاه $y=x_n$ ،...، x_3 ،x_2 ،x_1 از توزیع گاما با پارامترهای α و λ پیروی می‌کند.

مثال ۲ـ۱۷ سیستم ارائه‌شده در شکل زیر را در نظر بگیرید. در این سیستم اگر قطعهٔ شمارهٔ یک در حال استفاده باشد، قطعهٔ شمارهٔ دو در مدار قرار نخواهد داشت و زمانی که قطعهٔ شمارهٔ یک از کار بیفتد قطعهٔ شمارهٔ دو به طور خودکار وارد مدار خواهد شد. اگر عمر هر قطعه از این توزیع نمایی با پارامتر $\lambda=1.10^{-4}$ ساعت پیروی کند، آنگاه میانگین مدت زمان تا از کار افتادن سیستم را به دست آورید.



از آنجایی که عمر سیستم از توزیع گاما با پارامترهای $\alpha=2$ و $\lambda=1.10^{-4}$ پیروی خواهد کرد. بنابراین داریم:

$$\mu=\frac{\alpha}{\lambda}=\frac{2}{10^{-4}}=2\times10^{4}$$

۲ـ۶ـ۴ توزیع وایبول

متغیر تصادفی X دارای توزیع وایبول با پارامترهای k، δ و γ است، هرگاه تابع چگالی آن به صورت زیر باشد:

$$f(x)=\frac{k}{\delta}\left(\frac{x-\gamma}{\delta}\right)^{k-1}\exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\delta}\right)^{k}\right]\quad,\ x\geq\gamma \qquad (۳۲_۲)$$

در رابطهٔ فوق γ $(-\infty<\gamma<+\infty)$ پارامتر مکانی، $\delta>0$ پارامتر مقیاس، $k>0$ پارامتر شکل هستند. میانگین، واریانس و تابع توزیع تجمعی توزیع وایبول عبارت‌اند از:

$$\mu=\gamma+\delta\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right) \qquad (۳۳_۲)$$

$$\sigma^{2}=\delta^{2}\left[\Gamma\left(1+\frac{2}{k}\right)-\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)^{2}\right] \qquad (۳۴_۲)$$

$$F(a)=1-\exp\left[-\left(\frac{a-\gamma}{\delta}\right)^{k}\right] \qquad (۳۵_۲)$$

توزیع وایبول به نسبت زیادی در مهندسی قابلیت اطمینان به عنوان مدلی برای زمان تا خرابی قطعات و سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی استفاده شده است. به عنوان مثال از توزیع وایبول در قطعات الکترونیکی نظیر قطعات حافظه و قطعات مکانیکی نظیر یاتاقان و ساختار هواپیما و اتومبیل استفاده شده است.

مثال ۲ـ۱۸ زمان تا خرابی یک قطعه الکترونیکی به طور رضایت‌بخشی از یک توزیع وایبول با پارامترهای $\gamma=0$، $k=0.5$ و $\delta=1000$ پیروی می‌کند. در این صورت:
الف) میانگین زمان تا خرابی را به دست آورید.
ب) درصد قطعاتی که انتظار می‌رود بیش از ۴۰۰۰ ساعت دوام بیاورند را محاسبه کنید.
الف)

$$\mu=\gamma+\delta\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)=0+(1000)\Gamma\left(1+\frac{1}{0.5}\right)=(1000)\Gamma(3)=2000$$

ب)

$$1-F(a)=\exp\left[-\left(\frac{a}{\delta}\right)^{k}\right]=1-F(4000)=\exp\left[-\left(\frac{4000}{1000}\right)^{0.5}\right]=e^{-2}=0.1353$$

۲ـ۷ تمرین‌ها

۱ـ اندازه‌های مربوط به یک نمونهٔ ۱۰۰تایی قطعات فلزی به شرح جدول زیر به دست آمده است:

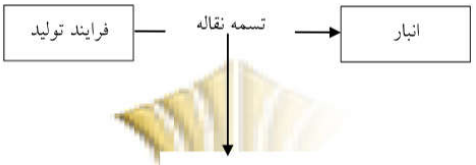
ضخامت قطعات فلزی برحسب میلیمتر

۳.۴۸	۳.۵۰	۳.۴۲	۳.۴۳	۳.۵۲	۳.۴۹
۳.۴۵	۳.۵۲	۳.۴۷	۳.۴۸	۳.۴۶	۳.۵۰
۳.۴۷	۳.۴۹	۳.۴۵	۳.۴۴	۳.۵۰	۳.۴۹
۳.۴۴	۳.۵۰	۳.۴۵	۳.۴۴	۳.۴۸	۳.۴۶
۳.۳۲	۳.۴۰	۳.۵۲	۳.۳۴	۳.۴۶	۳.۴۳
۳.۵۹	۳.۴۷	۳.۳۸	۳.۵۲	۳.۶۵	۳.۴۸
۳.۴۶	۳.۵۱	۳.۴۸	۳.۵۰	۳.۶۸	۳.۶۰
۳.۵۶	۳.۵۰	۳.۵۲	۳.۴۶	۳.۴۸	۳.۴۶
۳.۴۶	۳.۴۵	۳.۴۶	۳.۵۴	۳.۵۴	۳.۴۸
۳.۳۴	۳.۴۴	۳.۴۷	۳.۴۷	۳.۴۱	۳.۴۸

جدول توزیع فراوانی و نمودار هیستوگرام داده‌های فوق را رسم کنید.

۲ـ یک کارخانهٔ تولیدی محصولات خود را در بسته‌های ۱۰تایی به فروش می‌رساند. اگر در یک بستهٔ تولیدی این کارخانه ۳ محصول معیوب وجود داشته باشد، مطلوب است احتمال اینکه در یک نمونهٔ ۳تایی (بدون جایگذاری) از این بسته دو محصول معیوب مشاهده شود؟

۳ـ یک فرایند تولید که به صورت نمودار در شکل زیر نشان داده شده است هر روز هزار قطعه تولید می‌کند. به طور متوسط یک درصد قطعات معیوب تولید می‌شوند و این مقدار با زمان تغییر نمی‌کند. هر ساعت یک نمونهٔ تصادفی شامل ۱۰۰ قطعه از نقاله برداشته می‌شود و چند مشخصهٔ مربوط به هر قطعه اندازه‌گیری می شود. با این حال بازرس، هر قطعه را به دو گروه خوب یا بد تقسیم می‌کند. فرض کنید به بازرس دستور داده شده باشد که درصورت مشاهده بیشتر از دو معیوب، فرایند تولید را متوقف کند. احتمال متوقف شدن فرایند تولید را محاسبه کنید. متوسط تعداد قطعات معیوبی که مشاهده می‌شود و واریانس آن چقدر است؟



۴ـ از یک فرایند تولید لامپ که به طور متوسط ۵ درصد معیوب تولید می‌کند هر ساعت یک نمونه ۲۰تایی لامپ برداشته می‌شود و چنانچه بیشتر از ۳ لامپ معیوب مشاهده شود تولید متوقف می‌شود. احتمال متوقف شدن تولید را محاسبه کنید.

الف) با استفاده از توزیع دوجمله‌ای

ب) با استفاده از توزیع پواسون

۵ـ اگر یک تاس سالم را به طور مرتب پرتاب کنیم، احتمال اینکه دومین نتیجه ۶ در پنجمین پرتاب حاصل شود، چقدر است؟

۶ـ یک فرایند تولید قطعاتی با میانگین ۲۰ میلی‌متر و انحراف استاندارد ۲ میلی‌متر تولید می‌کند. تمام قطعاتی که طول آنها در حدود مشخصات قابل قبول $20 \pm d$ قرار نگیرند غیرقابل قبول شناخته می‌شوند. با فرض توزیع نرمال برای اندازهٔ قطعات، d را به گونه‌ای تعیین کنید که بیشتر از ۲ قطعه در هر ۱۰۰۰ قطعه تولیدشده غیر قابل قبول شناخته نشوند.

۷ـ یک سازندهٔ وسایل برقی لامپ‌هایی تولید می‌کند که طول عمر آنها از یک توزیع تقریباً نرمال با میانگین ۸۰۰ ساعت و انحراف استاندارد ۴۰ ساعت پیروی می‌کند.

احتمال آنکه یک نمونهٔ تصادفی شامل ۱۶ لامپ میانگین کمتر از ۷ ساعت داشته باشد چقدر است؟

۸ ـ تعداد ۲۵۰ قطعه کوچک در یک جعبهٔ بسته‌بندی می‌شوند. وزن هر قطعه (X) یک متغیر تصادفی مستقل با میانگین ۰.۵ کیلوگرم و انحراف معیار استاندارد ۰.۱ کیلوگرم است. بیست جعبه برروی یک پالت بار می‌شود. احتمال آنکه وزن قطعات برروی پالت از ۲۵۱۰ کیلوگرم تجاوز کند چقدر است؟

۹ـ برای رعایت مقررات دولت باید وزن یک محصول در ۹۸ درصد از موارد حداقل برابر با وزن اعلام‌شده برروی برچسب محصول باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که وزن محصولات از یک توزیع نرمال با میانگین ۱۰۱۳.۴ گرم و انحراف استاندارد ۸.۱۵ گرم پیروی می‌کند. در صورتی که وزن اعلام‌شده برروی برچسب محصول یک کیلوگرم باشد آیا مقررات رعایت شده است؟ انتظار می‌رود چه درصد از محصول وزن اعلام شده را داشته باشند؟ برای اینکه مقررات رعایت شود چه تنظیمی در فرایند لازم است؟

۱۰ـ زمان لازم برای تعمیر یک ماشین بسته‌بندی در عملیات پیچیدهٔ تهیهٔ مواد غذایی X دقیقه است. مطالعه نشان می‌دهد که فرض توزیع نرمال با میانگین ۱۲۰ و واریانس ۱۶ دقیقه برای X کاملاً مناسب است. اگر فرایند بیش از ۱۲۵ دقیقه متوقف بماند غذای موجود در فرایند از بین می‌رود و تمام تجهیزات باید تمیز شوند. هزینهٔ مواد غذایی ازبین‌رفته و تمیزکاری مربوط به توقف طولانی ماشین ۱۰۰۰۰ ریال است. فرض کنید مدیریت بتواند با افزودن تعمیرکاران بیشتر که هزینه به‌کارگیری آنان ۸۰۰۰ ریال است. میانگین زمان تعمیر ماشین را به ۱۱۵ دقیقه کاهش دهد. آیا این کار مقرون‌به‌صرفه است؟

۱۱ـ فروشگاهی از ساعت ۸ صبح شروع به کار می‌کند. اگر تعداد مشتریانی که در ساعت وارد فروشگاه می‌شوند دارای توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda = 3$ (نفر در ساعت) باشد، آنگاه:

الف) احتمال اینکه بین ورود مشتری دوم و مشتری سوم حداقل ۴۰ دقیقه انتظار بکشیم، چقدر است؟

ب) احتمال اینکه اولین مشتری بعد از ساعت ۸:۳۰ وارد شود، چقدر است؟

۱۲ـ اگر تعداد مشتریانی که در ساعت به یک بانک مراجعه می‌کنند دارای توزیع پوآسون با پارامتر $\lambda = 3$ (نفر در ساعت) باشد، مطلوب است:

الف) احتمال اینکه فاصلهٔ زمانی بین ورود مشتری اول و چهارم کمتر از ۲۰ دقیقه باشد؟

ب) از لحظه باز شدن در بانک حداقل نیم ساعت طول بکشد تا مشتری دوم وارد شود؟

۱۳ـ اگر متغیر تصادفی X دارای تابع توزیع $F(x)=1-e^{-2x^2}$ و $x>0$ باشد، آنگاه $E(X)$ را به دست آورید.

۳

اشاره‌ای به کیفیت

اهداف فصل

۱ـ آشنایی با مفاهیم آماره و توزیع نمونه‌ای؛
۲ـ معرفی توزیع‌های مربع کای، t-استیودنت و فیشر؛
۳ـ آشنایی با مفاهیم برآورد نقطه‌ای، برآورد فاصله‌ای و آزمون فرضیه.

۳ـ۱ مقدمه

در فصل قبل به معرفی توزیع‌های احتمال و چگونگی کاربرد آنها به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی یا توصیف مشخصه‌های کیفیت در یک فرایند پرداختیم. در همهٔ مثال‌ها فرض شده بود که پارامترهای توزیع احتمال و درنتیجه پارامترهای فرایند معلوم هستند. اگرچه چنین فرضی معمولاً واقع‌گرایانه نخواهد بود. روش‌های تخمین پارامتر و آزمون فرضیه معمول‌ترین روش‌های کنترل کیفیت آماری برای این منظور هستند. در این فصل تعدادی از روش‌های مفید در استنباط آماری در زمینهٔ کنترل کیفیت معرفی خواهد شد.

۳ـ۲ نمونه‌گیری تصادفی

بدیهی است زمانی می‌توان از روی نمونه در مورد جامعه استنباط کرد که نمونه نمایندهٔ واقعی جامعه باشد. یک روش برای رسیدن به این هدف استفاده از نمونه‌های تصادفی است. فرض کنید X یک متغیر تصادفی با توزیع $f(x)$ باشد، مجموعهٔ n مشاهده x_1، x_2،...، x_n که از یک متغیر تصادفی X گرفته شده است و دارای نتایج عددی x_1، x_2،...، x_n را یک نمونه تصادفی می‌نامند اگر:

۱) X_iها متغیرهای تصادفی مستقل باشند؛

۲) توزیع X_iها یکسان باشد.

معمولاً یک نمونهٔ تصادفی را به صورت $X_1, X_2, ..., X_n \overset{i.i.d}{\sim} f(x)$ نمایش می‌دهند و داریم:

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = f(x_1) \times f(x_2) \times ... \times f(x_n)$$

تذکر: این تعریف مختص یک جامعهٔ نامتناهی است.

شرط انتخاب یک نمونهٔ تصادفی بدون جایگذاری به حجم n از جامعهٔ متناهی به حجم N عبارت‌اند از اینکه برای هر زیرمجموعه nتایی از جامعه احتمال انتخاب همواره ثابت و برابر $\frac{1}{\binom{N}{n}}$ باشد به عبارت دیگر در جوامع متناهی با نمونه بدون جایگذاری مشاهدات از یکدیگر مستقل نیستند لذا توزیع توأم احتمال nتایی مرتب به صورت زیر است:

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = \frac{1}{N(N-1)...(N-n+1)}$$

۳ـ۳ آماره و توزیع نمونه‌ای

هر تابع از نمونه تصادفی که به پارامتر مجهولی وابسته نباشد یک آماره است. به عنوان مثال، فرض کنید x_1، x_2،...، x_n مشاهدات یک نمونه nتایی هستند، در این صورت $\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$ و $\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}$ آماره هستند ولی $\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n}$ به علت وابسته بودن به پارامتر مجهول μ آماره نیست.

توزیع نمونه‌ای

در کار نتیجه‌گیری از یک جامعه براساس داده‌های نمونه استفادهٔ قابل توجهی از آماره‌ها می‌شود. از آنجایی که آماره تابعی از نمونهٔ تصادفی است لذا خود آماره یک متغیر تصادفی است و شناختن رفتار یک آماره منوط به شناختن توزیع آن آماره است. معمولاً تابع توزیع آماره را توزیع نمونه‌ای می‌نامند.

انواع توزیع نمونه‌ای

۱) **توزیع دقیق آماره:** تابع توزیع آماره $\hat{\theta} = g(x_1, x_2, ..., x_n)$ را دقیق می‌نامند هرگاه این تابع توزیع برای تمام مقادیر صحیح n در مورد θ صدق کند.

۲) **توزیع مجانبی یا حدی آماره:** تابع توزیع آماره $\hat{\theta} = g(x_1, x_2, ..., x_n)$ را حدی می‌نامند هرگاه فقط این تابع توزیع برای مقادیر بزرگ n در مورد θ صدق کند.

توزیع نمونه‌ای $\bar{x}$

الف) توزیع نمونه‌ای $\bar{x}$ در جوامع نامتناهی زمانی که توزیع جامعه اصلی نرمال است.

فرض کنید $x_1, x_2, ..., x_n \overset{i.i.d}{\sim} N(\mu, \sigma^2)$ آنگاه $\bar{x} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ و درنتیجه $\frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ از توزیع نرمال استاندارد پیروی می‌کند.

اثبات:

$$E(\bar{x}) = E\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right) = \frac{1}{n} E\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right) = \frac{1}{n} \times n\mu = \mu$$

$$\text{var}(\bar{x}) = \text{var}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right) = \frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{n} \text{var}(x_i) = \frac{n}{n^2}\sigma^2 = \frac{\sigma^2}{n}$$

$$\bar{x} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n}), z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

ب) توزیع نمونه‌ای $\bar{x}$ در جوامع نامتناهی زمانی که توزیع جامعه اصلی مشخص نباشد.

به طور معمول اگر n بزرگ‌تر از ۳۰ باشد، طبق قضیهٔ حدمرکزی می‌توان صرف‌نظر از توزیع جامعه فرض کرد که $\frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ از توزیع نرمال استاندارد پیروی می‌کند.

مثال ۳ـ۱ فرض کنید یک نمونهٔ تصادفی nتایی از جامعه با توزیع $N\sim(\mu,\sigma^2=25)$ گرفته‌ایم. حجم نمونه چقدر باشد تا با احتمال ۹۵٪ بدانیم که حداکثر انحراف $\bar{x}$ از μ برابر یک واحد باشد؟

$$P\left(|\bar{x}-\mu|<1\right)=0.95\Rightarrow P\left(-1<\bar{x}-\mu<1\right)=0.95$$

$$P\left(\frac{-1}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}<z<\frac{1}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right)=P\left(-\frac{\sqrt{n}}{\sigma}<z<\frac{\sqrt{n}}{\sigma}\right)=P\left(-\frac{\sqrt{n}}{5}<z<\frac{\sqrt{n}}{5}\right)$$

$$=\varphi\left(\frac{\sqrt{n}}{5}\right)-\varphi\left(-\frac{\sqrt{n}}{5}\right)=0.95$$

$$2\varphi\left(\frac{\sqrt{n}}{5}\right)-1=0.95$$

$$\Rightarrow\varphi\left(\frac{\sqrt{n}}{5}\right)=0.975\Rightarrow\frac{\sqrt{n}}{5}=1.96\Rightarrow n=96.04\Rightarrow n=97$$

مثال ۳ـ۲ نمونهٔ تصادفی ۳۰تایی از جامعه‌ای با توزیع $f(x)=\frac{x^3}{4},\ 0\le x\le 2$ گرفته‌ایم. مطلوب است محاسبه $P(\bar{x}<1.8)$.

$$\mu=E(x)=\int_0^2 x.\frac{x^3}{4}dx=1.6$$

$$E(x^2)=\int_0^2 x^2.\frac{x^3}{4}dx=2.66\quad,\quad \mathrm{var}(x)=E(x^2)-E^2(x)$$

$$P(\bar{x}<1.8)=P\left(z<\frac{1.8-1.6}{\frac{0.1}{\sqrt{30}}}\right)=P(z<3.464)\approx 1$$

$$\Rightarrow\bar{x}\sim N\left(\mu=1.6,\frac{\sigma^2}{n}=\frac{0.1}{30}\right)$$

ج) توزیع نمونه‌ای $\bar{x}$ در جوامع متناهی

قضیه: اگر در جامعهٔ متناهی با حجم N، میانگین μ و واریانس σ^2 یک نمونهٔ تصادفی nتایی بدون جایگذاری انتخاب کنیم و $\bar{x}$ میانگین این نمونه باشد، آنگاه:

$$E(\bar{x})=\mu,\ \mathrm{var}(\bar{x})=\frac{\sigma^2}{n}.\frac{N-n}{N-1}$$

تذکر: در فرمول واریانس میانگین جامعهٔ متناهی عامل $\frac{N-n}{N-1}$ را عامل تصحیح جامعه متناهی گویند.

تذکر: اگر تمام نمونه‌های تصادفی با حجم n از یک جامعهٔ متناهی با حجم N میانگین μ و واریانس σ^2 بدون جایگذاری انتخاب شوند و $\bar{x}$ میانگین نمونه باشد، تحت شرایط $N \geq 2n, n \geq 30$ توزیع $\bar{x}$ تقریباً نرمال است. نمونه‌گیری با جایگذاری از جوامع متناهی مشابه نمونه‌گیری از جوامع نامتناهی است.

مثال ۳ـ۳ از یک جامعهٔ نامتناهی یک نمونهٔ تصادفی nتایی بدون جایگذاری خارج می‌کنیم. اگر $\bar{x}$ میانگین این نمونهٔ تصادفی باشد، آنگاه $\operatorname{cov}(x_i - \bar{x}, \bar{x})$ به‌ازای $i = 1,\ldots,n$ چقدر است؟

$$\operatorname{cov}(x_i - \bar{x}, \bar{x}) = \operatorname{cov}(x_i, \bar{x}) - \operatorname{cov}(\bar{x}, \bar{x}) = \operatorname{cov}\left(x_i, \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k\right) - \operatorname{var}(\bar{x})$$

$$= \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \operatorname{cov}(x_i, x_k) - \frac{\sigma^2}{n} = \frac{1}{n}\operatorname{var}(x_i) - \operatorname{var}(\bar{x}) \Rightarrow \frac{\sigma^2}{n} - \frac{\sigma^2}{n} = 0$$

توزیع نمونه‌ای $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$

توزیع نمونه‌ای $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ در قالب یک مثال توضیح داده می‌شود.

مثال ۳ـ۴ فرض کنید نمرهٔ درس احتمال از توزیع نرمال با میانگین ۷۲ و واریانس ۵۰ پیروی می‌کند. در این نیم‌سال استاد مربوط آن را در دو گروه ۲۵ نفره ارائه می‌دهد. احتمال اینکه میانگین یک کلاس حداقل ۱۰ نمره از میانگین کلاس دیگر بیشتر باشد چقدر است؟

$$P(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > 10) = 1 - P(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \leq 10) = 1 - P(-10 \leq \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \leq 10)$$

$$= 1 - P\left(\frac{-10 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \leq z \leq \frac{10 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right) = 1 - P(-5 \leq z \leq 5)$$

$$= 1 - 1 = 0$$

$$\operatorname{var}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = \operatorname{var}(\bar{x}_1) + \operatorname{var}(\bar{x}_2) = \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

توزیع نمونه‌ای S^2

توزیع آماره S^2 کاملاً مشخص نیست، اما توزیع متغیر تصادفی $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$ مربوط به اینکه از جامعهٔ نرمال نمونه‌گیری شده باشد معلوم است. برای تعیین توزیع متغیر تصادفی $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$ که در آن $S^2 = \frac{1}{n-1}\sum(x_i - \bar{x})^2$ لازم است توزیع مربع کای χ^2 را مطالعه کنیم.

۳ـ۴ برخی توزیع‌های مهم

۳ـ۴ـ۱ توزیع مجذور خی یا مربع کای χ^2

قضیه: اگر $Z \sim N(0,1)$ باشد آنگاه $\chi^2 = Z^2$ دارای تابع چگالی زیر است که به مربع کای با یک درجهٔ آزادی معروف است.

$$f_X(x) = \frac{1}{2^{\frac{1}{2}}\Gamma(\frac{1}{2})} x^{\frac{-1}{2}} e^{\frac{-x}{2}} \qquad x > 0$$

$$E(x) = 1$$
$$\text{var}(x) = 2$$

قضیه: اگر $Z_1, Z_2, ..., Z_k \overset{i.id}{\sim} N(0,1)$ باشد در این صورت متغیر تصادفی $\chi^2_{(k)} = Z_1^2 + Z_2^2 + ... + Z_k^2$ دارای تابع چگالی احتمال به شکل زیر بوده و به آن توزیع مربع کای با k درجه آزادی می‌گویند.

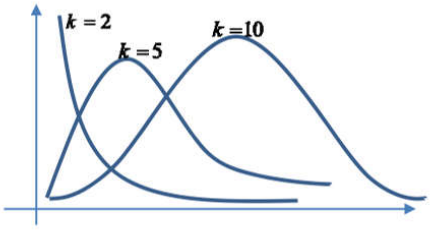
$$f_x(x) = \frac{1}{2^{\frac{k}{2}}\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} x^{\frac{k-2}{2}} e^{\frac{-x}{2}}$$

$$E(x) = k$$
$$\text{var}(x) = 2k$$

نکات مهم در مورد توزیع مربع کای

۱ـ متغیر تصادفی مربع کای همواره نامنفی است.

۲ـ پارامتر k را پارامتر شکل توزیع گویند. با افزایش k منحنی توزیع مربع کای متفاوت می‌شود (شکل ۳ـ۱).



شکل ۳ـ۱ تابع چگالی مربع کای به ازای مقادیر مختلف پارامتر شکل.

۳ـ براساس قضیهٔ حد مرکزی نتیجه می‌شود که با افزایش k تابع توزیع این متغیر تصادفی χ^2 به تابع توزیع نرمال گرایش پیدا می‌کند.

$$\chi^2_{(k)} \underset{k\to\infty}{\sim} N(k, 2k)$$

۴ـ برای محاسبهٔ احتمال در توزیع χ^2 باید از تابع این توزیع در فاصلهٔ مربوط به آن انتگرال‌گیری کرد. از آنجایی که انتگرال‌گیری از این تابع به‌سادگی میسر نیست لذا برای مقادیری از درجهٔ آزادی χ^2 و درصدهای خاصی از احتمال جداولی با روش‌های محاسبات عددی تنظیم شده است.

قضیهٔ تکثیرپذیری توزیع مربع کای. اگر X_1 و X_2 مستقل از هم باشند و $X_1 \sim \chi^2_{(m)}$ و $X_2 \sim \chi^2_{(n)}$ باشند آنگاه داریم:

$$X_1 + X_1 \sim \chi^2_{(m+n)}$$

۵ـ اگر x_1، x_2،...، x_n یک نمونهٔ تصادفی از یک جامعهٔ نرمال باشند آنگاه متغیرهای تصادفی $s^2, \bar{x}$ مستقل‌اند و متغیر تصادفی $\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$ دارای توزیع مربع کای با $n-1$ درجهٔ آزادی است.

اثبات:

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x}+\bar{x}+\mu)^2 \sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2+\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}-\mu)^2+2\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(\bar{x}+\mu)^2$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)^2=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i-\bar{x}}{\sigma}\right)^2+\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma}\right)^2=\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}+\left(\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right)$$

$$\Rightarrow \chi^2_{(n)}=\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}+\chi^2_{(1)}$$

مثال ۳ـ۵ طول میله‌های تولیدی کارخانه‌ای یک متغیر تصادفی با توزیع $Y \sim N(\mu=6, \sigma^2=0.2)$ اگر هزینهٔ تعمیر میله‌ای که طولش به صورت $c=5(Y-\mu)^2$ تعریف شود، مطلوب است محاسبهٔ احتمال آنکه هزینهٔ تعمیر یک دستهٔ ۵۰تایی کمتر از ۴۰ واحد شود

$$p\left(\sum_{i=1}^{50}c_i \le 40\right)=p\left(\sum_{i=1}^{50}\left(\frac{Y_i-\mu}{\sqrt{0.2}}\right)^2 \le 40\right)=p(\chi^2_{(50)} \le 40)=p(z \le -1)=0.16$$

مثال ۳ـ۶ احتمال اینکه یک نمونهٔ تصادفی ۲۰تایی از یک جامعهٔ نرمال با واریانس $\frac{19}{3}$ دارای واریانس بین ۱۶.۴ و ۶.۱ باشد چند است؟

$$P(6.1<s^2<16.4)=p\left(\frac{6.1\times19}{\frac{19}{3}}<\chi^2_{(19)}<\frac{14.6\times19}{\frac{19}{3}}\right)=p(18.3<\chi^2_{(19)}<43.8)=0.499$$

۳ـ۴ـ۲ توزیع t–استیودنت (t-student)

همچنان که پیش از این ذکر شد اگر $x_1,x_2,...,x_n \overset{i.i.d}{\sim} N(\mu,\sigma^2)$ آنگاه $\bar{x}\sim N(\mu,\frac{\sigma^2}{n})$ و درنتیجه $\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{\sigma}{n}}\sim N(0,1)$ خواهد بود. از آنجایی که عملاً انحراف معیار جامعه در اغلب موارد مجهول است از انحراف معیار نمونه‌ای استفاده می‌شود. در این صورت آماره به شکل $\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{n}}$ خواهد بود.

تعریف: فرض کنید متغیر تصادفی z توزیع نرمال استاندارد و متغیر تصادفی v از توزیع مربع کای با k پیروی می‌کند آنگاه $T=\frac{z}{\sqrt{\frac{v}{k}}}$ دارای تابع چگالی زیر بوده و به آن توزیع t–استیودنت با k درجهٔ آزادی می‌گویند.

$$f_T(t)=\frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi k}\left(\frac{t^2}{k}+1\right)^{\frac{k+1}{2}}},$$

$$E(t)=0,$$

$$\text{var}(t)=\frac{k}{k-2}$$

تذکر: همچنان که در جدول ۳ـ۱ قابل مشاهده است با افزایش درجهٔ آزادی، واریانس توزیع t–استیودنت کاهش می‌یابد به طوری که برای درجات آزادی بالای ۳۰ مقدار واریانس به سمت یک میل می‌کند و توزیع t–استیودنت تقریباً روی توزیع نرمال استاندارد منطبق می‌شود.

جدول ۳ـ۱ مقادیر واریانس توزیع t–استیودنت به‌ازای مقادیر مختلف درجهٔ آزادی

k	۳	۴	۵	۸	۲۲	۳۰
var(t)	۳	۲	۱.۶۷	۱.۳	۲.۱	۱.۰۵

نکات مهم در مورد توزیع t- استیودنت

۱ـ این توزیع شبیه توزیع نرمال است، خصوصاً از این جهت که هر دوی آنان نسبت به میانگین متقارن‌اند و ضریب چولگی هر دو صفر است.

۲ـ این توزیع پراکنده‌تر از توزیع نرمال است درنتیجه کشیدگی این توزیع نسبت به توزیع نرمال کمتر است.

۳ـ برای مقادیر $k \geq 30$ این توزیع به سمت نرمال استاندارد میل می‌کند.

۴ـ از آنجایی که محاسبات از طریق این تابع چگالی دشوار است لذا برای درجهٔ آزادی‌های مختلف جدولی طراحی شده است که از طریق آن مقادیر احتمال قابل محاسبه است.

۵ـ با فرض نمونه‌گیری از توزیع نرمال آماره $\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ از توزیع t-استیودنت با $n-1$ درجهٔ آزادی پیروی می‌کند.

اثبات:

$$\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}}{\frac{s}{\sigma}} = \frac{z}{\sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}}} = \frac{z}{\sqrt{\frac{\chi^2_{(n-1)}}{n-1}}} \sim T_{(n-1)}$$

مثال ۳ـ۷ فرض کنید x_1, x_2 دو متغیر تصادفی مستقل نرمال با میانگین‌های μ_1, μ_2 و واریانس σ^2 باشند مطلوب است:

$$P\left((x_1-\mu_1) > |x_2-\mu_2|\right) = p\left(\frac{x_1-\mu_1}{\sqrt{(x_2-\mu_2)^2}} > 1\right) = p\left(\frac{\frac{x_1-\mu_1}{\sigma}}{\sqrt{\left(\frac{x_2-\mu_2}{\sigma}\right)^2}}\right) = p(T_{(1)} > 1) = 0.16$$

مثال ۳ـ۸ اگر $x_1 + x_2 + \ldots + x_n$ یک نمونهٔ تصادفی از یک جامعهٔ نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 باشد و همچنین $z_1, z_2, \ldots z_k$ یک نمونهٔ تصادفی از یک جامعهٔ نرمال استاندارد باشد و همچنین تمام متغیرهای تصادفی فوق از یکدیگر مستقل باشند توزیع متغیر تصادفی $c = \frac{\sqrt{nk}\,(\bar{x}-\mu)}{\sigma\sqrt{\sum_{i=1}^{k} z_i^2}}$ را به دست آورید.

$$c=\frac{\sqrt{nk}\,(\bar{x}-\mu)}{\sigma\sqrt{\sum_{i=1}^{k}z_i^{\,2}}}=\frac{\frac{(\bar{x}-\mu)}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}z_i^{\,2}}{k}}}=\frac{z}{\sqrt{\frac{\chi^2_{(k)}}{k}}}\square T_k$$

۳ـ۴ـ ۳ توزیع فیشر F

اگر U و W دو متغیر تصادفی و $U\sim\chi^2_{(n)}, W\sim\chi^2_{(m)}$ در این صورت متغیر تصادفی $F=\frac{U/n}{W/m}$ دارای تابع چگالی احتمال زیر بوده که به آن فیشر با n درجهٔ آزادی در صورت و m درجهٔ آزادی در مخرج گفته می‌شود.

$$F=\frac{\Gamma\left(\frac{n+m}{2}\right)\left(\frac{n}{m}\right)^{\frac{n}{2}}x^{\frac{n}{2}-1}}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{n}{m}+1\right)^{\frac{n+m}{2}}},\ x>0$$

$$E(F)=\frac{m}{m-2}$$

$$\mathrm{var}(F)=\frac{2m^2(n+m-2)}{n(m-2)^2(m-4)}$$

نکات مهم در مورد توزیع فیشر

۱ـ متغیر تصادفی فیشر همواره نامنفی است.

۲ـ اگر $s_1^{\,2}$ و $s_2^{\,2}$ واریانس‌های نمونه‌ای برای نمونه‌های تصادفی مستقل به حجم n_1 و n_2 از جوامع نرمال با واریانس‌های $\sigma_1^{\,2}$ و $\sigma_2^{\,2}$ باشند آنگاه:

$$\frac{s_1^{\,2}/\sigma_1^{\,2}}{s_2^{\,2}/\sigma_2^{\,2}}\sim F_{(n_1-1),(n_1-1)}$$

اثبات:

$$\frac{s_1^{\,2}/\sigma_1^{\,2}}{s_2^{\,2}/\sigma_2^{\,2}}=\frac{(n_1-1)s_1^{\,2}/(n_1-1)\sigma_1^{\,2}}{(n_1-1)s_2^{\,2}/(n_1-1)\sigma_2^{\,2}}=\frac{\chi^2_{(n_1-1)}/(n_1-1)}{\chi^2_{(n_2-1)}/(n_2-1)}\sim F_{(n_1-1),(n_2-1)}$$

۳ـ تابع چگالی توزیع فیشر با $n=m=2$ به صورت ساده زیر در می‌آید. لذا در این حالت جدول توزیع فیشر می‌توان مقادیر احتمال را حساب کرد

$$f(x)=\left(\frac{1}{1+x}\right)^2$$

مثال ۳ـ۹ اگر $x_1,x_2,...,x_n \sim N(\mu,\sigma^2)$ و $y_1,y_2,...,y_n \sim N(\mu,\sigma^2)$ و تمام نمونه‌ها مستقل از هم باشند آنگاه $U=\dfrac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}$ چه توزیعی دارد؟

$$U=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}=\frac{(n-1)S_x^{\,2}}{(n-1)S_y^{\,2}}=\frac{(n-1)S_x^{\,2}/\sigma^2}{(n-1)S_y^{\,2}/\sigma^2}=\frac{\chi^2_{(n-1)}/(n-1)}{\chi^2_{(n-1)}/(n-1)}=F_{n-1,n-1}$$

۳ـ۵ برآورد پارامترهای فرایند

یک متغیر تصادفی به وسیلهٔ توزیع احتمال آن تعریف می‌شود. این توزیع به وسیلهٔ پارامترهای آن مشخص می‌شود. به عنوان مثال μ و σ^2 پارامترهای توزیع نرمال و P پارامتر توزیع برنولی هستند. از آنجایی که این پارامترها معمولاً معلوم نیستند باید آنها را با اطلاعات موجود در نمونه برآورد کرد. برآوردکننده یک پارامتر نامعلوم را می‌توان به عنوان آماره‌ای متناظر با آن پارامتر تعریف کرد.

۳ـ۵ـ۱ برآورد نقطه‌ای

یک برآوردکنندهٔ نقطه‌ای[1] آماره‌ای است که یک مقدار عددی برای پارامتر نامعلوم فراهم می‌کند. معمولاً برآوردکننده‌های نقطه‌ای خوب از دو ویژگی ناریبی و کارایی بالا برخوردار هستند.

ناریبی

برآوردکننده‌ای را ناریب گویند که امید ریاضی آن برابر با پارامتری باشد که می‌خواهیم تخمین بزنیم. به عبارت دیگر برآوردکننده $\hat{\theta}$ را برای پارامتر θ ناریب گوییم اگر داشته باشیم: $E(\hat{\theta})=\theta$.

1. Point Estimator

مثال ۳ـ۱۰ اگر $x_1,...,x_n$ یک نمونهٔ تصادفی از توزیع $f(x)$ با میانگین μ باشد، نشان دهید که برآوردکننده $\bar{X}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i$ یک برآوردکننده نااریب برای μ است.

$$E(\bar{X})=E(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i)=\frac{1}{n}E(\sum_{i=1}^{n}x_i)=\frac{1}{n}(\sum_{i=1}^{n}E(x_i))=\frac{1}{n}\times n\mu=\mu$$

مثال ۳ـ۱۱ اگر $x_1,...,x_n$ یک نمونهٔ تصادفی از توزیع $f(x)$ با واریانس σ^2 باشد، نشان دهید که برآورد کنندهٔ $S^2=\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2$ یک برآوردکنندهٔ نااریب برای σ^2 است.

$$E(S^2)=\frac{1}{n-1}E(\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2)=\frac{1}{n-1}E\left(\sum_{i=1}^{n}\left[(x_i-\mu)+(\mu-\bar{x})\right]^2\right)=$$

$$\frac{1}{n-1}E\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2+\underbrace{\sum_{i=1}^{n}(\mu-\bar{x})^2}_{n(\mu-\bar{x})^2}+2\underbrace{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)(\mu-\bar{x})}_{2(\mu-\bar{x})\sum(x_i-\mu)}\right]$$

$$=\frac{1}{n-1}E\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2-n(\bar{x}-\mu)^2\right]\underset{\frac{\sigma^2}{n}=E(\bar{x}-\mu)^2}{\overset{\mathrm{var}(\bar{x})=\frac{\sigma^2}{n}}{\Rightarrow}}\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}E(x_i-\mu)^2-n\frac{\sigma^2}{n}\right]$$

$$=\frac{1}{n-1}\left[n\sigma^2-\sigma^2\right]=\sigma^2$$

مثال ۳ـ۱۲ اگر $x_1,x_2,x_3\overset{i.i.d}{\sim}f(x,\mu)$، آنگاه مقدار α را طوری تعیین کنید که آمارهٔ $T=\frac{1}{6}(x_1+\alpha x_2+2\alpha x_3)$ یک برآوردکنندهٔ نااریب برای پارامتر μ باشد.

$$E(T)=\frac{1}{6}E(x_1+\alpha x_2+2\alpha x_3)\Rightarrow\frac{1}{6}(\mu+\alpha\mu+2\alpha\mu)=\mu\Rightarrow\alpha=\frac{5}{3}$$

کارایی

از میان برآوردکننده‌های نااریب θ، برآوردکننده‌ای که کمترین واریانس را داشته باشد کاراترین برآوردکننده گویند. به عبارت دیگر، اگر $\mathrm{var}(\hat{\theta}_1)<...<\mathrm{var}(\hat{\theta}_n)$، $E(\hat{\theta}_1)=E(\hat{\theta}_2)=...=E(\hat{\theta}_n)$ آنگاه $\hat{\theta}_1$ را کاراترین برآوردکننده θ گویند.

تعریف: میانگین مربع خطای برآوردکنندهٔ $\hat{\theta}$ برای پارامتر θ را با $MSE(\hat{\theta})$ نمایش می‌دهند که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MSE(\hat{\theta})=E(\hat{\theta}-\theta)^2=\mathrm{var}(\hat{\theta}-\theta)+E^2(\hat{\theta}-\theta)=\mathrm{var}(\hat{\theta})+\left[E(\hat{\theta})-\theta\right]^2=\mathrm{var}(\hat{\theta})+b^2$$

با توجه به تعریف ارائه‌شده، هرچه MSE کمتر باشد، برآوردکننده بهتر خواهد بود.

کارایی نسبی e: فرض کنید دو برآوردکنندهٔ $\hat{\theta}_1$، $\hat{\theta}_2$ برای پارامتر θ داده شده است.

کارایی نسبی $\hat{\theta}_1$ نسبت به $\hat{\theta}_2$ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$e(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2) = \frac{\frac{1}{MSE(\hat{\theta}_1)}}{\frac{1}{MSE(\hat{\theta}_2)}} = \frac{MSE(\hat{\theta}_2)}{MSE(\hat{\theta}_1)}$$

نکته: اگر کارایی نسبی بزرگ‌تر از یک باشد، $\hat{\theta}_1$ کاراتر از $\hat{\theta}_2$ است، اگر کارایی نسبی کوچک‌تر از یک باشد $\hat{\theta}_2$ کاراتر از $\hat{\theta}_1$ است، و اگر کارایی نسبی مساوی یک باشد، $\hat{\theta}_1$ و $\hat{\theta}_2$ کارایی یکسان دارند.

مثال ۳ـ۱۳ فرض کنید x_1, x_2, x_3 یک نمونهٔ تصادفی ۳تایی از جامعه‌ای با میانگین μ و واریانس σ^2 باشد، کارایی نسبی دو برآوردکننده زیر را برای μ حساب کنید.

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{3}(x_1 + x_2 + x_3) \quad , \quad \bar{X}_2 = \frac{1}{6}(x_1 + 2x_2 + 3x_3)$$

$$\operatorname{var}(\bar{X}_1) = \operatorname{var}\left(\frac{1}{3}(x_1 + x_2 + x_3)\right) = \frac{1}{9}\operatorname{var}(x_1 + x_2 + x_3) = \frac{1}{9} \times 3\sigma^2 = \frac{\sigma^2}{3}$$

$$\operatorname{var}(\bar{X}_2) = \frac{1}{36}(\sigma^2 + 4\sigma^2 + 9\sigma^2) = \frac{14}{36}\sigma^2$$

$$b(\bar{X}_1) = E(\bar{X}_1) - \mu = \frac{1}{3} \times 3\mu - \mu = 0$$

$$b(\bar{X}_2) = E(\bar{X}_2) - \mu = \frac{6\mu}{6} - \mu = 0$$

$$e(\bar{X}_1, \bar{X}_2) = \frac{MSE(\bar{X}_2)}{MSE(\bar{X}_1)} = \frac{\operatorname{var}(\bar{X}_2) + b^2(\bar{X}_2)}{\operatorname{var}(\bar{X}_1) + b^2(\bar{X}_1)} = \frac{\frac{14}{36}}{\frac{1}{3}} = \frac{7}{6} > 1$$

برآوردکنندهٔ $\bar{X}_1$ کاراتر از $\bar{X}_2$ است.

مثال ۳ـ۱۴ فرض کنید $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ و پارامترهای μ و σ^2 مجهول‌اند. یک نمونهٔ تصادفی ۹تایی از این جامعه گرفته می‌شود. اگر $T_1 = 0.1\sum_{i=1}^{9}(x_i - \bar{x})^2$ و $T_2 = 0.125\sum_{i=1}^{9}(x_i - \bar{x})^2$ دو برآوردکننده برای σ^2 در نظر گرفته شوند، مطلوب است کارایی نسبی T_1, T_2.

یادآوری:

$$\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_{(n-1)} \Rightarrow \operatorname{var}(\chi^2_{(n-1)}) = 2(n-1) \Rightarrow \operatorname{var}\left(\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}\right) = 2(n-1)$$

$$\Rightarrow \frac{(n-1)^2}{\sigma^4}\operatorname{var}(s^2) = 2(n-1) \Rightarrow \operatorname{var}(s^2) = \frac{2\sigma^4}{n-1}$$

حل:

$$T_1 = 0.1\sum_{i=1}^{9}(x_i - \bar{x})^2 = \frac{8}{10}s^2$$

$$T_2 = 0.125\sum_{i=1}^{9}(x_i, \bar{x})^2 = s^2$$

$$b^2(s^2) = (E(s^2) - \sigma^2)^2 = (\sigma^2 - \sigma^2)^2 = 0$$

$$b^2(0.8s^2) = (E(0.8s^2) - \sigma^2)^2 = (0.2\sigma^2)^2 = 0.04\sigma^4$$

$$e(T_1, T_2) = \frac{MSE(T_2)}{MSE(T_1)} = \frac{\text{var}(s^2) + b^2(s^2)}{\text{var}(0.8s^2) + \text{b}^2(0.8s^2)} = \frac{\frac{2}{8}\sigma^4 + 0}{\frac{64}{100} \times \frac{2}{8}\sigma^4 + 0.04\sigma^4} = 1.25$$

روش‌های یافتن برآوردکننده‌ها

هدف این بخش این است که براساس روشی منطقی برآوردکنندهٔ مناسبی برای پارامتر مورد نظر ارائه شود. برای این منظور دو روش تحت عنوان «روش درستنمایی ماکزیمم» و «روش گشتاورها» مطرح می‌شود.

روش درستنمایی ماکزیمم

در این روش، با در نظر گرفتن مقادیر یک نمونهٔ تصادفی، پارامتر مجهول چنان برآورد می‌شود که احتمال رخ دادن نتایج مشاهده‌شده در نمونه ماکزیمم شود. روش درستنمایی در حالت کلی بدین صورت است که اگر x_n، ...، x_1 یک نمونهٔ تصادفی nتایی از جامعه با پارامتر θ بوده و x_n، ...، x_1 مقادیر مشاهده‌شده نمونه باشند، تابع درستنمایی به صورت زیر تعریف می‌شود

$$L(\theta) = f(x_1, ..., x_n)$$

که این تابع همان تابع چگالی/جرم توأم متغیرهای تصادفی x_n، ...، x_1 در نقطه x_n، ...، x_1 است. مقداری از θ که تابع درستنمایی را بیشینه می‌کند به عنوان ماکزیمم درستنمایی θ معرفی می‌شود.

$$\hat{\theta} = MLE(\theta)$$

مثال ۳ـ۱۵ فرض کنید $x_1, ..., \text{x}_n \overset{i.i.d}{\sim} N(\theta, 1)$. پارامتر θ را با روش ماکزیمم درستنمایی تخمین بزنید

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{\frac{-(x-\theta)^2}{2}} \Rightarrow L(\theta) = \prod_{i=1}^{n} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{\frac{-(x-\theta)^2}{2}}$$

$$= \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^n} \times e^{\frac{-\sum(x-\theta)^2}{2}} \Rightarrow MLE(\theta) = \bar{x}$$

مثال ۳ـ۱۶ فرض کنید $x_1,...,x_n \overset{i.i.d}{\sim} b(1,\theta)$ با روش ماکزیمم درستنمایی پارامتر θ را تخمین بزنید.

$$f(x)=\theta^x(1-\theta)^{1-x} \Rightarrow L(\theta)=\theta^{\sum_{i=1}^n x_i}(1-\theta)^{n-\sum_{i=1}^n x_i}$$
$$\Rightarrow \ln(L(\theta))=\ln\theta^{\sum x_i}+\ln(1-\theta)^{n-\sum x_i}=\sum x_i \ln\theta+(n-\sum x_i)\ln(1-\theta)$$
$$\Rightarrow \frac{\partial \ln(L(\theta))}{\partial\theta}=\sum x_i.\frac{1}{\theta}-\left(n-\sum x_i\right)\frac{1}{1-\theta}=0 \Rightarrow MLE(\theta)=\bar{x}$$

روش گشتاورها

در این روش چند گشتاور اول جامعه را نوشته سپس گشتاورهای نمونه‌ای متناظر را می‌نویسیم و درنهایت گشتاورهای متناظر را مساوی هم قرار می‌دهیم. با حل دستگاه معادلات به‌دست‌آمده می‌توان پارامترهای مجهول جامعه را تخمین زد.

تعریف: گشتاور مرتبهٔ kام نمونه‌ای و گشتاور مرتبهٔ kام جامعه عبارت‌اند از:

گشتاور نمونه‌ای مرتبه kام: $m'_k=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i^k$

گشتاور مرکزی نظری مرتبه kام: $\mu'_k=E(x^k)$

تذکر: در روش گشتاورها شرط لازم برای استفاده وجود گشتاور نظری است.

مثال ۳ـ۱۷ با استفاده از یک نمونهٔ تصادفی nتایی از توزیع نمایی با میانگین $\frac{1}{\lambda}$، پارامتر λ را به روش گشتاورها تخمین بزنید.

حل:

$$E(x)=\frac{1}{\lambda}$$
$$m'_1=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i^1=\bar{x} \Rightarrow \frac{1}{\hat{\lambda}}=\bar{x} \Rightarrow \lambda=\frac{1}{\bar{x}}$$

مثال ۳ـ۱۸ فرض کنید $x_1,...,x_2 \overset{i.i.d}{\sim} N(\mu,\sigma^2)$ با استفاده از روش گشتاورها پارامترهای μ و σ^2 را تخمین بزنید.

$$E(x)=\mu \quad , \quad m'=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i=\bar{x} \Rightarrow \hat{\mu}=\bar{x}$$
$$E(x)^2=\underbrace{\text{var}(x)}_{\sigma^2}+\underbrace{E^2(x)}_{\mu^2} \quad , \quad m'_2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i^2$$
$$\Rightarrow \sigma^2+\mu^2=\frac{1}{n}\sum x_i^2 \Rightarrow \hat{\sigma}^2=\frac{1}{n}\sum x_i^2-\underbrace{\hat{\mu}^2}_{\bar{x}}=\frac{1}{n}\sum(x_i-\bar{x})^2$$

جدول ۳ـ۲ برآورد پارامترهای توزیع‌های مختلف از روش گشتاورها و درستنمایی ماکزیمم

توزیع	پارامتر	روش گشتاورها		روش MLE	
		برآوردکننده	اریبی/ناریبی	برآوردکننده	اریبی/ناریبی
برنولی	P	$\bar{x}$	ناریب	$\bar{x}$	ناریب
پوآسون	λ	$\bar{x}$	ناریب	$\bar{x}$	ناریب
نمایی $f(x)=\frac{1}{\theta}e^{-\frac{x}{\theta}}$	θ	$\bar{x}$	ناریب	$\bar{x}$	ناریب
نمایی $f(x)=\lambda e^{-\lambda x}$	λ	$\frac{1}{\bar{x}}$	اریب	$\frac{1}{\bar{x}}$	اریب
نرمال	μ	$\bar{x}$	ناریب	$\bar{x}$	ناریب
	σ^2	$\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n}$	اریب	$\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n}$	اریب

نکته: در روش گشتاورها تخمین‌زننده ممکن است اریب یا ناریب باشد.

مثال ۳ـ۱۹ فرض کنید $x_1,...,x_n \overset{i.i.d}{\sim} f(x,\theta)=\theta x^{\theta-1}$, $\theta>0,\ 0<x<1$ باشد. با استفاده از روش گشتاورها پارامتر θ را تخمین بزنید.

$$E(x)=\int_0^1 x\,\theta x^{\theta-1}dx=\bar{x}\Rightarrow\frac{\theta}{\theta+1}=\bar{x}\Rightarrow\hat{\theta}=\frac{\bar{x}}{1-\bar{x}}$$

جدول ۳ـ۲ برآوردکننده‌های نقطه‌ای پارامترهای توزیع‌های مختلف از دو روش گشتاورها و درستنمایی ماکزیمم را ارائه می‌کند.

۳ـ۵ـ۲ برآورد فاصله‌ای

برآورد نقطه‌ای معمولاً برای برآورد یک پارامتر کافی نیست، زیرا از آنجایی که برآوردکننده‌ها متغیرهای تصادفی هستند، به‌ندرت با پارامتر مورد نظر برابر می‌شود. نوع دیگر برآورد، برآورد فاصله‌ای است. برآورد فاصله‌ای برای یک پارامتر، فاصله‌ای است بین دو آماره که با احتمال خاصی مقدار واقعی پارامتر را دربر می‌گیرد. اگر پارامتری را که باید برآورد شود را با θ و برآورد فاصله‌ای آن را با $[L,U]$ نمایش دهیم برای تهیهٔ یک برآورد فاصله‌ای برای θ ابتدا باید دو آماره L و U را به صورت زیر تعیین کنیم.

$$P(L\le\theta\le U)=1-\alpha$$

نکته: L و U به دو عامل وابسته‌اند: ۱. یک برآورد نقطه‌ای پارامتر θ مانند $\hat{\theta}$ ۲. توزیع برآورد کننده نقطه‌ای $\hat{\theta}$.

نکته: از آنجایی که L و U متغیر تصادفی و تابعی از نمونه هستند، فاصلهٔ $[L,U]$ که فاصلهٔ اطمینان نامیده می‌شود یک فاصلهٔ تصادفی است.

نکته: از آنجایی که نمونه‌های تصادفی مختلف (با حجم ثابت n) منجر به مقادیر متفاوتی برای برآورد نقطه‌ای $\hat{\theta}$ می‌شود. لذا فواصل اطمینان متفاوتی برای θ تشکیل می‌شود که بعضی از آنها θ را شامل می‌شوند و بعضی دیگر θ را شامل نمی‌شود.

مثال ۳ـ۲۰ اگر متغیر تصادفی X دارای تابع توزیع $f(x)=\frac{1}{\theta}e^{-\frac{x}{\theta}},\ x>0,\ \theta>0$ باشد و بازهٔ $(0,kx)$ یک فاصلهٔ اطمینان $1-\alpha$ درصدی برای θ باشد، مقدار k را تعیین کنید.

$$P(0<\theta<kx)=(1-\alpha)\Rightarrow P(\theta<kx)=P\left(x>\frac{\theta}{k}\right)=(1-\alpha)$$

$$\Rightarrow\int_{\frac{\theta}{k}}^{+\infty}\frac{1}{\theta}e^{-\frac{x}{\theta}}dx=(1-\alpha)\Rightarrow e^{-\frac{1}{k}}=(1-\alpha)$$

$$\Rightarrow e^{-\frac{1}{\theta}\times\frac{\theta}{k}}=1-\alpha\Rightarrow-\frac{1}{k}=\ln(1-\alpha)\Rightarrow k=\frac{-1}{\ln(1-\alpha)}$$

مثال ۳ـ۲۱ اگر x یک تک‌مشاهده از توزیع نمایی با میانگین $\frac{1}{\theta}$ باشد در این صورت برای $(x,2x)$ $\frac{1}{\theta}$ چه ضریب اطمینانی دارد؟

$$P\left(x<\frac{1}{\theta}<2x\right)=P\left(1<\frac{1}{\theta x}<2\right)=P\left(\frac{1}{\theta}>x>\frac{1}{2\theta}\right)=P\left(x<\frac{1}{\theta}\right)-P\left(x<\frac{1}{2\theta}\right)=-e^{-1}+e^{-\frac{1}{2}}$$

فاصلهٔ اطمینان برای میانگین جامعهٔ نرمال با σ معلوم

فرض کنید متغیر تصادفی X دارای توزیع نرمال با میانگین مجهول μ و انحراف معیار معلوم σ باشد، یک نمونهٔ تصادفی nتایی از این توزیع می‌گیریم. توزیع نمونه‌ای $\bar{X}$ به صورت $\bar{X}\sim N(\mu,\frac{\sigma^2}{n})$ خواهد بود. بدین ترتیب فاصلهٔ اطمینان μ به شرح زیر به دست خواهد آمد.

طبق خاصیت تکثیرپذیری توزیع نرمال داریم:

$$Z=\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\sim N(0,1)$$

$$P\left(-Z_{\frac{\alpha}{2}}<Z<Z_{\frac{\alpha}{2}}\right)=P\left(-Z_{\frac{\alpha}{2}}<\frac{\bar{x}-\mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}<Z_{\frac{\alpha}{2}}\right)=P\left(\bar{x}-\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}}<\mu<\bar{x}+\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}}\right)=1-\alpha$$

بعضی نکات مهم

۱ـ فاصلهٔ تصادفی $(\bar{x}-\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}},\bar{x}+\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}})$ را یک فاصلهٔ اطمینان $(1-\alpha)$ درصدی برای μ گویند.

۲ـ فاصلهٔ عددی $(\bar{x}-\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}},\bar{x}+\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}})$ را یک برآورد فاصله‌ای برای μ گویند.

۳ـ اگر طول فاصلهٔ اطمینان را با L نمایش دهیم آنگاه: $L=\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}}$.

۴ـ اگر ضریب اطمینان را ثابت فرض کنیم و بخواهیم فاصلهٔ اطمینان خوبی ارائه دهیم کافی است که حجم نمونه را زیاد کنیم. با این کار طول فاصلهٔ اطمینان کاهش یافته (با ضریب اطمینان ثابت) و درنتیجه فاصلهٔ ارائه‌شده معنی‌دارتر می‌شود.

۵ـ اگر از برآورد نقطه‌ای $\bar{x}$ به جای μ استفاده کنیم حداکثر خطای مرتکب‌شده عبارت است از:

$$e_{\max}=\frac{L}{2}=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{\frac{\alpha}{2}}$$

۶ـ در صورتی که بخواهیم بدانیم که از چه حجم نمونه‌ای استفاده کنیم تا با اطمینان حداکثر خطا برابر $e_{\max}$ شود آنگاه:

$$n=\left(\frac{\sigma}{e}Z_{\frac{\alpha}{2}}\right)^2$$

۷ـ در بعضی از مسائل عملی یافتن دو حد بالایی و پایینی برای μ لازم نیست. در این موارد از فواصل اطمینان یک‌طرفه استفاده می‌شود.

۸ـ اگر بازهٔ (L,U) یک برآورد فاصله‌ای سطح اطمینان $(1-\alpha)$ درصدی برای g,θ تابع اکیداً صعودی در بازهٔ (L,U) باشد آنگاه $[g(L),g(U)]$ بازهٔ برآورد فاصله‌ای سطح $(1-\alpha)$ درصدی برای پارامتر $g(\theta)$ است.

مثال ۳ـ۲۲ فرض کنید یک نمونهٔ تصادفی ۸تایی از جامعه‌ای با توزیع $N(0,\sigma^2)$ گرفته و نتایج را به صورت زیر ثبت کرده‌ایم. $-3,-1,0,1,2,2,5,7$ مطلوب است یک فاصلهٔ اطمینان سطح 95% برای $\sqrt{\sigma}$.

$$\frac{ns^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_n \Rightarrow P\left(\chi^2_{n,1-\frac{\alpha}{2}} < \frac{ns^2}{\sigma^2} < \chi^2_{n,\frac{\alpha}{2}}\right) = 1-\alpha$$

$$s^2 = \frac{1}{n}\sum (x_i - 0)^2 = \frac{1}{8}\sum x_i^2 = \frac{93}{8}$$

$$\left(\frac{ns^2}{\chi^2_{n,1-\frac{\alpha}{2}}}, \frac{ns^2}{\chi^2_{n,\frac{\alpha}{2}}}\right) = \left(\frac{8\times\frac{93}{9}}{17.5}, \frac{8\times\frac{93}{8}}{2.18}\right) = (5.31, 43.66)$$

فاصلهٔ اطمینان برای نسبت جامعه در نمونه‌های بزرگ

در بسیاری از مسائل لازم است که پارامتر π در یک توزیع برنولی را برآورد کنیم. مثلاً اگر بخواهیم درصد اقلام معیوب در یک خط تولید را برآورد کنیم یا چنین مسائلی سروکار داریم. برای برآورد پارامتر π برآوردکننده $\hat{P} = \frac{x}{n}$ را می‌شناسیم. به علاوه یادآوری می‌کنیم که در صورت بزرگ بودن اندازهٔ نمونه برای به دست آوردن برآورد فاصله‌ای پارامتر π می‌توان از قضیهٔ حد مرکزی به شرح زیر استفاده کرد.

نسبت پیروزی : $\hat{P} = \frac{x}{n}$

$$x \sim b(n,\pi) \Rightarrow \begin{cases} E(x) = n\pi \\ \text{var}(x) = n\pi(1-\pi) \end{cases}$$

$$E(\hat{P}) = E\left(\frac{x}{n}\right) = \frac{1}{n}E(x) = \frac{1}{n}n\pi = \pi$$

$$\text{var}(\hat{P}) = \text{var}\left(\frac{x}{n}\right) = \frac{1}{n^2}n\pi(1-\pi) = \frac{\pi(1-\pi)}{n}$$

اگر n بزرگ باشد $\Rightarrow X \sim N(n\pi, n\pi(1-\pi))$

$$Z = \frac{X - n\pi}{\sqrt{n\pi(1-\pi)}} \sim N(0,1) \Rightarrow Z = \frac{\frac{X}{n} - \pi}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}} = \frac{\hat{P} - \pi}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}}$$

$$P(-Z_{\frac{\alpha}{2}} < Z < Z_{\frac{\alpha}{2}}) = 1-\alpha$$

$$P\left(-Z_{\frac{\alpha}{2}} < \frac{\hat{P} - \pi}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}} < Z_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1-\alpha$$

$$P\left(\hat{P} - Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{P}-(1-\hat{P})}{n}} < \pi < \hat{P} + Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{P}-(1-\hat{P})}{n}}\right) = 1-\alpha$$

بعضی از نکات مهم

۱ـ اگر طول فاصلهٔ اطمینان را با L نمایش دهیم آنگاه: $L = 2Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{n}}$.

۲ـ اگر بخواهیم ضریب اطمینان را ثابت فرض کنیم و فاصلهٔ اطمینان خوبی ارائه کنیم کافی است که حجم نمونه را افزایش دهیم. با این کار طول فاصله کم (با ضریب اطمینان ثابت) و فاصلهٔ اطمینان معنی‌دارتر می‌شود.

۳ـ اگر در شرایط فوق از برآورد نقطه $\hat{P}$ به جای π استفاده کنیم با اطمینان $(1-\alpha)$ درصد حداکثر خطایی که ممکن است مرتکب شویم برابر است با:

$$e_{\max} = Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{P}-(1-\hat{P})}{n}} = \frac{L}{2}\frac{n!}{r!(n-r)!}$$

۴ـ در صورتی که بخواهیم بدانیم حداقل چه تعداد نمونه استفاده کنیم تا حداکثر خطا با اطمینان $(1-\alpha)$ درصد برابر $e_{\max}$ شود آنگاه:

$$n = \frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{e_{\max}^2}Z_{\frac{\alpha}{2}}^2$$

۵ـ در فرمول فوق حداکثر مقدار nزمانی به دست می‌آید که $\hat{P} = (1-\hat{P}) = \frac{1}{2}$ در نظر گرفته شود

$$if \qquad \hat{P} = (1-\hat{P}) = \frac{1}{2} \Rightarrow n_{\max} = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2}{4e_{\max}^2}$$

فرمول $n = \frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{e_{\max}^2}Z_{\frac{\alpha}{2}}^2$ زمانی استفاده می‌شود که ـ یک نمونهٔ مقدماتی از جامعه ـ (تخمین‌هایی برای π) در دست داریم، حال آنکه از $n_{\max}$ زمانی استفاده می‌شود که از جامعهٔ مورد مطالعه هیچ اطلاعاتی در دست نیست. لذا برای رسیدن به همان هدف قبلی باید هزینه بیشتری پرداخت کنیم.

مثال ۳ـ۲۳ برای تخمین نسبت افراد موافق و مخالف با ایجاد پروژهٔ اتمی در یک شهر نمونهٔ تصادفی ۴۰۰نفری انتخاب شده و در بین آنها ۴۰ نفر موافق بوده‌اند مطلوب است:

الف) یک فاصلهٔ اطمینان سطح ۹۵٪ برای نسبت واقعی افراد موافق انجام پروژه.
ب) اگر بخواهیم با اطمینان ۹۵٪ حداکثر خطای برآورد π، ۲٪ شود، تعداد نمونه‌ها را چقدر انتخاب کنیم. (یک‌بار فرض کنید نمونهٔ مقدماتی در تعیین n موجود است و یک‌بار تعداد را بدون داشتن n به دست آورید.)

الف)

$$\hat{P}=\frac{x}{n}=\frac{40}{400}=0.1\ ,\ Z_{0.025}=1.96\ ,\ \hat{P}\pm Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{n}}=0.1\pm 1.96\sqrt{\frac{0.1\times 0.9}{400}}=(0.07,0.13)$$

ب)

$$n=\frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{e^2_{\max}}\times Z^2_{\frac{\alpha}{2}}=\frac{(0.1)(0.9)}{(0.02)^2}(1.96)^2=865$$

$$n_{\max}=\frac{Z^2_{\frac{\alpha}{2}}}{4e^2_{\max}}=\frac{(1.96)^2}{4(0.02)^2}$$

فاصلهٔ اطمینان برای پارامتر λ در توزیع نمایی

برآورد فاصله‌ای برای پارامتر λ در توزیع نمایی یک موضوع مورد علاقه در بسیاری از مسائل عملیاتی است. برای این منظور، باید یک آمارهٔ مناسب پیدا کنیم. در این ارتباط از روابط بین سه توزیع نمایی، گاما و کای دو به شرح زیر استفاده می‌شود.

$$X\sim\exp(\lambda)\equiv Gamma(\alpha=1,\beta=\frac{1}{\lambda})$$

$$n\bar{x}=n\sum_{i=1}^{n}X_i\sim Gamma(\alpha=n,\beta=\frac{1}{\lambda})$$

$$\chi^2_{(2n)}=Gamma(\alpha=n,\beta=2)$$

$$\Rightarrow 2\lambda n\bar{x}\sim Gamma(\alpha=n,\beta=2)\equiv\chi^2_{(2n)}\Rightarrow\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},2n}\le 2\lambda n\bar{x}\le\chi^2_{\frac{\alpha}{2},2n}\Rightarrow\frac{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},2n}}{2n\bar{x}}\le\lambda\le\frac{\chi^2_{\frac{\alpha}{2},2n}}{2n\bar{x}}$$

جدول ۳ـ۳ فاصلهٔ اطمینان برای پارامترهای توزیع‌های مختلف را ارائه می‌کند.

جدول ۳ـ۳ فاصلهٔ اطمینان برای پارامترهای توزیع‌های مختلف

شرایط	پارامتر	برآورد فاصلهٔ اطمینان
توزیع جامعه نرمال و σ معلوم	μ	$\bar{x}-z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\le\mu\le\bar{x}+z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
توزیع جامعه نامعلوم و σ معلوم و $n\ge 30$		
توزیع جامعه نرمال و σ نامعلوم و $n\ge 30$	μ	$\bar{x}-t_{\frac{\alpha}{2},n-1}\frac{s}{\sqrt{n}}\le\mu\le\bar{x}+t_{\frac{\alpha}{2},n-1}\frac{s}{\sqrt{n}}$
توزیع جامعه نرمال و σ نامعلوم و $n\ge 30$	μ	$\bar{x}-z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{s}{\sqrt{n}}\le\mu\le\bar{x}+z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{s}{\sqrt{n}}$
توزیع جامعه نرمال و σ_1,σ_2 معلوم	$\mu_1-\mu_2$	$(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}\le\mu_1-\mu_2\le(\bar{x}_1-\bar{x}_2)+z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}$
توزیع جامعه نامعلوم و σ_1,σ_2 معلوم و $n_1,n_2\ge 30$		
توزیع جوامع نرمال و $\sigma_2=\sigma_1=\sigma$ و نامعلوم	$\mu_1-\mu_2$	$(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-t_{\frac{\alpha}{2}}s_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}\le\mu_1-\mu_2\le(\bar{x}_1-\bar{x}_2)+t_{\frac{\alpha}{2}}s_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}$ $D.F=n_1+n_2-2$ $s_p^{\,2}=\frac{(n_1-1)s_1^{\,2}+(n_2-1)s_2^{\,2}}{n_1+n_2-2}$
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d معلوم	μ_d	$\bar{d}-z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma_d}{\sqrt{n}}\le\mu\le\bar{d}+z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma_d}{\sqrt{n}}$

جدول ۳ـ۳ (ادامه)

شرایط	پارامتر	برآورد فاصلهٔ اطمینان
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d نامعلوم	μ_d	$\bar{d} - t_{\frac{\alpha}{2},n-1}\frac{s_d}{\sqrt{n}} \le \mu \le \bar{d} + t_{\frac{\alpha}{2},n-1}\frac{s_d}{\sqrt{n}}$
$n\hat{p} \ge 10$ $n(1-\hat{p}) \ge 10$	π	$\hat{p} - z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \le \pi \le \hat{p} + z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$
$n_1\hat{p}_1 \ge 10$ $n_1(1-\hat{p}_1) \ge 10$ $n_2\hat{p}_2 \ge 10$ $n_2(1-\hat{p}_2) \ge 10$	$\pi_1 - \pi_2$	$(\hat{p}_1-\hat{p}_2) - z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{p}_1\hat{q}_1}{n_1}+\frac{\hat{p}_1\hat{q}_1}{n_2}} \le \pi_1-\pi_2 \le (\hat{p}_1-\hat{p}_2) + z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\hat{p}_1\hat{q}_1}{n_1}+\frac{\hat{p}_1\hat{q}_1}{n_2}}$
توزیع جامعه نرمال و μ نامعلوم	σ^2	$\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2},n-1}} \le \sigma^2 \le \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1}}$
توزیع جامعه نرمال و μ معلوم	σ^2	$\frac{ns^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2},n}} \le \sigma^2 \le \frac{ns^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n}}$
توزیع جوامع نرمال و μ_1, μ_2 نامعلوم	$\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2}$	$\frac{s_2^2}{s_1^2} f_{(n_1-1),(n_2-1),1-\frac{\alpha}{2}} \le \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \le \frac{s_2^2}{s_1^2} f_{(n_1-1),(n_2-1),\frac{\alpha}{2}}$
توزیع جوامع نرمال و μ_1, μ_2 معلوم	$\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2}$	$\frac{s_2^2}{s_1^2} f_{n_1,n_2,1-\frac{\alpha}{2}} \le \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \le \frac{s_2^2}{s_1^2} f_{n_1,n_2,\frac{\alpha}{2}}$
توزیع جامعهٔ نمایی	λ	$\frac{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},2n}}{2n\bar{x}} \le \lambda \le \frac{\chi^2_{\frac{\alpha}{2},2n}}{2n\bar{x}}$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 10:9:3

۳ـ۶ آزمون فرضیه بر پارامترهای فرایند

فرض کنید یک فرایند زمانی تحت کنترل باشد که میانگین آن برابر با ۳۰ باشد و بخواهیم براساس داده‌های نمونه‌ای از این فرایند در یک شیفت کاری نظر بدهیم که آیا میانگین فرایند ۳۰ هست یا خیر. یا اینکه فرض کنید می‌خواهیم براساس یک نمونه از یک خط تولید، بررسی کنیم که درصد اقلام معیوب این خط کمتر یا مساوی ۵ درصد است یا خیر. هریک از این بررسی‌ها درواقع نوعی تصمیم‌گیری در مورد قبول یا رد یک ادعا است که می‌توان آن را در قالب حکم یا فرضی در مورد یک متغیر تصادفی بیان کرد. مثلاً، در مثال اول مهندس فرایند علاقه‌مند به بررسی این فرض است که میانگین یک متغیر تصادفی ۳۰ است یا خیر، یا در مثال دوم تصمیم‌گیرنده می‌خواهد در مورد کمتر یا مساوی بودن درصد اقلام معیوب یک خط تولید نسبت به ۵ درصد تصمیم‌گیری کند.

همان‌طور که بیان شد، این گونه مسائل را معمولاً می‌توان به صورت حکم یا فرضی در مورد توزیع یک متغیر تصادفی یا مقدار پارامترهای آن بیان کرد که به آن فرض آماری گویند.

تعریف فرض آماری: هر حدس یا حکمی که راجع به پارامترهای جامعه یا توزیع جامعه مطرح می‌شود را یک فرض آماری می‌گویند.

تعریف آزمون فرض: تشخیص درستی یا نادرستی یک فرض آماری را براساس نمونه‌گیری از جامعه، آزمون فرض گویند.

تعریف فرض ساده: اگر فرض آماری مقدار دقیقی را برای پارامتر جامعه بیان کنند به آن فرض ساده گویند. به عنوان مثال فرض‌های $\pi = 0.12$, $\mu = 4$ فرض ساده محسوب می‌شوند.

تعریف فرض مرکب: اگر فرض آماری مقدار دقیقی را برای پارامتر جامعه ارائه ندهد به آن فرض مرکب گویند. به عنوان مثال فرض‌های $0.12 \le \pi \le 0.18$, $\mu \le 4$ به علت عدم تعیین یک مقدار دقیق برای پارامتر تحت آزمون فرض مرکب محسوب می‌شوند.

تعریف فرض صفر یا خنثی: فرض آماری را که به دنبال شواهدی برای رد آن هستیم را فرض صفر گفته و با H_0 نمایش می‌دهند.

تعریف فرض یک یا مقابل: فرض آماری را که به دنبال شواهدی برای اثبات آن هستیم را فرض مقابل گفته و با H_1 نمایش می‌دهند.

نحوهٔ نوشتن فرض‌های H_1, H_0

فرض H_0 باید آزمون‌پذیر باشد و این امر زمانی ممکن است که فرض H_0 دارای مرز شناخته‌شده‌ای باشد. به عبارت دیگر علامت مساوی را شامل می‌شود. بنابراین اگر θ پارامتر مورد آزمون و θ_0 مقدار عددی مورد ادعا در مورد آن باشد، آنگاه فرض‌های H_0 و H_1 به یکی از سه حالت زیر امکان‌پذیرند.

حالت ۱: اگر فرض H_0 به صورت یک فرض ساده ارائه شود، آنگاه H_1 را می‌توان به یکی از سه حالت زیر نوشت:

$$H_0 : \theta = \theta_0$$
$$H_1 : \begin{cases} \theta \neq \theta_0 \\ \theta < \theta_0 \\ \theta > \theta_0 \end{cases}$$

حالت ۲: اگر فرض H_0 به صورت یک فرض مرکب $H_0 : \theta \leq \theta_0$ ارائه شود، آنگاه فرض مقابل فقط می‌تواند به صورت $H_1 : \theta > \theta_0$ باشد.

حالت ۳: اگر فرض H_0 به صورت یک فرض مرکب $H_0 : \theta \geq \theta_0$ ارائه شود، آنگاه فرض مقابل فقط می‌تواند به صورت $H_1 : \theta < \theta_0$ باشد.

تعریف آزمون‌های سهل‌گیرانه و سخت‌گیرانه: آزمون‌های فرضیه به دو صورت سهل‌گیرانه و سخت‌گیرانه می‌توانند مطرح شوند. زمانی که در صورت مسئله قیدی وجود نداشته باشد، فرض بر آزمون سهل‌گیرانه است اما اگر قید سخت‌گیرانه بیاید باید آزمون را به صورت سخت‌گیرانه تنظیم کنیم. در آزمون سخت‌گیرانه ادعای شخص مدعی را در H_1 قرار می‌دهیم. در حالی که در آزمون سهل‌گیرانه این ادعا در H_0 قرار می‌گیرد.

تعریف آمارهٔ آزمون: آماره‌ای که با دانستن توزیع آن آزمون فرضیه انجام می‌شود را آماره آزمون گویند (جدول ۳ـ۴).

جدول ۳ـ۴ آماره‌های آزمون برای متداول‌ترین پارامترها

پارامتر مورد آزمون	برآوردکننده	شرایط	آمارهٔ آزمون
μ	$\bar{X}$	واریانس جامعه معلوم باشد	$Z = \dfrac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$
μ	$\bar{X}$	واریانس جامعه نامعلوم باشد	$T = \dfrac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$
σ^2	S^2	میانگین جامعه معلوم باشد	$\dfrac{nS^2}{\sigma^2} = \chi^2_{(n)}$
σ^2	S^2	میانگین جامعه نامعلوم باشد	$\dfrac{(n-1)S^2}{\sigma^2} = \chi^2_{(n-1)}$
$\dfrac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$	$\dfrac{S_1^2}{S_2^2}$	میانگین دو جامعه معلوم باشد	$F_{n_1,n_2} = \dfrac{S_1^2}{S_2^2}$
$\dfrac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$	$\dfrac{S_1^2}{S_2^2}$	میانگین دو جامعه نامعلوم باشد	$F_{n_1-1,n_2-1} = \dfrac{S_1^2}{S_2^2}$

خطای نوع I و II

بعد از انجام آزمون فرض و استنباط از آن در مورد فرض H_0، چهار حالت به شرح زیر ممکن است رخ دهد:

واقعیت جامعه / تصمیم	H_0 درست	H_0 نادرست
رد H_0	خطای رد به ناحق (خطای نوع I)	مطلوب
پذیرش H_0	مطلوب	خطای پذیرش به ناحق (خطای نوع II)

خطای نوع اول α (خطای رد به ناحق H_0): خطای رد کردن فرض H_0 به شرط درست بودن آن را خطای نوع اول می‌گوییم.

$\alpha = P$ (رد شود نمونه براساس H_0 درست | فرض

خطای نوع دوم β (خطای قبول به ناحق): خطای قبول کردن فرض H_0 به شرط نادرست بودن آن را خطای نوع دوم گویند.

$\beta = P$ (پذیرفته شود نمونه براساس H_0 نادرست است | فرض H_0 واقعاً)

نکته: گاه α را سطح تشخیص یا سطح معنی‌داری و $(1-\alpha)$ را ضریب اطمینان می‌گویند.

نکته: در شرایط ایده‌آل باید در یک آزمون فرض α, β توأمان کوچک باشند.

تعریف ناحیهٔ بحرانی (CR یا CA): ناحیه‌ای که در آن H_0 رد می‌شود را ناحیه بحرانی می‌نامند.

تعریف ناحیهٔ پذیرش (AA یا AR): ناحیه‌ای از آمارهٔ آزمون که در آن H_0 پذیرفته می‌شود را ناحیهٔ پذیرش می‌نامند.

آزمون فرض یک‌طرفه ـ آزمون فرض دوطرفه

اگر بخواهیم فرض صفر $H_0: \theta = \theta_0$ را در مقابل فرض $H_1: \theta \neq \theta_0$ آزمون کنیم، در هر دو حالتی که مقدار برآورد کننده $\hat{\theta}$ خیلی بیشتر و یا خیلی کمتر از θ_0 شود، فرض صفر به نفع فرض مقابل رد می‌شود. از این بابت به این نوع آزمون فرض، آزمون فرض دوطرفه گفته می‌شود. در حالی که اگر بخواهیم فرض $H_0: \theta = \theta_0$ را در مقابل فرض $H_1: \theta > \theta_0$ ($H_1: \theta < \theta_0$) آزمون کنیم، منطقی به نظر می‌رسد که فرض صفر را زمانی به نفع فرض مقابل رد کنیم که $\hat{\theta}$ خیلی بیشتر (خیلی کمتر) از θ_0 شود. درنتیجه ناحیهٔ بحرانی به صورت $\hat{\theta} > k$ ($\hat{\theta} < k$) تعریف شود.

مثال ۳ـ۲۴ ادعا شده است که حداکثر ۷۰ درصد افراد یک جامعه با سواد هستند، برای بررسی این ادعا یک نمونهٔ ۲۰تایی از افراد این جامعه گرفته شده است.
الف) با تعریف ناحیهٔ بحرانی به صورت $CR=\{x\geq 16\}$، خطای نوع **I** را به دست آورید.
ب) اگر نسبت واقعی افراد با سواد جامعه ۰٫۸ باشد، خطای نوع **II** را به دست آورید.
الف)

$$\begin{cases} H_0 : \pi \leq 0.7 \\ H_1 : \pi > 0.7 \end{cases}$$

$$\alpha = P(x \geq 16 | \pi = 0.7) = \sum_{x=16}^{20} \binom{20}{x} P^x (1-P)^{20-x} = \sum_{x=16}^{20} \binom{20}{x} (0.7)^x (0.3)^{20-x} = 0.2375$$

ب)

$$\beta = P(x < 16 | \pi = 0.8) = \sum_{x=0}^{15} \binom{20}{x} (0.8)^x (0.2)^{20-x}\ 0.3708$$

نکته: با جابه‌جا کردن نقطهٔ بحرانی همواره یکی از خطاها کاهش و دیگری افزایش می‌یابد.
نکته: فقط با افزایش تعداد نمونه‌ها می‌توان به صورت هم‌زمان خطای نوع اول و دوم را کاهش داد.
نکته: α و β (با فرض مقدار ثابت نمونه) به یکدیگر وابسته بوده و با افزایش یکی، دیگری کاهش می‌یابد.
نکته: α و β از نظر تابعی هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند.

مثال ۳ـ۲۵ در مثال قبل فرض کنید یک نمونهٔ ۲۰۰تایی از جامعه گرفته شده است و ناحیهٔ بحرانی به صورت $CR=\{x\geq 150\}$ تعریف شود. در این شرایط مجدداً مقادیر α و β را حساب کنید.
با توجه به بزرگ بودن اندازهٔ نمونه می‌توان از قضیهٔ حد مرکزی استفاده کرد.

$$\alpha = P(x \geq 150 | \pi = 0.7) = \sum_{x=150}^{200} \binom{200}{x} (0.7)^x (0.3)^{200-x} = P(x \geq 149.5 | \pi = 0.7)$$

$$= P\left(Z \geq \frac{149.5 - 200 \times 0.7}{\sqrt{200 \times 0.7 \times 0.3}} \right) = P(Z \geq 1.47) = 0.07$$

$$\beta = P(x < 150 | \pi = 0.8) = \sum_{x=0}^{150} \binom{200}{x} (0.8)^x (0.2)^{200-x} = P(x \leq 149.5 | \pi = 0.8)$$

$$= P\left(Z \leq \frac{149.5 - 200 \times 0.8}{\sqrt{200 \times 0.8 \times 0.2}} \right) = 0.03$$

تعریف P-Value: به حداقل سطح معنادار بودن α که با توجه به نتایج نمونه می‌توان فرض صفر را تحت آن رد کرد، $P-Value$ گویند.

مراحل آزمون فرض

- انتخاب آمارهٔ آزمون
- افراز فضای نمونه‌ای آزمون به دو قسمت بحرانی و پذیرش (براساس خطای نوع I از پیش تعیین‌شده)
- محاسبهٔ مقدار آمارهٔ آزمون براساس نمونه و قضاوت به منظور رد H_0 یا عدم رد آن

روش‌های آزمون فرض

۱) محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان $(1-\alpha)$ درصدی برای پارامتر θ

۲) محاسبهٔ آمارهٔ انتخاب‌شده با توجه به نمونهٔ تصادفی

۳) محاسبهٔ $P-Value$ با توجه به نمونهٔ تصادفی

نکته: در آزمون فرض دوطرفه $P-Value$ با $\frac{\alpha}{2}$ مقایسه می‌شود، در حالی که در آزمون فرض یک‌طرفه برای تصمیم‌گیری در مورد فرض صفر این مقدار با α مقایسه خواهد شد.

$$\text{آزمون یک‌طرفه}: \begin{cases} P-Value > \alpha \Rightarrow No\ reason\ for\ rejecting\ H_0 \\ P-Value < \alpha \Rightarrow \qquad\qquad reject\ H_0 \end{cases}$$

$$\text{آزمون دوطرفه}: \begin{cases} P-Value > \frac{\alpha}{2} \Rightarrow No\ reason\ for\ rejecting\ H_0 \\ P-Value < \frac{\alpha}{2} \Rightarrow \qquad\qquad reject\ H_0 \end{cases}$$

مثال ۳ـ۲۶ فرض کنید متغیر تصادفی X دارای توزیع نرمال با $\sigma = 2$ معلوم است. یک نمونه ۱۶تایی برای آزمون در مورد میانگین جامعه گرفته شده که میانگین آن ۱۲.۳ است. با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون زیر را انجام دهید.

$$\begin{cases} H_0 : \mu = 11 \\ H_1 : \mu \neq 11 \end{cases}$$

روش اول: محاسبهٔ فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصدی برای پارامتر μ

$$\frac{\bar{X}-\mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \sim N(0,1) \Rightarrow -Z_{\frac{\alpha}{2}} < \frac{\bar{X}-\mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} < Z_{\frac{\alpha}{2}} \Rightarrow \mu - Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{X} < \mu + Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\Rightarrow 11 - 1.96 \times \frac{2}{\sqrt{16}} < \bar{X} < 11 + 1.96 \times \frac{2}{\sqrt{16}}$$

از آنجایی که مقدار میانگین نمونه (۱۲.۳) داخل فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصدی قرار نگرفت، پس فرض صفر $H_0 : \mu = 11$ رد می‌شود.

روش دوم: محاسبه آماره

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{12.3 - 11}{\frac{2}{\sqrt{16}}} = 2.6$$

از آنجایی که $Z > Z_{0.025}$ یعنی $2.6 > 1.96$ است، پس فرض صفر رد می‌شود.

روش سوم: محاسبه $P-Value$

$$P-Value = P(\bar{X} \geq 12.3 | \mu = 11) = P\left(Z \geq \frac{12.3 - 11}{\frac{2}{\sqrt{16}}}\right) = P(Z \geq 2.6) = 0.0047$$

از آنجایی که $P-Value < \frac{\alpha}{2} = 0.025$، پس فرض صفر رد می‌شود.

مثال ۳ـ۲۷ اگر X دارای توزیع نرمال با انحراف معیار ۴۵۰ باشد و میانگین یک نمونه ۱۶تایی ۳۱۰۰ به دست آمده باشد، در سطح اطمینان ۹۸ درصد $H_0 : \mu = 3500$ را در مقابل $H_0 : \mu < 3500$ آزمون کنید.

روش اول: فاصله اطمینان یک‌طرفه ۹۸ درصدی برای μ عبارت است از:

$$\left[\mu_0 - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_\alpha, \infty\right) = \left[3500 - \frac{450}{\sqrt{16}} \times 2.055, \infty\right) = [3268.8, \infty) \Rightarrow \bar{X} = 3100 \notin [3268.8, \infty) \Rightarrow reject\ H_0$$

روش دوم: محاسبهٔ آماره

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{3100 - 3500}{\frac{450}{\sqrt{16}}} = -3.55 < -2.055$$

روش سوم: محاسبهٔ $P-Value$

$$P-Value = P(\bar{X} \leq 3100 | \mu = 3500) = P\left(Z \leq \frac{3100 - 3500}{\frac{450}{\sqrt{16}}}\right) = P(Z \leq -3.55) = 0.0002$$

$$P-Value < 0.02 \Rightarrow reject\ H_0$$

در جدول‌های ۳ـ۵ و ۳ـ۶ به ترتیب آزمون فرضیه برمبنای ناحیهٔ بحرانی و P-Value را برای متداول‌ترین پارامترها نشان می‌دهند.

جدول ۳ـ۵ آزمون فرضیه برمبنای ناحیهٔ بحرانی

شرایط آزمون	H_0	H_1	آمارهٔ آزمون	ناحیهٔ بحرانی
توزیع جامعهٔ نرمال و σ معلوم	$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$Z_c = \dfrac{\bar{X} - \mu_0}{\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}}$	$Z_c > Z_{\frac{\alpha}{2}}, Z_c < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$
توزیع جامعهٔ نامعلوم و σ معلوم و $n \geq 30$		$\mu < \mu_0$		$Z_c < -Z_\alpha$
		$\mu > \mu_0$		$Z_c > Z_\alpha$
توزیع جامعهٔ نرمال و σ نامعلوم و $n \geq 30$	$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$Z_c = \dfrac{\bar{X} - \mu_0}{\dfrac{s}{\sqrt{n}}}$	$Z_c > Z_{\frac{\alpha}{2}}, Z_c < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$
		$\mu < \mu_0$		$Z_c < -Z_\alpha$
		$\mu > \mu_0$		$Z_c > Z_\alpha$
توزیع جامعهٔ نرمال و σ نامعلوم و $n < 30$	$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$T_{c,(n-1)} = \dfrac{\bar{X} - \mu_0}{\dfrac{S}{\sqrt{n}}}$	$T_c > t_{\frac{\alpha}{2},n-1}, T_c < -t_{\frac{\alpha}{2},n-1}$
		$\mu < \mu_0$		$T_c < -t_{\alpha,n-1}$
		$\mu > \mu_0$		$T_c > t_{\alpha,n-1}$
توزیع جوامع نرمال و σ_1, σ_2 معلوم	$\mu_1 - \mu_2 \neq d_0$	$\mu_1 - \mu_2 \neq d_0$	$Z_c = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{\dfrac{\sigma_1^2}{n_1} + \dfrac{\sigma_2^2}{n_2}}}$	$Z_c > Z_{\frac{\alpha}{2}}, Z_c < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$
توزیع جوامع نامعلوم و σ_1, σ_2 معلوم و $n_1, n_2 \geq 30$		$\mu_1 - \mu_2 < d_0$		$Z_c < -Z_\alpha$
		$\mu_1 - \mu_2 > d_0$		$Z_c > Z_\alpha$
توزیع جوامع نرمال و $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ و نامعلوم	$\mu_1 - \mu_2 < d_0$	$\mu_1 - \mu_2 \neq d_0$	$T_c = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{s_p \sqrt{\dfrac{1}{n_1} + \dfrac{1}{n_2}}}$ $s_p^2 = \dfrac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$ $D.F = n_1 + n_2 - 2$	$T_c > T_{\frac{\alpha}{2}}, T_c < -T_{\frac{\alpha}{2}}$
		$\mu_1 - \mu_2 < d_0$		$T_c < -T_\alpha$
		$\mu_1 - \mu_2 > d_0$		$T_c > T_\alpha$

جدول ۳ـ۵ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	آمارهٔ آزمون	ناحیهٔ بحرانی
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d معلوم	$\mu_d = d_0$	$\mu_d \neq d_0$	$Z_c = \dfrac{\bar{d} - d_0}{\dfrac{\sigma_d}{\sqrt{n}}}$	$Z_c > Z_{\frac{\alpha}{2}}, Z_c < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$
		$\mu_d < d_0$		$Z_c < -Z_\alpha$
		$\mu_d > d_0$		$Z_c > Z_\alpha$
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d نامعلوم	$\mu_d = d_0$	$\mu_d \neq d_0$	$T_{c,(n-1)} = \dfrac{\bar{d} - d_0}{\dfrac{S}{\sqrt{n}}}$	$T_c > t_{\frac{\alpha}{2},n-1}, T_c < -t_{\frac{\alpha}{2},n-1}$
		$\mu_d < d_0$		$T_c < -t_{\alpha,n-1}$
		$\mu_d > d_0$		$T_c > t_{\alpha,n-1}$
$n\pi \geq 10$, $n(1-\pi) \geq 10$	$\pi = \pi_0$	$\pi \neq \pi_0$	$Z_c = \dfrac{X - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}$	$Z_c > Z_{\frac{\alpha}{2}}, Z_c < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$
		$\pi < \pi_0$	$Z_c = \dfrac{X + \frac{1}{2} - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}$	$Z_c < -Z_\alpha$
		$\pi > \pi_0$	$Z_c = \dfrac{X - \frac{1}{2} - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}$	$Z_c > Z_\alpha$
$n\pi < 10$, $n(1-\pi) < 10$	$\pi = \pi_0$	$\pi \neq \pi_0$	$X \sim b(n,\pi)$	$P(X \leq x_0 \mid H_0\ True) < \dfrac{\alpha}{2}$, $P(X \geq x_0 \mid H_0\ True) < \dfrac{\alpha}{2}$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 10:9:42

جدول ۳ـ۵ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	آمارهٔ آزمون	ناحیهٔ بحرانی
$n\pi<10$, $n(1-\pi)<10$	$\pi=\pi_0$	$\pi<\pi_0$	$X\sim b(n,\pi)$	$P(X\le x_0 \mid H_0\ True)<\alpha$
		$\pi>\pi_0$		$P(X\ge x_0 \mid H_0\ True)<\alpha$
$n_1\pi_1\ge10$ $n_1(1-\pi_1)\ge10$ $n_2\pi_2\ge10$ $n_2(1-\pi_2)\ge10$	$\pi_1-\pi_2=0$	$\pi_1-\pi_2\neq0$	$Z_c=\dfrac{\hat{P}_1-\hat{P}_2}{\sqrt{\hat{P}(1-\hat{P})\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}}$ $\hat{P}=\dfrac{X_1+X_2}{n_1+n_2}$ $\hat{P}_1=\dfrac{X_1}{n_1},\hat{P}_2=\dfrac{X_2}{n_2}$	$Z_c>Z_{\frac{\alpha}{2}}, Z_c<-Z_{\frac{\alpha}{2}}$
		$\pi_1-\pi_2<0$		$Z_c<-Z_\alpha$
		$\pi_1-\pi_2>0$		$Z_c>Z_\alpha$
توزیع جامعهٔ نرمال	$\sigma^2=\sigma_0^2$	$\sigma^2\neq\sigma_0^2$	$\chi_c^2=\dfrac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$	$\chi_c^2<\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1}, \chi_c^2>\chi^2_{\frac{\alpha}{2},n-1}$
		$\sigma^2<\sigma_0^2$		$\chi_c^2<\chi^2_{1-\alpha,n-1}$
		$\sigma^2>\sigma_0^2$		$\chi_c^2>\chi^2_{\alpha,n-1}$
توزیع جوامع نرمال و مستقل	$\sigma_1^2=\sigma_2^2$	$\sigma_1^2\neq\sigma_2^2$	$F_c=\dfrac{S_1^2}{S_2^2}$	$F_c>F_{\frac{\alpha}{2},(n_1-1),(n_2-1)}$ $F_c<F_{\frac{\alpha}{2},(n_1-1),(n_2-1)}$
		$\sigma_1^2<\sigma_2^2$		$F_c<F_{1-\alpha,(n_1-1),(n_2-1)}$
		$\sigma_1^2>\sigma_2^2$		$F_c>F_{\alpha,(n_1-1),(n_2-1)}$

viewed by ... with id ... in 1399/9/15 10:0:46

جدول ۳ـ۶ آزمون فرضیه برمبنای P-Value

شرایط ازمون	H_0	H_1	P-value	شرایط بحرانی
توزیع جامعهٔ نرمال و σ معلوم	$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$P(\bar{X} \geq \bar{x} \mid H_0 true) = P\left(Z \geq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right)$ $P(\bar{X} \leq \bar{x} \mid H_0 true) = P\left(Z \leq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \frac{\alpha}{2}$
		$\mu < \mu_0$	$P(\bar{X} \leq \bar{x}) = P\left(Z \leq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \alpha$
توزیع جامعهٔ نامعلوم و $n \geq 30$ و σ معلوم		$\mu > \mu_0$	$P(\bar{X} \geq \bar{x}) = P\left(Z \geq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value > \alpha$
توزیع جامعهٔ نرمال و σ نامعلوم و $n < 30$	$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$P(\bar{X} \geq \bar{x} \mid H_0 true) = P\left(T \geq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}\right)$ $P(\bar{X} \leq \bar{x} \mid H_0 true) = P\left(T \leq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \frac{\alpha}{2}$
		$\mu < \mu_0$	$P(\bar{X} \leq \bar{x}) = P\left(T \leq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \alpha$
توزیع جامعهٔ نرمال و σ نامعلوم و $n < 30$	$\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$P(\bar{X} \geq \bar{x}) = P\left(T \geq \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value > \alpha$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 10:0:52

جدول ۳ـ۶ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	P-value	شرایط بحرانی
توزیع جوامع نرمال و σ_1,σ_2 معلوم	$\mu_1-\mu_2=d_0$	$\mu_1-\mu_2\neq d_0$	$P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\geq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(Z\geq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right)$ $P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\leq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(Z\leq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right)$	$P-Value<\frac{\alpha}{2}$
توزیع جوامع نامعلوم و σ_1,σ_2 معلوم و $n_1,n_2\geq 30$		$\mu_1-\mu_2<d_0$	$P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\leq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(Z\leq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right)$	$P-Value<\alpha$
		$\mu_1-\mu_2>d_0$	$P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\geq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(Z\geq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right)$	$P-Value>\alpha$
توزیع جوامع نرمال و $\sigma_1=\sigma_2=\sigma$ و نامعلوم	$\mu_1-\mu_2=d_0$	$\mu_1-\mu_2\neq d_0$	$P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\geq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(T\geq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}\right)$ $P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\leq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(T\leq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}\right)$	$P-Value<\frac{\alpha}{2}$
		$\mu_1-\mu_2<d_0$	$P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\leq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(T\leq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}\right)$	$P-Value<\alpha$
توزیع جوامع نرمال و $\sigma_1=\sigma_2=\sigma$ و نامعلوم	$\mu_1-\mu_2=d_0$	$\mu_1-\mu_2>d_0$	$P(\bar{X}_1-\bar{X}_2\geq\bar{x}_1-\bar{x}_2 \mid \mathrm{H}_0 \text{ True})=P\left(T\geq\frac{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)-d_0}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}\right)$	$P-Value>\alpha$

viewed by ... with id ... in 1399/9/15 19:0:57

جدول ۳ـ۶ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	P-value	شرایط بحرانی
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d معلوم	$\mu_d = d_0$	$\mu_d \neq d_0$	$P(\bar{d} \geq d_0 \mid H_0 True) = P\left(Z \geq \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{\sigma_d}{\sqrt{n}}}\right)$ $P(\bar{d} \leq d_0 \mid H_0 True) = P\left(Z \leq \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{\sigma_d}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \frac{\alpha}{2}$
		$\mu_d < d_0$	$P(\bar{d} \leq d_0 \mid H_0 True) = P\left(Z \leq \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{\sigma_d}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \alpha$
		$\mu_d > d_0$	$P(\bar{d} \geq d_0 \mid H_0 True) = P\left(Z \geq \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{\sigma_d}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value > \alpha$
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d نامعلوم	$\mu_d = d_0$	$\mu_d \neq d_0$	$P(\bar{d} \geq d_0 \mid H_0 True) = P\left(T \geq \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}\right)$ $P(\bar{d} \leq d_0 \mid H_0 True) = P\left(T \leq \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \frac{\alpha}{2}$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 10:10:1

جدول ۳ـ۶ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	P-value	شرایط بحرانی
اختلاف ملاحظات زوجی با توزیع نرمال و σ_d نامعلوم	$\mu_d = d_0$	$\mu_d < d_0$	$P(\bar{d} \le d_0 \mid H_0 True) = P\left(T \le \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value < \alpha$
		$\mu_d > d_0$	$P(\bar{d} \ge d_0 \mid H_0 True) = P\left(T \ge \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}\right)$	$P - Value > \alpha$
$n\pi \ge 10$, $n(1-\pi) \ge 10$	$\pi = \pi_0$	$\pi \ne \pi_0$	$P(X \le x_0 \mid H_0 \text{ True}) = P\left(Z_c \le \frac{x_0 + \frac{1}{2} - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}\right)$ $P(X \ge x_0 \mid H_0 \text{ True}) = P\left(Z_c \ge \frac{x_0 - \frac{1}{2} - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}\right)$	$P - Value < \frac{\alpha}{2}$
		$\pi < \pi_0$	$P(X \le x_0 \mid H_0 \text{ True}) = P\left(Z_c \le \frac{x_0 + \frac{1}{2} - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}\right)$	$P - Value < \alpha$
		$\pi > \pi_0$	$P(X \ge x_0 \mid H_0 \text{ True}) = P\left(Z_c \ge \frac{x_0 - \frac{1}{2} - n\pi_0}{\sqrt{n\pi_0(1-\pi_0)}}\right)$	$P - Value > \alpha$

جدول ۳ـ۶ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	P-value	شرایط بحرانی
$n\pi<10$, $n(1-\pi)<10$	$\pi=\pi_0$	$\pi\neq\pi_0$	$P(X\le x_0 \mid H_0 \text{ True})=\sum_{x=0}^{x_0}\binom{n}{x}(\pi_0)^x(1-\pi_0)^{n-x}$ $P(X\ge x_0 \mid H_0 \text{ True})=\sum_{x=x_0}^{n}\binom{n}{x}(\pi_0)^x(1-\pi_0)^{n-x}$	$P-Value<\frac{\alpha}{2}$
		$\pi<\pi_0$	$P(X\le x_0 \mid H_0 \text{ True})=\sum_{x=0}^{x_0}\binom{n}{x}(\pi_0)^x(1-\pi_0)^{n-x}$	$P-Value<\alpha$
		$\pi>\pi_0$	$P(X\ge x_0 \mid H_0 \text{ True})=\sum_{x=x_0}^{n}\binom{n}{x}(\pi_0)^x(1-\pi_0)^{n-x}$	$P-Value>\alpha$
$n_1\pi_1\ge10$ $n_1(1-\pi_1)\ge10$ $n_2\pi_2\ge10$ $n_2(1-\pi_2)\ge10$	$\pi_1-\pi_2=0$	$\pi_1-\pi_2\neq0$	$P(X\le x_0 \mid H_0 \text{ True})=P\left(Z_c\le\frac{\hat{P}_1-\hat{P}_2}{\sqrt{\hat{P}(1-\hat{P})\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}}\right)$ $P(X\ge x_0 \mid H_0 \text{ True})=P\left(Z_c\ge\frac{\hat{P}_1-\hat{P}_2}{\sqrt{\hat{P}(1-\hat{P})\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}}\right)$	$P-Value<\frac{\alpha}{2}$
$n_1\pi_1\ge10$ $n_1(1-\pi_1)\ge10$ $n_2\pi_2\ge10$ $n_2(1-\pi_2)\ge10$	$\pi_1-\pi_2=0$	$\pi_1-\pi_2<0$	$P(X\le x_0 \mid H_0 \text{ True})=P\left(Z_c\le\frac{\hat{P}_1-\hat{P}_2}{\sqrt{\hat{P}(1-\hat{P})\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}}\right)$	$P-Value<\alpha$
		$\pi_1-\pi_2>0$	$P(X\ge x_0 \mid H_0 \text{ True})=P\left(Z_c\ge\frac{\hat{P}_1-\hat{P}_2}{\sqrt{\hat{P}(1-\hat{P})\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}}\right)$	$P-Value>\alpha$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 10:10:11

جدول ۳ـ۶ (ادامه)

شرایط آزمون	H_0	H_1	P-value	شرایط بحرانی
توزیع جامعهٔ نرمال	$\sigma^2 = \sigma_0^2$	$\sigma^2 \neq \sigma_0^2$	$P\left(S_1^2 \geq s_0^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(\chi^2 \geq \frac{(n-1)s_0^2}{\sigma_0^2}\right)$ $P\left(S_1^2 \leq s_0^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(\chi^2 \leq \frac{(n-1)s_0^2}{\sigma_0^2}\right)$	$P-Value < \frac{\alpha}{2}$
		$\sigma^2 < \sigma_0^2$	$P\left(S_1^2 \leq s_0^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(\chi^2 \leq \frac{(n-1)s_0^2}{\sigma_0^2}\right)$	$P-Value < \alpha$
		$\sigma^2 > \sigma_0^2$	$P\left(S_1^2 \geq s_0^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(\chi^2 \geq \frac{(n-1)s_0^2}{\sigma_0^2}\right)$	$P-Value > \alpha$
توزیع جوامع نرمال و مستقل	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$	$P\left(S_1^2 \geq S_2^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(F \geq \frac{s_1^2}{s_1^2}\right)$ $P\left(S_1^2 \leq S_2^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(F \leq \frac{s_1^2}{s_1^2}\right)$	$P-Value < \frac{\alpha}{2}$
		$\sigma_1^2 < \sigma_2^2$	$P\left(S_1^2 \leq S_2^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(F \leq \frac{s_1^2}{s_1^2}\right)$	$P-Value < \alpha$
		$\sigma_1^2 > \sigma_2^2$	$P\left(S_1^2 \geq S_2^2 \mid H_0 \text{ True}\right) = P\left(F \geq \frac{s_1^2}{s_1^2}\right)$	$P-Value > \alpha$

viewed by guest with id=2 in 1399/9/15 10:10:15

۳ـ۷ تمرین‌ها

۱ـ اگر x_1، x_2، ...، x_n نمونهٔ تصادفی به حجم n از جامعهٔ نرمال با امید ریاضی μ و واریانس σ^2 باشد، کدام یک از برآوردکننده‌های زیر – MSE (میانگین مربع خطا) کمتری برای σ^2 یا واریانس جامعه دارد؟ کارایی $\hat{\sigma}_1^2$ نسبت به $\hat{\sigma}_2^2$ کدام است؟

$$\hat{\sigma}_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n-1} \qquad \hat{\sigma}_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n+1}$$

۲ـ جعبه‌ای شامل ۴ مهره است که θ مهرهٔ آن آبی است.۳ مهره به تصادف و بدون جایگذاری از این جعبه انتخاب می‌کنیم. اگر تعداد مهره‌های آبی در نمونهٔ انتخابی ۱ باشد، برآورد حداکثر درستنمایی برای θ کدام است؟

۳ـ اگر x_1، ...، x_n یک نمونهٔ تصادفی nتایی از یک توزیع با تابع چگالی احتمال $f_\theta(x) = 2\theta^2 x \quad ,0 < x \le \frac{1}{\theta}$ باشد، برآوردگر به روش‌های گشتاورها و حداکثر درستنمایی برای پارامتر θ را به دست آورید؟

۴ـ X یک متغیر تصادفی نمایی با تابع چگالی $f(x)=\frac{1}{\theta}e^{-\frac{x}{\theta}} \quad ,x>0$ است و فاصلهٔ $(0, kx)$ یک فاصله $(1-\alpha)$ درصدی برای θ است. مقدار k کدام است؟

۵. فرض کنید $X \sim N(0,\sigma^2)$ و در صورتی که $(|X|, |2X|)$ به عنوان یک فاصلهٔ اطمینان برای σ در نظر گرفته شود سطح اطمینان آن چقدر است؟

۶ـ اگر x_1، x_2، ...، x_n یک نمونهٔ تصادفی از یک توزیع $N(\mu,\sigma^2)$ باشند، ضریب اطمینان برآورد فاصله‌ای $\left[X_{(1)}, X_{(n)}\right]$ برای μ را به دست آورید؟

۷ـ متغیر تصادفی X با میانگین مجهول μ و انحراف معیار ۲۵ مفروض است. به منظور آزمون فرض $H_0: \mu \le 100$ در برابر $H_1: \mu > 100$ یک نمونهٔ تصادفی ۱۰۰تایی می‌گیریم و در صورتی که $\bar{X} > 104$ باشد، فرض صفر را رد می‌کنیم. ناحیه پذیرش آماره Z را به دست آورید؟

۸ ـ فرض کنید $1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 1$ یافته‌های یک نمونهٔ تصادفی ۹تایی از توزیع $B(1,p)$ باشد. برای انجام آزمون $H_0: P=\frac{1}{4}$ در مقابل $H_1: P=\frac{1}{2}$، ناحیهٔ بحرانی به فرم $\sum X_i \ge c$ باشد، $P-Value$ را حساب کنید.

۹ـ یک تکنسین کنترل کیفیت می‌خواهد تحمل فشار داخلی یک بطری یک لیتری شیشه‌ای را بررسی کند. تحمل فشار تقریباً دارای توزیع نرمال با انحراف استاندارد

معلوم ۳۰ psi است. از یک نمونهٔ تصادفی شامل ۲۵ بطری، میانگین تحمل فشار $\bar{x} = ۲۷۸$ psi به دست آمده است.

الف) یک برآورد فاصله‌ای ۹۵ درصد اطمینان دوطرفه برای μ محاسبه کنید.

ب) در صورتی که تکنسین فوق با ۹۵ درصد اطمینان بخواهد خطای برآورد کمتر ۱۰ psi از باشد باید چه تعداد نمونه را آزمایش کند؟

ج) حد پایین یک‌طرفه ۹۵ درصد اطمینان برای میانگین تحمل فشار چقدر است؟

۱۰ـ وزن هفت ظرف مشابه اسید سولفوریک عبارت‌اند از ۹.۸، ۱۰.۲، ۹.۸، ۱۰.۰، ۱۰.۲ و ۹.۶ اونس. با فرض یک توزیع تقریباً نرمال یک برآورد فاصله‌ای ۹۵ درصد اصمینان برای میانگین وزن ظروفی از این قبیل محاسبه کنید.

۱۱ـ میانگین و انحراف استاندارد یک نمونهٔ ۳۶تایی دانشجویان سال دوم دانشکده‌ای به ترتیب ۲.۶ و ۰.۳ است. برآوردهای فاصله‌ای ۹۵ درصد و ۹۹ درصد اطمینان برای معدل تمام دانشجویان سال دوم را محاسبه کنید.

۱۲ـ یک فروشندهٔ مواد غذایی در نظر دارد ترجیحاً روغن نباتی خود را از تولیدکننده دیگری بخرد. بدین منظور با نمونه‌گیری از ۲۵ محصول کارخانهٔ جدید قصد آزمون فرض در مورد میانگین وزن قوطی‌های روغن را دارد که در این مورد میانگین ۴۵۰۰ گرم برای هر قوطی مورد نظر است.

الف) فرض صفر و مقابل این آزمون را چگونه تعیین کند؟

ب) اگر بعد از نمونه‌گیری فوق مقدار ۴۳۰۰ گرم برای میانگین نمونه و ۵۰۰ گرم برای انحراف استاندارد نمونه به دست آید $(\alpha = 0.05)$ در این صورت چه تصمیمی باید گرفته شود؟

۱۳ـ از یک نمونهٔ ۵۶۰تایی محصول تولیدشده در شیفت اول یک کارخانه ۱۲ محصول معیوب مشاهده شده است. یک نمونه ۵۱۰تایی از محصول تولیدشده در شیفت دوم گرفته می‌شود. اگر بدانیم یک برآورد فاصله‌ای ۹۵ درصد اطمینان برای تفاضل نسبت‌های واقعی محصول معیوب تولیدشده در شیفت اول و شیف دوم برابر $(-۰.۰۱۲, ۰.۰۲۸)$ است، تعداد محصول معیوب در نمونهٔ شیفت دوم چقدراست؟

۱۴ـ دو ماشین برای پر کردن بطری‌های شیشه‌ای از نوعی نوشابه استفاده می‌شوند. ماشین‌ها به ترتیب دارای انحراف استانداردهایی معلوم $\sigma_1 = 0.010$ لیتر و $\sigma_2 = 0.015$ لیتر هستند. از نمونه‌های تصادفی به اندازهٔ $n_1 = 25$ بطری از ماشین اول و $n_2 = 20$ بطری از ماشین دوم میانگین‌های وزن خالص $\bar{X}_1 = 2.04$ و $\bar{X}_2 = 2.07$ به دست آمده است. یک فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصد در مورد تفاوت میانگین‌های مقادیری که

دو ماشین پر می‌کنند محاسبه کنید. براساس این محاسبه آیا می‌توان نتیجه گرفت که متوسط مقادیری که دو ماشین پر می‌کنند. یکسان‌اند؟

۱۵ـ میانگین مقاومت کششی نوعی الیاف مصنوعی یک مشخصهٔ کیفی مهم مورد علاقهٔ یک تولیدکننده است. لازم است یک برآورد فاصله‌ای ۹۵ درصد اطمینان برای میانگین مقاومت محاسبه شود. از تجربهٔ گذشته می‌توان برای مقاومت الیاف یک توزیع نرمال فرض کرد ولی میانگین و انحراف استاندارد مقاومت کششی هر دو نامعلوم‌اند. یک نمونهٔ تصادفی شامل ۱۶ الیاف مصنوعی انتخاب شده و مقاومت هر یک به شرح جدول زیر به دست آمده است.

الف) برآورد فاصله‌ای مورد نظر را محاسبه کنید.

ب) در صورتی که تولیدکننده فقط نگران مقاومت کششی خیلی پایین باشد و احساس کند که برآورد فاصله‌ای یک‌طرفه مناسب‌تر است حد پایین برآورد فاصله‌ای یک طرفه ۹۵ درصد اطمینان را برای میانگین مقاومت محاسبه کنید.

شمارهٔ نمونه	مقاومت کششی
۱	۴۸.۸۹
۲	۵۲.۰۷
۳	۴۹.۲۹
۴	۵۱.۶۶
۵	۵۲.۱۶
۶	۴۹.۷۲
۷	۴۸.۰۰
۸	۴۹.۹۶
۹	۴۹.۲۰
۱۰	۴۸.۱۰
۱۱	۴۷.۹۰
۱۲	۴۶.۹۴
۱۳	۵۱.۷۶
۱۴	۵۰.۷۵
۱۵	۴۹.۸۶
۱۶	۵۷.۵۷
جمع	۷۹۷.۸۳

۴

روش‌ها و فلسفهٔ کنترل کیفیت آماری

اهداف فصل

۱ـ آشنایی با انواع انحرافات رخداده در مشخصهٔ کیفی محصول؛
۲ـ معرفی ابزارهای ۷گانه **SPC**؛
۳ـ آشنایی با مفهوم توانایی فرایند؛
۴ـ آشنایی با متداول‌ترین قوانین حساس‌سازی نمودارهای کنترل.

۴ـ۱ مقدمه

هدف نهایی هر فرایند تولید ساخت محصولات مطابق با مشخصات قابل قبول با کمترین تغییرپذیری است. به عبارت دیگر، فرایند تولید باید از تغییرپذیری کمی حول مقدار هدف مشخصات کیفی محصول برخوردار باشد. در این فصل، کنترل فرایند آماری **(SPC)** متشکل از هفت ابزار هیستوگرام، برگهٔ کنترل، نمودار پارتو، نمودار علت و معلول، نمودار تمرکز نقص‌ها، نمودار پراکندگی و نمودار کنترل به عنوان متداول‌ترین الگو برای کاهش تغییرپذیری در فرایند تولید معرفی خواهد شد.

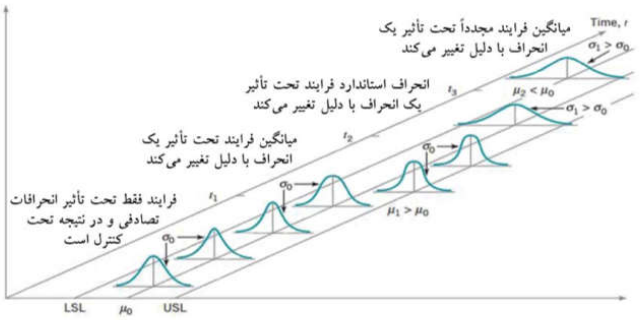
۴ـ۲ نقش انحرافات تصادفی و بادلیل در تغییرپذیری کیفیت

انحرافات فرایند تولید به دو دسته قابل تقسیم‌اند: (۱) انحرافات تصادفی و (۲)

انحرافات بادلیل. در تمامی پروسه‌های تولید، صرف‌نظر از اینکه طراحی چقدر دقیق و مناسب و یا چقدر نگهداری با دقت همراه است، یک مقدار مشخص از تنوع ذاتی یا طبیعی همیشه وجود دارد. این تغییرپذیری ذاتی، به دلیل جمع شدن تعداد زیادی از انحرافات کوچک و غیرقابل‌اجتناب است. نمونه‌هایی از انحرافات تصادفی عبارت‌اند از: لرزش خفیف در ماشین و تغییر در دما و رطوبت محیط تولید. در چارچوب کنترل کیفیت آماری، این تغییرپذیری ذاتی را معمولاً به عنوان «انحرافات تصادفی» می‌شناسیم. فرایندی که فقط در حضور انحرافات تصادفی عمل کند را فرایند تحت کنترل آماری می‌نامند. به عبارت دیگر، انحرافات تصادفی بخش لاینفک فرایند محسوب می‌شود.

در برخی مواقع ممکن است انحرافات بادلیل منجر به تغییرپذیری در خروجی یک فرایند شوند. مثال‌هایی از انحراف بادلیل عبارت است از: تنظیم نادرست دستگاه، خطاهای اپراتور و یا مواد اولیه معیوب. به طور کلی، یک چنین تغییرپذیری در مقایسه با تغییرات ذاتی موجود در فرایند به مراتب بزرگ‌تر است و معمولاً بیانگر سطح غیرقابل قبولی برای عملکرد فرایند است. فرایندی که در حضور انحرافات بادلیل عمل می‌کند را فرایند خارج از کنترل می‌نامند.

انحرافات تصادفی و بادلیل در شکل ۴ـ۱ نشان داده شده‌اند. تا زمان t_1، فرایند مورد نظر تحت کنترل قرار دارد و یا به عبارت دیگر فقط انحرافات تصادفی در فرایند حضور دارند. درنتیجه 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. همان گونه که در شکل ۴ـ۱ نشان داده شده است اثر این انحراف با دلیل تغییر میانگین از μ_0 به مقدار جدیدی نظیر $\mu_0 < \mu_1$ 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 $\sigma_0 < \sigma_1$ تغییر یافته است. در زمان t_3 یک انحراف بادلیل دیگر ظاهر و سبب می‌شود تا میانگین و انحراف معیار فرایند هر دو مقادیر خارج از کنترل اختیار کنند. از زمان t_1 به بعد، حضور انحرافات با دلیل سبب شده که فرایند در حالت خارج از کنترل قرار گیرد. فرایندها غالباً طی یک مدت زمان نسبتاً طولانی در حالت تحت کنترل بسر می‌برند. بدیهی است که هیچ فرایندی به طور دائمی پایدار نیست و به‌تدریج انحرافات بادلیل (معمولاً به صورت اتفاقی) ظاهر و باعث می‌شوند تا فرایند به حالت خارج از کنترل تغییر پیدا کند. در چنین حالتی، درصد زیادی از خروجی فرایند با خواسته‌های



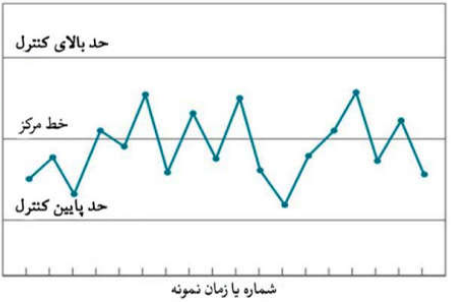
شکل ۴ـ۱ تغییرات حاصل از انحرافات تصادفی و بادلیل.

مورد نظر انطباق نخواهند داشت. به عنوان مثال، در شکل ۴ـ۱ زمانی که فرایند در حالت تحت کنترل بسر می‌برد اغلب محصولات تولیدشده بین حدود مشخصه‌های پایین و بالا قرار می‌گیرد ولی زمانی که فرایند به حالت خارج از کنترل تغییر پیدا می‌کند نسبت زیادتری از محصولات فرایند خارج از حدود مشخصه‌های تعریف‌شده قرار می‌گیرد.

یکی از اهداف اصلی کنترل فرایند آماری شناسایی سریع انحرافات با دلیل یا تغییرات در فرایند 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 فرایند در حین تولید است که برای این منظور مناسب خواهد بود. درنهایت باید به خاطر داشت که هدف اصلی کنترل فرایند آماری حذف تغییرپذیری فرایند است. این امکان وجود ندارد که بتوان کل تغییرپذیری فرایند را حذف کرد ولی نمودار کنترل را می‌توان به عنوان ابزار مؤثری برای کاهش تغییرپذیری فرایند استفاده کرد.

۴ـ۳ اصول آماری و نمودارهای کنترل

یک نمونه از نمودار کنترل در شکل ۴ـ۲ نشان داده شده است. در یک نمودار کنترل، یک مشخصهٔ کیفی که براساس اطلاعات نمونه، اندازه‌گیری یا محاسبه شده است برحسب شمارهٔ نمونه یا زمان نمایش داده می‌شود. نمودار شامل یک خط مرکز است



شکل ۴ـ۲ یک نمودار کنترل.

که مقدار متوسط مشخصهٔ کیفی را در حالت تحت کنترل و یا به عبارت دیگر مرحله‌ای از فرایند که فقط خطاهای تصادفی حضور دارند نشان می‌دهد. دو خط افقی دیگر که حد کنترل بالا و حد کنترل پایین نامیده می‌شوند در این نمودار نشان داده شده است. این حدود کنترل به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که اگر فرایند تحت کنترل باشد آنگاه تقریباً تمامی نقاطی که براساس اطلاعات نمونه محاسبه شده‌اند بین این حدود واقع می‌شوند. تا زمانی که نقاط بین حدود کنترل قرار می‌گیرند، فرض می‌شود که فرایند تحت کنترل است و نیازی به اقدام اصلاحی نیست. اگر نقطه‌ای خارج از حدود کنترل رسم شود، آنگاه نتیجه‌گیری می‌شود که فرایند در شرایط خارج از کنترل بسر می‌برد و اقدامات اصلاحی برای شناسایی منبع ایجاد انحراف یا انحرافات بادلیل و حذف آنها ضروری است.

حتی اگر تمامی نقاط در داخل حدود کنترل به گونه‌ای غیرتصادفی رسم شوند آنگاه فرایند خارج از کنترل محسوب می‌شود. به عنوان مثال اگر ۱۸ نقطه از ۲۰ نقطهٔ آخر بین خط مرکز[1] و حد کنترل بالا[2] قرار گیرد و فقط دو نقطه بین خط مرکز و حد کنترل پایین[3] رسم شود آنگاه نتیجه می‌گیریم که اشکالی در فرایند وجود دارد.

ارتباط تنگاتنگی بین نمودارهای کنترل و آزمون فرض وجود دارد. به منظور نشان دادن این ارتباط فرض کنید محور عمودی در شکل ۴ـ۲ میانگین نمونه یا $\bar{x}$ باشد.

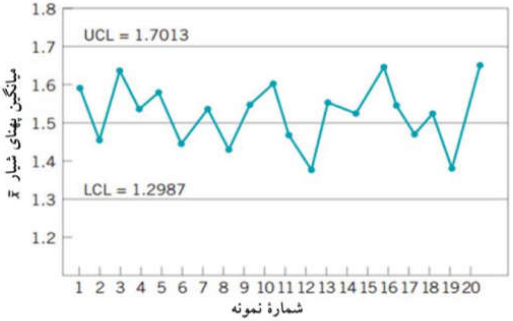
1. center line
2. upper control limit
3. lower control limit

حال اگر مقدار فعلی $\bar{x}$ بین حدود کنترل رسم شود آنگاه نتیجه می‌گیریم که میانگین فرایند تحت کنترل است و یا به عبارت دیگر میانگین دارای مقداری نظیر μ_0 است. از طرف دیگر، اگر مقدار فعلی $\bar{x}$ خارج از حدود کنترل رسم شود نتیجه می‌گیریم که میانگین فرایند خارج از کنترل است و یا به عبارت دیگر میانگین دارای مقداری نظیر $\mu_1 \neq \mu_0$ است. به تعبیری نمودار کنترل یک آزمون فرض تحت کنترل آماری بودن فرایند است. رسم یک نقطه بین حدود کنترل معادل عدم رد فرض کنترل آماری و رسم یک نقطه خارج از حدود کنترل معادل رد فرض کنترل آماری است.

یکی از جاهایی که چارچوب آزمون فرض آماری می‌تواند مفید باشد مرحلهٔ تحلیل عملکرد نمودار کنترل است. دقیقاً نظیر آزمون فرض، می‌توان احتمال خطای نوع اول و احتمال خطای نوع دوم برای نمودار کنترل تعریف کرد. احتمال خطای نوع اول بیانگر حالت خارج از کنترل است (هنگامی که فرایند تحت کنترل باشد) و احتمال خطای نوع دوم بیانگر حالت تحت کنترل است (هنگامی که فرایند واقعاً خارج از کنترل است) در بعضی مواقع رسم منحنی مشخصهٔ عملکرد برای نشان دادن احتمال خطای نوع دوم مفید است. این منحنی توانایی نمودار کنترل برای پی بردن به وجود تغییرات مختلف را نشان می‌دهد و این می‌تواند در زمان انتخاب نوع نمودار کنترل بسیار مفید باشد.

به منظور روشن شدن نکته فوق مثال زیر را در نظر بگیرید. یکی از مراحل مهم در تولید قطعات نیمه‌هادی مرحلهٔ فتولیتوگرافی است که در این مرحله الگوی مدار با استفاده از نور ماوراءبنفش بر روی پولک سیلیکونی نشانده و بخش‌های اضافی در مراحل بعدی فرایند حذف می‌شود. سپس یک فرایند شیمیایی یا حکاکی پلاسما در محل الگوی مواد نشانده‌شده شیار ایجاد می‌شود. مرحلهٔ بعدی فرایند پخت سخت است که به مقاومت حفاری کمک می‌کند. یکی از مشخصه‌های کیفی مهم در این مرحله افزایش پهنای شیار ایجادشده 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 ۴ـ۳ 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 آنجایی که این نمودار از میانگین نمونه $\bar{x}$ برای پایش میانگین فرایند استفاده می‌کند آن را معمولاً نمودار کنترل $\bar{x}$ می‌نامند. باید توجه داشت که تمامی نقاط در داخل حدود کنترل رسم شده است. بنابراین، فرایند در حالت تحت کنترل بسر می‌برد.



شکل ۴ـ۳ نمودار کنترل $\bar{x}$ برای پهنای شیار.

به منظور درک بهتر اصول آماری این نمودار کنترل، روش تهیه آن را توضیح می‌دهیم. میانگین و انحراف معیار این فرایند به ترتیب ۱.۵ و ۰.۱۵ میکرون است. حال اگر اندازهٔ نمونه‌های ۵تایی از فرایند مورد نظر انتخاب شود آنگاه انحراف معیار میانگین نمونه $\bar{x}$ برابر است با:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.15}{\sqrt{5}} = 0.0671$$

بنابراین، اگر فرایند با میانگین پهنای 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 در چنین شرایطی باید انتظار داشت که $100(1-\alpha)\%$ از میانگین نمونه‌ها یا $\bar{x}$ بین $1.5+Z_{\alpha/2}(0.0671)$ و $1.5-Z_{\alpha/2}(0.0671)$ قرار گیرند. مقدار $Z_{\alpha/2}$ به طور اختیاری ۳ انتخاب می‌شود که در این صورت حدود کنترل بالا و پایین به ترتیب برابر خواهند بود با:

$$UCL = 1.5+3(0.0671) = 1.7013$$
$$LCL = 1.5-3(0.0671) = 1.2987$$

این حدود همان حدودی هستند که قبلاً بر روی نمودار نشان داده شده است. این حدود کنترل را معمولاً حدود کنترل «سه انحراف معیار» می‌نامند. با در نظر گرفتن ضریب خاصی از انحراف معیار می‌توان مشاهده کرد که فاصلهٔ بین حدود کنترل به

طور معکوس با اندازهٔ نمونه n متناسب است. باید توجه داشت که انتخاب حدود کنترل در مثال فوق شبیه به تعیین ناحیهٔ بحرانی برای آزمون فرض زیر است:

$$H_0 : \mu = 1.5$$
$$H_1 : \mu \neq 1.5$$

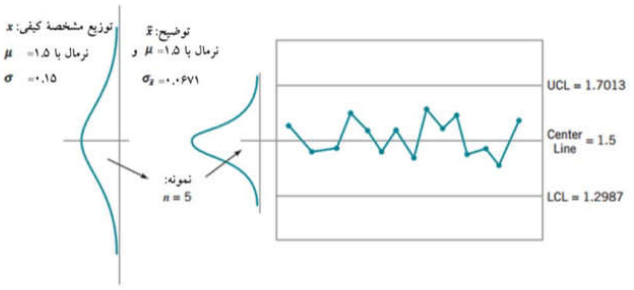
اساساً، نمودار کنترل یک چنین فرضیه‌ای را در مقاطع مختلفی از زمان آزمون می‌کند. این حالت به صورت نموداری در شکل ۴ـ۴ نشان داده شده است.

می‌توان یک مدل عمومی برای نمودار کنترل ارائه کرد. فرض کنید مشخصهٔ کیفی مورد نظر به وسیلهٔ 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:

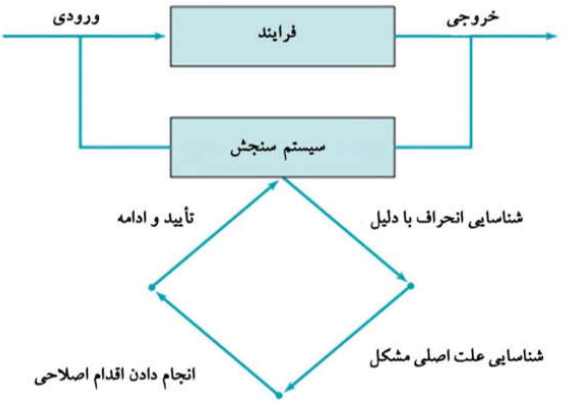
$$\begin{aligned} UCL &= \mu_W + L\sigma_W \\ CL &= \mu_W \\ LCL &= \mu_W - L\sigma_W \end{aligned} \qquad (۱_۴)$$

در رابطه فوق، L فاصلهٔ حدود کنترل از خط مرکز را برحسب واحد انحراف معیار نشان می‌دهد.

این تئوری کلی نمودارهای کنترل را اول بار والتر شوهارت ارائه کرد. نمودارهای کنترلی که از چنین قانونی پیروی می‌کنند را نمودارهای کنترل شوهارت می‌نامند.



شکل ۴ـ۴ چگونگی عملکرد نمودار کنترل.



شکل ۴ـ۵ بهبود فرایند با استفاده از نمودار کنترل.

مهم‌ترین دلیل استفاده از نمودار کنترل، بهبود وضعیت موجود در فرایند است. به طور کلی می‌دانیم که اغلب فرایندها در شرایط کنترل آماری بسر نمی‌برند و بنابراین، استفاده دقیق و مستمر از نمودارهای کنترل به شناسایی انحرافات بادلیل کمک می‌کند. اگر این انحرافات بادلیل را بتوان از فرایند حذف کرد آنگاه تغییرپذیری کاهش و فرایند بهبود می‌یابد. این گونه فعالیت‌های بهبود فرایند که با استفاده از نمودارهای کنترل انجام می‌شود در شکل ۴ـ۵ نشان داده شده است. باید توجه داشت که نمودار کنترل فقط انحرافات بادلیل را شناسایی می‌کند. معمولاً حذف انحرافات بادلیل نیاز به اقدامات مدیریتی، مهندسی و اپراتوری دارد.

نمودارهای کنترل را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد: (۱) نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر[1] و (۲) نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های وصفی[2]. اگر بتوان یک مشخصهٔ کیفی را اندازه‌گیری و به صورت عدد در مقیاس پیوسته بیان کرد آنگاه آن را یک متغیر می‌نامند. در این صورت، به‌راحتی می‌توان مشخصهٔ کیفی مورد نظر را

1. Variable
2. Attribute

براساس معیار تمایل مرکزی و تغییرپذیری توصیف کرد. نمودارهای کنترل مربوط به تمایل مرکزی و تغییرپذیری را نمودارهای کنترل برای متغیرها می‌نامند. نمودار $\bar{x}$ یکی از نمودارهایی است که کاربرد فراوانی در کنترل تمایل مرکزی دارد. در حالی که نمودارهای کنترل که براساس دامنهٔ نمونه یا انحراف معیار نمونه طراحی می‌شوند برای کنترل تغییرپذیری فرایند استفاده می‌شوند. خیلی از مشخصه‌های کیفی را ممکن است نتوان در مقیاس پیوسته و یا حتی مقیاس کمّی اندازه‌گیری کرد. در چنین شرایطی ممکن است بتوان هر محصول را برمبنای معیار انطباق یا عدم انطباق و یا شمارش تعداد نقص‌های آن گروه‌بندی کرد. نمودارهای کنترل برای چنین مشخصه‌های کیفی را نمودار کنترل برای وصفی‌ها می‌نامند.

۴ـ۳ـ۱ حدود کنترل

تعیین حدود کنترل یکی از تصمیم‌های اساسی در طراحی یک نمودار کنترل محسوب می‌شود. با دور کردن حدود کنترل از خط مرکز احتمال خطای نوع I و یا به عبارت دیگر ریسک رسم یک نقطه فراتر از حدود کنترل در حالی که هیچ‌گونه انحراف بادلیلی وجود ندارد کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، افزایش فاصله بین حدود کنترل سبب می‌شود تا احتمال خطای نوع II و یا به عبارت دیگر ریسک رسم یک نقطه بین حدود کنترل، زمانی که فرایند در حالت خارج از کنترل بسر می‌برد افزایش یابد. اگر حدود کنترل به خط مرکز نزدیک‌تر شوند آنگاه اثر معکوسی حاصل می‌شود. احتمال خطای نوع I افزایش ولی احتمال خطای نوع II کاهش می‌یابد.

طبق توضیحات ذکرشده معمولاً دو روش برای تعیین حدود کنترل در نظر گرفته می‌شود: (۱) تعیین حدود کنترل به صورت ضریبی از انحراف معیار مشخصه کیفی مورد نظر و (۲) تعیین حدود کنترل برمبنای احتمال خطای نوع I از پیش تعیین‌شده. به عنوان مثال، نمودار کنترل $\bar{x}$ که در شکل ۴ـ۳ نشان داده شده است از حدود سه انحراف معیار استفاده می‌کند. اگر بتوان فرض کرد که پهنای شیار از توزیع نرمال پیروی می‌کند آنگاه احتمال خطای نوع I از جدول توزیع نرمال استاندارد ۰.۰۰۲۷ به دست می‌آید. به عبارت دیگر به‌ازای هر ۱۰.۰۰۰ نقطه که بر روی نمودار رسم می‌شود فقط ۲۷ مورد اخطار خارج از کنترل نادرست یا زنگ خطر اشتباهی[1] مشاهده خواهد

1. False alarm

شد. به علاوه، احتمال رسم یک نقطهٔ خارج از حدود کنترل زمانی که فرایند تحت کنترل قرار دارد برابر با ۰.۰۰۱۳۵ است. به جای تعیین حدود کنترل به صورت ضریبی از انحراف معیار $\bar{x}$ می‌توان مستقیماً احتمال خطای نوع I را انتخاب و براساس آن حدود کنترل را محاسبه کرد که در این شرایط حدود کنترل حساب‌شده را حدود احتمال می‌نامند. به عنوان مثال، اگر احتمال خطای نوع I از یک سمت نمودار برابر با ۰.۰۰۱ فرض شود آنگاه ضریب مناسب برای انحراف معیار عدد ۳.۰۹ است. در این صورت، نمودار کنترل $\bar{x}$ دارای حدود کنترل زیر خواهد بود:

$$UCL = 1.5 + 3.09(0.0671) = 1.7073$$
$$LCL = 1.5 - 3.09(0.0671) = 1.2927$$

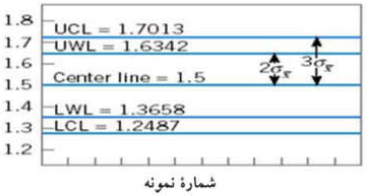
این حدود کنترل را حدود احتمال ۰.۰۰۱ می‌نامند.

۴ـ۳ـ۲ حدود هشدار

در بعضی موارد استفاده از دو دسته حدود در نمودار کنترل پیشنهاد می‌شود. دستهٔ اول همان حدود کنترل است که در بخش قبل به آن پرداخته شد و به آن حدود اقدام[1] نیز گفته می‌شود. به این معنی که اگر نقطه‌ای خارج از این حدود واقع شود باید به دنبال انحراف بادلیل گشت. دستهٔ دوم حدود درونی‌ای که معمولاً در فاصلهٔ دو انحراف معیار رسم می‌شوند و به آن حدود هشدار[2] گفته می‌شود. این حدود، حساسیت نمودار کنترل را افزایش می‌دهد. به این ترتیب که اگر یک یا چند نقطه بین حدود هشدار و حدود اقدام (حدود سه انحراف معیار) یا خیلی نزدیک به حدود هشدار رسم شود آنگاه باید نسبت به عملکرد مناسب فرایند شک کرد. شکل ۴ـ۶ حدود سه انحراف معیار بالا و پایین را برای نمودار $\bar{X}$ مربوط به پهنای شیار را نشان می‌دهد. حدود هشدار بالا و پایین در مکان‌های زیر رسم می‌شوند.

$$UWL = 1.5 + 2(0.0671) = 1.6342$$
$$LWL = 1.5 - 2(0.0671) = 1.3658$$

1. Action limits
2. Warning limits



شکل ۴ـ۶ یک نمودار با حدود هشدار دو انحراف معیار.

۴ـ۳ـ۳ حدود مشخصهٔ فنی

هر مشخصهٔ کیفی علاوه بر مقدار اسمی، دارای حدودی است که تلورانس مجاز برای آن مشخصهٔ کیفی را نشان می‌دهد. این حدود را طراح و براساس نظرات مشتری تعیین می‌کند و به فرایند بستگی ندارد. به عبارت دیگر بهبود فرایند تأثیری بر حدود مشخصهٔ فنی ندارد. در بعضی موارد مشخصهٔ کیفی دارای هر دو حد بالا و پایین است و در بعضی موارد فقط دارای یک حد بالا یا پایین است. بیشترین مقدار مجاز مشخصهٔ کیفی از دیدگاه مشتری، حد مشخصهٔ فنی بالا[1] (USL) و کمترین مقدار مجاز آن، حد مشخصهٔ فنی پایین[2] نامیده می‌شود. عدم تطابق مشخصهٔ کیفی محصول با حدود مشخصات فنی را نقص یا عدم انطباق می‌نامند که احتمال رخ دادن آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$P(X > USL) + P(X < LSL) = 1 - P(LSL < X < USL) \qquad (۴ـ۲)$$

محصول معیوب یا نامنطبق: هر محصولی که یک یا چند مشخصه کیفی آن از حدود مشخصه فنی تجاوز کند یک محصول معیوب یا نامنطبق نامیده می‌شود. در واقع هر محصوبل معیوب یا نامنطبق می‌تواند دارای یک یا بیش از یک نقص باشد. بنابراین احتمال معیوب بودن یک محصول با k مشخصه کیفی عبارت است از:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - p_i) \qquad (۴ـ۳)$$

که در رابطهٔ (۴ـ۳)، p_i احتمال نقص در مشخصهٔ کیفی i را نشان می‌دهد.

سطح سیگما: فاصلهٔ میانگین فرایند تا نزدیک‌ترین حد مشخصهٔ فنی برحسب گام‌هایی به اندازهٔ انحراف معیار فرایند را سطح سیگما می‌نامند و به صورت زیر قابل محاسبه است.

1. Upper Specification Limit
2. Lower Specification Limit

$$\text{سطح سیگما} = \min\left\{\frac{USL-\mu}{\sigma}, \frac{\mu-LSL}{\sigma}\right\} \qquad (۴_۴)$$

با فرض ثابت بودن میانگین در مقدار اسمی و نرمال بودن توزیع مشخصهٔ کیفی، در سطح سه سیگما حدود ۹۹.۷۳ درصد از محصولات بین حدود مشخصات فنی قرار می‌گیرند. در سطح دو سیگما ۹۵.۴۵ درصد و در سطح یک سیگما حدود ۶۸ درصد از محصولات بین حدود مشخصات فنی قرار خواهند گرفت.

تعریف PPM[1]: تعداد اقلام معیوب تولیدشده در یک میلیون محصول را **PPM** می‌نامند.

۴ـ۳ـ۴ حدود تلورانس طبیعی[2]

برای هر مشخصهٔ کیفی، حدود تلورانس طبیعی بالا و پایین به صورت سه انحراف معیار در بالا و پایین میانگین آن $(LNTL, UNTL) = (\mu - 3\sigma, \mu - 3\sigma)$ تعریف می‌شود. اگر حدود تلورانس طبیعی داخل حدود مشخصات فنی باشد، فرایند قابلیت بالایی دارد و احتمال عدم انطباق در آن کم است.

۴ـ۳ـ۵ توانایی فرایند

فرایندی را توانا گویند که محصولات معیوب تولید نمی‌کند یا درصد بسیار ناچیزی محصول معیوب تولید می‌کند. به این منظور، از فاصلهٔ 6σ یا حدود تلورانس طبیعی $(LNTL, UNTL) = \mu \pm 3\sigma$ به عنوان یک معیار کارایی فرایند استفاده می‌شود. از این رو، برای محاسبه کارایی فرایند شاخصی با نام نسبت کارایی فرایند[3] (C_P) معرفی شده است که قابل محاسبه است

$$C_P = \frac{USL - LSL}{UNTL - LNTL} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad (۵_۴)$$

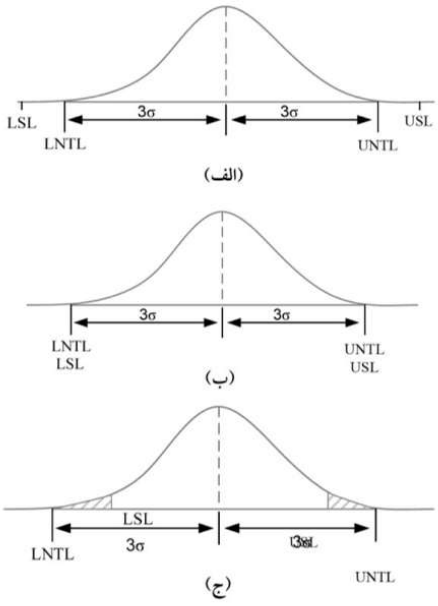
نکته: درصدی از فاصلهٔ بین حدود مشخصهٔ فنی که توسط فرایند استفاده می‌شود، به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$p = \frac{1}{C_p} \times 100 \qquad (۶_۴)$$

---

1. Parts Per Million
2. Natural Tolerance Limits
3. Process Capability Ration

شکل ۴ـ۷ سه حالت ممکن را برای C_P و حدود مشخصات فرایند نشان می‌دهد. در شکل ۴ـ۷ (الف)، $C_P > 1$ است. این بدان معنا است که فرایند کمتر از ۱۰۰٪ فاصلهٔ حدود مشخصات فنی را استفاده کرده است و درنتیجه تعداد نسبتاً کمی محصول معیوب توسط این فرایند تولید خواهد شد. شکل ۴ـ۷ (ب) فرایندی را نشان می‌دهد که در آن $C_P = 1$ است. در این شرایط، فرایند کل فاصلهٔ بین حدود مشخصات فنی را استفاده کرده است. به عنوان مثال، اگر مشخصهٔ کیفی از توزیع نرمال پیروی کند، این بدان معنا است که حدود 0.27% از محصولات معیوب خواهند بود. درنهایت شکل ۴ـ۷ (ج) فرایندی را نشان می‌دهد که در آن $C_P < 1$ است. به عبارت دیگر، فرایند بیش از ۱۰۰٪ فاصلهٔ حدود مشخصات فنی را استفاده کرده است و تعداد زیادی محصول معیوب تولید خواهد کرد.



شکل ۴ـ۷ نسبت اقلام معیوب فرایند و نسبت کارایی فرایند.

نکته: اگر فرایند فقط یکی از حدود مشخصات فنی بالا یا پایین را داشته باشد، برای محاسبهٔ نسبت قابلیت فرایند از یکی از روابط زیر استفاده می‌شود

$$C_{Pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad \text{اگر فقط حد مشخصهٔ فنی بالا داشته باشد}$$
$$C_{Pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad \text{اگر فقط حد مشخصهٔ فنی پایین داشته باشد} \qquad (۷_۴)$$

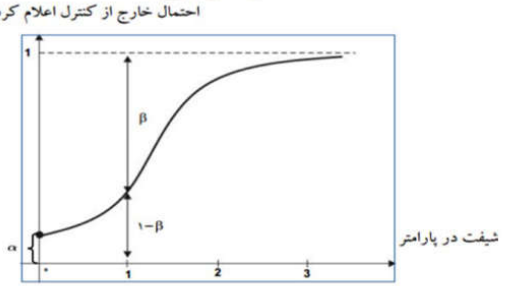
۴ـ۳ـ۶ منحنی توان آزمون و منحنی مشخصهٔ عملکرد

برای ارزیابی عملکرد و مقایسهٔ نمودارهای کنترل و همچنین تعیین اندازهٔ نمونهٔ لازم برای دستیابی به توان آزمون مدنظر از دو منحنی توان آزمون و مشخصهٔ عملکرد استفاده می‌شود.

منحنی توان[1]

منحنی توان آزمون احتمال خارج از کنترل اعلام کردن فرایند را به‌ازای مقادیر مختلف شیفت نشان می‌دهد (شکل ۴ـ۸). به عبارت دیگر، این منحنی در حالت تحت کنترل بودن فرایند، میزان احتمال خطاب نوع I یا α و در حالت خارج از کنترل، $1-\beta$ را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، اگر θ مقدار شیفت در مشخصهٔ کیفی را نشان دهد آنگاه داریم:

$$P(\text{قرار گرفتن آماره در ناحیهٔ پذیرش} \mid \theta = \theta_0) = \begin{cases} 1-\alpha(\theta_0) & \theta_0 = 0 \\ \beta(\theta_0) & \theta_0 \neq 0 \end{cases}$$



شکل ۴ـ۸ منحنی توان.

1. Power Curve

منحنی مشخصهٔ عملکرد[1]

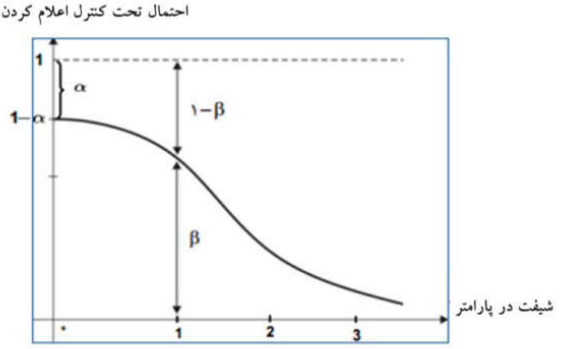
منحنی مشخصهٔ عملکرد احتمال تحت کنترل نشان‌داده شدن فرایند را به‌ازای مقادیر مختلف شیفت نشان می‌دهد (شکل ۴ـ۹). به عبارت دیگر این منحنی در حالت تحت کنترل $1-\alpha$ و در حالت خارج از کنترل میزان احتمال خطای نوع II یا β را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر:

$$P(\text{قرار گرفتن آماره در ناحیهٔ رد} \mid \theta=\theta_0)=\begin{cases}\alpha(\theta_0) & \theta_0=0\\ 1-\beta(\theta_0) & \theta_0\neq 0\end{cases}$$

در واقع دو منحنی توان و مشخصهٔ عملکرد، توانایی نمودار کنترل را در پی بردن به وجود انحراف در فرایند نشان می‌دهند.

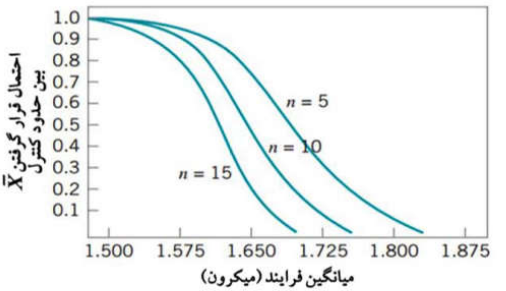
۴ـ۳ـ۷ اندازهٔ نمونه و فراوانی نمونه‌گیری

در طراحی یک نمودار کنترل، اندازهٔ نمونه و فراوانی نمونه‌گیری باید مشخص شود. به طور کلی، اندازهٔ نمونه‌های بزرگ سرعت پی بردن به وجود تغییرات در فرایند را افزایش می‌دهد. این نکته در شکل ۴ـ۱۰ نشان داده شده است. در این شکل منحنی



شکل ۴ـ۹ منحنی مشخصهٔ عملکرد.

1. Operation characteristic curve



شکل ۴ـ۱۰ منحنی‌های مشخصهٔ عملکرد برای نمودار $\bar{X}$.

مشخصهٔ عملکرد نمودار $\bar{X}$ که در شکل ۴ـ۳ نشان داده شده براساس اندازهٔ نمونه‌های مختلف رسم شده است. با در نظر گرفتن این شکل می‌توان مشاهده کرد که به عنوان مثال اگر میانگین فرایند از ۱.۵۰۰ میکرون به ۱.۶۵۰ میکرون تغییر کند آنگاه با افزایش اندازهٔ نمونهٔ n سریع‌تر می‌توان به وجود این تغییر پی برد. در زمان انتخاب اندازهٔ نمونه باید به اندازهٔ تغییر مورد نظر که می‌خواهیم به وجود آن پی ببریم توجه داشته باشیم. اگر اندازهٔ این تغییر نسبتاً زیاد باشد آنگاه اندازهٔ نمونه مورد نیاز کوچک‌تر از اندازهٔ نمونه‌ای خواهد بود که برای پی بردن به وجود تغییرات کوچک مورد نیاز است.

همان طور که قبلاً اشاره شد فراوانی نمونه‌گیری نیز باید مشخص شود. ایده‌آل‌ترین حالت آن است که اندازهٔ نمونه‌های بزرگ در فواصل زمانی کوتاه تهیه شود. ولی معمولاً چنین کاری به لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست. مشکل اصلی این کار تخصیص منابع و نیروی انسانی برای نمونه‌گیری است. به عبارت دیگر، یا باید از اندازهٔ نمونه‌های کوچک در فواصل زمانی کوتاه و یا از اندازهٔ نمونه‌های بزرگ در فواصل زمانی طولانی استفاده کرد. امروزه در صنعت (مخصوصاً فرایندهایی که حجم تولید بالایی دارند یا فرایندهایی که به‌راحتی انحرافات بادلیل مختلفی در آنها رخ می‌دهد) ترجیح داده می‌شود که از اندازهٔ نمونه‌های کوچک در فواصل زمانی کوتاه استفاده شود. به علاوه، با توسعه فناوری اندازه‌گیری و حسگر خودکار این امکان فراهم شده تا بتوان فراوانی نمونه‌گیری را به‌شدت افزایش داد. نهایت این‌که هر محصول تولیدشده را می‌توان آزمایش کرد. استفاده از حسگر خودکار، رایانه‌های قوی و

نرم‌افزارهای کنترل فرایند آماری به منظور کنترل فرایند حین تولید در زمان حقیقی سبب شده تا بعد جدیدی در کنترل فرایند آماری ایجاد شود. استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیر خودکار و میکروریانه‌ها در خطوط تولید می‌تواند روش مؤثری برای پیاده‌سازی کنترل فرایند آماری باشد.

۴ـ۳ـ۸ متوسط طول دنباله

متغیر تصادفی طول دنباله[1] تعداد نقاطی است که روی نمودار کنترل رسم می‌شوند تا یک نقطه خارج از حدود کنترل قرار بگیرد. مطابق تعریف آمده و با فرض مستقل بودن نمونه‌ها از هم، متغیر تصادفی طول دنباله از توزیع هندسی با پارامتر p (احتمال قرار گرفتن یک نقطه خارج از حدود کنترل) پیروی می‌کند که دو حالت تحت کنترل و خارج از کنترل به ترتیب برابر با α و $1-\beta$ است. به امید ریاضی طول دنباله، متوسط طول دنباله[2] یا ARL گفته می‌شود که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$ARL=\frac{1}{P}=\begin{cases}\dfrac{1}{\alpha}=ARL_0=ARL_{in-control}\Rightarrow\bar{X}:\begin{cases}k=2\Leftrightarrow\alpha=0.0455\Leftrightarrow ARL_0=22\\ k=3\Leftrightarrow\alpha=0.0027\Leftrightarrow ARL_0=370\end{cases}\\ \dfrac{1}{1-\beta}=ARL_1=ARL_{out-of-control}\Rightarrow\bar{X}:\begin{cases}\mu_1=ULC \text{ or } \mu_1=LCL\Rightarrow\beta=0.5\Rightarrow 1-\beta=0.5\Rightarrow ARL_1=2\\ \mu_1>ULC \text{ or } \mu_1<LCL\Rightarrow\beta<0.5\Rightarrow 1-\beta>0.5\Rightarrow ARL_1<2\\ LCL<\mu_1<ULC\Rightarrow\beta>0.5\Rightarrow 1-\beta<0.5\Rightarrow ARL_1>2\end{cases}\end{cases} \qquad (۴ـ۸)$$

برای یک نمودار کنترل $\bar{X}$ با حدود کنترل سه انحراف معیار، مقدار p برابر با ۰.۰۰۲۷ خواهد بود و یا به عبارت دیگر احتمال رسم یک نقطه خارج از حدود کنترل زمانی که فرایند در شرایط تحت کنترل قرار دارد برابر با ۰.۰۰۲۷ است. بنابراین متوسط طول دنباله برای نمودار کنترل $\bar{X}$ زمانی که فرایند تحت کنترل است برابر ۳۷۰ است. به عبارت دیگر اگر فرایند تحت کنترل باشد به‌طور متوسط تقریباً بعد از هر ۳۷۰ نمونه یک هشدار مشاهده خواهد شد.

تعریف متوسط زمان تا هشدار: اگر فاصلهٔ زمانی بین نمونه‌گیری‌های متوالی ثابت و برابر با h باشد، متوسط زمان تا هشدار[3] از رابطه زیر محاسبه خواهد شد.

$$ATS = ARL \times h \qquad (۴ـ۹)$$

---

1. Run Length
2. Average Run Length
3. Average Time to Signal

تعریف متوسط تعداد محصول مورد نیاز تا اعلام هشدار[1]: اگر اندازهٔ نمونه در هر بار نمونه‌گیری برابر با n باشد، ARL تا نقطهٔ (نمونه) که هر نقطه شامل n تا محصول هست، نیاز است تا یک هشدار دریافت شود.

$$I = n \times ARL \qquad (۱۰_۴)$$

مثال ۴ـ۱ فرض کنید احتمال قرار گرفتن یک نقطه خارج از حدود کنترل برابر با ۰.۳۵ و فاصله بین نمونه‌ها یک ساعت در نظر گرفته شود و از اندازهٔ نمونه‌های ۵تایی استفاده شود، بنابراین متوسط تعداد نمونه، متوسط زمان و متوسط تعداد محصول تا تشخیص تغییر ایجادشده را به دست آورید.

$$ARL = \frac{1}{p} = \frac{1}{0.35} = 2.86$$
$$ATS = ARL \times h = 2.86 \times 1 = 2.86$$
$$I = n \times ARL = 5 \times 2.86 = 14.3$$

۴ـ۳ـ۹ زیرگروه منطقی

زیرگروه‌های منطقی براساس تعریف شوهارت، همان نمونه‌های منطقی هستند که یک اصل بنیادی محسوب شده و باید در زمان استفاده از نمودار کنترل به آن توجه شود. زیرگروه‌ها یا همان نمونه‌ها باید طوری انتخاب شوند تا در صورت وجود انحراف بادلیل، پراکندگی درون نمونه‌ها حداقل و پراکندگی بین نمونه‌ها حداکثر شود. معمولاً دو رویکرد کلی برای تهیهٔ زیرگروه منطقی وجود دارد.

رویکرد اول: هر نمونه شامل واحدهایی است که هم‌زمان (یا از لحاظ زمانی خیلی نزدیک به هم) تولید شده‌اند. در این رویکرد پراکندگی درون نمونه‌ها حداقل و در صورت وجود انحرافات بادلیل، پراکندگی بین نمونه‌ها، حداکثر است.

رویکرد دوم: هر نمونه به عنوان نماینده‌ای از تمامی واحدهایی که از زمان تهیه آخرین نمونه تا به حال تولید شده است در نظر گرفته می‌شود. در این رویکرد پراکندگی درون نمونه‌ها حداکثر و بین نمونه‌ها حداقل می‌شود.

به عنوان مثال فرض کنید قرار است در هر ساعت نمونه‌ای پنج‌تایی از فرایند برداشته شود، با توجه به رویکرد اول در یک مقطع از زمان هر پنج محصول را برمی‌داریم (نمونه‌ای به اندازهٔ پنج محصول) و نتیجه را روی نمودار کنترل رسم

1. Individual units

می‌کنیم، اما براساس رویکرد دوم هر دوازده دقیقه یک محصول برمی‌داریم به عبارت دیگر نمونه‌ای به اندازهٔ پنج را در طول یک ساعت برمی‌داریم. کاربرد رویکرد اول برای پی بردن به وجود تغییرات در فرایند بوده و رویکرد دوم در موارد پذیرش یا رد تمامی اقلام تولیدشده از زمان آخرین نمونه تا به حال استفاده می‌شود.

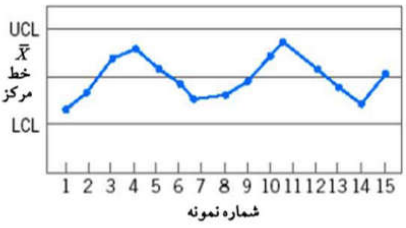
اگر فرایند در فاصلهٔ بین دو نمونه‌گیری از حالت کنترل به حالت خارج از کنترل و مجدداً به حالت کنترل برگردد رویکرد دوم عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

۴ـ۳ـ۱۰ تجزیه‌وتحلیل الگوی نمودارهای کنترل

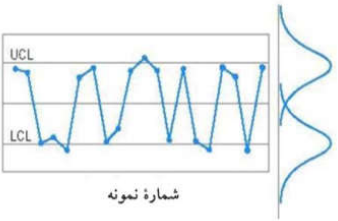
در نمودارهای کنترل گاهی ممکن است تمامی نقاط بین حدود کنترل بالا و پایین قرار گیرد، اما فرایند از نظر آماری خارج از کنترل باشد به این صورت که توالی نقاط رسم‌شده بر روی نمودار کنترل حاکی از وجود یک روند غیرتصادفی و غیرسیستماتیک در مشاهدات باشد اما هیچ نقطه‌ای خارج از حدود کنترل نیفتد. در چنین شرایطی به دنبال روش‌هایی هستیم تا بتوانیم نمودارهای کنترل را به وجود این گونه الگوها حساس کنیم. به عنوان مثال رسم ۸ نقطه متوالی در یک سمت خط مرکز به معنای خارج از کنترل بودن فرایند است. همچنین وجود یک رفتار تناوبی حاکی از خارج از کنترل بودن فرایند است. در ادامه تعدادی از الگوهای غیرتصادفی معرفی‌شده‌اند.

رفتار سیکلی یا دوره‌ای

این روند بدان معنی است که مشاهداتِ نمودار کنترل روندی کاملاً مشابه در دوره‌های زمانی یکسان داشته باشند. این گونه روندها معمولاً بیانگر بروز مشکلاتی از قبیل خستگی اپراتور و افزایش درجهٔ حرارت در فرایند می‌شوند (شکل ۴ـ۱۱).



شکل ۴ـ۱۱ یک نمودار $\bar{\bar{X}}$ با روند دوره‌ای.



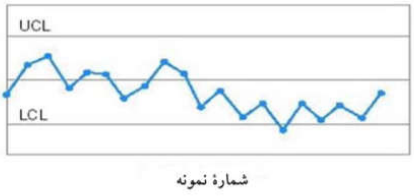
شکل ۴ـ۱۲ الگوی ترکیبی.

الگوی ترکیبی

اگر در هنگام رسم نقاط روی نمودار کنترل تعداد زیادی از آنها در نزدیکی حدود کنترل قرار گیرند و تعداد کمی از نقاط در نزدیکی خط مرکز قرار داشته باشند در این حالت الگوی ترکیبی رخ داده است. این حالت در اثر ترکیب دو یا چند توزیع آماری با سطوح میانگین متفاوت به وجود می‌آیند. در برخی از موارد این الگو به دلیل تنظیم بیش‌ازحد فرایند توسط اپراتور و در پاسخ به خطاهای تصادفی (و نه خطاهای بادلیل) اتفاق می‌افتد. در حالت دیگر اگر محصولاتی که برای اندازه‌گیری مشخصهٔ کیفی مورد نظر انتخاب می‌شوند از منابع مختلف (مثلاً ماشین‌های مختلف) باشند ممکن است این اتفاق بیفتد (شکل ۴ـ۱۲).

تغییر در میانگین فرایند

زمانی که میانگین فرایند از نقطه‌ای به بعد به سمت پایین یا بالا شیفت پیدا کند از آن به بعد حول میانگین جدید تغییرپذیری وجود خواهد داشت. این الگو ممکن است درنتیجهٔ استفاده از اپراتور جدید، تغییر روش تولید مواد اولیه و یا ماشین‌ها و یا استانداردهای بازرسی و غیره رخ دهد (شکل ۴ـ۱۳).



شکل ۴ـ۱۳ الگوی تغییر در میانگین فرایند.

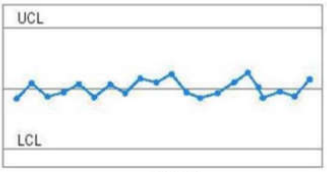
شکل ۴ـ۱۴ الگوی روند.

الگوی روند

الگوی روند یا حرکت یکنواخت در یک جهت با نقاط ترسیم‌شده روی نمودار در شکل نمایش داده شده است. این الگو معمولاً به دلیل خستگی تدریجی اپراتور، فرسودگی تدریجی ابزار و ماشین‌آلات، تغییرات فصلی مانند درجهٔ حرارت و ... رخ می‌دهد (شکل ۴ـ۱۴).

الگوی لایه‌بندی

وقتی‌که نقاط به طور سیستماتیک در اطراف خط مرکز ترسیم شوند بیانگر تبعیت فرایند از الگوی لایه‌بندی است. به عبارت دیگر در این الگو تغییرپذیری معمول در این مشاهدات وجود ندارد. یکی از دلایل بالقوه برای این موضوع محاسبهٔ اشتباه حدود کنترل است. از دیگر دلایل رخ دادن این الگو انتخاب اجزای یک نمونه از چند فرایند موازی است. درنتیجهٔ این نوع نمونه‌گیری اگر فرایندها دارای توزیع‌های آماری مختلف باشند هر نمونه شامل چند توزیع آماری می‌شوند که این موضوع ممکن است باعث ایجاد الگوی لایه‌بندی شوند. همچنین در صورتی که کمترین و بیشترین مقدار مشاهده‌شده در نمونه با یکدیگر تفاوت زیادی داشته باشند پراکندگی افزایش‌یافته، حدود نمودار کنترل از یکدیگر بازتر شده و درنتیجه نقاط به طور غیرمعمول نزدیک به خط مرکز نمودار کنترل ترسیم می‌شوند (شکل ۴ـ۱۵).



شکل ۴ـ۱۵ الگوی لایه‌بندی.

۴ـ۳ـ۱۱ قوانین حساس‌سازی نمودارهای کنترل

کتاب راهنمای وسترن **الکتریک** (۱۹۵۶) یک سری از قوانین را برای شناسایی روندهای غیرتصادفی در نمودارهای کنترل پیشنهاد می‌کند که به قوانین وسترن الکتریک مشهورند. مشاهده هریک از موارد زیر بیانگر آن واقعیت است که فرایند در حالت خارج از کنترل بسر می‌برد.

۱ـ رسم یک نقطه در خارج از حدود سه انحراف معیار
۲ـ رسم دو نقطه از سه نقطه متوالی خارج از حدود هشدار دو انحراف معیار و داخل حدود کنترل
۳ـ رسم چهار نقطه از پنج نقطه متوالی خارج از حدود یک انحراف معیار و داخل حدود کنترل
۴ـ رسم ۸ نقطه متوالی در یک طرف خط مرکز

نکته مهم در استفاده از قوانین وسترن الکتریک این است که در هر لحظه از زمان در یک طرف خط مرکز کاربرد دارند، یعنی اگر مثلاً یک نقطه بالاتر از حد هشدار بالا و نقطه بعدی پایین‌تر از حد هشدار پایین قرار گیرد، طبق این قوانین نمی‌توان نتیجه گرفت که فرایند از کنترل خارج شده است.

معیارهای دیگری نیز برای ارزیابی روندهای خارج از کنترل وجود دارد که برای حساس‌تر کردن نمودار کنترل برای پی بردن به تغییرات کوچک در فرایند و نشان دادن عکس‌العمل سریع‌تر نسبت به وجود انحرافات بادلیل می‌توان از آنها استفاده کرد. بعضی از این قوانین برمبنای تقسیم‌بندی هر سمت از خط مرکز به سه ناحیهٔ A، B و C است. معمولاً این تقسیم بدین ترتیب است که فاصلهٔ 1σ از خط مرکز را ناحیهٔ C، فاصلهٔ 1σ تا 2σ از خط مرکز را ناحیهٔ B و نهایتاً فاصلهٔ 2σ تا 3σ از خط مرکز را ناحیهٔ A می‌نامند. چند مورد از قوانین حساس‌سازی که در عمل کاربرد بیشتری دارند در ادامه بیان شده‌اند:

۱ـ یک یا چند نقطه خارج از حدود کنترل
۲ـ دو نقطه از سه نقطهٔ متوالی خارج از حدود هشدار دو انحراف معیار ولی داخل حدود کنترل
۳ـ چهار نقطه از پنج نقطهٔ متوالی خارج از حدود یک انحراف معیار
۴ـ یک تسلسل به طول ۸ نقطه در یک طرف خط مرکز
۵ـ شش نقطهٔ متوالی با روند صعودی یا نزولی
۶ـ پانزده نقطهٔ متوالی در ناحیهٔ **C**، (در بالا و پایین خط مرکز)
۷ـ چهارده نقطهٔ متوالی با روند تناوبی بالا و پایین
۸ـ ۸ نقطهٔ متوالی در دو طرف خط مرکز بدون رسم نقطه‌ای در ناحیه **C**
۹ـ یک روند غیرمعمولی یا غیرتصادفی در داده‌ها
۱۰ـ یک یا چند نقطه نزدیک به یک حد هشدار یا کنترل

می‌توان هم‌زمان چندین معیار مختلف را برای شناسایی حالت خارج از کنترل در نمودار کنترل استفاده کرد. این معیارهای اضافی را معمولاً برای حساس‌تر کردن نمودارهای کنترل به منظور پی بردن به تغییرات کوچک در فرایند و نشان دادن عکس‌العمل سریع‌تر به وجود خطاهای بادلیل به کار می‌برند.

استفاده هم‌زمان از چندین قانون حساس‌سازی احتمال خطای نوع اول را افزایش می‌دهد. اگر k قانون را هم‌زمان استفاده کنیم با فرض استقلال قوانین احتمال خطای نوع اول کل نمودار از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود

$$\alpha_{overall} = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - \alpha_i) \qquad (۱۱_۴)$$

۴ـ۴ سایر ابزارهای ۷گانه SPC

ابزارهای ۷گانه SPC در بخش (۴ـ۱) معرفی شدند را مجدداً در زیر عنوان می‌کنیم:

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

هیستوگرام را در فصل ۲ و نمودار کنترل را در بخش ۴ـ۲ معرفی کردیم. در ادامه سایر ابزارها را به طور خلاصه شرح می‌دهیم.

۴ـ۴ـ۱ برگهٔ کنترل

در مراحل اولیه برای جمع‌آوری و ثبت داده‌ها از برگهٔ کنترل[1] استفاده می‌شود. برگهٔ کنترل از نظر چگونگی ثبت و جمع‌آوری اطلاعات در گام‌های بعدی اهمیت زیادی دارد. رعایت ترتیب زمانی ثبت داده‌ها، کارهای بعدی را هموارتر می‌کند. اطلاعاتی که در یک برگهٔ کنترل وجود دارد عبارت‌اند از: ۱) داده‌های مربوط به مشخصه کیفی، ۲) نوع داده‌هایی که باید جمع‌آوری شود، ۳) مشخصات زمانی، ۴) محل جمع‌آوری داده‌ها و ۵) روش جمع‌آوری داده‌ها و...

1. Check Sheet

برگهٔ کنترل مناسب که با توجه به ماهیت و نوع داده‌ها تنظیم می‌شود. می‌تواند تحلیل داده‌ها را آسان و دقیق کند. تعدادی از انواع برگه داده‌ها عبارت‌اند از:
الف) برگهٔ کنترل توزیع فرایند تولید، ب) برگهٔ کنترل اقلام معیوب، ج) برگه، کنترل مکان و علت عیب، د) برگه کنترل بازرسی.

برگهٔ کنترل نشان داده‌شده در شکل ۴ـ۱۶ یک مهندس هوافضا به منظور بررسی نقص‌های مشاهده‌شده در یک مخزن طراحی کرده است. این برگه کنترل بر اساس کلیهٔ اطلاعات موجود در مورد نقص‌های مخزن تهیه شده است. از آن‌جایی که در طول هر ماه تعداد کمی مخزن تولید می‌شود لذا جمع‌آوری داده‌ها به صورت ماهانه به شناسایی عیب‌ها کمک خواهد کرد. حفظ ترتیب زمانی داده‌ها نیز به شناسایی روند کمک خواهد کرد. به عنوان 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.

برگهٔ کنترل داده‌های نقص سال ۲۰۰۲

شمارهٔ بخش: **A-41**
مکان:
تاریخ
بررسی:
کنترل‌کننده:

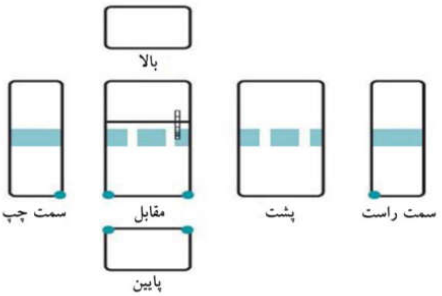
نقص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	جمع
۲۰۰۲								
ایراد ماشین‌کاری	۱			۳		۲		۶
فرایند خارج از دستور		۲			۳		۴	۹
جوشکاری ناموزون	۱	۱	۱					۳
ابعاد نامناسب	۶	۳	۱				۲	۱۲
اشکال در رنگ				۱		۱	۳	۵
جمع کل	۸	۶	۲	۴	۳	۳	۹	۳۵

شکل ۴ـ۱۶ برگهٔ کنترل برای ثبت نقایص مشاهده‌شده در مخزنی که در صنایع هوافضا کاربرد دارد.

۴ـ۴ـ۲ نمودار تمرکز نقص‌ها

این نمودار تصویری از محصول است که تمام نماهای مورد نظر را نشان می‌دهد. مثلاً اگر محصول تلویزیون باشد این نمودار تصویر آن را از همهٔ نماها (عقب ـ جلو ـ بالا به پایین ـ چپ و راست) نشان می‌دهد و لذا می‌توان محل یا محل‌های ایجاد عیب را بر روی محصول معین کرد و با تجزیه‌وتحلیل آنها اطلاعات مفیدی در مورد علل بالقوهٔ ایجاد عیب‌ها کسب کرد. در این نمودار اغلب از رنگ‌های مختلف برای نشان دادن عیوب مختلف استفاده می‌شود. نمودارهای تمرکز نقص‌ها ابزار مناسبی برای رفع مشکل در صنایعی نظیر آبکاری، رنگ‌کاری، ماشین‌کاری و مونتاژ به حساب می‌آید.

یک نمودار تمرکز نقص برای مرحلهٔ نهایی فرایند مونتاژ یخچال در شکل ۴ـ۱۷ نشان داده شده است. نقص‌های سطحی یخچال در ناحیه‌های رنگ‌شده مشخص شده است. با بررسی این نمودارها مشاهده می‌کنیم که درصد زیادی از نقص‌ها در واحد حمل‌ونقل ایجاد شده است. واحد حمل‌ونقل، قبل از جابه‌جا کردن یخچال‌ها آنها را ابتدا با تسمه‌ای به صورت خیلی شل یا خیلی محکم می‌بندد. این تسمه‌ها ممکن است پوسیده و از مواد نامناسب ساخته شده باشند 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 عوامل بروز نقص در فرایند حمل‌ونقل باشد به هر حال، با استفاده از روش‌های صحیح حمل‌ونقل می‌توان این فرایند را به طور قابل توجهی بهبود داد.

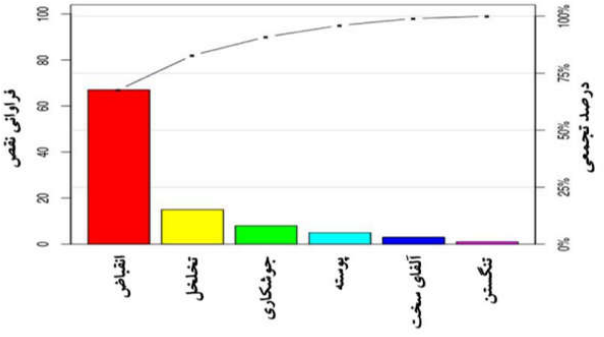


شکل ۴ـ۱۷ نقص‌های مشاهده‌شده در سطح یخچال.

۴ـ۴ـ۴ نمودار پارتو[1]

این نمودار یک هیستوگرام است که برای داده‌های کیفی به کار می‌رود و داده‌ها را از چپ به راست به ترتیب نزولی فراوانی مطلقشان مرتب می‌کند و برای شناسایی پرتکرارترین عامل در ایجاد نقص‌ها مثل ابزارآلات، دستگاه یا افراد به کار می‌رود. روش رسم این نمودار به شرح زیر است.

این نمودار دارای یک محور افقی مربوط به عوامل مورد بررسی و دو محور عمودی در سمت چپ و راست است. محور عمودی سمت چپ مربوط به فراوانی مطلق f_i و محور عمودی سمت راست درصد فراوانی تجمعی نسبی $\left(G_i = \frac{f_i}{n} \times 100\right)$ است. همچنان که پیش از این ذکر شد، برای رسم نمودار پارتو عوامل مورد بررسی برحسب f_iها به طور نزولی از چپ به راست مرتب می‌شوند. سپس یک خط شکسته متناسب با G_iها به طور صعودی رسم می‌شود. شکل (۴ـ۱۸) نمونه‌ای از نمودار پارتو برای فرایند ریخته‌گری را نشان می‌دهد.



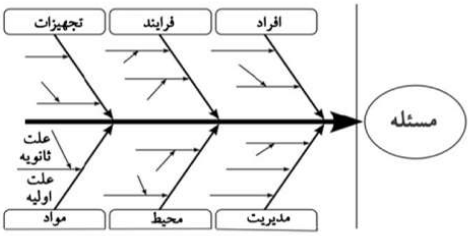
شکل ۴ـ۱۸ نمودار پارتو برای فرایند ریخته‌گری.

1. Pareto chart

بعد از رسم نمودار پارتو و شناسایی عامل با بیشترین فراوانی مطلق باید اقدامات اصلاح آن عامل را آن‌قدر ادامه داد تا در نمودارهای بعدی ترتیب این ستون‌ها عوض شود. البته اگر ترتیب هم عوض نشود ولی ارتفاع مستطیل‌ها کاهش یابد باز هم اصلاح مؤثر بوده است.

۴ـ۴ـ۵ نمودار علت و معلول

در یک فرایند، پاسخ یا خروجی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که می‌توان بین آنها ارتباط علت و معلولی برقرار کرد. به نموداری که ارتباط میان یک مشخصهٔ کیفی و عوامل مؤثر بر آن را نشان می‌دهد نمودار علت و معلول گفته می‌شود. این نمودار را که به آن نمودار اسکلت ماهی هم می‌گویند در سال ۱۹۵۳ ایشیکاوا در صنعت ژاپن معرفی کرد و امروزه کاربرد وسیعی در همهٔ شاخه‌ها دارد. برای رسم این نمودار ابتدا یک مشخصهٔ کیفی را تعیین می‌کنند و آن را به عنوان معلول در نظر گرفته داخل یک مستطیل در سمت راست قرار می‌دهند. سپس عوامل اصلی و اولیه را که روی معلول اثر دارند به عنوان استخوان‌های بزرگ درون مربع‌هایی در دو طرف خط اصلی (ستون فقرات ماهی) می‌نویسند. بعد از آن عوامل فرعی را به عنوان زیرشاخهٔ علت مانند استخوان‌های کوچک قرار می‌دهند و پس از تحلیل و بررسی علت‌ها به وزن‌دهی آنها پرداخته می‌شود. در شکل ۴ـ۱۹ یک نمودار علت و معلول به صورت کلی رسم شده است. در تعیین عوامل اصلی و فرعی باید از روش توفان ذهنی[1] کمک گرفت. هرچند برای یافتن عوامل اصلی می‌توان از نمودار پارتو نیز کمک گرفت.



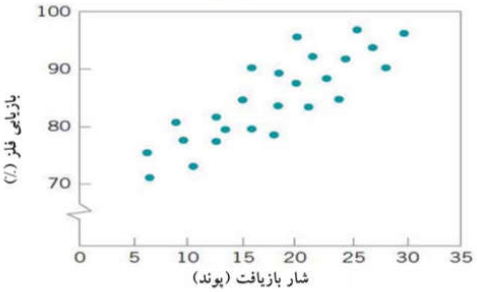
۴ـ۱۹ نمودار علت و معلول.

1. Brain storming

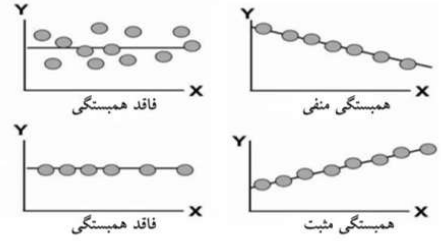
۴ـ۴ـ۶ نمودار پراکندگی (پراکنش)

در این نمودار می‌توان روند تعامل بین دو متغیر را هم‌زمان مشاهده کرد. در حقیقت این نمودار می‌تواند نوع رابطه بین دو متغیر را تا حدودی تعیین کند. یعنی پس از آن که در نمودار علت و معلول توانستیم علت‌های مهم را شناسایی کنیم توسط این نمودار می‌توانیم نوع رابطهٔ بین آنها را مشخص کنیم تا نحوهٔ کنترل علت برای بهینه‌سازی معلول را به کار بریم. روش رسم این نمودار به این گونه است که متغیر مستقل (علت) را روی محور افقی و متغیر وابسته (معلول) را روی محور عمودی قرار می‌دهیم و داده‌های مشاهده‌شده را به صورت نقطه در این دستگاه رسم می‌کنیم.

شکل ۴ـ۲۰ وجود رابطهٔ مستقیم بین دو متغیر را نشان می‌دهد. انواع همبستگی‌ها را می‌توان در نمودارهای ۴ـ۲۱ مشاهده کرد.



شکل ۴ـ۲۰ نمودار پراکندگی.



شکل ۴ـ۲۱ انواع نمودارهای پراکندگی.

همان طور که مشاهده می‌شود وقتی همبستگی کامل است که مشاهدات بر روی یک خط مستقیم باشند و ناهمبستگی عدم وجود رابطه خطی بین متغیرهاست.

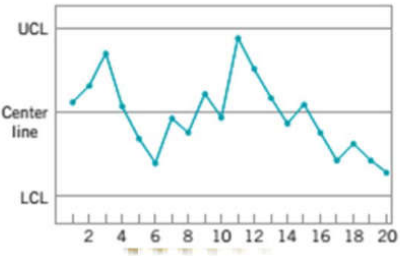
۵ـ۴ تمرین‌ها

۱ـ منظور از اینکه یک فرایند تحت کنترل آماری است، چیست؟

۲ـ حدود هشدار در نمودارهای کنترل چیست؟ چگونه از آنها استفاده می‌شود؟

۳ـ اگر ترتیب زمانی داده‌های یک فرایند تولید ثبت نشده باشد آیا می‌توان حضور انحراف بادلیل را شناسایی کرد؟

۴ـ نمودار کنترل زیر را در نظر بگیرید. آیا نقاط روند تصادفی دارند؟



۵ـ یک فرایند تحت کنترل از توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار معلوم پیروی می‌کند. نمودار کنترل $\overline{X}$ که برای کنترل این فرایند استفاده می‌شود دارای حدود سه انحراف معیار است که در این صورت احتمال رسم یک نقطه خارج از حدود کنترل زمانی که فرایند تحت کنترل باشد ۰.۰۰۲۷ خواهد بود. فرض کنید از این نمودار در فاز I استفاده می‌شود و قرار است میانگین‌های حاصل از m نمونه بر روی این نمودار رسم شود. احتمال خارج از کنترل رسم شدن حداقل یکی از میانگین‌ها به‌ازای $m=5$ را محاسبه کنید.

۶ـ در صورتی که در یک نمودار شوهارت، مقدار $ARL=10$ باشد، احتمال پی بردن به وجود تغییر به وسیله نمونه بعد از ایجاد تغییر را حساب کنید؟

۷ـ در صورتی که در یک نمودار کنترل شوهارت $ARL=4$ باشد، احتمال پی بردن به تغییر در حداقل ۲ نمونه اولیه چقدر است؟

۸ـ چنانچه ARL برای یک نمودار در یک شیفت مشخص برابر با ۱۰ باشد. متوسط تعداد نقاطی که روی نمودار کنترل رسم می‌شود تا یک نقطه خارج از حدود کنترل مشاهده شود را پیدا کنید.

۹ـ برای پایش یک مشخصهٔ کیفی که دارای توزیع نرمال با میانگین ۵ و واریانس ۱ است از یک نمودار کنترل $\overline{X}$ با اندازهٔ نمونهٔ ۴ و ARL_{22} تقریباً برابر با ۲۲ استفاده شده است. حد کنترل بالای نمودار کنترل $\overline{X}$ را به دست آورید؟

۱۰ـ از یک نمودار $\overline{X}$ برای کنترل میانگین یک مشخصهٔ کیفی استفاده می‌شود. انحراف استاندارد فرایند $\sigma = 6$، اندازهٔ نمونهٔ $n = 4$ و $CL = 200$، $UCL = 209$، $LCL = 191$، در نظر گرفته شده‌اند. اگر میانگین فرایند به ۱۸۸ تغییر یابد، احتمال کشف این تغییر با اولین نمونه بعد از تغییر چقدر است؟

۱۱ـ در یک نمودار کنترل شوهارت با حدود سه انحراف معیار از قانون حساس‌سازی رسم سه نقطهٔ متوالی در یک طرف خط مرکز استفاده می‌شود. در این صورت، این نمودار تقریباً پس از رسم هرچند نمونه، یک هشدار اشتباهی خواهد داد؟

۱۲ـ از یک نمودار کنترل $\overline{X}$ با حدود ۳ انحراف معیار و حدود کنترل بالا و پایین ۹ و ۵ برای کنترل میانگین یک مشخصهٔ کیفی با حدود مشخصهٔ فنی پایین و بالای ۴ و ۱۰ استفاده می‌شود. در صورتی که اندازهٔ نمونه داخل هر زیر گروه برابر با ۹ باشد احتمال تولید محصول معیوب را محاسبه کنید؟

۵

نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر

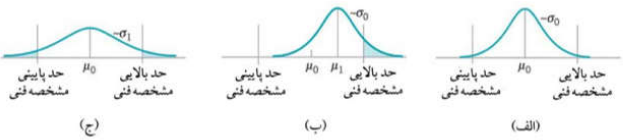
اهداف فصل

۱ـ آشنایی با فازهای ۱ و ۲ در کنترل آماری فرایند؛
۲ـ معرفی نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R؛
۳ـ معرفی نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S؛
۴ـ معرفی نمودار کنترل S^2.

۵ـ۱ مقدمه

در این فصل به معرفی نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر می‌پردازیم. این گونه مشخصه‌های کیفی را می‌توان برحسب یک اندازهٔ عددی بیان کرد. به عنوان مثال، قطر داخلی یک یاتاقان را می‌توان به وسیلهٔ میکرومتر اندازه‌گیری و برحسب میلی‌متر گزارش کرد. مشخصه‌های کیفی قابل اندازه‌گیری نظیر ابعاد، وزن و یا حجم را مشخصه‌های کیفی متغیر می‌نامند. برای استفاده از نمودارهای کنترل ارائه‌شده در این فصل فرض می‌شود که توزیع مشخصهٔ کیفی نرمال است.

معمولاً زمانی که با مشخصه‌های کیفی متغیر سروکار داشته باشیم ضروری است که میانگین و واریانس آن را هم‌زمان کنترل کنیم. باید به این نکته توجه شود که کنترل هر دو مقدار میانگین و تغییرپذیری فرایند اهمیت ویژه‌ای دارد. شکل ۵ـ۱ خروجی یک



شکل ۵ـ۱ ضرورت کنترل هم‌زمان میانگین و تغییرپذیری فرایند.

فرایند تولید را نشان می‌دهد. در شکل ۵ـ۱(الف) میانگین و انحراف معیار، دارای مقادیر اسمی خود (مثلاً μ_0, δ_0) هستند. درنتیجه درصد زیادی از تولیدات به علت تحت کنترل بودن فرایند بین حدود مشخصات قابل قبول واقع می‌شود. در شکل ۵ـ۱(ب) میانگین به مقدار $\mu_1 > \mu_0$ تغییر پیدا کرده است و درنتیجه نسبت اقلام معیوب فرایند نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۵ـ۱(ج) انحراف معیار فرایند به $\delta_1 > \delta_0$ تغییر پیدا کرده و این تغییر سبب افزایش نسبت اقلام معیوب فرایند شده است.

همچنان که در فصل ۴ ذکر شد، اگر مشخصهٔ کیفی با آماره W با میانگین μ_W و انحراف معیار σ_W پایش شود، حدود کنترل K انحراف معیار نمودار کنترل شوهارت این مشخصهٔ کیفی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{cases} UCL = \mu_W + k\,\sigma_W \\ CL = \mu_W \\ LCL = \mu_W - k\,\sigma_W \end{cases} \qquad (۱ـ۵)$$

از طرف دیگر حدود کنترل در واقع ناحیهٔ پذیرش H برای آمارهٔ آزمون است و در نمودار کنترل $\bar{X}$ که مشخصهٔ کیفی دارای توزیع نرمال است $K = Z_{\alpha/2}$ خواهد بود. در این نمودار کنترل چنانچه $K = 3$ اختیار شود به معنای آن است که $Z_{\alpha/2} = 3$ و درنتیجه از روی جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد مقدار احتمال خطای نوع ۱ نمودار کنترل $\bar{X}$ برابر با ۰.۰۰۲۷ خواهد شد.

۵ـ۲ فازهای ۱ و۲ در نمودارهای کنترل

برای پایش یک مشخصهٔ کیفی در نمودارهای کنترل، دو فاز تعریف می‌شود که این دو فاز دارای اهداف، معیارهای ارزیابی و روش‌های آماری مختلفی هستند.

هدف فاز ۱ تخمین پارامترهای فرایند و حدود کنترل است. بدین منظور، در ابتدا تعدادی نمونهٔ تصادفی از فرایند گرفته می‌شود و نمودار کنترل اولیه برمبنای آن رسم می‌شود. سپس، قرار گرفتن تمامی نمونه‌ها در حدود کنترل به‌دست‌آمده را چک می‌کنیم. اگر تمامی نقاط داخل حدود کنترل قرار گرفته باشند، فاز ۱ به اتمام رسیده است. در غیر این صورت تحت کنترل بودن فرایند در حین گرفتن نمونه‌ها بررسی می‌شود. در صورتی که انحراف با دلیلی شناسایی شود اطلاعات مربوط به آن را حذف می‌کنیم و فاز ۱ را مجدداً تکرار می‌کنیم تا مطمئن شویم داده‌های باقیمانده مربوط به حالت تحت کنترل است. سپس پارامترهای فرایند و حدود کنترل نمودار را برآورد می‌کنیم. اما اگر نتوان انحراف بادلیلی برای آن تعیین کرد، دو کار می‌توان انجام داد:

۱ـ نقطهٔ مورد نظر را با فرض اینکه انحراف بادلیلی برای آن وجود دارد حذف کرد.

۲ـ این نقطه را حذف نکنیم و فرض کنیم که این نقطه مربوط به حالت تحت کنترل است که تصادفی خارج حدود کنترل قرار گرفته است. درنتیجه حدود کنترل به‌دست‌آمده را برای کنترل تولیدات فعلی استفاده کنیم.

در فاز۲، از تخمین پارامترها و حدود کنترل به‌دست‌آمده از فاز ۱، برای تولیدات آتی استفاده می‌کنیم و بررسی می‌کنیم آیا فرایند تحت کنترل آماری است یا خیر. اگر نمودار کنترل حالت خارج از کنترل را نشان دهد به دنبال علل آن می‌گردیم و سعی در برطرف کردن آنها می‌کنیم.

در فاز۱، معیار مقایسهٔ عملکرد نمودارهای کنترل مختلف، توان آنها در شناسایی رخداد انحراف بادلیل است به‌ازای یک مقدار خطای نوع I ثابت است. از آنجایی که در فاز ۲ هدف کشف سریع شیفت در فرایند است، برای مقایسهٔ عملکرد نمودارهای کنترل مختلف، از متوسط طول دنباله یا ARL استفاده می‌شود.

۵ـ۳ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R

نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R از پرکاربردترین نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر محسوب می‌شوند. به منظور اجرای فاز ۱ ابتدا باید ۴ پارامتر $\mu_{\bar{X}}$، μ_R، $\sigma^2_{\bar{X}}$ و σ^2_R را تخمین بزنیم. برای این منظور فرض کنید m نمونه هر یک شامل n محصول از فرایند را جمع‌آوری کرده‌ایم معمولاً تعداد نمونه‌ها (m) حدود ۲۰ الی ۲۵ و اندازهٔ نمونه (n) کوچک و حدود ۴ و ۵ و ۶ است. فرض کنید مشاهدهٔ j ام از نمونه iام را با X_{ij} نشان دهیم. در این صورت مقادیر $\bar{X}$ و R برای هر یک از m نمونه به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$\bar{X}_i = \frac{X_{i1} + \ldots + X_{in}}{n} \qquad i = 1, 2, \ldots, n \tag{۲ـ۵}$$

$$R_i = \max_j \{X_{ij}\} - \min_j \{X_{ij}\} \qquad i = 1, 2, \ldots, n \tag{۳ـ۵}$$

اکنون $\mu_{\bar{X}}$، μ_R را می‌توان با روابط (۵ـ۴) و (۵ـ۵) تخمین زد.

$$\hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \ldots + \bar{X}_m}{m} \tag{۴ـ۵}$$

$$\hat{\mu}_R = \bar{R} = \frac{R_1 + \ldots + R_m}{m} \tag{۵ـ۵}$$

برای تخمین دو پارامتر $\sigma^2_{\bar{X}}$ و σ^2_R باید به این نکته توجه شود که اگر توزیع مشخصهٔ کیفی نرمال باشد آنگاه یک رابطهٔ شناخته‌شده بین دامنهٔ نمونه و انحراف معیار آن وجود دارد. متغیر تصادفی $W = \frac{R}{\sigma}$ دامنهٔ نسبی[1] نامیده می‌شود. پارامترهای توزیع متغیر تصادفی W تابعی از اندازهٔ نمونهٔ n هستند. میانگین و انحراف معیار W به ترتیب برابر با d_2 و d_3 هستند که مقادیر آنها برای اندازهٔ نمونه‌های مختلف در جداول ضمائم ارائه شده‌اند. با توجه به تعریف W داریم:

$$E(R) = E(W) \times \sigma = d_2 \sigma \Rightarrow \hat{\sigma} = \frac{E(R)}{d_2} = \frac{\bar{R}}{d_2} \tag{۶ـ۵}$$

$$\sigma_R = \sigma_W \sigma = d_3 \sigma \Rightarrow \hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \tag{۷ـ۵}$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \tag{۸ـ۵}$$

بنابراین حدود کنترل k انحراف معیار برای نمودارهای $\bar{X}$ و R در فاز ۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\bar{X} \rightarrow \begin{cases} UCL = \hat{\mu}_{\bar{X}} + k\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + k\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \\ CL = \hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \\ LCL = \hat{\mu}_{\bar{X}} - k\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - k\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \end{cases} \tag{۹ـ۵}$$

1. Relative Efficiency

$$R \rightarrow \begin{cases} UCL = \hat{\mu}_R + k\hat{\sigma}_R = \overline{R} + kd_3\dfrac{\overline{R}}{d_2} \\ CL = \hat{\mu}_R = \overline{R} \\ LCL = \hat{\mu}_R - k\hat{\sigma}_R = \overline{R} - kd_3\dfrac{\overline{R}}{d_2} \end{cases} \qquad (۱۰\text{ـ}۵)$$

اگر از حدود ۳ انحراف معیار استفاده کنیم داریم:

$$\overline{X} \rightarrow \begin{cases} \mathrm{UCL} = \bar{\bar{X}} + 3\dfrac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \\ \mathrm{CL} = \hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \\ \mathrm{LCL} = \bar{\bar{X}} - 3\dfrac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \end{cases} \qquad (۱۱\text{ـ}۵)$$

$$R \rightarrow \begin{cases} UCL = \overline{R} + 3d_3\dfrac{\overline{R}}{d_2} = \overline{R}\left(1 + 3\dfrac{d_3}{d_2}\right) = D_4\overline{R} \\ CL = \overline{R} \\ LCL = \overline{R} - 3d_3\dfrac{\overline{R}}{d_2} = \overline{R}\left(1 - 3\dfrac{d_3}{d_2}\right) = D_3\overline{R} \end{cases} \qquad (۱۲\text{ـ}۵)$$

نکته: در فاز ۱، در زمان تهیهٔ نمودارهای کنترل $\overline{X}$ و R، بهتر است ابتدا وضعیت تحت کنترل بودن نمودار کنترل R مورد بررسی قرار گیرد، زیرا حدود کنترل نمودار $\overline{X}$ بستگی به تغییرپذیری فرایند دارد و اگر تغییرپذیری تحت کنترل نباشد، حدود نمودار کنترل $\overline{X}$ بی‌معناست.

در فاز ۱ نمودارهای کنترل، زمانی که از نمونه‌های اولیه برای تهیهٔ نمودارهای کنترل استفاده می‌شود، حدود کنترل محاسبه‌شده را حدود کنترل آزمایشی می‌نامند. اگر تمام نقاط داخل حدود کنترل رسم شوند و هیچ روندی مشاهده نشود، نتیجه می‌شود که در زمان تهیهٔ نمونه‌ها، فرایند تحت کنترل بوده و حدود کنترل آزمایشی به‌دست‌آمده برای تولیدات فعلی و آتی قابل استفاده است. اگر یک یا چند نقطه خارج از حدود کنترل قرار گرفتند، به جستجو برای یافتن انحرافات بادلیل مربوط به آن نمونه‌ها می‌پردازیم و نمونه‌هایی را که برای آنها انحراف بادلیل تشخیص داده‌ایم از فهرست داده‌ها حذف و با نمونه‌های باقیمانده، مجدداً مقادیر $\bar{\bar{x}}$ و $\overline{R}$ را محاسبه کرده و حدود کنترل آزمایشی جدید را به دست می‌آوریم. اگر برای نقطه یا نقاطی انحراف بادلیلی پیدا نشد همان‌طور

که قبلاً ذکر شد، یک انتخاب این است که آنها را حذف کنیم که هیچ توجیهی برای این کار وجود ندارد به غیر از اینکه فرض شود این نقاط مربوط به توزیع حالت خارج از کنترل بوده است. انتخاب دیگر این است که فرض شود فرایند تحت کنترل بوده است و این نقاط به صورت اشتباهی خارج از حدود کنترل قرار گرفته‌اند و لذا این نقاط را از فهرست مشاهدات حذف نمی‌کنیم و برای محاسبهٔ حدود کنترل از آنها استفاده می‌کنیم. اگر نقاط مورد نظر واقعاً مربوط به حالت خارج از کنترل باشند، حفظ اشتباهی آنها معمولاً سبب می‌شود که فاصله بین حدود کنترل، زیاد محاسبه شود. البته اگر فقط یک یا دو نقطه چنین شرایطی داشته باشند، تأثیر معناداری روی عملکرد نمودار کنترل نمی‌گذارند. چنانچه تعداد نقاط خارج از کنترل زیاد باشد، بدیهی است که اگر این نقاط به صورت دلخواه حذف شوند، تعداد نقاط باقیمانده برای محاسبهٔ حدود کنترل قابل اطمینان نیست و همچنین بخش عمده‌ای از اطلاعات از بین می‌رود. تجربه نشان داده است در چنین مواقعی معمولاً با بررسی روند نقاط خارج از کنترل، شناسایی انحرافات بادلیل این نقاط معمولاً چندان مشکل نیست و این کار سبب بهبود در فرایند می‌شود.

بعد از حذف نقاط خارج از کنترل و رسم حدود جدید، مجدداً آماره‌های $\overline{X}$ و R مربوط به نمونه‌های باقیمانده را روی نمودارهای به‌دست‌آمده ترسیم می‌کنیم. باید توجه داشت که نقاطی که قبلاً تحت کنترل بوده‌اند ممکن است پس از اصلاح حدود کنترل آزمایشی در داخل حدود قرار نگیرند، چون ممکن است حذف نقاط باعث کم شدن $\overline{R}$ و برآورد تغییرپذیری شود و حدود کنترل آزمایشی جدید تنگ‌تر از حدود قبلی باشد. روند حذف نمونه‌ها را تا جایی ادامه می‌دهیم که هر دو نمودار $\overline{X}$ و R پس از رسم مقادیر مربوط به نمونه‌های باقیمانده، حالت تحت کنترل را نشان دهند.

در این حالت فاز ۱ به پایان رسیده و حدود کنترل آزمایشی به‌دست‌آمده برای نمودارهای $\overline{X}$ و R استفاده می‌شوند و می‌توان آنها را برای تولیدات فعلی و آتی استفاده کرد.

نمودار به‌دست‌آمده برای استفاده در فاز ۲ آماده به‌کارگیری است. در این مرحله نمونه‌های جدید را در طول زمان برداشته و برای هر کدام مقادیر $\overline{X}_i$ و R_i را محاسبه کرده و روی نمودارها ترسیم می‌کنیم. در هر مرحله از نمونه‌گیری اگر نقاط خارج از حدود کنترل قرار گرفتند، فرایند خارج از کنترل اعلام شده و اقدام اصلاحی برای تنظیم فرایند صورت می‌گیرد.

باید گفت که اگر مشاهدات از توزیع نرمال پیروی کنند آماره‌های ترسیمی روی نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R از یکدیگر مستقل هستند. اگر این آماره‌ها از یکدیگر مستقل نبوده و از نظم خاصی پیروی کنند، مشاهدات از توزیع نرمال فاصله گرفته‌اند.

باید توجه داشت که در فاز ۱ نمودار کنترل R، حذف یک نقطه از پایین نمودار کنترل، حدود کنترل را به هم نزدیک نمی‌کند. زیرا در این صورت $\bar{R}$ زیاد شده و فاصلهٔ $LCL = D_3\bar{R}$ و $UCL = D_4\bar{R}$ زیاد می‌شود. علت این موضوع این است که پراکندگی نمودار کنترل R به وسیلهٔ $\bar{R}$ برآورد می‌شود. همچنین توجه داشته باشید که در فاز ۱ نمودار کنترل R، حذف یک نقطه از بالای نمودار کنترل، حدود کنترل را به هم نزدیک می‌کند. زیرا در این صورت $\bar{R}$ کم شده و فاصلهٔ $LCL = D_3\bar{R}$ و $UCL = D_4\bar{R}$ کم می‌شود.

مثال ۵ـ۱ در یک نمودار کنترل R، $\sum_{i=1}^{21} R_i = 49$ و از بین ۲۱ زیرگروه، زیرگروه ششم با $R_6 = 9$ خارج از حدود کنترل R قرار گرفته است. با فرض اینکه حذف زیرگروه ششم فرایند را پایدار می‌کند و میانگین دامنهٔ نسبی به‌ازای اندازهٔ نمونهٔ مفروض برابر با ۲ است. یک برآوردکنندهٔ ناریب انحراف معیار فرایند کدام است؟

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 6}}^{21} R_i = 40, d_2 = 2$$

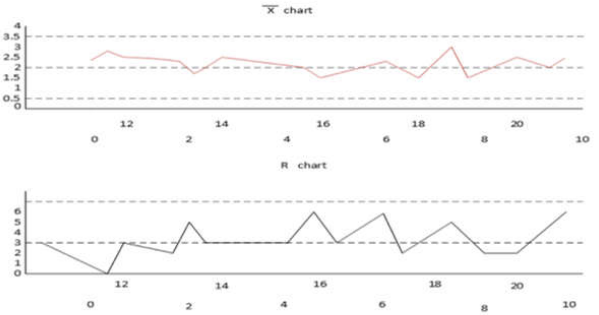
$$\bar{R} = \frac{40}{20} = 2 \Rightarrow \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1$$

مثال ۵ـ۲ یک فرایند با استفاده از نمودار کنترل $\bar{X}$ با خط مرکز ۱۰۰ و نمودار کنترل R با خط مرکز ۷.۳ و $n=4$ شرایط تحت کنترل را نشان می‌دهد، یک برآورد ناریب انحراف معیار فرایند کدام است؟ $(A_2 = 0.73)$

$$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \Rightarrow 0.73 = \frac{3}{d_2 \times 2} \Rightarrow d_2 = \frac{3}{0.73 \times 2}$$

$$CL_R = d_2\hat{\sigma} \Rightarrow \hat{\sigma} = \frac{CL_R}{d_2} = 3/5$$

مثال ۵ـ۳ نمودار کنترل زیر را در نظر بگیرید. اگر اندازهٔ نمونه برابر ۴ باشد، برآورد ناریب انحراف معیار فرایند چیست؟



$$\frac{\mathrm{UCL}_{\bar{X}}-\mathrm{LCL}_{\bar{X}}}{6}=\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}\Rightarrow\frac{3.5-0.5}{6}=\frac{\hat{\sigma}}{2}\Rightarrow\hat{\sigma}=1$$

اگر در فرایندی μ و σ معلوم باشند، یعنی در فاز ۲ کنترل فرایند آماری هستیم و دیگر نیازی به تخمین آنها نیست و از مقادیر دقیق آنها در محاسبهٔ حدود کنترل استفاده می‌کنیم. در این حالت حدود کنترل دو نمودار $\bar{X}$ و R به شرح زیر هستند:

$$\bar{X}\rightarrow\begin{cases}UCL=\mu_{\bar{X}}+k\,\sigma_{\bar{X}}=\mu+k\,\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}\\ CL=\mu_{\bar{X}}=\mu\\ LCL=\mu_{\bar{X}}-k\,\sigma_{\bar{X}}=\mu-k\,\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}\end{cases}\qquad(۱۳\text{ـ}۵)$$

$$R\rightarrow\begin{cases}UCL=\mu_R+k\,\sigma_R=d_2\sigma+kd_3\sigma\\ CL=\mu_R=d_2\sigma\\ LCL=\mu_R-k\,\sigma_R=d_2\sigma-kd_3\sigma\end{cases}\qquad(۱۴\text{ـ}۵)$$

نکته: با افزایش اندازهٔ نمونه حدود کنترل نمودار کنترل $\bar{X}$ تنگ‌تر می‌شود.

حال اگر از حدود کنترل ۳ انحراف معیار استفاده کنیم، حدود کنترل نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{X}\rightarrow\begin{cases}\mathrm{UCL}=\mu+\dfrac{3}{\sqrt{n}}\sigma=\mu+A\sigma\\ \mathrm{CL}=\mu\\ \mathrm{LCL}=\mu-\dfrac{3}{\sqrt{n}}\sigma=\mu-A\sigma\end{cases}\qquad(۱۵\text{ـ}۵)$$

$$R\rightarrow\begin{cases}UCL=d_2\sigma+3d_3\sigma=(d_2+3d_3)\sigma=D_2\sigma\\CL=d_2\sigma\\LCL=d_2\sigma-3d_3\sigma=(d_2-3d_3)\sigma=D_1\sigma\end{cases}\qquad(۱۶\text{ـ}۵)$$

که در روابط بالا داریم $A=\frac{3}{\sqrt{n}}$ ، $D_2=d_2+3d_3$ و $D_1=d_2-3d_3$. مقادیر A، D_1 و D_2 که به اندازهٔ نمونه بستگی دارند، به‌ازای اندازهٔ نمونه‌های مختلف در جداول پیوست قابل مشاهده هستند.

مثال ۵ـ۴ اگر میانگین و انحراف معیار دامنه نسبی به ترتیب برابر با ۲ و ۰.۹ باشند، با فرض اینکه انحراف معیار فرایند برابر با ۲ است حدود کنترل ۳ انحراف معیار نمودار کنترل دامنه را محاسبه کنید.

$$d_2=2;d_3=0.9;\sigma=2\Rightarrow(LCL,UCL)=(d_2\sigma\pm3d_3\sigma)=(4\pm5.4)=(0,9.4)$$

مثال ۵ـ۵ حد کنترل بالا و پایین ۳ انحراف معیار نمودار کنترل R در فاز ۲ به ترتیب برابر با ۱۰ و ۴ بوده و برای کنترل انحراف معیار فرایند $\sigma=1$ فرض شده است، حدود کنترل ۲ انحراف معیار نمودار کنترل R را محاسبه کنید.

$$LCL_{k=3}=4;UCL_{k=3}=10;\sigma=1$$
$$CL=d_2\sigma=\frac{LCL+UCL}{2}=7$$
$$3d_3\sigma=\frac{UCL-LCL}{2}=3\Rightarrow d_3\sigma=1$$
$$(UCL_{k=2},LCL_{k=2})=(d_2\sigma\pm2d_3\sigma)=(7\pm2)=(5,9)$$

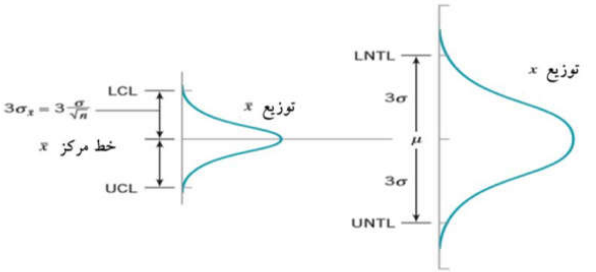
مثال ۵ـ۶ از یک نمودار کنترل ۳ انحراف معیار با حدود کنترل UCL= ۲.۶ و LCL= ۰.۱ برای پایش انحراف معیار یک مشخصهٔ کیفی استفاده شده است. اگر انحراف معیار فرایند ۰.۵ باشد، میانگین و انحراف معیار دامنهٔ نسبی به ترتیب کدام است؟ d_2 و d_3 به ترتیب میانگین و انحراف معیار دامنه نسبی هستند.

$$\begin{cases}UCL=2.6=0.5d_2+3\times0/5d_3\\LCL=0.1=0.5d_2-3\times0/5d_3\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}d_2=2.7\\d_3=0.83\end{cases}$$

۵ـ۳ـ۱ حدود کنترل، حدود مشخصات و حدود تلورانس طبیعی

باید به این نکته اشاره کرد که هیچ رابطه‌ای بین حدود کنترل نمودارهای $\bar{X}$ و R

حدود مشخصات فرایند وجود ندارد. حدود کنترل بستگی به تغییرپذیری طبیعی فرایند (که براساس انحراف معیار فرایند اندازه‌گیری می‌شود) یا به عبارت دیگر بستگی به حدود تلورانس‌های طبیعی فرایند دارد. معمولاً حدود تلورانس طبیعی بالا و پایین که به ترتیب با UNTL[1] و LNTL[2] نشان داده می‌شوند به صورت سه انحراف معیار در بالا و پایین میانگین فرایند تعریف می‌شوند. از طرف دیگر، حدود مشخصات بستگی به فرایند ندارد. به عبارت دیگر، منشأ آن خارج از فرایند است و معمولاً توسط مدیریت، مهندسان ساخت، مشتری و یا طراحان محصول تعیین می‌شود. شخصی که مسئول تعیین حدود مشخصات است باید آگاهی کامل در مورد تغییرپذیری فرایند داشته باشد. باید به این نکته توجه شود که هیچ رابطهٔ ریاضی یا آماری بین حدود کنترل و حدود مشخصات وجود ندارد. این موضوع در شکل ۵ـ۲ خلاصه شده است. در عمل، مشاهده شده که افرادی حدود مشخصات را بر روی نمودار کنترل $\bar{X}$ رسم کرده‌اند. این یک اقدام کاملاً اشتباهی است و نباید انجام شود. وقتی با نمودارهای مربوط به مشاهدات انفرادی (نه میانگین) سروکار داریم، نظیر شکل ۵ـ۲، رسم حدود مشخصات بر روی نمودار کنترل می‌تواند مفید باشد.



شکل ۵ـ۲ رابطهٔ بین حدود تلورانس، حدود مشخصات فنی و حدود کنترل.

1. Upper Natural Tolerance Limit
2. Lower Natural Tolerance Limit

مثال ۵ـ۷ در مثال ۵ـ۳، تفاوت حدود تلورانس طبیعی فرایند چقدر است؟

$$\text{UNTL} - \text{LNTL} = 6\hat{\sigma} = \frac{6\overline{R}}{d_2}$$

۵ـ۳ـ۲ حدود احتمال برای نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R

معمولاً حدود کنترل نمودارهای $\bar{X}$ و R ضریبی از انحراف معیار آماره در نظر گرفته می‌شود. اگرچه همچنان که پیش از این نیز ذکر شده بود، در بعضی موارد حدود کنترل به گونه‌ای محاسبه می‌شوند که احتمال خطای نوع I برابر با یک مقدار از پیش تعیین شده شود. در این شرایط حدود کنترل محاسبه‌شده را حدود احتمال[1] می‌نامند. از آنجایی که $\bar{X}$ طبق قضیهٔ حد مرکزی تقریباً دارای توزیع نرمال است، با قرار دادن $k = z_{\frac{\alpha}{2}}$ می‌توان حدود احتمال نمودار کنترل $\bar{X}$ را به دست آورد. یادآوری می‌شود که $z_{\frac{\alpha}{2}}$ نقطه‌ای از توزیع نرمال استاندارد است که احتمال سمت راست آن $\frac{\alpha}{2}$ باشد.

$$\bar{X} \rightarrow \begin{cases} \text{UCL} = \bar{\bar{X}} + z_{\frac{\alpha}{2}}\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ \text{CL} = \bar{\bar{X}} \\ \text{LCL} = \bar{\bar{X}} - z_{\frac{\alpha}{2}}\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{cases} \qquad (۱۷ـ۵)$$

حدود احتمال نمودار کنترل R $W\dfrac{R}{\sigma}$ نیز با استفاده از توزیع دامنهٔ نسبی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R \rightarrow \begin{cases} \text{UCL} = W_{1-\frac{\alpha}{2}}\sigma \\ \text{CL} = d_2\sigma \\ \text{LCL} = W_{\frac{\alpha}{2}}\sigma \end{cases} \qquad (۱۸ـ۵)$$

در روابط بالا $W_{\frac{\alpha}{2}}$ و $W_{1-\frac{\alpha}{2}}$ نقاطی از توزیع دامنهٔ نسبی هستند که به ترتیب به اندازهٔ $\frac{\alpha}{2}$ و $1-\frac{\alpha}{2}$ احتمال در سمت چپ آن قرار دارد. اگر σ معلوم نباشد، حدود احتمال نمودار کنترل R به صورت زیر اصلاح می‌شود

1. Probability limits

$$R:\begin{cases}UCL = W_{1-\frac{\alpha}{2}}\hat{\sigma} = W_{1-\frac{\alpha}{2}}\dfrac{\bar{R}}{d_2} = D_{1-\frac{\alpha}{2}}\bar{R} \\ CL = \bar{R} \\ LCL = W_{\frac{\alpha}{2}}\hat{\sigma} = W_{\frac{\alpha}{2}}\dfrac{\bar{R}}{d_2} = D_{\frac{\alpha}{2}}\bar{R}\end{cases} \qquad (۱۹\text{ـ}۵)$$

مثال ۵ـ۸ حدود احتمال را برای نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R با فرض $\bar{R} = 4.82$، $\bar{\bar{X}} = -0.91$، $n = 5$ و $\alpha = 0.002$ به دست آورید.

$$\bar{X} \rightarrow \begin{cases}UCL = \bar{\bar{X}} + z_{0.001}\dfrac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = -0.91 + 3.09 \times \dfrac{4.82}{2.326\sqrt{5}} = 1.954 \\ CL = \bar{\bar{X}} = -0.91 \\ LCL = \bar{\bar{X}} - z_{0.001}\dfrac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = -0.91 - 3.09 \times \dfrac{4.82}{2.326\sqrt{5}} = -3.774\end{cases}$$

$$R \rightarrow \begin{cases}UCL = D_{0.999}\bar{R} = 5.48 \times 4.82 = 26.414 \\ CL = \bar{R} = 4.82 \\ LCL = D_{0.001}\bar{R} = 0.37 \times 4.82 = 1.783\end{cases}$$

۵ـ۴ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S

هنگام استفاده از نمودار کنترل R برای محاسبه پراکندگی صرفاً از اطلاعات بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقدار مشاهده‌شده در هر نمونه استفاده می‌شود. لذا با افزایش اندازه نمونهٔ کارایی نمودار کنترل R به‌شدت کاهش می‌یابد. در این موارد نیاز به استفاده از انحراف معیار نمونه برای بررسی میزان پراکندگی فرایند به‌شدت احساس می‌شود. در تأیید مطالب ذکرشده جدول ۵ـ۱ کارایی نسبی نمودار کنترل دامنه R را نسبت به نمودار کنترل انحراف معیار S در شناسایی شیفت‌های رخداده در فرایند نشان می‌دهد.

جدول ۵ـ۱ کارایی نسبی نمودار R نسبت به نمودار S در کشف شیفت‌ها

اندازهٔ نمونه	کارایی نسبی
۲	۱
۳	۰.۹۹۲
۴	۰.۹۷۵
۵	۰.۹۷۵
۶	۰.۹۳۰
۱۰	۰.۸۵

همان طور که در جدول ۵ـ۱ مشخص است، هنگامی که اندازهٔ نمونه ۲ است، کارایی دو نمودار کنترل با یکدیگر برابر است. در حالی که مطابق انتظار با افزایش اندازهٔ نمونه به مرور کارایی نمودار کنترل R در تشخیص شیفت نسبت به نمودار کنترل S کاهش می‌یابد.

یادآوری می‌شود که با تغییر اندازهٔ نمونه، خط مرکز نمودار کنترل R تغییر می‌کند و لذا تفسیر این نمودار مشکل است. بنابراین در این شرایط نیز استفاده از نمودار کنترل R مطلوب نیست. به طور خلاصه در دو مورد استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S نسبت به نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R ترجیح داده می‌شود: (۱) اندازهٔ نمونهٔ بزرگ‌تر از ۱۰ و (۲) اندازهٔ نمونهٔ متغیر.

برای ترسیم نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S در فاز ۲ کنترل فرایند آماری (یعنی زمانی که میانگین μ و انحراف استاندارد σ فرایند معلوم هستند) ابتدا باید ۴ پارامتر $\mu_{\bar{X}}$، μ_S، $\sigma_{\bar{X}}^2$ و σ_S^2 را به دست آوریم. مطابق با فصل ۲ می‌دانیم که $\mu_{\bar{X}} = \mu$ و $\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ است. از طرف مقابل برای محاسبه μ_S و σ_S^2 یادآوری می‌کنیم که $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$ دارای توزیع مربع کای با $n-1$ درجهٔ آزادی یا توزیع گاما با $\alpha = \frac{n-1}{2}$ و $\lambda = \frac{1}{2}$ پیروی می‌کند، درنتیجه داریم:

$$\begin{aligned} &\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim Gamma\left(\alpha = \frac{n-1}{2}, \lambda = \frac{1}{2}\right) \\ &\Rightarrow S^2 \sim Gamma\left(\alpha = \frac{n-1}{2}, \lambda = \frac{n-1}{2\sigma^2}\right) \end{aligned} \qquad (۲۰ـ۵)$$

بنابراین μ_S و σ_S با استفاده از تعاریف ذکرشده در فصل ۳ به شرح زیر خواهند بود:

$$\mu_S = \int_0^{+\infty} \sqrt{S^2} f(S^2) ds = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \sigma = c_4 \sigma \qquad (۲۱ـ۵)$$

$$\sigma_S = \sigma\sqrt{1-c_4^2} \qquad (۲۲ـ۵)$$

اکنون می‌توان حدود کنترل k انحراف معیار نمودارهای $\bar{X}$ و S در فاز ۲ را محاسبه کرد.

$$\bar{X} \rightarrow \begin{cases} \text{uCL} = \mu_{\bar{X}} + k\sigma_{\bar{X}} = \mu + k\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ \text{CL} = \mu_{\bar{X}} = \mu \\ \text{LCL} = \mu_{\bar{X}} - k\sigma_{\bar{X}} = \mu - k\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{cases} \qquad (۲۳ـ۵)$$

$$S \rightarrow \begin{cases} UCL = \mu_s + k\sigma_s = c_4\sigma + k\sigma\sqrt{1-c_4^2} \\ CL = \mu_s = c_4\sigma \\ LCL = \mu_s - k\sigma_s = c_4\sigma - k\sigma\sqrt{1-c_4^2} \end{cases} \quad (۲۴_۵)$$

اگر از حدود ۳ انحراف معیار استفاده کنیم داریم:

$$\overline{X} \rightarrow \begin{cases} uCL = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \mu + A\sigma \\ CL = \mu \\ LCL = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \mu - A\sigma \end{cases} \quad (۲۵_۵)$$

$$S \rightarrow \begin{cases} UCL = c_4\sigma + 3\sigma\sqrt{1-c_4^2} = \sigma\left(c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}\right) = B_6\sigma \\ CL = c_4\sigma \\ LCL = c_4\sigma - 3\sigma\sqrt{1-c_4^2} = \sigma\left(c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2}\right) = B_5\sigma \end{cases} \quad (۲۶_۵)$$

در ضمن داریم:

$$B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2} = c_4\left(1 + 3\frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}\right) = c_4B_4 \quad (۲۷_۵)$$

$$B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2} = c_4\left(1 - 3\frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}\right) = c_4B_3 \quad (۲۸_۵)$$

اما اگر میانگین μ و انحراف استاندارد σ فرایند معلوم نباشند و در فاز ۱ کنترل فرایند آماری باشیم در ابتدا باید پارامترهای مذکور را با استفاده از نمونه‌های اولیه تخمین بزنیم. برای این منظور m نمونه هر یک شامل n محصول از فرایند را جمع‌آوری می‌کنیم و میانگین و انحراف معیار نمونه‌ای را برای هر نمونه به شرح زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\overline{X}_i = \frac{X_{i1} + X_{i2} + \ldots + X_{in}}{n} \quad , \quad i = 1,2,\ldots,m \quad (۲۹_۵)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \overline{X}_i\right)^2}{n-1}} \quad , \quad i = 1,2,\ldots,m \quad (۳۰_۵)$$

سپس مقادیر $\overline{\overline{X}}$ و $\overline{S}$ با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \bar{X}_i}{m} \qquad (۳۱_۵)$$

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{m} S_i}{m} \qquad (۳۲_۵)$$

با توجه به دو رابطه $\mu_S = c_4\sigma$ و $\hat{\mu}_S = \bar{S}$، انحراف معیار فرایند در هنگام استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4} \qquad (۳۳_۵)$$

درنتیجه حدود کنترل k انحراف معیار نمودارهای $\bar{X}$ و S در فاز ۱ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\bar{X} \rightarrow \begin{cases} uCL = \hat{\mu} + k\,\dfrac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + k\,\dfrac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} \\ CL = \hat{\mu} = \bar{\bar{X}} \\ LCL = \hat{\mu} - k\,\dfrac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - k\,\dfrac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} \end{cases} \qquad (۳۴_۵)$$

$$S \rightarrow \begin{cases} UCL = \bar{S} + k\,\sigma_S = \bar{S} + k\,\dfrac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} \\ CL = \bar{S} \\ LCL = \bar{S} - k\,\sigma_S = \bar{S} - k\,\dfrac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} \end{cases} \qquad (۳۵_۵)$$

اگر از حدود ۳ انحراف معیار استفاده شود، داریم:

$$\bar{X} \rightarrow \begin{cases} uCL = \bar{\bar{X}} + \dfrac{3\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \\ CL = \bar{\bar{X}} \\ LCL = \bar{\bar{X}} - \dfrac{3\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \end{cases} \qquad (۳۶_۵)$$

$$S \rightarrow \begin{cases} UCL = \bar{S} + \dfrac{3\bar{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} = \bar{S}\left(1 + \dfrac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}\right) = B_4\bar{S} \\ CL = \bar{S} \\ LCL = \bar{S} - \dfrac{3\bar{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} = \bar{S}\left(1 - \dfrac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}\right) = B_3\bar{S} \end{cases} \qquad (۳۷_۵)$$

نکته: هنگام استفاده از نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و S، بهتر است ابتدا وضعیت تحت کنترل بودن نمودار کنترل S مورد بررسی قرار گیرد، زیرا حدود کنترل نمودار $\bar{X}$ بستگی به تغییرپذیری فرایند دارد و اگر تغییرپذیری تحت کنترل نباشد، حدود نمودار کنترل $\bar{X}$ بی معناست.

نکته: لازم به توضیح است که اگر مشاهدات از توزیع نرمال پیروی کنند آماره‌های ترسیمی روی نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R از یکدیگر مستقل هستند. اگر این آماره‌ها از یکدیگر مستقل نبوده و از نظم خاصی پیروی کنند، مشاهدات از توزیع نرمال فاصله گرفته‌اند.

مثال ۵ـ۹ برای فرایند با داده‌های زیر حدود کنترل سه انحراف معیار نمودار $\bar{X}$ و S و همچنین انحراف معیار تخمینی فرایند را حساب کنید (با فرض آنکه $n = 5$ باشد).

شمارهٔ نمونه	$\bar{X}_i$	S_i	شمارهٔ نمونه	$\bar{X}_i$	S_i	شمارهٔ نمونه	$\bar{X}_i$	S_i
۱	۶.۲	۳.۲۷۱	۶	−۰.۶	۳.۷۱۴	۱۱	−۱	۱.۸۷
۲	۳.۸	۳.۲۷۱	۷	−۱.۴	۱.۱۴۰	۱۲	−۳.۸	۷.۱۵۵
۳	۲.۸	۳.۷۰۱	۸	−۲	۱.۲۲۴	۱۳	−۳.۴	۳.۵۷۸
۴	۱	۰.۷۰۷	۹	−۰.۶	۱.۸۱۶	۱۴	۰.۴	۴.۵۶
۵	−۱.۶	۱.۸۱۶	۱۰	۰.۴	۱.۵۱۶	۱۵	−۱.۲	۰.۴۴۷

حل:

$$\bar{\bar{X}}=\frac{\sum_{i=1}^{15}\bar{X}_i}{15}=-0/0667 \qquad \bar{S}=\frac{\sum_{i=1}^{15}S_i}{15}=2/653 \qquad \hat{\sigma}=\frac{\bar{S}}{c_4(n=5)}=\frac{2.653}{0.94}=2.822$$

$$\bar{X}\rightarrow\begin{cases}UCL=\bar{\bar{X}}+A_3(n=5)\bar{S}=-0/0667+1/427\times2/653=3/719\\CL=\bar{\bar{X}}=-0/0667\\LCL=\bar{\bar{X}}-A_3(n=5)\bar{S}=-3/853\end{cases}$$

$$S\rightarrow\begin{cases}uCL=B_4\bar{S}=2/089\times2/653=5/542\\CL=\bar{S}=2/653\\LCL=B_3\bar{S}=0\times2/653=0\end{cases}$$

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که آمارهٔ نمونهٔ دوازدهم حالت خارج از کنترل را نشان می‌دهد. با فرض اینکه دلیل انحراف تشخیص داده شود باید این نمونه را از داده‌ها حذف کرد و مجدداً حدود کنترل با ۱۴ نمونهٔ باقیمانده محاسبه شود و این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که هیچ یک از نقاط خارج از حدود کنترل قرار نگیرد.

نکته: اگرچه هنگامی که مشخصهٔ کیفی از توزیع نرمال پیروی می‌کند حدود ۳ انحراف معیار معمولاً به عنوان حدود کنترل در نظر گرفته می‌شود، اما حدود ۲ انحراف معیار نیز برای دو منظور معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد: (۱) تعیین حدود هشدار و (۲) تعیین حدود کنترل هنگامی که که مهندسی فرایند تصمیم به تنگ‌تر کردن این حدود می‌گیرد. به عبارتی در موارد بسیاری در حالی که حدود ۳ انحراف معیار را داریم، نیازمند محاسبهٔ حدود ۲ انحراف معیار نمودارهای کنترل داریم. در چنین حالتی حدود کنترل جدید را می‌توان صرفاً با ضرب حدود کنترل ۳ انحراف معیار در عدد $\frac{2}{3}$ و بدون تهیه نمونه‌های اضافی محاسبه کرد. بنابراین داریم:

- **حدود ۲ انحراف معیار (حدود هشدار) نمودار کنترل هنگام استفاده از نمودارهای**

$$(\mathrm{LWL},\mathrm{UWL})=\begin{cases}\mathrm{PhaseII}:\mu\pm\frac{2}{3}A\sigma\\ \mathrm{Phase\ I}:\bar{\bar{X}}\pm\frac{2}{3}A_2\bar{R}\end{cases} \qquad (۳۸_۵)$$

- **حدود ۲ انحراف معیار (حدود هشدار) نمودار کنترل هنگام استفاده از نمودارهای**

$$(\mathrm{LWL},\mathrm{UWL})=\begin{cases}\mathrm{PhaseII}:\mu\pm\frac{2}{3}A\sigma\\ \mathrm{Phase\ I}:\bar{\bar{X}}\pm\frac{2}{3}A_3\bar{S}\end{cases} \qquad (۳۹_۵)$$

- **حدود ۲ انحراف معیار نمودار (حدود هشدار) کنترل**

$$(\mathrm{LWL},\mathrm{UWL})=\mathrm{CL}\pm\frac{2}{3}(\mathrm{UCL}-\mathrm{CL})=\begin{cases}\mathrm{PhaseII}:d_2\sigma\pm\frac{2}{3}(D_2\sigma-d_2\sigma)\\ \mathrm{Phase\ I}:\bar{R}\pm\frac{2}{3}(D_4\bar{R}-\bar{R})\end{cases} \qquad (۴۰_۵)$$

- **حدود ۲ انحراف معیار (حدود هشدار) نمودار کنترل**

$$(\mathrm{LWL},\mathrm{UWL})=\mathrm{CL}\pm\frac{2}{3}(\mathrm{UCL}-\mathrm{CL})=\begin{cases}\mathrm{PhaseII}:c_4\sigma\pm\frac{2}{3}(B_6\sigma-c_4\sigma)\\ \mathrm{Phase\ I}:\bar{S}\pm\frac{2}{3}(B_4\bar{S}-\bar{S})\end{cases} \qquad (۴۱_۵)$$

۵ـ۵ نمودار کنترل

بسیاری از مهندسان از نمودارهای کنترل یا برای کنترل تغییرپذیری فرایند استفاده می‌کنند. بعضی از صاحب‌نظران استفاده از نموداری که براساس واریانس نمونه طراحی شده باشد را پیشنهاد می‌کنند. یادآوری می‌کنیم که حدود کنترل در نمودارهای کنترل معادل ناحیهٔ پذیرش در آزمون فرضیه است. همچنین از فصل ۳ می‌دانیم که اگر مشخصهٔ کیفی از توزیع نرمال پیروی کند آنگاه $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_{(n-1)}$ است. درنتیجه داریم:

$$\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1} < \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} < \chi^2_{\frac{\alpha}{2},n-1} \Rightarrow \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1}\frac{\sigma^2}{n-1} < S^2 < \chi^2_{\frac{\alpha}{2},n-1}\frac{\sigma^2}{n-1} \qquad (۴۲ـ۵)$$

اگر در فاز ۲ کنترل کیفیت آماری باشیم، طبق رابطهٔ بالا حدود احتمال به شرح زیر خواهد بود:

$$S^2 \rightarrow \begin{cases} UCL = \chi^2_{\frac{\alpha}{2},n-1}\dfrac{\sigma^2}{n-1} \\ CL = \sigma^2 \\ LCL = \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1}\dfrac{\sigma^2}{n-1} \end{cases} \qquad (۴۳ـ۵)$$

ولی اگر در فاز ۱ کنترل کیفیت آماری باشیم باید را تخمین بزنیم. برای این منظور نمونه هر یک شامل محصول وقتی فرایند تحت کنترل است گرفته می‌شود و برای هر نمونه را به صورت زیر حساب می‌کنیم:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \bar{X}_i\right)^2}{n-1} \qquad (۴۴ـ۵)$$

سپس را با استفاده از رابطهٔ زیر تخمین می‌زنیم.

$$\bar{S}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n} S_i^2}{m} \qquad (۴۵ـ۵)$$

درنهایت حدود کنترل نمودار از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$S^2 \rightarrow \begin{cases} UCL = \chi^2_{\frac{\alpha}{2},n-1}\dfrac{\bar{S}^2}{n-1} \\ CL = \bar{S}^2 \\ LCL = \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1}\dfrac{\bar{S}^2}{n-1} \end{cases} \qquad (۴۶ـ۵)$$

۶ـ۵ کاربردهای نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر

کاربردهای جالب زیادی در رابطه با نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر وجود دارد. در این بخش به منظور نشان دادن کاربرد نمودارهای کنترل دو مثال ارائه می‌شود.

مثال ۱: استفاده از نمودارهای کنترل به منظور بهبود فرایندهای تأمین‌کنندگان

یک شرکت هواپیماسازی، قطعه‌ای از هواپیما را از دو تأمین‌کننده خریداری می‌کند. در یکی از ابعاد کلیدی این قطعات تغییرات بیش از حدی مشاهده می‌شود و 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 و برای کنترل مشخصهٔ اساسی قطعهٔ خریداری‌شده از دو تأمین‌کننده استفاده می‌کنند. به دلایل خیلی متفاوت نتیجه‌گیری می‌شود که نسبت اقلام معیوب تولیدشدهٔ هر دو تأمین‌کننده یکسان بوده است. تأمین‌کننده شمارهٔ ۱ می‌توانست در حالی‌که فرایند تولید او در حالت خارج از کنترل آماری قرار داشت قطعات را طوری تولید کند که میانگین مشخصهٔ مورد نظر با اندازهٔ درخواست‌شده مساوی باشد. تأمین‌کنندهٔ شمارهٔ ۲، فرایند را می‌توانست به‌خوبی تحت کنترل آماری قرار دهد و قطعاتی تولید کند که از تغییرپذیری نسبتاً کمتری در مقایسه با قطعات تولیدشدهٔ تأمین‌کنندهٔ شمارهٔ ۱ برخوردار باشند. با این حال، فرایند او در جایی متمرکز بود که با مقدار اسمی مشخصهٔ مورد نظر تفاوت زیادی داشت به طوری که بسیاری از قطعات تولیدشده خارج از حدود مشخصات فنی قرار می‌گرفتند.

وضعیت موجود باعث شد تا بخش تدارکات شرکت هواپیماسازی سعی در متقاعد کردن تأمین‌کنندهٔ شمارهٔ ۱ برای استفاده از روش‌های SPC کند تا فرایند او به طور مستمر بهبود یابد. (روش‌های SPC ابزار مفید و ارزشمندی برای کنترل فرایند و ارائهٔ هشدارهای به موقع در مورد پیدایش انحرافات بادلیل جدید محسوب می‌شوند که احیاناً باعث کاهش سطح عملکرد فرایند می‌شوند.) همچنین بخش تدارکات تصمیم گرفت که تأمین‌کننده شمارهٔ ۲ را یاری کند تا علت عدم تمرکز صحیح فرایند او شناسایی شود. مشکل تأمین‌کنندهٔ شمارهٔ ۲ درنهایت استفاده از کد اشتباهی یک دستگاه کنترل عددی شناسایی شد و استفاده از SPC در فرایند تأمین‌کنندهٔ شمارهٔ ۱ طی مدت

شش ماه باعث کاهش تغییرپذیری شد. این فعالیت‌ها سبب شد تا مشکلات این قطعات به طور کلی از بین برود.

مثال ۲: استفاده از نمودارهای کنترل در یک محیط غیرتولیدی

نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغیر از کاربردهای متعددی در محیط‌های تولیدی و غیرتولیدی برخوردار هستند. 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 کاربردی بودن نمودارهای کنترل نخواهد داشت. با این حال دو اختلاف بین محیط‌های تولیدی و غیرتولیدی وجود دارد: (۱) در محیط‌های غیرتولیدی حدود مشخصات فنی به‌ندرت برای محصول در نظر گرفته می‌شود و بنابراین کارایی فرایند اینجا تعریفی ندارد و (۲) انتخاب متغیر یا متغیرهای مناسبی که بتوان اندازه‌گیری کرد نیاز به قوهٔ تصور بیشتری دارد.

یکی از کاربردهای نمودارهای کنترل و در محیط‌های غیرتولیدی استفاده از آنها در مسائل مالی است. برای مثال در یک شرکت، افزایش عملیات بازرگانی منجر به افزایش در زمان مورد نیاز تا پرداخت صورت‌حساب‌ها شده بود. درنتیجه، 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 را از دست می‌داد. در این شرایط، زمان مورد نیاز تا آماده شدن چک‌ها به عنوان یک متغیر برای استفاده در تجزیه‌وتحلیل نمودار کنترل در نظر گرفته شد و هر روز، پنج چک انتخاب و میانگین و دامنهٔ زمان تا آماده شدن چک‌ها را روی نمودارهای و رسم شد. استفاده از نمودارهای کنترل سبب شد تا بهبودهای قابل ملاحظه‌ای حاصل شود. در عرض مدت نه ماه، بخش مالی شرکت درصد صورت‌حساب‌هایی که دیر پرداخت می‌شدند را از حدود ۹۰٪ به چیزی کمتر از ۳۰٪ کاهش داد و درنتیجه شرکت مشمول تخفیفات ویژه شد و سود کلانی را از این طریق به دست آورد.

۵ـ۷ تمرین‌ها

۱ـ نمودار کنترل $\overline{X}$ برای کنترل میانگین یک مشخصهٔ کیفی مهم مورد استفاده قرار

می‌گیرد. در ابتدا ۲۰ نمونه به اندازهٔ n=5 از فرایند جمع‌آوری شد و نتایج $\sum \bar{X}_i = 400$ و $\sum R_i = ۱۰۰$ به‌دست آمد. به دلیل ملاحظات هزینه‌ای تصمیم گرفته شد که به جای استفاده از اندازهٔ نمونهٔ ۵تایی در هر زیرگروه از اندازهٔ نمونهٔ ۳تایی استفاده شود. حد کنترل ۳ انحراف معیار بالای نمودار کنترل $\bar{X}$ را به دست آورید.

۲ـ یک فرایند با استفاده از نمودار کنترل $\bar{X}$ با خط مرکز ۱۰۰ و نمودار کنترل R با خط مرکز ۷.۳ و n=4 شرایط تحت کنترل را نشان می‌دهد. اگر میانگین فرایند به ۹۸.۵ تغییر کند، آنگاه احتمال اینکه نقطه بعدی بر روی نمودار $\bar{X}$ خارج از کنترل رسم شود، چقدر است؟ $(A_2 = 0.73)$

۳ـ برای یک فرایند، نمودار کنترل $\bar{X}$ و R با حدود سه انحراف معیار با استفاده از ۲۰ نمونه ۵تایی طراحی شده است و $\bar{\bar{X}}$ و $\bar{R}$ به ترتیب برابر با ۳۳.۶ و ۶.۲ به دست آمده‌اند. در حین تولید نمونهٔ ۵تایی با مقادیر ۳۶، ۴۳، ۳۷، ۲۵، ۳۸ از خط تولید گرفته شده است. با توجه به نمونهٔ گرفته‌شده دربارهٔ تحت کنترل بودن فرایند چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

۴ـ در یک نمودار کنترل $\bar{X}$، $\bar{\bar{X}} = 5$ و $A_2\bar{R} = 3$ است. حد کنترل بالا و پایین ۲ انحراف معیار نمودار کنترل $\bar{X}$ را محاسبه کنید.

۵ـ یک کارخانهٔ نساجی به الیافی احتیاج دارد که علاوه بر سایر مشخصات، باید ۹۵ درصد آن دارای حداقل نیروی کشش ۱۸۰۰ گرم باشد. تولیدکننده A فروش این الیاف را پیشنهاد کرده است و قرارداد امضا شده است.

الف) تولیدکنندهٔ A می‌داند که انحراف استاندارد (σ) فرایند تولیدی وی ۰.۰۱۵ گرم است. برای اطمینان از تولید الیاف با مشخصات قرارداد، حداقل میانگین فرایند تولید خود را در چه سطحی باید تنظیم کند؟

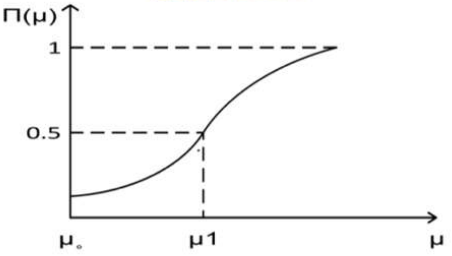
ب) چنانچه از نمودارهای کنترل $\bar{x}$ و S با اندازهٔ زیرگروه ۶ استفاده شود، خط مرکزی و حدود کنترل این نمودارها را حساب کنید.

۶ـ از نمودارهای $\bar{X}$ و R برای پایش یک مشخصهٔ کیفی استفاده کرده و حدود کنترل ۲ انحراف معیار نمودار R برابر با $UCL = 2.65$ و $LCL = 0.55$ است. اگر انحراف معیار فرایند معلوم و برابر با ۰.۵ باشد، میانگین دامنهٔ نسبی را محاسبه کنید.

۷ـ یک فرایند با نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R و حدود ۳ انحراف معیار با خط مرکز ۵۰ برای نمودار کنترل $\bar{X}$ و خط مرکز ۴ برای نمودار کنترل R و $n=4$ را در نظر بگیرید. اگر میانگین فرایند به ۵۲ تغییر کند و میانگین دامنهٔ نسبی به‌ازای اندازهٔ نمونهٔ $n=4$ برابر با ۲ باشد، احتمال اینکه نقطهٔ بعدی بر روی نمودار کنترل $\bar{X}$ خارج از کنترل رسم شود چقدر است؟

۸ـ یک فرایند با استفاده از نمودار کنترل $\bar{X}$ با خط مرکز ۱۰۰ و نمودار کنترل R با خط مرکز ۷.۳ و $n=4$ شرایط تحت کنترل را نشان می‌دهد. اگر میانگین فرایند به ۹۸.۵ تغییر کند، آنگاه احتمال اینکه نقطهٔ بعدی بر روی نمودار $\bar{X}$ خارج از کنترل رسم شود، چقدر است؟ $(A_2 = 0.73)$

۹ـ در یک نمودار کنترل $\bar{X}-R$ با حدود کنترل ۳ انحراف معیار، $\sum_{i=1}^{10}\bar{X}_i = 50$ و $\sum_{i=1}^{10}R_i = 15$ به دست آمده است. در صورتی که پارامتر $A_1 = 1$ و منحنی توان آزمون نمودار کنترل $\bar{X}$ به‌ازای شیفت‌های مثبت به صورت زیر باشد، مقدار μ_1 کدام است؟



۱۰ـ در سؤال قبل، حد بالای نمودار کنترل $\bar{X}$ با حدود کنترل ۲ انحراف معیار را به‌دست آورید.

۱۱ـ داده‌های مربوط به مقادیر $\bar{X}$ و R برای ۲۴ نمونه ۵تایی که از یک فرایند تولید یاتاقان تهیه شده‌اند در جدول زیر ارائه شده است. این اندازه‌گیری‌ها مربوط به

قطر داخلی یاتاقان‌ها می‌شود و فقط سه رقم اعشار آخر گزارش شده است. (به عبارت دیگر، ۳۴.۵ باید ۰.۵۰۳۴۵ باشد).

جدول داده‌های قطر یاتاقان

شمارهٔ نمونه	$\overline{X}$	R	شمارهٔ نمونه	$\overline{X}$	R
۱	۳۴.۵	۳	۱۳	۳۵.۴	۸
۲	۳۴.۲	۴	۱۴	۳۴.۰	۶
۳	۳۱.۶	۴	۱۵	۳۷.۱	۵
۴	۳۱.۵	۴	۱۶	۳۴.۹	۷
۵	۳۵.۰	۵	۱۷	۳۵.۵	۴
۶	۳۴.۱	۶	۱۸	۳۱.۷	۳
۷	۳۲.۶	۴	۱۹	۳۴.۰	۸
۸	۳۳.۸	۳	۲۰	۳۵.۱	۴
۹	۳۴.۸	۷	۲۱	۳۳.۷	۲
۱۰	۳۳.۶	۸	۲۲	۳۲.۸	۱
۱۱	۳۱.۹	۳	۲۳	۳۳.۵	۳
۱۲	۳۸.۶	۹	۲۴	۳۴.۲	۲

الف) نمودارهای $\overline{X}$ و R را برای کنترل این فرایند تهیه کنید. آیا فرایند تحت کنترل آماری است؟ در صورت نیاز حدود کنترل آزمایشی را اصلاح کنید.

ب) اگر حدود مشخصات فنی برای قطر مورد نظر ۰.۰۰۱۰ $\mp$ ۰.۵۰۳۰ باشد آنگاه درصد محصولات نامنطبق تولیدشده به وسیلهٔ این فرایند را تعیین کنید؟ فرض کنید قطر دارای توزیع نرمال است.

۱۲ـ ولتاژ خروجی اسمی یک منبع تغذیهٔ فشار قوی ۳۵۰ ولت است. به منظور کنترل فرایند تولید هر روز یک نمونه چهارتایی انتخاب و مورد آزمایش قرار می‌گیرد. داده‌های جدول ۵ـ۱۴ ده برابر اختلاف بین ولتاژ مشاهده‌شده و ولتاژ اسمی را نشان می‌دهد

الف) نمودارهای کنترل $\overline{X}$ و R را تهیه کنید. آیا فرایند تحت کنترل آماری است؟

ب) اگر حدود مشخصات فنی برابر ۳۵۰∓۵ ولت باشد آنگاه در مورد قابلیت فرایند چه می‌توان گفت؟

جدول داده‌های ولتاژ منبع تغذیه

شماره نمونه	x_1	x_2	x_3	x_4
۱	۶	۹	۱۰	۱۵
۲	۱۰	۴	۶	۱۱
۳	۷	۸	۱۰	۵
۴	۸	۹	۶	۱۳
۵	۹	۱۰	۷	۱۳
۶	۱۲	۱۱	۱۰	۱۰
۷	۱۶	۱۰	۸	۹
۸	۷	۵	۱۰	۴
۹	۹	۷	۸	۱۲
۱۰	۱۵	۱۶	۱۰	۱۳
۱۱	۸	۱۲	۱۴	۱۶
۱۲	۶	۱۳	۹	۱۱
۱۳	۱۶	۹	۱۳	۱۵
۱۴	۷	۱۳	۱۰	۱۲
۱۵	۱۱	۷	۱۰	۱۶
۱۶	۱۵	۱۰	۱۱	۱۴
۱۷	۹	۸	۱۲	۱۰
۱۸	۱۵	۷	۱۰	۱۱
۱۹	۸	۶	۹	۱۲
۲۰	۱۳	۱۴	۱۱	۱۵

۱۳ـ یکی از مشخصه‌های کیفی مهم در صنعت نوشابه‌سازی حجم نوشابهٔ پرشده در شیشه‌های نوشابه است. حجم نوشابه درون شیشه به طور تقریبی با قرار دادن یک دستگاه اندازه‌گیری در سر شیشه و مقایسه ارتفاع مایع درون شیشه با یک مقیاس کدشده اندازه‌گیری می‌شود. در این مقیاس عدد صفر به معنای ارتفاع

درست نوشابه در شیشه است. نتایج حاصل از ۱۵ نمونه ۱۰تایی در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول داده‌های ارتفاع نوشابه

شمارهٔ نمونه	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
۱	۲.۵	۰.۵	۲.۰	−۱.۰	۱.۰	−۱.۰	۰.۵	۱.۵	۰.۵	−۱.۵
۲	۰.۰	۰.۰	۰.۵	۱.۰	۱.۵	۱.۰	−۱.۰	۱.۰	۱.۵	−۱.۰
۳	۱.۵	۱.۰	۱.۰	−۱.۰	۰.۰	−۱.۵	−۱.۰	−۱.۰	۱.۰	−۱.۰
۴	۰.۰	۰.۵	−۲.۰	۰.۰	−۱.۰	۱.۵	−۱.۵	۰.۰	−۲.۰	−۱.۵
۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	−۰.۵	۰.۵	۱.۰	−۰.۵	−۰.۵	۰.۰	۰.۰
۶	۱.۰	−۰.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۵	−۱.۰	۱.۰	−۲.۰	۱.۰
۷	۱.۰	−۱.۰	−۱.۰	−۱.۰	۰.۰	۱.۵	۰.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰
۸	۰.۰	−۱.۵	−۵.۰	۱.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	−۱.۰	۰.۵	−۰.۵
۹	−۲.۰	−۱.۵	۱.۵	۱.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۵	۱.۰	۰.۰	۱.۰
۱۰	−۰.۵	−۳.۵	۰.۰	−۱.۰	−۱.۵	−۱.۵	−۱.۰	−۱.۰	۱.۰	۰.۵
۱۱	۰.۰	۱.۵	۰.۰	۰.۰	۲.۰	−۱.۵	۰.۵	−۰.۵	۲.۰	−۱.۰
۱۲	۰.۰	−۲.۰	−۰.۵	۰.۰	−۰.۵	۲.۰	۱.۵	۰.۰	۰.۵	−۱.۰
۱۳	−۱.۰	−۰.۵	−۰.۵	−۱.۰	۰.۰	۰.۵	۰.۵	−۱.۵	−۱.۰	−۱.۰
۱۴	۰.۵	۱.۰	−۱.۰	−۰.۵	−۲.۰	−۱.۰	−۱.۵	۰.۰	۱.۵	۱.۵
۱۵	۱.۰	۰.۰	−۱.۵	۱.۵	۱.۰	−۱.۰	۰.۰	۱.۰	−۲.۰	−۱.۵

الف) نمودارهای کنترل و را برای این فرایند تهیه کنید. آیا فرایند تحت کنترل آماری است. در صورت نیاز حدود کنترل را اصلاح کنید.

ب) یک نمودار کنترل تهیه و با نمودار کنترل قسمت (الف) مقایسه کنید.

۶

اصول و ابزارهای مدیریت کیفیت جامع

اهداف فصل

۱ـ آشنایی با مفاهیم اصلی مدیریت کیفیت جامع؛
۲ـ آشنایی با فلسفهٔ دمینگ، جوران و کرازبی در بهبود کیفیت جامع؛
۳ـ آشنایی با سیکل PDCA؛
۴ـ آشنایی با کایزن؛
۵ـ آشنایی با ابزارهای مدیریت کیفیت یکپارچه؛
۶ـ آشنایی با QFD.

۶ـ۱ مقدمه

مدیریت کیفیت جامع[1] بسط و توسعهٔ شیوه سنتی کسب‌وکار و تکنیکی کارآمد برای تضمین بقا در رقابت جهانی است که با تحلیل سه واژه آن داریم:

جامع (Total) متشکل از کل

کیفیت (Quality) درجهٔ برتری و مرغوبیت یک محصول یا خدمت

مدیریت (Management) عمل، هنر یا سبک اداره کردن، کنترل و هدایت امور

بنابراین مدیریت کیفیت، هنر اداره کردن کل برای دستیابی به برتری است.

1. Total Quality Management

مدیریت کیفیت نیازمند شش مفهوم اصلی است:

۱ـ مدیریت الزام‌آور و مشارکت‌کننده به منظور حمایت سازمانی بلندمدت و از بالا به پایین
۲ـ تمرکز بر مشتری اعم از مشتری داخلی و خارجی
۳ـ مشارکت و استفادهٔ مؤثر از همهٔ نیروهای کاری
۴ـ بهبود مستمر کسب‌وکار و فرایند تولید
۵ـ رفتار با تأمین‌کنندگان به مثابهٔ شرکا
۶ـ ایجاد معیارهای سنجش عملکرد برای فرایندها

این مفاهیم طرح یک روش عالی برای ادارهٔ سازمان را ارائه می‌دهند. در این فصل به بررسی مفاهیم اساسی مدیریت کیفیت جامع می‌پردازیم.

۶ـ۲ مشتری‌مداری

مشتری‌مداری، افزایش رقابت، تغییرات سریع فناوری، جهانی شدن و... مفاهیم جدیدی هستند که جهان امروزی را به‌شدت تحت تأثیر خود قرار داده است. در چنین شرایطی سازمان‌ها پی برده‌اند اگر می‌خواهند در دنیای کنونی بقا داشته باشند باید به سمت مشتری‌مداری و جلب رضایت مشتری حرکت کنند. در سالیان اخیر تعاریف مختلفی از مشتری‌مداری ارائه شده است که اصل بنیادین همه آنها قرار دادن مشتری در کانون توجه استراتژی‌های سازمان است. به عبارت دیگر، مشتری‌مداری تدوین استراتژی‌های سازمان و اجرای آنها در جهت برآورده ساختن نیازها و خواسته‌های مشتری است.

۶ـ۳ رضایت مشتری

مشتریان به دو دستهٔ مجزا تقسیم می‌شوند: خارجی و داخلی. مشتری خارجی کسی است که خدمت یا محصول را خریداری و یا از آن استفاده می‌کند. یک مشتری خارجی در خارج از سازمان حضور دارد و معمولاً به سه دسته تقسیم می‌شود، *فعلی*، *آینده* و یا *ازدست‌رفته*. هر دسته اطلاعات باارزشی دربارهٔ رضایت مشتریان برای سازمان فراهم می‌آورند. در مقابل، مشتری داخلی کسی است که در یکی از مراحل از مهندسی تا تولید و دیگر فرایندها محصول یا خدمتی را دریافت می‌کند و در عوض محصول یا خدمتی را ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر، هر فرد درون فرایند، مشتری داخلی عملیات قبلی است.

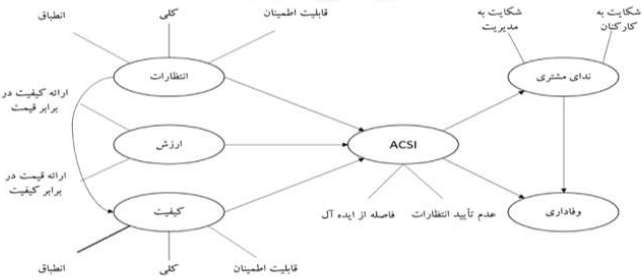
رضایت مشتری میزان مطلوبیتی است که مشتری به دلیل ویژگی‌های مختلف کالا کسب می‌کند و منبع سودآوری و دلیلی برای ادامهٔ فعالیت سازمان است. اما اهمیت

رضایت‌مندی مشتری برای شرکت‌ها زمانی روشن می‌شود که بدانیم اگر مشتریان ناراضی باشند چه اتفاقی می‌افتد. همین‌طور مشتریان راضی چه منافعی برای شرکت دارند و چگونه شرکت می‌تواند به رضایت مشتری دست یابد.

۶ـ۳ـ۱ مدل شاخص رضایت مشتری در امریکا[1] (ACSI)

در این مدل ورودی‌ها یا همان علل عمدهٔ رضایت مشتری شامل سه بخش انتظارات، کیفیت درک‌شده و ارزش درک‌شده می‌شود. در مقابل خروجی‌ها یا پیامدهای اساسی رضایت مشتری نیز شامل ندای مشتری و وفاداری مشتریان است (شکل ۶ـ۱).

اولین ورودی، میزان کیفیت درک‌شده است که ارزیابی کلی مشتری از کیفیت محصولات یا خدمات ارائه‌شدهٔ سازمان در آخرین تجربهٔ او از مصرف است. این عامل اثر مستقیم و مثبت بر رضایت مشتری دارد. دومین عامل ورودی، میزان ارزش درک‌شده است. به عبارت دیگر سطح درک‌شده از کیفیت محصول از قیمتی است که برای خرید آن محصول پرداخته شده است. سومین عامل ورودی، میزان انتظارات مشتری است که دو بخش دارد. اولین بخش انتظارات مشتری پیش از مصرف محصول یا دریافت خدمت است که از منابع غیرتجربی و از راه‌هایی مانند اعلان‌ها وآگهی‌ها و یا توصیهٔ زبانی سایر مشتریان ایجاد می‌شود. دومین بخش شامل پیش‌بینی مشتری دربارهٔ قابلیت تولیدکننده و یا ارائه‌کنندهٔ خدمت در زمینهٔ تأمین کیفیت کالا یا خدمت در آینده است.



شکل ۶ـ۱ مدل شاخص رضایت مشتری در امریکا.

1. The American Customer Satisfaction Index Model

۶ـ۴ سامانهٔ مدیریت شکایت مشتریان و بازخورد آن

وقتی مشتری ناراضی می‌شود ممکن است یک شکایت و درخواست جبران دریافت کنید. هر شکایت مشتری را باید یک جواهر صیقل نخورده دانست –جواهری که باید گرفته شود، بررسی شود، و صیقل بخورد. سازمان شما فقط در صورتی ثروتمندتر وعاقل‌تر می‌شود که جواهرها را جمع‌آوری کند و صیقل دهد. داشتن سیستمی که این جواهرها را می‌گیرد و صیقل می‌دهد، بسیار مهم است. اگر این کار را نکنید، مشتری ناخشنود، ممکن است دیگر به سراغ شما نیاید.

- در مؤسسات متوسط، در برابر هر مشتری شاکی ۲۶ ناراضی دیگر هستند که سکوت کرده‌اند.
- ۹۱ درصد مشتریان ناخشنود هرگز دوباره از شما خرید نمی‌کنند.
- اگر برای جبران شکایات مشتریان تلاش کنید ۸۲ تا ۹۵ درصد آنها با شما می‌مانند.
- جذب یک مشتری جدید، پنج برابر حفظ مشتری قدیمی هزینه دارد.

تکان‌دهنده‌ترین مورد در این آمار این است که ۹۵ درصد مشتریان ناخشنود، هرگز دوباره از شما خرید نخواهند کرد. دقت کنید که مشتریان، حافظهٔ طولانی دارند، آنها رفتارهای خوب و بدی را که شما در بلندمدت با آنها داشته‌اید به یاد خواهند داشت. با یک رویکرد مثبت می‌توان شکایت مشتریان را همچون فرصتی نگریست که امکان جمع‌آوری اطلاعات و ارائهٔ سرویس بهتر به مشتریان را فراهم می‌کند. در واقع، مشتری با شکایت یک فرصت دوباره به سازمان می‌دهد: برخی فعالیت‌ها عبارت‌اند از:

- تحقیق در مورد تجربیات گذشته مشتریان با سازمان از طریق گرفتن نظرات مثبت و منفی آنان و سپس اقدام فوری در مورد آن؛
- ایجاد رویه‌های برای حل این شکایات که شامل توانمندسازی کارکنان خط مقدم (کارکنانی که با مشتریان در تماس هستند) می‌شود.
- تحلیل شکایات با علم به اینکه شکایات در مقوله های معمول نمی‌گنجد.
- شناسایی پراکندگی فرایند و مواد و سپس حذف علت ریشه‌ای آن؛
- ابلاغ شکایت مشتریان و نتایج تحقیقات و راه‌حل‌ها به تمام افراد سازمان؛
- ایجاد معیارهای رضایت مشتری و پایش مداوم آنها؛
- ارائهٔ گزارش‌های ماهانهٔ شکایت مشتریان به شورای کیفیت تا پس از ارزیابی آنان در صورت نیاز تیم‌های بهبود فرایند به آنها اختصاص داده شوند.

یک سازمان می‌تواند با آموزش افراد خط مقدم در زمینهٔ حل مستقیم مشکلات مشتریان پول و مشتری را توأمان پس‌انداز کند. مشتریان می‌خواهند مشکلات آنها به سرعت و به‌خوبی حل شود از این رو کارکنان باید توانایی ویژه‌ای در برقراری ارتباط مؤثر با مشتریان در شرایط مختلف داشته باشند.

۶ـ۴ـ۱ ضرورت یک سامانه برای مدیریت بر شکایات مشتریان

همهٔ شرکت‌ها یا سازمان‌ها همواره شکایات مشتریان را دریافت می‌کنند. از این لحاظ، تفاوت سازمان‌ها با یکدیگر در دفعات و تعداد شکایات است. پاره‌ای از سازمان‌ها شکایات را نادیده می‌گیرند، ولی آنهایی که کارکنان آگاه و حرفه‌ای دارند به شکایات توجه می‌کنند، اما این به تنهایی کافی نیست.

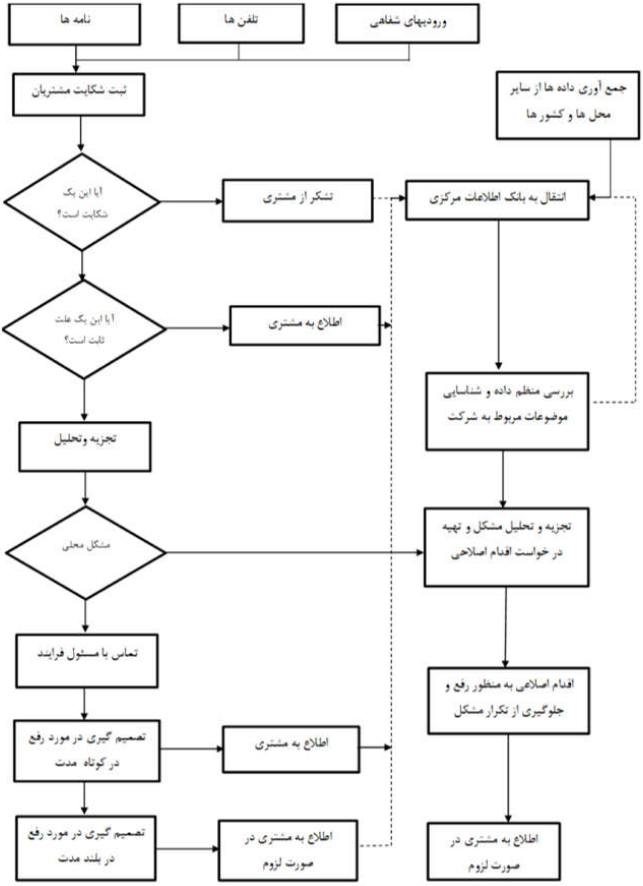
سازمان باید سوابق این شکایات، دفعات، شدت، محل آنها و... را نگهداری و بررسی کند. برای مثال مدیریت شرکت هواپیمایی برای ردیابی چمدان گمشده باید نکات زیر را بداند: چمدان‌ها در کجا، چه زمانی و هرچند وقت یک بار گم می‌شوند. آیا در یک هواپیما این اتفاق می‌افتد یا در همهٔ هواپیماها؟ فقط با این نوع داده‌هاست که شرکت هواپیمایی می‌تواند به سمت حل مشکل چمدان گمشده و سپس اصلاح یا تکمیل کل سامانه حرکت کند. بنابراین، ضرورت دارد که کارکنان شما سابقهٔ شکایات را نگاه دارند.

به دنبال طرح شکایت، باید موضوع شکایت حل شود و علت ریشه‌ای از بین برود. شکل ۶ـ۲ فلوچارت یک سامانهٔ شکایت مشتریان و رفع آن را نشان می‌دهد. این فلوچارت، ساده و گویاست و نکات اصلی آن عبارت‌اند از:

۱ـ شکایت از همهٔ منابع (به طور منظم از طریق نامه، تلفن، ملاقات) جمع‌آوری شود.

۲ـ داده‌ها از طریق فرم شکایات مشتریان و رفع آنها گردآوری شود: در واحدهای داخلی هر مؤسسه، جمع‌آوری و انتقال داده‌ها از طریق فرم شکایات مشتریان و حل آنها انجام می‌شود. (شکل ۶ـ۳). این فرم را می‌توان برای تحلیلگر سامانه فرستاد، او نیز تقاضای اقدام اصلاحی تنظیم می‌کند و به جریان می‌اندازد (شکل ۶ـ۴).

داده‌های مشتریان را می‌توان در یک فرم کاغذی مانند فرم شکایت مشتریان یا در یک فرم رایانه‌ای ثبت کرد. هر چند ثبت مشکلات بر روی کاغذ یا در بانک اطلاعاتی رایانه، کار آسانی نیست. برای مثال یک نمایندهٔ فروش پرکار یا مدیر، حداکثر می‌تواند



شکل ۶ـ۲ فلوچارت سامانهٔ شکایت مشتریان و حل آن.

با شماره‌ای که مشتری در شکایت خود داده است تماس بگیرد و یا یک متصدی گیشه که سرش شلوغ است فقط می‌تواند مشکل را فوراً حل کند، اما وقت کافی ندارد و می‌تواند چند

سیستم شکایت مشتری و بازخورد آن

نام مشتری ..... دریافت کنندهٔ اطلاعات: .....

نشانی: .....

تلفن تماس: ..... تاریخ: .....

کالا یا خدمت ارائه‌شده: .....

شکایت از زبان مشتری: ..... نوع تماس:

نامه .....

تلفن .....

تماس شخصی .....

سایر

نظرات: .....

.....

.....

اقدام مورد درخواست مشتری:

پاسخ رسمی ☐ غرامت ☐ عذرخواهی ☐

اطلاعات

نیاز به هیچ اقدامی نیست ☐ تعویض یا فسخ معامله ☐ سایر ☐

درجهٔ اهمیت:

عادی ☐ مهم ☐ خیلی مهم ☐

تجزیه‌وتحلیل و پیشنهاد اقدام اصلاحی:

.....

.....

آیا می‌توان مشکل را در محل حل کرد؟

شکل ۶ـ۳ فرم شکایت مشتریان.

کلمه‌ای دربارهٔ شکایت بنویسد و این درحالی است که سایر کارکنان که تحلیلگرتر هستند ممکن است اصرار داشته باشند که جریان، با جزئیات کامل نوشته شود. بنابراین، سامانهٔ انعطاف‌پذیری لازم است تا راه‌های آسان جمع‌آوری ورودی‌ها تأمین شود. مثلاً ورودی‌ها را می‌توان با تلفن مستقیماً برای کارشناس بررسی شکایات فرستاد یا با فرمی که در شکل ۶ـ۳ پیشنهاد شده، به جریان انداخت. در نهایت هنگامی که سامانه جا افتاده و قابل اعتماد می‌شود ثبت داده‌ها آسان‌تر است. اما کارکنان همواره باید به چند نکته زیر توجه کنند:

شماره:	تقاضای اقدام اصلاحی
ارسال به: مدیریت عملیات ABX	مسئول محصول فرایند: ABX
نوع: تمام مدل‌های ۱۹۸۴ با موتور R.N تاریخ:آوریل ۱۹۸۴	کالا: شیشه‌پاک‌کن محصول: اتومبیل شتا درخواست‌شده توسط: تحلیل‌گر CC&F
اهمیت: آیا مشکل مربوط به محصول خاصی است؟ بله ○ خیر ○	
خلاصه درخواست (در صورت ضرورت جزئیات بیشتری ذکر کنید) از طریق سیستم شکایت مشتری و بازخورد آن بیش از ۳۵۰ شکایت از کشورهای مختلف دریافت شده است. در مدل‌های ۱۹۸۴ فرستاده شده به کشورهایی که رانندگی در آن از سمت راست صورت می‌گیرد در هنگام رانندگی شیشه‌پاک‌کن اتومبیل شیشه را خوب پاک نمی‌کند و مزاحم دید راننده می‌شود.	
تحزیه‌وتحلیل: تجزیه‌وتحلیل تیم مهندسی، عاملان فروش و مشتری به شرح زیر است: تیغه‌های شیشه‌پاک‌کن در وضعیتی است که مخصوص کشورهای دارای رانندگی از سمت چپ هستند. اما اتومبیل‌ها به کشورهای دارای رانندگی از سمت راست ارسال شده است بدون آنکه در وضعیت شیشه‌پاک‌کن‌ها تغییر داده شود.	
پیشنهاد: (در صورت ضرورت جزئیات بیشتری ذکر کنید) راه‌حل این مشکل بدیهی و آشکار است. لازم است از شیشه‌پاک‌کن‌های مخصوص اتومبیل‌های فرمان چپ استفاده شود.	
توجه: اقدام کوتاه مدت: ارسال فوری کیت شیشه‌پاک‌کن به عاملان فروش اقدام بلند مدت: تولید موتور شیشه‌پاک‌کن متوقف شود تا اصلاح و لوازم مورد نیاز فراهم شود که این اقدام تقریباً سه هفته به طول می‌انجامد.	

شکل ۶ـ۴ فرم تکمیل‌شده تقاضای اقدام اصلاحی.

۱ـ جمع‌آوری داده‌ها با سامانهٔ تلفنی. در صورتی که تصمیم به استفاده از سامانهٔ تلفنی گرفتید باید به هر یک از کارکنان یک کارت «خلاصه‌برداری از مطالب» بدهید. از این کارت می‌توان در حال گفت‌وگو با مشتریان استفاده کرد و موضوع شکایت مشتری را با سامانهٔ تلفنی انعکاس داد. در شکل ۶ـ۵ نمونهٔ ساده‌ای از این کارت ارائه شده است.

لطفا اطلاعات زیر را ارائه دهید:

ـ شماره تلفن صندوق پست صوتی تلفنی: **XXX-YYYY**

ـ نام، بخش، و شماره تلفن شما:.....

ـ نام، عنوان، نشانی و شماره تلفن مشتری:.....

ـ شرح مشکل با زبان خود مشتری:.....

ـ مشتری چه می خواهد:.....

ـ اطلاعات دیگر مربوط به مسئله:.....

ـ مدل و شماره محصول، شماره سری، شماره سفارش فروش یا خدمت مربوط به اقدامی که صورت گرفته:

.....

ـ کمک مشخصی که مورد نیاز است، از چه کسی، چه وقت و چگونه:

.....

ـ هر اظهار نظر دیگر: .....

شکل ۶ـ۵ کارت خلاصه‌برداری برای سامانهٔ شکایت مشتریان.

۲ـ تقاضاهای اقدام اصلاحی. بسته به نوع شکایت، مسئله ممکن است در همان محل حل شود، اما وقتی یک مشکل در سطح یک سازمان یا طبقه‌ای از فعالیت‌ها برطرف می‌شود موضوع باید برای تجزیه‌وتحلیل بعدی، برای تحلیلگر سامانه فرستاده شود. در این موارد لازم است اطمینان پیدا کنید که مسئله، در سرتاسر سازمان حل و مشکل برطرف شده است. اگر این روند به‌درستی صورت پذیرد آن مشکل هرگز در سازمان تکرار نخواهد شد. یک راه پیشنهاد اصلاح سراسری، فرستادن پیشنهاد به متصدی فرایند یا مشکل، از طریق فرم تقاضای اقدام اصلاحی است. این فرم را می‌توان همانند فرم شکایات مشتریان به طور الکترونیکی انتقال داد، اما در آغاز باید آن را در یک سامانهٔ دستی آزمود. در شکل ۶ـ۴ یک نمونهٔ فرضی از فرم تکمیل

شدهٔ تقاضای اقدام اصلاحی نمایش داده شده است. این فرم پس از تکمیل برای مسئول فرایند در داخل سازمان فرستاده می‌شود.

۳ـ حل سریع شکایات صورت پذیرد. شکایت، در نزدیک‌ترین زمان ممکن پیگیری و با مشتری تماس گرفته می‌شود و مراتب به اطلاع او می‌رسد.

۴ـ همهٔ مشتریان، باید پاسخ خود را دریافت کنند. این پاسخ می‌تواند یک یادداشت تشکر یا اعلام رفع مشکل باشد.

۵ـ ترجیحاً و در صورت امکان مشکل در محل شکایت حل شود.

۶ ـ مسائل توسط سازمان حل شود و مسئله‌ای که فراتر از واحد داخلی سازمان است (یعنی از بخش دیگری از سازمان نشئت گرفته) همراه با اطلاعات لازم برای تحلیلگر سامانه فرستاده شود تا او مسئله را تجزیه‌وتحلیل و راه‌حلی به مسئول فرایند مربوطه سازمان پیشنهاد کند.

۷ـ برای مشکلات مربوط به سامانه راه‌حلی وجود دارد. داده‌ها با روش منظم تجزیه‌وتحلیل می‌شود و مشکلات مربوط به سامانه مورد شناسایی قرار می‌گیرند و برطرف می‌شوند. در غیر این صورت بر خریدهای مشتریان کنونی و آینده اثر خواهد گذاشت و موجب کاهش سهم سازمان در بازار خواهد شد. در این مورد نیز می‌توان از فرم تقاضای اقدام اصلاحی استفاده کرد.

۸ ـ شناسایی اقدامات عملکردی و بازنگری در آنها به طور منظم. اقدامات عملکردی مانند تعداد شکایت در ماه، زمان پیگیری شکایات، نمودار پارتوی شکایات و ... را مرور کنید. پیگیری کردن این رویه و تعیین هدف‌های مناسب، به مدیریت سامانه کمک می‌کند و شاخص سلامتی سامانه می‌شود. هدف‌ها را فقط زمانی باید تعیین کرد که داده‌های کافی دربارهٔ وضعیت کنونی موجود باشد. مثلاً اگر زمان پیگیری شکایت به طور متوسط ۲۰ روز باشد، می‌توان ۱۰ روز را هدف قرار داد و به‌تدریج، در طی ماه‌ها و سال‌ها به آن هدف دست یافت. یک مثال دیگر هدف‌های مناسب، حذف یا کاهش تدریجی پاره‌ای از انواع شکایات در نمودار پارتو است.

۶ـ۵ حفظ مشتری

به دست آوردن مشتریان جدید می‌تواند یک فرایند طولانی مدت باشد که شامل

تحقیق، هدف‌گذاری، تبلیغات ترویج و بازاریابی شبکه‌ای می‌شود. مشتریان فعلی برای سازمان روابط تجاری تثبیت شده، دانش و توانایی پیش‌بینی رفتارهای خرید و فرصت‌های کوتاه‌مدت برای توسعه فروش را فراهم می‌آوردند. از این رو محتمل‌ترین هدف سازمان برای تجارت جدید مشتریان فعلی آن است. سازمان‌هایی که خدمات باکیفیت‌تری دارند می‌توانند بهایی تا بیش از ۲۰ درصد بهای معمول را طلب کنند و با این وجود مشتریان خود را حفظ کنند. مشتریان راضی نه تنها مشتری سازمان باقی می‌مانند بلکه با معرفی سازمان به دیگران و تشویق مشتریان جدید سازمان موجب اضافه شدن سود سازمان می‌شوند.

حفظ مشتری بسیار قدرتمندتر و مؤثرتر از رضایت مشتری است حفظ مشتری نمایانگر فعالیت‌هایی است که رضایت لازم را برای مشتری به ارمغان آورده و باعث ایجاد وفاداری بین مشتری و سازمان می‌شود. گفتنی است که معمولاً گفتار مردم با رفتارشان متفاوت است ممکن است مشتریان از نوعی عطر که خوشبو و با کیفیت است لذت ببرند اما آن را خریداری نکنند، بنابراین باید رضایت مشتری را با استفاده از معیارهای تعداد رسید نقدی، سهم بازار، سطح حفظ مشتری، تعداد ارجاع‌ها از سایر مشتریان اندازه‌گیری کرد.

۶ـ۶ مشارکت پرسنل

مشارکت کارکنان وسیله‌ای برای تحقق اهداف سازمان در زمینهٔ کیفیت و بهره‌وری است. به علاوه، آگاهی از انگیزش به ما کمک می‌کند که از مشارکت کارکنان برای دستیابی به بهبود فرایند استفاده کنیم. به عبارت دیگر توانمندسازی، انگیزش و مشارکت ذاتاً به هم پیوسته هستند. اگر کارکنان انگیزه کافی برای قبول نقش‌های بیشتر نداشته باشند، توانمندی مفهوم نخواهد داشت. کارکنان با انگیزه که برای اقدام توانمند نیستند خروجی کمی خواهند داشت وخیلی زود بی‌انگیزه می‌شوند. همچنین بدون مشارکت، دستیابی به هر دوی این عوامل غیرممکن خواهد بود. مدیریت کیفیت یک فرایند مشارکتی است. مشارکت به منزلهٔ درگیر شدن طیف وسیعی از کارکنان در تعیین استراتژی، سیاست‌گذاری، اعمال آن است.

مشارکت کارکنان با استفاده از تیم‌ها بهینه می‌شود. تیم، مجموعه‌ای از افراد است که برای رسیدن به اهداف و آرمان‌های مشترک با هم کار می‌کنند. کار تیمی، مجموع

اقدامات اعضای تیم است که تک تک اعضا از علایق و نظرات خود برای تحقق اهداف و آرمان‌های تیم استفاده می‌کنند. هدف یا آرمان می‌تواند حل یک مسئله، بهبود یک فرایند، ممیزی یک فرایند یا خشنود ساختن یک مشتری باشد. هدف باید به‌خوبی تعریف شود، دارای محدودیت زمانی باشد، منابع لازم به آن اختصاص داده شود و از یک رویکرد نظام‌مند بهره‌مند باشد. اعضای تیم باید بر نحوهٔ ارتباط با یکدیگر، گوش سپردن به پیشنهادات دیگران و استفاده خلاقانه از بحث‌ها تمرکز کنند. آنها به تدوین استانداردها، رعایت نظم و انضباط، ایجاد روحیه تیمی و انگیزه دادن به همدیگر نیاز خواهند داشت. آنها علاوه بر تلاش برای تحقق اهداف تیم باید به فکر رشد شخصی و خودشکوفایی هم باشند.

۶ـ۷ بهبود مستمر

بهبود مستمر مفهوم مبنایی کیفیت جامع است، سازمان‌های متعالی کمال را هدف قرار می‌دهند و همواره در پی بهبود مستمر هستند. با توجه به این آگاهی و دانش که تحولات و پیشرفت‌ها محدود هستند و کمتر اتفاق می‌افتند، باید بهبود مستمر در همه فرایندها، محصولات و خدمات تشویق و پیگیری شود. اغلب برای سرمایه‌گذاری در بهبود مستمر تردیدهای وجود دارد زیرا شخص احساس می‌کند به اندازهٔ کافی مطلوب است یا به طور نسبی موقعیت رقابتی مناسب دارد و یا بین هزینه و کیفیت تعادل وجود دارد این خشنودی از خود در هر سازمانی که باشد برای آن سازمان خطرناک است. تعادل هزینه و کیفیت عبارتی است که مثل افیون بر ما تأثیر می‌کند برای خلاصی از فریب این عبارت زیبا باید سیاست نخست، کیفیت را انتخاب کرد.

پس از تأکید فراوان بر بهبود مستمر و اجرای صحیح آن زمانی فرا می‌رسد که مشکلات و نواقص در سطح بسیار پایین قرار دارند، در چنین موقعیتی باید به بعد دوم کیفیت یعنی کیفیت جذاب توجه شود.

۶ـ۸ فلسفهٔ دمینگ، جوران و کرازبی در بهبود کیفیت

۶ـ۸ـ۱ فلسفهٔ دمینگ

فلسفهٔ دمینگ در قالب ۱۴ نکته قابل بیان است. اغلب این نکات در سال ۱۹۵۰

میلادی در سمیناری که نمایندگان ۲۱ صنعت مهم ژاپن در آن حضور داشتند ارائه شد. توسعهٔ مابقی نکات و اصلاح نکات اولیه در طول یک دورهٔ ۳۰ ساله به انجام رسید.

۱ـ یک هدف مستمر با تمرکز بر بهبود محصول و خدمات ایجاد کنید.

۲ـ فلسفهٔ جدید نپذیرفتن محصول معیوب، مهارت‌های نامناسب و یا خدمات بد را پذیرا باشید.

۳ـ به منظور کنترل کیفیت محصولات از بازرسی انبوه اجتناب کنید.

۴ـ قراردادهای خود را با تأمین‌کنندگان فقط براساس قیمت تنظیم نکنید بلکه جنبهٔ کیفیت را نیز در نظر بگیرید.

۵ـ سیستم را به طور مداوم و مستمر بهبود دهید.

۶ـ آموزش را برقرار و نهادینه کنید و در راستای آموزش تمامی افراد سازمان سرمایه‌گذاری کنید.

۷ـ موضوع رهبری را تعلیم داده و نهادینه کنید. نظارت نباید فقط تحت نظر گرفتن کارگران باشد.

۸ ـ ترس را برطرف کنید و اعتماد و محیطی برای رشد و نوآوری ایجاد کنید.

۹ـ تلاش تیم‌ها و قسمت‌های ستادی را بهینه کنید و موانع بین بخش‌های مختلف سازمان را از میان بردارید.

۱۰ـ شعارها و نصیحت‌ها را برای نیروی کار حذف کنید.

۱۱ـ الف) سهمیه‌های عددی[1] را برای نیروی کار حذف کنید.

ب) مدیریت بر مبنای هدف[2] را حذف کنید.

۱۲ـ سدهایی که مانع احساس غرور کارکنان از مهارت خود می‌شود را حذف کنید.

۱۳ـ تحصیل و خودبهبودی را برای همگان مورد تشویق قرار دهید.

۱۴ـ در جهت به انجام رساندن تغییر و تبدیل وضعیت اقدام کنید.

۶ـ۸ـ۲ روش اجرایی جوران برای مدیریت کیفیت جامع

معمولاً این روش استاندارد از سوی «مؤسسهٔ جوران» یا مؤسسات وابسته به آن

1. Numerical Quotas
2. Management by Objective

گسترش می‌یابد. موارد آموزشی برای حفظ فرایند بهبود کیفی برمبنای این استاندارد به شرح ذیل است:

- دلایل نیاز
- شناسایی پروژه
- تعریف پروژه‌هایی برای بهبود قابلیت فروش تولیدات
- سازماندهی جهت تشخیص: ایجاد روند تشخیص
- تعیین خطاهای قابل کنترل نیروی کار
- تعیین ابزارهای تشخیص
- ایجاد فرایند درمان
- توسعهٔ انگیزه برای بهبود کیفیت
- حفظ و نگه‌داری نتایج

نکته مهم برای اجرای این اصول این است که رابطهٔ منطقی موجود و متوالی آنها کاملاً رعایت شود. به منظور اعمال فرایند مدیریت کیفیت جامع مجموعه‌ای از فعالیت‌های منطقی برای استفاده شرکت‌ها وجود دارد. به این ترتیب جوران روش ۱۰مرحله‌ای معروف خود را از طریق این عناوین تدوین کرده است. این ۱۰مرحله عبارت‌اند از:

۱ـ آگاهی از بهبود کیفیت و نیز امکان ایجاد آن را فراهم آورید.

۲ـ اهداف بهبود کیفی را مشخص کنید.

۳ـ برای نیل به اهداف سازماندهی کنید (شورای کیفی را تشکیل داده، مسائل را شناسایی کرده، پروژه‌ها را انتخاب کرده، گروه‌های کاری و نیز هماهنگ‌کننده‌ها را تعیین کنید).

۴ـ آموزش‌های مربوطه را فراهم کنید.

۵ـ به منظور حل مسائل پروژه‌ها را اجرا کنید.

۶ـ پیشرفت‌ها را گزارش کنید.

۷ـ از فعالیت‌های انجام‌شده تقدیر به عمل آورید.

۸ ـ دیگران را از نتایج حاصله مطلع کنید (از طریق سمینارها، بولتن‌ها و غیره).

۹ـ نتایج به‌دست‌آمده را ثبت کنید.

۱۰ـ ضمن تحلیل فرایند بهبود بلندمدت سازمان سعی کنید آن را به شکل برنامه‌های سالیانه تدوین و به اجرا درآورید.

۶ـ۸ـ۳ روش اجرایی فیلیپ کرازبی در مدیریت کیفیت جامع

روش فیلیپ کرازبی در اجرای مدیریت کیفیت جامع احتمالاً مقبول‌ترین روش محسوب می‌شود. یکی از بحث‌های مهم در مورد مدیریت کیفیت جامع، مفهوم تولید بی‌نقص[1] است که عنصر لاینفک نظریهٔ کرازبی به شمار می‌آید و در چهار «اصل کیفیت» آورده شده است. چهار اصل کیفیت ابزار ساده ولی مؤثری برای بیان فلسفه مدیریت کیفی جامع بوده و برای کلیه مؤسسات اعم از خدماتی و یا تولیدی کاربرد دارد.

اصل اول: همهٔ افراد سازمان باید از کیفیت برداشت یکسانی داشته باشند که قابل بیان در عبارت «انطباق با نیازهای مورد توافق مشتری» است و بر عبارت‌های «کیفیت خوب یا عالی» ارجحیت دارد.

اصل دوم: باید سیستمی وجود داشته باشد تا کیفیت را تضمین کند (انطباق)، و آن سیستم جلوگیری است نه سیستم کنترل و ارزیابی.

اصل سوم: استاندارد اندازه‌گیری میزان عدم تطابق[2] همان تولید بی‌نقص است نه معیارهای ارزیابی سنتی (یعنی سطح کیفی قابل قبول) یا پذیرش درصدی از ضایعات.

اصل چهارم: چگونگی اندازه‌گیری کیفیت: کرازبی این مسئله را معادل با هزینهٔ عدم تطابق می‌داند. او معتقد است که شرکت‌های تولیدی حداقل معادل ۲۵ درصد از فروش خود را صرف فعالیت‌های غلط و نادرست (روش‌های تولید نادرست یا برنامه‌ریزی نادرست) می‌کنند. همچنین در شرکت‌های خدماتی حداقل ۴۰ درصد از هزینهٔ عملیاتی صرف فعالیت‌های نادرست می‌شود.

کرازبی اعتقاد دارد که تولید بی‌نقص یک استاندارد عملکرد است که قابلیت کاربرد در تمامی فرایندها را دارد و آن را بخشی از یک دیدگاه فکری می‌داند. وقتی اشتباهات و نارسایی‌ها اتفاق می‌افتند نباید فکر کرد اجتناب‌ناپذیرند، بلکه باید تصمیم گرفت که از وقوع آنها در آینده جلوگیری کرد. به این ترتیب درنهایت می‌توان به تولید یا خدمات بی‌نقص دست یافت. علاوه بر چهار اصل فوق وی چهارده نکته برای مدیریت کیفیت پیشنهاد کرده است که در جدول ۶ـ۱ آمده‌اند.

---

1. Zero Defect
2. Non-conformance

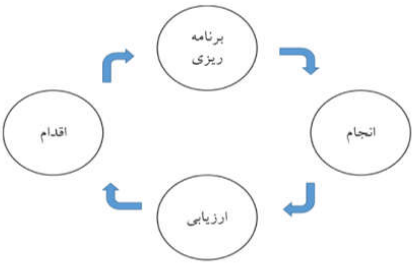
جدول۶ـ۱ نکات مدیریت کیفیت

هدف	شرح
تعهد مدیریت	ایجاد تعهد در نیروی کار توسط مدیران متعهد
تیم بهبود کیفیت	برنامه‌ریزی و مدیریت فرایند بهبود کیفیت
سنجش و ارزیابی	ایجاد یک روش متداول برای اندازه‌گیری کیفیت
هزینه‌های کیفیت	تعریف ابزار مدیریت به منظور ارزیابی هزینه‌های POC[1]، PONC[2] و روش‌های تنظیم گزارش
بیداری کیفیت	ارسال گزارش پیشرفت نتایج و روند کار نزد کارکنان برگزاری نشست‌ها و انجام ارزیابی‌ها
انجام اقدامات اصلاحی	توسعه روش‌های رسمی برای حل ریشه‌ای مشکلات
برنامه‌ریزی برای تولید بی‌نقص	تشکیل کمیته‌ای برای کمک به نظرات ویژه روز تولید بی‌نقص و برنامه‌ریزی برای برگزاری مراسم این روز
آموزش کارکنان	آموزش کیفی تمامی کارکنان برای حصول اطمینان از وجود یک ادراک عام نسبت به کیفیت و بهبودهای دردست اقدام
روز تولید بی‌نقص	عینی کردن تعهد
تعیین هدف	کمک به سازمان در تعیین اهداف قابل اجرا و قابل ارزیابی
حذف علل مشکلات	شناسایی و معرفی تنگناها و مشکلات گسترش فضای پندآموزی از خطاها
شورای کیفیت	نظارت عملی بر فرایند بهبود کیفی و واکنش‌ها و احساسات ناشی از نتایج حاصله
تکرار مجدد مراحل قبلی	استقرار یک تیم برای تکرار فرایند فوق
قدردانی	کسب اطمینان از اینکه به افزایش انگیزش و تعهد اعتبار داده می‌شود

۶ـ۹ سیکل PDCA

شامل فعالیت‌هایی که یک شرکت به منظور بهبود مستمر در عملکرد خود انجام می‌دهد. این چرخه در شکل نشان داده شده است و به عنوان چرخه دمینگ نیز نامیده می‌شود. ماهیت گردشی این چرخه نشان می‌دهد که بهبود مستمر فرایندی بی‌پایان است. مراحل این چرخه در شکل ۶-۶ آمده است:

1. The Price of Conformance
2. The Price of Non- Conformance



شکل ۶ـ۶ سیکل PDCA

برنامه‌ریزی: اولین گام در چرخهٔ PDCA برنامه‌ریزی است. مدیران باید فرایند فعلی را ارزیابی و طرح‌های اقدام برای حل مشکلات موجود را طراحی کنند. آنها باید تمام دستورالعمل‌های فعلی را مستندسازی و جمع‌آوری کنند و مشکلات را شناسایی کنند. این اطلاعات در ادامه باید مورد مطالعه قرار گرفته و به منظور توسعهٔ طرح بهبود و نیز اقدامات خاص برای ارزیابی عملکرد مورد استفاده قرار گیرند.

انجام: گام بعدی در چرخه، پیاده‌سازی طرح است. در طول فرایند پیاده‌سازی، مدیران باید تمام تغییرات ایجادشده را مستند کرده و برای ارزیابی، داده جمع‌آوری کنند.

ارزیابی: مرحلهٔ سوم مطالعهٔ اطلاعات جمع‌آوری‌شده در فاز قبلی است. داده‌ها برای اینکه مشخص شود آیا طرح به اهداف تدوین‌شده در مرحلهٔ برنامه‌ریزی رسیده‌اند یا خیر، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

اقدام: آخرین مرحله از چرخه، اقدام براساس نتایج حاصل از سه مرحلهٔ قبلی است. بهترین راه برای انجام این کار این است که نتایج را به سایر اعضای شرکت تعمیم داده و پس از آن دستورالعمل جدید را در صورتی که موفق بوده پیاده‌سازی کنند. توجه داشته باشید که این یک چرخه است گام بعدی برنامه‌ریزی مجدد است. پس از اقدام، نیاز به ارزیابی فرایند، برنامه‌ریزی و تکرار دوبارهٔ چرخه داریم.

۶ـ۱۰ کایزن[1]

کایزن یک لغت ژاپنی است برای فلسفه‌ای که نقش مدیریت را در پیشبرد و اجرای

1. Kaizen

بهبودهای کوچک با کمک تمامی افراد، تعریف می‌کند. کایزن فرایند بهبود مستمر در مقادیر اندک است که فرایند را کاراتر، اثربخش‌تر، سازگارتر و قابل کنترل می‌کند. بهبودها معمولاً بدون هزینه یا با هزینه اندک حاصل می‌شوند و نیازی هم به تکنیک‌های پیچیده و تجهیزات گران‌قیمت ندارد. تأکید این فلسفه بر ساده‌سازی فرایند از طریق خرد کردن فرایندهای پیچیده به زیرفرایندها و سپس بهبود آنهاست. بهبود کایزنی بر استفاده از موارد زیر تأکید دارد:

۱ـ فعالیت‌های کاری دارای ارزش افزوده و فاقد ارزش افزوده؛

۲ـ مودا (اتلاف[1]) که برمی‌گردد به هفت گروه اصلی اتلاف: تولید بیش از حد، تأخیر، حمل‌ونقل، فرایند، انبارش، حرکات اضافی و اقلام معیوب؛

۳ـ اصول مطالعه حرکت؛

۴ـ اصول جابه‌جایی مواد؛

۵ـ مستندسازی رویه‌های عملیات استاندارد؛

۶ ـ سیستم **5S** برای ساماندهی محل کار که شامل پنج اصل است. این ۵ اصل عبارت‌اند از اصل سازماندهی[2]، اصل نظم و ترتیب[3]، اصل نظافت شخصی[4]، اصل پاکیزه‌سازی[5] و اصل انضباط[6]؛

۷ـ مدیریت بصری با استفاده از نمایشگرهایی که تمام کارکنان می‌توانند از آنها برای ارتباطات بهتر استفاده کنند.

۸ـ اصول تولید به‌هنگام[7] برای تولید محصول به تعداد مقتضی، در زمان مقتضی و بدون اتلاف منابع؛

۹ـ پوکایوکی[8] برای پیشگیری یا کشف عیوب؛

۱۰ـ پویایی تیم که شامل حل مسئله، مهارت‌های ارتباطی و حل تعارض می‌شود.

---

1. Muda
2. Seiko= Proper arrangement
3. Seton= Orderliness
4. Seikesto= Personal Cleanliness
5. Seiso= Cleanup
6. Shitsuke= Discipline
7. Just In Time (JIT)
8. Poka-Yoke

جدول ۶ـ۲ واژه‌های مورد استفاده در **5S**

Seiri	Sorting Out	ساماندهی
Seiso	Spic and Span	پاکیزه‌سازی
Seiton	Systematic Arrangement	نظم و ترتیب
Sekitsu	Standardizing	استانداردسازی
Shitsuke	Self - discipline	انضباط

۶ـ۱۱ اصول و مبانی 5S

«پنج اس» نظامی است که در ژاپن به صورت نهادینه مورد استفاده قرار گرفته و نتایج بسیار خوبی را برای واحدهای صنعتی و خدماتی به ارمغان آورده است. نتایجی که معمولاً با استفاده از این روش حاصل می‌شود را می‌توان به اختصار به پیشگیری از حوادث، کاهش وقفه کاری و افزایش بهره‌وری در محیط کار نام برد. به طور کلی هدف نهایی «پنج اس» پیشگیری از اتلاف است. علی‌رغم اینکه سیستم «پنج اس» به ظاهر خیلی ساده و قابل فهم است و انجام آن اصول نیز خیلی ساده به نظر می‌آید ولی عموماً سازمان‌ها و واحدها برای پیاده کردن آن در عمل با مشکلات فراوان روبه‌رو هستند. دلیل این امر را باید در ظاهرِ سادهٔ آن جستجو کرد. در واقع تحقق «پنج اس» از آن رو دشوار است که مدیران و پرسنل اجرایی از اهداف و مأموریت‌های آن به صورت صحیح اطلاع کاملی ندارند. بنابراین اجرای نظام «پنج اس» و تدارک بستر مناسب برای انجام آن تا زمانی که اصول آن به‌خوبی شناخته نشده کاری بسیار دشوار است. به همین خاطر به منظور آشنایی مختصر مدیران با این روش هر یک از این اصول به اختصار معرفی می‌شوند.

عبارت «پنج اس» براساس حروف ابتدای پنج واژهٔ ژاپنی انتخاب شده است. جدول ۶ـ۲ معادل پنج واژهٔ مذکور را به ترتیب از چپ به راست به سه زبان ژاپنی، انگلیسی و فارسی نمایش می‌دهد:

۶ـ۱۲ مشارکت پیمانکاران

هر سازمانی بخش عمده‌ای از فروش خود را صرف خرید مواد خام، اجزا و خدمات می‌کند. در حقیقت به طور متوسط ۶۰ درصد از هزینهٔ کالاهایی که در سال ۲۰۰۰ میلادی تولید شده‌اند را کالاهایی تشکیل می‌دهند که برای تولید آن خریداری شده‌اند. این میزان

نسبت به سال ۱۹۷۰ میلادی که ۲۰ درصد بوده افزایش پیدا کرده است. از این رو کیفیت تأمین‌کنندگان می‌تواند هزینهٔ محصول یا خدمت تولیدی را به گونه‌ای اساسی تحت تأثیر قرار دهد. یکی از عوامل اساسی برای دریافت کالا یا خدمت با کیفیت بالا برای مشتریان، همکاری مشتری با تأمین‌کنندگان در یک فضای تشریک مساعی است.

۶ـ۱۲ـ۱ اصول روابط سازمان ـ تأمین‌کننده

کائورو ایشیکاوا ۱۰ اصل را برای اطمینان از کیفیت مناسب محصولات و خدمات و حذف نارضایتی بین سازمان و تأمین‌کننده پیشنهاد کرده است:

۱ـ هم سازمان و هم تأمین‌کننده برای کنترل کیفیت کاملاً مسئولیت‌پذیر باشند.

۲ـ هم سازمان و هم تأمین‌کننده باید مستقل از یکدیگر بوده و به استقلال دیگری احترام بگذارند.

۳ـ سازمان موظف است الزامات را به صورت کامل و واضح در اختیار تأمین‌کننده قرار دهد تا تأمین‌کننده دقیقاً بداند که چه کالایی را تولید کند.

۴ـ هم سازمان و هم تأمین‌کننده باید با هم وارد قرارداد دوستانه‌ای در مورد کیفیت، قیمت، روش تحویل و دوره‌های پرداخت شوند.

۵ـ تأمین‌کننده مسئول است که کیفیت مورد نظر سازمان را برآورده کند و داده‌های لازم را در صورت درخواست سازمان در اختیار او قرار دهد.

۶ ـ سازمان و تأمین‌کننده باید بر سر روش ارزیابی کیفیت محصول یا خدمت به توافق برسند.

۷ـ سازمان و تأمین‌کننده باید روشی را که با آن می‌تواند بر اختلافات احتمالی فائق آیند، در قرارداد مشخص کنند.

۸ ـ هم سازمان و هم تأمین‌کننده باید اطلاعاتی را که باعث بهبود کیفیت محصول یا خدمت می‌شود مبادله کنند.

۹ـ هم سازمان و هم تأمین‌کننده باید فعالیت‌های تجاری از قبیل تدارکات، برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی، کارهای اداری و سیستم‌ها را طوری انجام دهند که یک رابطهٔ رضایت‌بخش و دوستانه حفظ شود.

۱۰ـ هم سازمان و هم تأمین‌کننده باید به هنگام سروکار داشتن با تراکنش‌های[1] تجاری همیشه بیشترین نفع را برای مصرف‌کننده نهایی در نظر داشته باشند.

---

1. Transaction

هر چند این اصول بدیهی به نظر می‌رسد یک نگاه دقیق نشان می‌دهد که در اینجا یک رابطهٔ شراکتی موجود است. ایشیکاوا مانند دمینگ نوعی ارتباط خانوادگی را توصیه می‌کند که در آن هر یک از اعضا هویت و استقلال خود را حفظ می‌کنند.

۶ـ۱۲ـ۲ تشریک مساعی

تشریک مساعی یا شراکت، تعهدی بلندمدت بین دو یا چند سازمان به منظور دستیابی به آرمان‌ها و اهداف مشخص از راه حداکثر کردن اثربخشی تمام طرفین است. این رابطه بر پایه اعتماد، تعهد نسبت به اهداف و آرمان‌های مشترک و درک انتظارات و ارزش‌های طرفین استوار است. منافع حاصل از این رابطه عبارت‌اند از کیفیت بهتر، اثربخشی بیشتر، هزینهٔ کمتر و بهبود مستمر محصولات و خدمات. شراکت یک رابطهٔ چندبعدی است که به آموزش مداوم برای دستیابی به بهبود مستمر و افزایش سود نیاز دارد. سه عنصر کلیدی در یک رابطهٔ شراکتی وجود دارد: (۱) تعهد بلندمدت[1]، (۲) اعتماد[2] و (۳) بینش مشترک[3].

تعهد بلندمدت: تجربه نشان داده است که منافع حاصل از تشریک مساعی به سرعت به دست نمی‌آیند. حل مسائل و بهبود مستمر فرایند نیاز به زمان دارد. تعهد بلندمدت، محیط لازم را برای دو طرف مهیا می‌کند تا در جهت بهبود حرکت کنند. کل اعضای سازمان باید درگیر کار شوند، از بالاترین مدیریت سازمان گرفته تا کارگران هر طرف توانایی‌ها و نقاط قوت خود را به اشتراک می‌گذارند. اگر این نقاط قوت کافی نباشد، ممکن است سرمایه‌گذاری در سیستم‌ها و تجهیزات جدید مورد نیاز باشد. درنتیجه هر طرف به تناسب با مخاطراتی روبه‌رو هستند. به همین دلیل، یک تأمین‌کننده ممکن است به این ریسک‌ها (نظیر خرید سیستم‌ها و تجهیزات جدید) دست نزند، مگر اینکه تعهد بلندمدت وجود داشته باشد.

اعتماد: طرفین را قادر می‌سازد که با ترکیب منابع و دانش خود رابطه غیردوستانه را از بین ببرند. در این صورت شرکا قادر به تسهیم اطلاعات و پذیرش کنترل کمتر هستند. اعتماد متقابل پایه یک رابطهٔ کاری قوی را می‌سازد و باید به منزلهٔ یک تغییر پارادایم تجاری نگریسته شود. اعتماد متقابل با قرارداد خرید آغاز می‌شود که نباید غیردوستانه باشد. فعالیت خرید سازمان باید با آرمان‌ها و اهداف کلی شراکت همسو باشد.

---

1. Long-term Commitment
2. Trust
3. Shared Vision

ارتباطات سهل و مداوم، مانع به خطر افتادن و مجادله در روابط شده و باعث تقویت آن می‌شود.

طرفین باید به طرح‌های کسب و کار و اطلاعات فنی یکدیگر نظیر پارامترهای محصول و فرایند دسترسی داشته باشند. آنها می‌توانند منابعی نظیر فعالیت‌های آموزشی، سیستم‌های اداری و تجهیزات را به اشتراک گذاشته یا ادغام کنند. قدرت و استحکام تشریک مساعی مبتنی بر انصاف[1] و برابری[2] است. وقتی راه‌حل‌های «برد/ برد» جایگزین «برد/باخت» می‌شود، هر دو طرف انگیزه زیادی برای ادامه کار پیدا می‌کنند.

بینش مشترک: هریک از سازمان‌های شریک باید نیاز مشتری نهایی را درک کنند. برای دستیابی به این بینش، باید انتظارات و نیازمندی‌ها به صورت باز و صریح مبادله شوند. آرمان‌ها و اهداف مشترک که باید با مأموریت طرفین همسو باشد حرکت در یک جهت را تضمین می‌کند. کارکنان هر طرف باید به خاطر منافع مشترک، فکر و عمل کنند. همچنین طرفین باید کار یکدیگر را درک کنند تا بتوانند تصمیمات منصفانه بگیرند. این تصمیمات باید به وسیله یک تیم، طرح‌ریزی و اجرا شود. از این‌رو تسهیم طرح‌های کسب‌وکار به برنامه‌ریزی استراتژیک دوجانبه کمک می‌کند.

۶ـ۱۳ برون‌سپاری[3]

انتخاب منبع به سه طریق امکان‌پذیر است: منحصربه‌فرد (انحصاری)[4]، چندگانه[5] و یگانه[6]. یک منبع منحصربه‌فرد تأمین به این معنی است که سازمان مجبور است تنها از یک تأمین‌کننده استفاده کند. این وضعیت به واسطهٔ عوامل متعددی به وجود می‌آید از جمله انحصاری بودن، مشخصات فنی ویژه، محل مواد اولیه، تنها یک سازمان کالای مورد نظر را تولید کند یا بخش دیگری از خود سازمان کالا را تولید کند. تشریک مساعی، نتیجه طبیعی این نوع منبع‌یابی است، با این فرض که تأمین‌کننده مایل به همکاری برای رضایت مشتری نهایی باشد.

---

1. Fairness
2. Parity
3. Outsourcing
4. Sole
5. Multiple
6. Single

منبع چندگانه، استفاده از دو یا چند تأمین‌کننده برای یک قلم کالاست. معمولاً از سه تأمین‌کننده استفاده می‌شود که سهم آنها از کار، تابعی از عملکردشان برحسب قیمت، کیفیت و تحویل است. تئوری منبع چندگانه این است که رقابت منجر به کیفیت بهتر، قیمت کمتر و خدمات بهتر می‌شود.

منبع یگانه، انتخاب یک تأمین‌کننده واحد برای یک قلم کالاست وقتی که چندین تأمین‌کننده برای آن وجود داشته باشد. تأمین‌کننده می‌تواند همراه با حجم تضمین‌شده کالا منابعش را برای بهبود روند کار جهت‌دهی کند.

۶ـ۱۴ ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده

پیش از بحث در مورد فعالیت‌های تأمین‌کننده باید تصمیم بگیریم که یک قطعه خاص را تولید کنیم یا از خارج سازمان تهیه کنیم. این یک تصمیم استراتژیک است که باید در مرحلهٔ طراحی گرفته شود. در این مورد باید به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

۱ـ این قطعه چقدر در طراحی محصول یا خدمت حساس و مهم است؟

۲ـ آیا سازمان این دانش فنی لازم را برای تولید این قطعه در داخل سیستم خود دارد؟ اگر نه آیا می‌تواند این دانش را به دست آورد؟

۳ـ آیا تأمین‌کنندگانی وجود دارند که تخصصشان تولید این قطعه باشد؟ اگر نه، آیا سازمان مایل به ایجاد چنین تأمین‌کننده‌ای است؟

به این سؤالات باید با توجه به قیمت، تحویل و کسب دانش فنی محصول پاسخ داده شود. به عنوان مثال، امکان دارد یک سازمان عملیات انتقال بار و انبارداری را به پیمانکار خارجی بسپارد چون بدین وسیله کار بهتر و ارزان‌تر انجام می‌شود. وقتی تصمیم به همکاری با پیمانکار خارجی گرفته شد آنگاه باید این پیمانکار خارجی یا تأمین‌کننده انتخاب شود.

در زیر ۱۰ شرط برای انتخاب و ارزیابی تامین‌کنندگان آمده است:

۱ـ تأمین‌کننده فلسفهٔ مدیریت سازمان را درک می‌کند و بر آن صحه می‌گذارد.

۲ـ تأمین‌کننده دارای یک سیستم پایدار است.

۳ـ تأمین‌کننده از استانداردهای فنی سطح بالا پشتیبانی می‌کند و توانایی تطابق با ابتکارات فنی آینده را دارد.

۴ـ تأمین‌کننده بتواند دقیقاً همان قطعات و مواد اولیه را که خریدار احتیاج دارد، تأمین کرده و مشخصات کیفی مورد نظر را برآورده کند.

۵ـ تأمین‌کننده ظرفیت تولید به اندازهٔ لازم را داشته باشد یا بتواند به آن ظرفیت دست یابد.
۶ـ خطری در مورد نفوذ به اطلاعات محرمانه شرکت از جانب تأمین‌کننده وجود نداشته باشد
۷ـ قیمت مناسب باشد و موعدهای تحویل رعایت شود.
۸ـ تأمین‌کننده در اجرای مفاد قرارداد صادق باشد.
۹ـ تأمین‌کننده دارای یک سیستم کیفیت اثربخش و یک برنامهٔ بهبود نظیر ISO/QS9000 باشد.
۱۰ـ تأمین‌کننده دارای سوابق خوبی از کسب رضایت مشتری و اعتباری سازمانی باشد.

۶ـ۱۵ ابزارهای مدیریت کیفیت جامع

۶ـ۱۵ـ۱ نگهداری ـ تعمیرات بهره‌ور فراگیر[1]

نگهداری ـ تعمیرات بهره‌ور فراگیر، یک نوع سیاست نگهداری ـ تعمیرات است، که با هدف حداکثر کردن بهره‌وری و اثربخشی تجهیزات از طریق یک سیستم فراگیر نگهداری ـ تعمیرات پیشگیرانه، برای کل طول عمر تجهیزات است. این مفهوم به عنوان بخشی از پیاده‌سازی **کایزن** (فرایند بهبود فراگیر در تولید) و **تولید ناب** در ژاپن شکل گرفت. نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر، همانند **مدیریت کیفیت** فراگیر، کلیه افراد در همه سطوح را، در نگهداری و تعمیرات دستگاه‌ها و **کنترل کیفیت** تجهیزات، دخالت می‌دهد. به عبارت دیگر، هدف ترغیب افراد به نگهداری محل کار یا کارخانه، از طریق گروه‌های کوچک و فعالیت‌های داوطلبانه است.

TPM در واقع نوعی الگوبرداری از سیستم TQM است و هدف آن رساندن خرابی‌ها به سطح صفر (zero breakdown) است در حالی که هدف سیستم TQM رساندن نقص در کالای تولیدی به حد صفر (zero defect) است. استراتژی بنیادین در هر دو سیستم فوق، پیشگیری در مبدأ به جای حل مشکل پس از وقوع است.

۶ـ۱۵ـ۲ بنچ‌مارکینگ[2]

الگوبرداری در واقع ابزاری برای بهبود مستمر است و می‌تواند در انواع سازمان‌های تولیدی و خدماتی به کار گرفته شود. در ادبیات مدیریت، بنچ‌مارکینگ عبارت است از فرایندی پیوسته و سیستماتیک ارزیابی و مقایسهٔ محصولات، خدمات و فرایندهای کاری یک سازمان، با پیشروهای صنعت یا دنیا. در تعریفی دیگر، بنچ‌مارکینگ عبارت است از

1. Total Productive Maintenance
2. Benchmarking

جستجو برای یافتن بهترین تجربیات صنعت (یا خدمات)، برای دست یافتن به بالاترین سطح عملکرد. یکی دیگر از تعاریفی که از بنچ‌مارکینگ بیشتر مورد پذیرش قرار گرفته است عبارت است از: رفتار متواضعانه برای پذیرش برتری دیگران در یک موضوع خاص و نیز رفتار عاقلانه برای رقابت و برتری جستن بر آنها در همان موضوع.

انواع مختلف بنچ‌مارکینگ را می‌توان برمبنای آنچه که مقایسه می‌شود و آن چیزی که در قبال آن، مقایسه صورت می گیرد تعریف کرد.

الف) بنچ‌مارکینگ چه چیزی؟

۱ـ بنچ‌مارکینگ عملکرد: مقایسه‌ای از اندازه‌گیری‌های عملکردی (اغلب مالی و عملیاتی)

۲ـ بنچ‌مارکینگ فرایند: مقایسه روش‌ها و طرز اجراها

۳ـ بنچ‌مارکینگ راهبردی: مقایسه انتخاب‌ها و تمایلات استراتژیک

ب) بنچ‌مارکینگ با چه چیزی؟

۱ـ بنچ‌مارکینگ داخلی: مقایسه بین قسمت‌ها، واحدها و شرکت‌های تابعهٔ درون همان شرکت یا سازمان

۲ـ بنچ‌مارکینگ رقابتی: یک مقایسهٔ مستقیم از (عملکرد/نتایج) خودی در مقابل بهترین رقبای واقعی

۳ـ بنچ‌مارکینگ کارکردی: مقایسهٔ فرایندها یا کارکردها با شرکت‌های غیررقیب در همان صنعت یا در زمینهٔ تکنولوژیکی

۴ـ بنچ‌مارکینگ ژنریک: مقایسهٔ فرایندهای خودی با بهترین فرایند نزدیک به آن، صرف‌نظر از صنعت

ماتریس ۶ـ۷ نشان می‌دهد چه ترکیب‌هایی از انواع مختلف بنچ‌مارکینگ بیشترین فایده را برای بررسی دارند.

	با چه چیزی؟			
چه چیزی؟	داخلی	رقابتی	کارکردی	ژنریک
عملکرد	متوسط	زیاد	متوسط	کم
فرایند	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
راهبردی	کم	زیاد	کم	کم

شکل ۶ـ۷ ترکیب بهینهٔ بنچ‌مارکینگ در حالات مختلف.

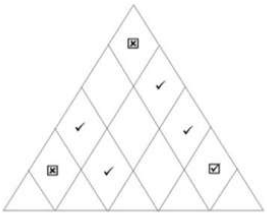
۶ـ۱۶ گسترش عملکرد کیفیت[1]

یکی از جنبه‌های مهم ایجاد کیفیت برای یک محصول، اطمینان از تطابق با انتظارات مشتری است. این کار معمولاً آن‌چنان که به نظر می‌رسد ساده نیست. مشتریان اغلب عامیانه صحبت می‌کنند. به عنوان مثال یک محصول را می‌توان «جذاب»، «مستحکم» یا «ایمن» توصیف کرد. با این حال این واژه‌ها می‌توانند معانی بسیار متفاوتی نزد مشتریان مختلف داشته باشد. آنچه در نظر یک نفر مستحکم است ممکن است برای دیگری نباشد برای تولید محصولی که مشتریان می‌خواهند باید زبان روزمرهٔ مشتریان به الزامات فنی خاص ترجمه شود. اگر چه این کار اغلب دشوار است. یک ابزار مفید برای ترجمهٔ صدای مشتری به الزامات فنی خاص گسترش عملکرد کیفیت (QFD) است. توسعهٔ عملکرد کیفیت همچنین در افزایش ارتباط بین عملکردهای مختلف، مانند بازاریابی، عملیات و مهندسی مفید است.

QFD ما را قادر می‌سازد روابط بین متغیرهای درگیر در طراحی محصول مانند متغیرهای فنی را نسبت به نیاز مشتری مشاهده کنیم. این کار کمک می‌کند تصویر بزرگی را تجزیه‌وتحلیل کنیم به عنوان مثال با اجرای آزمون می‌توان فهمید که چگونه تغییر در برخی از الزامات فنی محصول، نیازمندی‌های مشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مثلاً تولیدکننده خودرو ارزیابی می‌کند چگونه تغییر در مواد، الزامات ایمنی مشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تجزیه‌وتحلیل در توسعهٔ طراحی محصول که نیازهای مشتریان را در نظر می‌گیرد و در عین حال نیازهای فنی غیرضروری را برای تولید در نظر نمی‌گیرد، می‌تواند بسیار مفید باشد.

QFD با شناسایی نیازمندی‌های مهم مشتری آغاز می‌شود که به طور معمول از بخش بازاریابی به دست می‌آید. این نیازمندی‌ها به صورت عددی براساس اهمیت آنها رتبه‌بندی می‌شوند و رتبه‌ها به ویژگی‌های خاص محصول تبدیل می‌شود. ارزیابی‌ها سپس بر این اساس که چگونه با رقبای اصلی خود برمبنای ویژگی‌های شناسایی‌شده مقایسه می‌شوند صورت می‌پذیرد. درنهایت، اهداف خاص برای رسیدگی به مشکلات شناسایی‌شده تدوین می‌شود. ماتریس حاصل شبیه عکس یک خانه است و

1. Quality Function Deployment



نیازمندی های مشتریان	اهمیت نسبی	ویژگی‌های محصول: تعداد جیب‌ها و زیپ‌ها	وزن کوله پشتی	استحکام	میزان رنگارنگ بودن	هزینه مواد اولیه	روابط: به شدت مثبت ☑ مثبت ✓ منفی ✖ به شدت منفی ☒
دوام	25	✓	✓	☑	✓	☑	US A B 5 4 3 2 1
وزن سبک	20	☒	☒	✖		✓	US/B A 5 4 3 2 1
جادار بودن	25	✓	✖				US/A B 5 4 3 2 1
ظاهر زیبا	20	✓			☑	✓	A B US 5 4 3 2 1
هزینه کم	10	✖	✖	✖	✖	☒	A B US 5 4 3 2 1
مجموع	100						
ارزیابی رقبا	A	2	1.2 lbs	14 lbs	Grade B	$8	
	B	3	0.8 lbs	10 Lbs	Grade A	$10	
اهداف ما		4	0.5 lbs	16 lbs	Grade A	$8	

شکل ۶ـ۸ ماتریس خانه کیفیت.

اغلب، خانه کیفیت (HOQ[1]) نامیده می‌شود. در ادامه مثالی از کاربرد QFD در تولید کوله‌پشتی ارائه می‌شود. ابتدا با ماتریس رابطه نشان داده‌شده در شکل ۶ـ۸ شروع می‌کنیم که نیازمندی‌های مشتری را به ویژگی‌های محصول ارتباط می‌دهد.

نیازمندی‌های مشتری

به یاد داشته باشید که هدف ما تولید محصولی است که مشتری می‌خواهد. بنابراین،

1. House of quality

اولین کاری که باید انجام دهیم بررسی مشتریان برای درک این موضوع است که آنها به طور خاص به دنبال چه چیزی در یک محصول (در این مورد، کوله‌پشتی) هستند. برای یافتن اینکه دقیقاً چه ویژگی در کوله‌پشتی مد نظر خریداران است، بخش بازاریابی ممکن است نمایندگانی برای صحبت کردن با دانشجویان به محوطهٔ دانشگاه بفرستد، مصاحبه‌های تلفنی انجام شود یا با استفاده از گروه‌های کانونی اطلاعات به دست آید. در این مثال دانشجویان پنج ویژگی مطلوب را شناسایی کرده‌اند: کوله‌پشتی باید بادوام، سبک، جادار، زیبا و قیمت آن مقرون‌به‌صرفه باشد. میزان اهمیت مدنظر مشتریان نسبت به هریک از این ویژگی‌ها نیز در شکل نشان داده شده است. این بخش از شکل شبیه دودکش «خانه» است. می‌توان مشاهده کرد که دوام و جادار بودن بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده است.

ارزیابی رقابتی

در سمت راست ماتریس روابط، ارزیابی مقایسه محصول در مقایسه با رقبا دیده می‌شود. در این مثال دو رقیب A و B وجود دارند. مقیاس ارزیابی از یک تا پنج امتیاز است به این معنی که امتیاز بالاتر برای محصول بهتر است. در این جا نکته مهم تشخیص این است که کدام یک از نیازمندی‌های مشتری باید پیگیری شود و ما نسبت به رقبا تا چه حد موفق بوده‌ایم. به عنوان مثال می‌توان مشاهده کرد که محصول ما از نظر دوام در مقابل محصول رقبا برتری دارد، اما زیبا به نظر نمی‌رسد. این بدین معناست که ما در طراحی محصول می‌توانیم با تمرکز بر محصول جذاب‌تر، مزیت رقابتی به دست آوریم.

ویژگی‌های محصول

ویژگی‌های خاص محصول در بالای ماتریس رابطه است. این ویژگی‌ها شاخص‌های فنی هستند. در مثال ما این ویژگی‌ها شامل تعداد زیپ و محفظه، وزن کوله‌پشتی، استحکام کوله‌پشتی، رنگ کوله‌پشتی و هزینهٔ مواد اولیه هستند.

ماتریس رابطه

شدت ارتباط بین نیازمندی مشتری و ویژگی‌های محصول در ماتریس رابطه نشان داده شده است. برای مثال می‌توان مشاهده کرد که تعداد زیپ‌ها و محفظه‌ها رابطهٔ منفی با وزن کوله‌پشتی دارند. ارتباط منفی بدین معنی است که افزایش مطلوبیت یک متغیر

موجب کاهش مطلوبیت متغیر دیگر است. همچنین همان طور که پیداست، جادار بودن رابطهٔ مثبت با تعداد زیپ و محفظه دارد. رابطهٔ مثبت به این معنی است که افزایش مطلوبیت یک متغیر منجر به افزایش مطلوبیت متغیر دیگر می‌شود. این نوع از اطلاعات در رابطه با طراحی محصول بسیار مهم است.

ماتریس تعاملی

می‌توان مشاهده کرد که چگونه ماتریس رابطه مانند یک خانه شکل گرفت. خانهٔ کیفیت کامل در شکل ۶ـ۸ نشان داده شده است. گام بعدی در فرایند ساخت، قرار دادن «سقف» برای خانه است. این کار از طریق ماتریس تعاملی انجام می‌شود که نشان می‌دهد که چگونه هر یک از مشخصه‌های محصول به دیگر مشخصه‌ها مربوط است و درنتیجه به ما این امکان را می‌دهد که ببینیم چه تعاملاتی باید ایجاد شود. به عنوان مثال تعداد زیپ‌ها رابطهٔ منفی با وزن کوله‌پشتی دارد.

هدف‌گذاری

آخرین مرحله در ساخت خانهٔ کیفیت ارزیابی محصولات رقبا نسبت به ویژگی‌های خاص محصول و هدف‌گذاری برای محصول ماست. ردیف پایین از خانه، خروجی QFD است. این ویژگی‌های خاص و قابل اندازه‌گیری محصول است که با توجه به نیازهای کلی مشتری تدوین شده است.

خانهٔ کیفیت بسیار مفید است. می‌توان مشاهده کرد که چگونه اصطلاحات عامیانه مانند «سبکی»، «جادار بودن» و «زیبایی» را به ویژگی‌های خاص محصول که می‌تواند در تولید محصول استفاده شود تبدیل می‌کند. همچنین توجه داشته باشید که چگونه خانهٔ کیفیت می‌تواند به ارتباط بین بازاریابی، عملیات مهندسی و طراحی کمک کند.

۶ـ۱۷ تمرین‌ها

۱ـ رضایت مشتری را تعریف کنید.

۲ـ چرا رضایت مشتری اهمیت دارد؟

۳ـ انواع نظرسنجی رضایت مشتریان را ذکر کنید.

۴ـ مدل‌های رضایت مشتریان را نام برده و توضیح مختصری دهید.

۵ـ یک کارت خلاصه‌برداری برای سامانهٔ شکایت مشتریان تنظیم کنید و همچنین کارت را تکمیل کنید.
۶ـ مفاهیم موردنیاز برای دستیابی به نیروی کار با انگیزه را نام ببرید.
۷ـ چهارده نکتهٔ فلسفهٔ دمینگ را به طور مختصر ذکر کنید.
۸ ـ بیماری‌های مرگبار از نظر دمینگ که باعث ناکام ماندن سازمان برای ورود به کلاس جهانی می‌شود را ذکر کنید.
۹ـ روش‌های اجرایی جوران برای مدیریت کیفیت جامع را به اختصار ذکر کنید.
۱۰ـ روش‌های اجرایی کرازبی برای مدیریت کیفیت جامع را به اختصار ذکر کنید.
۱۱ـ سیکل PDCA چیست؟ هر کدام از ارکان این سیکل را توضیح دهید.
۱۲ـ کایزن به چه معناست و چه استفاده‌ای دارد؟
۱۳ـ موارد موجود در 5S را ذکر کنید.
۱۴ـ تشریک مساعی را توضیح دهید.
۱۵ـ روش‌های انتخاب منبع تأمین را ذکر کنید.
۱۶ـ شروط مورد نیاز برای انتخاب تأمین‌کننده را ذکر کنید.
۱۷ـ هدف نگهداری اثربخش جامع را توضیح دهید.
۱۸ـ چرا بنچ‌مارکینگ را پیاده سازی می‌کنیم؟
۱۹ـ هدف QFD را توضیح دهید.
۲۰ـ ماتریس خانهٔ کیفیت چیست؟ یک نمونه ماتریس خانهٔ کیفیت برای یک مثال طراحی کنید.

۷

سیستم‌های مدیریت کیفیت

اهداف فصل

۱ـ آشنایی با سیر تاریخی و تکامل استانداردهای مدیریت کیفیت؛
۲ـ معرفی عناصر مشترک در خانواده استاندارد ایزو ۹۰۰۰؛
۳ـ آشنایی با استاندارد ISO9001, 2015؛
۴ـ آشنایی با استاندارد OHSAS18001-2007؛
۵ـ آشنایی با استاندارد ISO 14001,2015.

۷ـ۱ مقدمه

مدیریت کیفیت، تضمینی است برای پایدار بودن محصولات و خدمات سازمان‌ها و یکی از حوزه‌های مهم در زمینهٔ تولید و خدمات است. گرچه سابقهٔ آن به ابتدای تاریخ نیز می‌رسد اما مفهوم نوین آن، کیفیت محصول در قرن بیستم است. مدیریت کیفیت یعنی نظارت بر فرایند ساخت و تولید محصول برای ایجاد اطمینان از مطابقت محصول با آنچه مورد نظر طراح یا مشتری بوده است. این نظارت از مرحلهٔ دریافت و سفارش مواد اولیه تا خدمات پس از فروش را شامل می‌شود و بدین ترتیب طیف وسیعی از فعالیت‌ها را شامل می‌شود. از جمله فعالیت‌های مربوط به مدیریت کیفیت، اول تضمین کیفیت و دوم کنترل کیفیت است. مدیریت کیفیت شامل چهار حوزه اصلی است که عبارت‌اند از:

۱ـ برنامه‌ریزی کیفیت

۲ـ کنترل کیفیت
۳ـ تضمین کیفیت
۴ـ بهبود کیفیت

امروزه مدیریت کیفیت در حوزه‌های گوناگون تولیدی و خدماتی مطرح است و افراد زیادی در سراسر دنیا هر یک به گونه‌ای با آن سروکار دارند. به طور عمده گرایش به کیفیت از ابتدا تا کنون سیر تکاملی زیر را طی کرده است:

- کنترل کیفیت محصول نهایی
- کنترل کیفیت محصول نهایی+ کنترل کیفیت مواد اولیه و خام
- کنترل کیفیت محصول نهایی+ کنترل کیفیت مواد اولیه و خام + کنترل فرایند تولید و آزمایش‌ها و نمونه‌برداری در حین تولید
- تغییر از «مرغوبیت نهایی» به «رضایت خریدار و مصرف‌کننده»

در واقع، یک زمانی کیفیت را فقط کنترل کردن اقلام تولیدی یا خدمات ارائه شده می‌دانستند. یعنی پس از اینکه محصول تولید شد ببینند منطبق بر استاندارد و خواسته مشتری هست یا خیر. اما بعد از یک مدت فهمیدند که اگر فرایندهای تولید آن محصول را کنترل کرده و اصلاح کنند به احتمال زیاد محصول سالمی هم خواهند داشت. اما با گذشت زمان به این نتیجه رسیدند که این تضمین را باید مدیریت کرد. به این معنی که برای داشتن کیفیت باید برنامه‌ریزی کرد، سازماندهی کرد و هزینه کرد و دائما کنترل کرد. پس از آن تولیدکنندگان به این نتیجه رسیدند که اصول کیفیت را باید در تمامی جنبه‌های کسب‌وکار در نظر بگیرند و برای رضایت همه بکوشند نه فقط مشتری.

مطالب ارائه‌شده این فصل در قالب ۴ زیر بخش خواهد بود. ابتدا کلیاتی پیرامون سیستم‌های مدیریت کیفیت ارائه می‌شود و سپس در سه بخش بعدی به ترتیب استانداردهای ISO9001,2015 ،OHSAS18001-2007 و ISO 14001,2015 بررسی می‌شود.

۲ـ۷ سیر تکامل مدیریت کیفیت

هر چند که مفهوم کیفیت همیشه در زندگی بشر مطرح بوده است ولی دانش کیفیت و مدیریت کیفیت علمی به اوایل قرن گذشته برمی‌گردد. که در ادامه شرح مختصری از آن ارائه می‌شود:

والتر شوهارت امریکایی، پدر علم کیفیت، در سال ۱۹۲۴ در آزمایشگاه‌های شرکت

Bell سیستمی را به وجود آورد که می‌توانست واریانس سیستم‌های تولید را اندازه‌گیری کند. این سیستم به نام کنترل آماری فرایند یا SPC مشهور شد. شوهارت در سال ۱۹۳۱ کتابی با عنوان «کنترل اقتصادی کیفیت محصولات صنعتی» منتشر کرد. در این کتاب او به موضوع «کنترل کیفیت آماری» پرداخت.

قابل توجه است که جنگ جهانی دوم یکی از مهم‌ترین خاستگاه‌های علوم مدیریت بود به طوری که بعضی از علوم مدیریت در جنگ متولد شدند و بعضی هم در جنگ رشد پیدا کردند. پس از جنگ جهانی دوم نیروهای حرفه‌ای تولید در ژاپن «سازمان غیرانتفاعی اتحادیه مهندسان و دانشمندان ژاپن» را تأسیس کردند. در همین سال، جامعهٔ کنترل کیفیت امریکا» نیز تشکیل شد و شاگرد شوهارت، ادوارد دمینگ که یک فیزیکدان با گرایش ریاضی بود و در بخش کشاورزی و دفتر تحقیقات امریکا کار می‌کرد، موظف شد تا سیستم کنترل آماری فرایند را به کارکنان صنایع دفاعی امریکا آموزش دهد.

در سال ۱۹۵۰ اتحادیهٔ متخصصان علوم و مهندسین ژاپن (JUSE) از دمینگ دعوت کردند تا SPC و روش‌های کنترل کیفیت را در کشور ژاپن آموزش دهد. ژاپنی‌ها به‌سرعت خود را با آموزش‌های دمینگ هماهنگ کردند و در این روش‌ها تغییراتی به وجود آوردند. به علاوه در این سال ایشیکاوا برمبنای کار متخصصان علوم رفتاری و نظریهٔ سلسله مراتب نیازهای مازلو و تئوری X و Y مک‌گریگور، واژهٔ «کانون‌های کیفیت» را مطرح کرد.

در اواخر دههٔ ۱۹۷۰ امریکایی‌ها و اروپایی‌ها که متوجه پیشی گرفتن ژاپنی‌ها در تسخیر بازارهای جهانی شدند، به فکر استفاده از نگرش TQM در مدیریت‌های خود افتادند. به علاوه در سال ۱۹۸۷، امریکا در مقابل جایزهٔ دمینگ، جایزه‌ای را به نام «مالکوم بالدریج» ابداع کرد. این جایزه برای معرفی سازمان‌هایی طراحی شد که به بالا بردن سطح کیفیت خود و اجرای TQM دست یافته‌اند.

۷ـ۲ـ۱ سیر توسعه و تکامل استانداردهای مدیریت کیفیت

در حوزهٔ مدیریت کیفیت تاکنون استانداردهای گوناگونی تدوین شده است که از معروف‌ترین آنها می‌توان به ایزو (ISO) اشاره کرد. ایزو یک سازمان غیردولتی است که در سال ۱۹۴۶ تأسیس شد تا استانداردهای جهانی در مورد تولید، تجارت و ارتباطات

را پیش ببرد. معروف‌ترین استانداردهای ایزو، خانواده ایزو ۹۰۰۰ هستند که در ادامه به معرفی آن می‌پردازیم.

استانداردهای سری ۹۰۰۰

استانداردهای ایزو سری ۹۰۰۰ شامل ۵ سند اصلی ایزو ۹۰۰۰ تا ایزو ۹۰۰۴ است. پیش از آن که به تعریف هر یک از این ۵ سند اصلی بپردازیم، سؤال مهمی که مطرح می‌شود این است که مزایای استفاده از ایزو ۹۰۰۰ چیست؟ برای پاسخ به این سؤال ۵ دلیل عمده بیان می‌شود:

۱ـ هزینه‌های اضافی کاسته می‌شود.

۲ـ ضایعات کاهش می‌یابد.

۳ـ نیاز به بازرسی و ایستگاه‌های کنترل کیفی را محدود می‌کند که این منجر بـه مزیـت های اقتصادی فراوان از جمله تولید سریع می‌شود.

۴ـ رضایت مشتری جلب می‌شود، تحویل به موقع کالا و خدمات به آنها موجب استمرار دوام بازار می‌شود.

۵ـ بر اثر وجود روابط انسانی و دستورالعمل‌ها و روش‌های اجرایی مدون و در دسترس، همهٔ کارها در مرحلهٔ اول و به طور صحیح انجام می‌شود.

تعریف ایزو ۹۰۰۰

مجموعه‌ای از خط‌مشی‌ها برای انتخاب و استفاده مناسب سیستم‌های استاندارد است. به طور کلی ایزو ۹۰۰۰ راهنمای مسیر تمام سری‌های ایزو است. ایزو ۹۰۰۰ استانداردی مدرن با یک سیستم بایگانی منظم است که چگونگی اجرای سیستم تضمین کیفیت را تشریح می‌کند. این استاندارد از سال ۱۹۹۷ برای تأمین‌کنندگان کالا و خدمات در بسیاری از کشورها اجباری شده است. ایزو ۹۰۰۰ به جزئیات فلسفه استانداردهای تضمین کیفیت، جزئیات مشخصات آنها و اینکه در کجا و چه وقت می‌توانیم از آنها استفاده کنیم می‌پردازد و بیان می‌دارد که مدل‌های تضمین کیفیت چه عناصری را باید دربر داشته باشند. به علاوه، اصول و مفاهیم پایه‌ای و اصطلاحات به کار برده‌شده در خانواده ایزو ۹۰۰۰ در استاندارد ایزو ۹۰۰۰ تعریف شده‌اند.

تعریف ایزو ۹۰۰۱

جامع‌ترینِ استانداردها در مقایسه با ایزوهای دیگر است، این نوع استاندارد برای

فرایندهایی که دارای مراحل طراحی، توسعه، تولید و ارائهٔ محصول و خدمات به مشتری هستند به کار می‌رود. این استاندارد معمولاً در سازمان‌هایی استفاده می‌شود که می‌خواهند نشان دهند توانایی تأمین کالاها و خدماتی که خواست مشتری را تأمین می‌کند، دارند.

تعریف ایزو ۹۰۰۲

یکی از سیستم‌های مدیریت کیفیت است که در فرایندهای تولید و مونتاژ به کار می‌رود. به عبارت دیگر، این مجموعه وقتی به کار می‌رود که طرح‌ها و مشخصات محصولات و فرایندها و فعالیت‌ها از قبل مشخص باشند و خاصیت‌های کیفیت فقط به محصولات و مونتاژ معطوف شود و به عبارتی تولید محصول جدید را دربر نمی‌گیرد.

تعریف ایزو ۹۰۰۳

این استاندارد در مورد بازبینی نهایی در آزمایش‌های نهایی و روش‌های اجرایی آزمایش به کار می‌رود. این استاندارد مستلزم این است که شما تضمین کیفیت در مراحل بازرسی و آزمایش نهایی به عمل آورید. ایزو ۹۰۰۳ نسبت به ایزوهای ۹۰۰۱ و ۹۰۰۲ از حداقل ارزش بازاریابی برخوردار است و کمتر به کار می‌رود.

تعریف ایزو ۹۰۰۴

استاندارد راهنما به منظور تشخیص کامل نیازمندی‌های سیستم کیفیت است. به عبارت دیگر، این استاندارد در سازمان‌هایی استفاده می‌شود که به دنبال راهنمایی برای توسعه سیستم مدیریت کیفیت و بهبود عملکردشان هستند.

۷ـ۲ـ۲ سیر تاریخی استانداردهای مدیریت کیفیت

در ادامه به بررسی اجمالی سیر تاریخی استانداردهای مدیریت کیفیت پرداخته می‌شود تا خوانندگان محترم دید بهتری نسبت به ابعاد گوناگون استانداردهای مدیریت کیفیت پیدا کنند.

پیش از ایزو ۹۰۰۰

در طول جنگ جهانی دوم مشکلات کیفیتی در بسیاری صنایع بریتانیا وجود داشت. مثلاً در مهمات‌سازی، بمب‌ها طی مرحله ساخت در کارخانه منفجر می‌شدند. راه‌حل این مشکلات کیفیتی کارخانه‌ها را ملزم می‌کرد تا عملکردهای تولیدی خود را مستند

کرده و با نگهداری مدارک تأیید کنند که عملکردها طبق مستندات انجام می‌شوند. نام این استاندارد **BS5750** بود و به عنوان استاندارد مدیریت شناخته می‌شد زیرا راجع به نحوهٔ مدیریت کارخانه و پروسهٔ تولید توضیح می‌داد.

در سال ۱۹۸۷ دولت بریتانیا سازمان بین‌المللی استانداردسازی ایزو را ترغیب کرد تا استاندارد **BS5750** را به عنوان استاندارد بین‌المللی بپذیرد. این استاندارد بین‌المللی ایزو ۹۰۰۰ نام گرفت.

ایزو ۹۰۰۰ نسخه ۱۹۸۷

ایزو ۹۰۰۰:۱۹۸۷ ساختاری مشابه استاندارد بریتانیایی **BS5750** داشت، دارای سه مدل برای سیستم‌های مدیریت کیفیت که انتخاب هرکدام از آنها به دامنهٔ فعالیت سازمان‌ها بستگی داشت. مدل ایزو ۹۰۰۱:۱۹۸۷ برای تضمین، طراحی، توسعه، تولید، اجرا و خدمات کیفیتی برای شرکت‌ها و سازمان‌هایی بود که فعالیت‌های آنها شامل تولید محصولات جدید می‌شد. مدل ایزو ۹۰۰۲:۱۹۸۷ برای تضمین کیفیت خدمات، در اصل اجزایی مشابه ایزو ۹۰۰۱ داشت اما تولید محصول جدید را دربر نمی‌گرفت. مدل ایزو ۹۰۰۳:۱۹۸۷ برای تضمین کیفیت و بازرسی و آزمایش نهایی تنها به بازرسی و آزمایش محصول نهایی می‌پرداخت و توجهی به نحوهٔ تولید محصول نداشت. ایزو ۹۰۰۰:۱۹۸۷ نیز تحت تأثیر استانداردهای موجود **US** و دیگر استانداردهای تعریف‌شده بود. بنابراین کاملاً مناسب پروسهٔ تولید بود. بیش از اینکه به پروسهٔ کلی مدیریت پرداخته شود تمایل این استاندارد به تأکید بر مطابقت با راهکارها بود.

ایزو ۹۰۰۰:۱۹۹۴ نسخهٔ تجدید چاپ سال ۱۹۹۴

ایزو ۹۰۰۰:۱۹۹۴ بر تضمین کیفیت از طریق اعمال پیشگیرانه تأکید داشت به جای اینکه تنها به بازرسی محصول نهایی بپردازد، مدارک تأیید صلاحیت راهکارهای مستند را الزامی می‌دانست. ضعف ویرایش اول این بود که شرکت‌ها بیشتر تمایل داشتند پیاده‌سازی الزامات را تنها از طریق انباشت دستورالعمل‌های کاری فراوان در قفسه‌ها انجام دهند.

ایزو ۹۰۰۰:۲۰۰۰ نسخهٔ تجدید چاپ سال ۲۰۰۰

ایزو ۹۰۰۱:۲۰۰۰ سه استاندارد ۹۰۰۱، ۹۰۰۲، و ۹۰۰۳ را در یک استاندارد ایزو ۹۰۰۱ ادغام کرد. راهکارهای طراحی و توسعه فقط زمانی لازم بود که یک شرکت در تولید

محصول جدید دخیل باشد. نسخهٔ ۲۰۰۰ با قرار دادن مفهوم مدیریت پروسه در مرکز توجه به دنبال تغییری اساسی در روند تفکر و تصمیم‌گیری بود. مدیریت پروسه در یک شرکت امر نظارت و بهبود وظایف و فعالیت‌های شرکت را به عهده دارد و فقط به بازرسی محصول نهایی نمی‌پردازد. نسخهٔ ۲۰۰۰ همچنین برای اینکه کیفیت در سیستم تجارت ادغام شود و از وابستگی ویژگی‌های کیفیتی به مدیران سطح پایین اجتناب شود مشارکت مدیران ارشد را الزامی می‌دانست. هدف دیگر اثرگذاری بیشتر از طریق ماتریس عملکرد پروسه بود. یعنی سنجش عددی تأثیر وظایف و فعالیت‌ها، انتظارات از پیشرفت مستمر پروسه، و رهگیری رضایت‌مندی مشتریان به طور صریح بیان شده است.

ایزو ۹۰۰۰:۲۰۰۸ نسخهٔ تجدید چاپ سال ۲۰۰۸

ایزوی جدید ۹۰۰۱:۲۰۰۸ در پانزدهم نوامبر ۲۰۰۸ منتشر شد. ایزو ۹۰۰۱:۲۰۰۸ برای سازمان‌دهی استاندارد از سیستم شماره‌گذاری مشابه با ایزو ۹۰۰۱:۲۰۰۰ استفاده می‌کند. درنتیجه استاندارد جدید ایزو ۹۰۰۱:۲۰۰۸ بسیار مشابه استاندارد پیشین است، الزامات جدیدی به آن اضافه نشده، گرچه برخی شفاف‌سازی‌ها و تغییرات در آن صورت گرفته است.

۷ـ۲ـ۳ بیست عنصر مشترک در خانوادهٔ استاندارد ایزو ۹۰۰۰

۱ـ مدیریت باید خط‌مشی کیفی خود را با تطبیق دقیق اهداف آن تهیه و تدوین کند، به طور منظم این خط‌مشی‌ها را بازنگری کرده و ضمن اعمال اصلاحات لازم بر روی آنها، مسائل به‌وجودآمده را حل کنید. همچنین مدیریت باید به طور دقیق مسئولیت‌های افراد را تشریح کند و مطمئن شود که آنها این مسئولیت‌ها را درک کرده‌اند.

۲ـ سیستم کیفیت شرکت باید آنچه را انجام می‌دهد مکتوب کند. همچنین شرکت باید با مستندسازی کامل نظام کیفیت راه‌ها و روش‌ها و اطمینان از اثربخشی فعالیت‌های آن، به مشتریان شرکت اطمینان دهد که شرکت از نظام کیفیت برخوردار بوده و آن را به‌شدت کنترل می‌کند.

۳ـ بازنگری قرارداد. شرکت باید به مشتریان اطمینان دهد که آنچه کارکنان فروش و بازاریابی قول داده‌اند همان محصولی است که مشتری درخواست کرده است. در این صورت پیش از تولید هر کالایی باید قرارداد کنترل شود تا اطمینان حاصل شود

که تغییرات ناخواسته‌ای در مفاد قرارداد اعمال نشده است، تجهیزات آماده هستند و توانایی ارضای خواسته‌های اعلام شده وجود دارد.

۴ـ کنترل طراحی. شرکت باید طراحی را با کیفیت انجام دهد و همچنین باید مطمئن شود که خواسته‌های مشتری به‌درستی در طراحی محصول اعمال شده است.

۵ـ کنترل مدارک و داده‌ها. کنترل اسنادی که نگه‌داری می‌کنند باید به‌روز و صحیح کنترل شده باشند. مستندسازی شرکت باید از طریق یک نظام رسمی و با هدف حصول اطمینان از اینکه جدیدترین اسناد در محل مورد نیاز در دسترس افراد است کنترل شود، تغییرات و به‌روزرسانی اسناد باید ثبت شده و تمامی اسناد باطل‌شده باید از محل کار جمع‌آوری شود.

۶ـ خرید قطعات دریافتی باید حتماً مطابق با مشخصات تعیین‌شده باشد. برای ساخت محصولات با کیفیت، شرکت باید کیفیت قطعات خریداری‌شده را کنترل کند. شرکت این کار را با حصول اطمینان از انجام می‌دهد که تمامی پیمانکاران پیش از سفارش مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفته‌اند.

۷ـ کنترل قطعات و محصولات برون‌سپاری‌شده. شرکت ممکن است برخی اقلام را که در ساخت محصولات استفاده می‌شود را به شرکت‌های دیگر برون‌سپاری کند. در این صورت شرکت باید در ثبت اطلاعات و نگهداری دقیق این اقلام تلاش کند.

۸ ـ قابلیت شناسایی و ردیابی محصول. شناسایی و ردیابی محصول از هرج‌ومرج جلوگیری می‌کند. برای اعمال کنترل کامل بر فرایندهای تولیدی، هریک از محصولات و اجزای آنها با درج علائمی مثل شمارهٔ قطعه، شمارهٔ سریال و غیره ردیابی می‌شوند.

۹ـ کنترل فرایند. کل فرایند از جمله طراحی، تولید، خرید، اداری، پشتیبانی، خدمات پس از فروش و غیره باید تحت شرایط کنترل‌شده‌ای فعالیت کنند. این بدان معناست که کارگران آموزش ببینند، دستورالعمل‌های انجام کار موجود باشند و مواد و قطعات دارای کیفیت مطلوب باشند. همچنین تجهیزات حمل‌ونقل و انبارداری باید متناسب با هر یک از این قسمت‌ها باشد و فرایندها باید برنامه‌ریزی شده باشند.

۱۰ـ بازرسی. فقط محصول با کیفیت اجازه خروج از شرکت را دارد و به عنوان بخشی از فرایند کنترل شرکت باید در تمامی مراحل تولید به منظور حصول اطمینان از

اینکه محصولات و قطعات تولیدی مطابق با خواسته‌های مشتری است بازرسی لازم انجام شود.

۱۱ـ کنترل تجهیزات. شرکت باید از تجهیزاتی استفاده کند که از درستی آنها اطمینان داشته باشد این بدان معنی است که باید این تجهیزات را براساس استانداردهای بین‌المللی تنظیم کنند. از این رو همهٔ تجهیزات اندازه‌گیری باید به طور مرتب تنظیم شوند.

۱۲ـ وضعیت بازرسی و آزمون کلیه قطعات باید طی مراحل ساخت مشخص شود. این کار با استفاده از انواع برچسب‌ها، امضا و مهر و غیره انجام می‌گیرید.

۱۳ـ کنترل محصول نامنطبق. تمامی قطعاتی که با مشخصات تعیین‌شده مطابقت ندارند باید شناسایی و از بقیه جدا شوند، زیرا قطعات معیوب نباید با قطعات سالم مخلوط شود. تصمیمات مربوط به ضایعات، دوباره‌کاری یا عودت قطعه به پیمانکار باید مستند شود.

۱۴ـ اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه. اگر برای قطعات استانداردهای فرعی تدوین شده باشد، شرکت باید برای شناسایی و رفع هر نوع ضایعات، محل وقوع، زمان و علت رخداد آن را ثبت کند. در این مورد برای اعمال اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه به منظور اطمینان از اینکه این گونه مسائل دیگر تکرار نخواهد شد مدارک مربوط به آن را باید مورد استفاده قرار داد.

۱۵ـ مشتری باید فقط اقلامی را دریافت کند که در شرایط مناسب نگهداری شده و از هر نوع آلودگی، ضایعه و نقص مبرا بوده باشد.

۱۶ـ کنترل سوابق کیفیت. شرکت باید برای اطمینان از اینکه نظام کیفی آن خوب کار کرده و مؤثر است مدارکی را جمع‌آوری کند. این مدارک باید برای اتخاذ اقدامات اصلاحی لازم و همچنین به منظور تعیین هریک از بخش‌های تولیدی که باید مورد توجه خاص قرار گیرد از دقت کافی برخوردار باشد.

۱۷ـ ممیزی‌های داخلی کیفیت. نظام کیفی شرکت نباید از تکامل غافل بماند و شرکت نباید این نظام را برای یافتن هریک از موارد زیر ممیزی کند:

الف) آیا این نظام مؤثر است؟

ب) آیا ما هنوز کارها را براساس دستورالعمل‌ها انجام می‌دهیم یا خیر؟

۱۸ـ آموزش. شرکت باید نیازهای آموزشی را شناسایی کند و تمامی کارکنانی که فعالیت آنان بر کیفیت اثر می‌گذارد را آموزش دهد.

۱۹ـ ارائه خدمات. شرکت باید از مشتریانی که از محصولاتش استفاده می‌کنند حمایت کند. این کار با جمع‌آوری داده‌های مربوط به خدمات پس از فروش، آموزش کارگران مسئول کار با محصولات تولیدی شرکت و غیره امکان‌پذیر می‌شود. در ضمن، قطعاتی را که شرکت به بازار لوازم یدکی عرضه می‌کند باید از همان استاندارد قطعات تولید شرکت تبعیت کند (خدمات پس از فروش، حفظ و حمایت از مشتریان شرکت است).

۲۰ـ روش‌ها و فنون آماری. کنترل کیفیت آماری (SPC) روشی است که دانش شرکت را در مورد آنچه که تولید می‌کند افزایش می‌دهد. به علاوه این ابزار اطلاعاتی را در دسترس قرار می‌دهد که شرکت براساس آنها می‌تواند روندهای موجود را تجزیه و تحلیل کرده و از بروز نواقص پیشگیری کند.

۷ـ۳ استاندارد ISO9001, 2015

به‌کارگیری یک سیستم مدیریت کیفیت، یک تصمیم استراتژیک برای سازمان است که به آن کمک می‌کند تا عملکرد کاری خود را بهبود داده و یک مبنای منطقی برای فعالیت‌های توسعهٔ پایدار فراهم کند. منافع بالقوهٔ پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت براساس این استاندارد بین‌المللی برای یک سازمان شامل موارد زیر است:

۱ـ توانایی ارائهٔ مستمر محصولات و خدماتی که الزامات مشتری و الزمات قانونی را برآورده می‌کنند؛

۲ـ تسهیل فرصت‌ها به منظور افزایش رضایت مشتری؛

۳ـ پرداختن به ریسک‌ها و فرصت‌های مرتبط با اهداف سازمان؛

۴ـ توانایی اثبات انطباق با الزامات مشخص‌شده سیستم مدیریت کیفیت؛

الزامات سیستم مدیریت کیفیت مشخص‌شده در این استاندارد بین‌المللی، مکمل الزامات محصولات و خدمات است. این استاندارد بین‌المللی رویکرد فرایندی شامل چرخهٔ PDCA (طرح‌ریزی، اجرا، بررسی و اقدام) و تفکر مبتنی بر ریسک را به کار گرفته است.

- رویکرد فرایندی به سازمان این امکان را می‌دهد تا فرایندهای خود و تعاملات آنها را طرح‌ریزی کند.
- تفکر مبتنی بر ریسک، سازمان را قادر می‌سازد تا عواملی که می‌توانند موجب

انحراف فرایندها و سیستم مدیریت کیفیت از نتایج طرح‌ریزی شده، را تعیین کند و برای به حداقل رساندن این اثرات منفی و استفاده حداکثری از فرصت‌های به‌وجودآمده، کنترل‌های پیشگیرانه‌ای به کار گیرد.

برآورده‌سازی مستمر الزامات و پرداختن به نیازها و انتظارات آینده، باعث می‌شود سازمان‌ها با چالشِ قرار گرفتن در یک بافت با پیچیدگی و پویایی رو به افزایش مواجه شوند. به منظور دستیابی به این هدف، سازمان علاوه بر اصلاح و بهبود، ممکن است استفاده از اشکال متنوعی از بهبود، همچون تغییر اساسی، نوآوری و سازماندهی مجدد را ضروری ببیند.

در این استاندارد بین‌المللی، اشکال مختلف فعل‌ها به صورت زیر استفاده می‌شود:

۱ـ «باید» نشان‌دهندهٔ یک الزام است؛

۲ـ «بایستی» نشان‌دهنده یک اجازه است؛

۳ـ «می‌تواند» نشان‌دهنده یک امکان یا قابلیت است.

این استاندارد بین‌المللی برمبنای اصول مدیریت کیفیت در استاندارد ISO9000 بنا نهاده شده است. این اصول عبارت‌اند از:

۱ـ تمرکز بر مشتری

۲ـ رهبری

۳ـ مشارکت افراد

۴ـ رویکرد فرایندی

۵ـ بهبود

۶ـ تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد

۷ـ مدیریت ارتباطات

۷ـ۳ـ۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

این استاندارد بین‌المللی الزامات یک سیستم مدیریت کیفیت را تعیین می‌کند وقتی سازمان:

الف) نیازمند نشان دادن توانایی‌اش در ارائهٔ یکنواخت محصولات و خدماتی است که الزامات مشتری و الزامات قانونی و مقرراتی را برآورده می‌کند.

ب) به دنبال جلب رضایت مشتری از طریق به کارگیری اثربخش سیستم شامل فرایندهایی برای بهبود مستمر سیستم و انطباق‌سازی با الزامات مشتری و الزامات قانونی و مقرراتی قابل کاربرد است.

تمام الزامات این استاندارد بین‌المللی عمومی هستند و به‌نحوی در نظر گرفته شده‌اند که برای تمام سازمان‌ها صرف‌نظر از نوع، اندازه و محصولی که ارائه می‌دهند قابل استفاده باشد.

یادآوری۱: دراین استاندارد بین‌المللی اصطلاحات «محصول» یا «خدمت» فقط برای محصولات یا خدماتی که برای مشتری در نظر گرفته شده یا خواستهٔ مشتری است نامیده می‌شود.

یادآوری۲: الزامات قانونی و مقرراتی را می‌توان به طور خلاصه الزامات قانونی نامید.

۷ـ۳ـ۲ مراحل استقرار و پیاده‌سازی استانداردهای ایزو در بنگاه‌ها و سازمان

شرکت‌های بسیاری تصمیم به پیاده‌سازی استانداردهای ایزو دارند و بسیاری از کارشناسانی که تصمیم گرفته‌اند به عنوان مشاور ایزو فعالیت کنند، تصمیم به اجرا و پیاده‌سازی استانداردهای ایزو در یک سازمان را دارند. سؤال مشترک بسیاری از آنها این است که مراحل پیاده‌سازی ایزو به چه صورت است؟ به طور خلاصه می‌توان فرایند زیر را برای استقرار و پیاده‌سازی استانداردها در نظر گرفت:

۱ـ انتخاب مشاور

برای اجرا و پیاده‌سازی استانداردهای ایزو بهتر است با مشاورین ایزو قراردادی نوشته شود. چرا که مشاورین ایزو می‌توانند با سرعت بیشتری این استانداردها را در سازمان اجرا کنند.

۲ـ شناخت سازمان و عارضه‌یابی

در این مرحله مشاور با سازمان آشنا می‌شود، بعد از بازدید از کل سازمان، با مسئولان واحدها صحبت می‌کند و آشنا می‌شود و در این مسیر، عارضه‌یابی سازمان براساس استاندارد ایزوی مربوط به آن را انجام می‌دهد و آنالیز و برآوردی از فاصلهٔ سازمان تا استاندارد را در این مرحله به دست می‌آورد.

۳ـ آموزش

در اغلب اوقات بحث آموزش برعهده مشاور است. او به کارکنان و مدیران اصول استاندارد و مستندسازی را آموزش می‌دهد. در برخی موارد، آموزش به سازمان دیگری سپرده می‌شود و مدرس از جانب این سازمان‌ها ارسال می‌شود و یا کارکنان سازمان برای آموزش به یک دورهٔ حضوری فرستاده می‌شوند.

۴ـ مستندسازی

در این مرحله مستندات و رویه‌های اجرایی تدوین می‌شوند و دستورالعمل‌های با کمک واحدها و همراهی مشاور نوشته می‌شود.

۵ـ اجرا

در این فاز واحدها و فرایندها باید روش‌ها و دستورالعمل‌های مختص واحد خودشان را اجرا کنند. این مرحله و مرحلهٔ قبل (مستندسازی) معمولاً بیشترین زمان را در اجرا و پیاده‌سازی استانداردهای ایزو به خود اختصاص می‌دهد. برخی از مشاوران، این دو مرحله را به صورت موازی پیش می‌برند.

۶ـ ممیزی داخلی

در این فاز پیاده‌سازی ایزو، مشاور و یا چند نفر از کارشناسان سازمان که آموزش ممیزی داخلی را دیده‌اند، اقدام به انجام ممیزی داخلی می‌کنند و موارد عدم انطباق سازمان را شناسایی کرده و برای آنها اقدام اصلاحی تعریف می‌کنند.

۷ـ هماهنگی با شرکت‌های صدور گواهینامه

در این مرحله پیاده‌سازی ایزو معمولاً مشاور با سازمان‌های صدور گواهینامه رایزنی کرده که این رایزنی با هماهنگی مدیران ارشد سازمان است و زمان ممیزی نهایی را هماهنگ می‌کند. پس از ممیزی نهایی، در صورت نبود عدم انطباق عمده و مهم، سازمان موفق به دریافت گواهینامه می‌شود.

۷ـ۴ استاندارد OHSAS18001-2007

استاندارد ارزیابی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای OHSAS، الزاماتی را برای سیستم مدیریت ایمنی و سلامت حرفه‌ای مشخص می‌کند تا یک سازمان بتواند ریسک‌های ایمنی و سلامت حرفه‌ای خود را کنترل کرده و عملکرد ایمنی و سلامت حرفه‌ای خود را بهبود بخشد.
استاندارد OHSAS برای هر سازمانی که تمایل به انجام اقدامات ذیل داشته باشد، کاربرد دارد:

۱ـ ایجاد یک سیستم مدیریت ایمنی و سلامت حرفه‌ای به منظور حذف یا به حداقل رساندن ریسک برای کارکنان و سایر طرف‌های ذی‌نفع که ممکن است در معرض خطرهای ایمنی و سلامت حرفه‌ای مرتبط با فعالیت‌های سازمان قرار گیرند.

۲ـ اجرا، نگهداری و بهبود مداوم سیستم مدیریت ایمنی و سلامت حرفه‌ای.
۳ـ حصول اطمینان از انطباق با خط‌مشی ایمنی و سلامت حرفه‌ای که خود تعیین کرده است.
۴ـ اثبات انطباق با استاندارد OHSAS از طریق:

- تعیین وضعیت سیستم مدیریت ایمنی و سلامت حرفه‌ای توسط سازمان و خوداظهاری
- درخواست تأیید انطباق توسط طرف‌های ذی‌نفع سازمان از قبیل مشتریان
- درخواست تأیید خوداظهاری برای سازمان توسط مراجع برون‌سازمانی
- متقاضی دریافت گواهی‌نامه/ثبت سیستم مدیریت ایمنی و سلامت حرفه‌ای توسط سازمان‌های صدور گواهی

تمام الزامات استاندارد OHSAS به منظور لحاظ شدن در یک سیستم مدیریت ایمنی و سلامت حرفه‌ای در نظر گرفته شده‌اند و وسعت کاربرد آن به عواملی مانند خط‌مشی ایمنی و سلامت حرفه‌ای و ماهیت فعالیت‌ها و ریسک‌ها و پیچیدگی عملیات سازمان بستگی دارد. استاندارد OHSAS با هدف پرداختن به ایمنی و سلامت حرفه‌ای بوده و به سایر دوره‌های ایمنی و سلامت از قبیل برنامهٔ رفاه و آسایش کارکنان، ایمنی محصول، صدمه به اموال یا اثرات زیست‌محیطی نمی‌پردازد.

۷ـ۴ـ۱ الزامات سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی

۱ـ الزامات عمومی

سازمان باید یک سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی را مطابق با الزامات استاندارد OHSAS ایجاد، مستند، مستقر و نگهداری کند و به طور مستمر بهبود دهد و چگونگی تحقق این الزامات را نیز مشخص کند.

۲ـ خط‌مشی ایمنی و بهداشت شغلی

مدیریت عالی باید خط‌مشی ایمنی و بهداشت شغلی سازمان را تعریف و تصویب کند و اطمینان پیدا کند که این خط‌مشی مطابق با دامنهٔ کاربرد سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی آن بوده و:

الف) متناسب با ماهیت و میزان ریسک‌های ایمنی و بهداشت شغلی سازمان است.

ب) شامل تعهد به پیشگیری از آسیب و بیماری، بهبود مستمر مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی است.
ج) حداقل شامل تعهد به تبعیت از الزامات قانونی قابل کاربرد و دیگر الزاماتی است که سازمان در ارتباط با خطرات ایمنی و بهداشت شغلی خود نسبت به رعایت آنها موظف شده است.
د) چارچوبی برای تعیین اهداف ایمنی و بهداشت شغلی فراهم می‌کند.
هـ) مدون مستقر و نگهداری شده است.
و) به تمامی افرادی که تحت کنترل سازمان کار می‌کنند، با هدف آگاه کردن آنان از تمامی تعهدات ایمنی و بهداشت شغلی و فردی خود، ابلاغ شده است.
ز) در دسترس طرف‌های ذی‌نفع قرار دارد.
ح) به طور دوره‌ای بازنگری می‌شود تا این اطمینان حاصل گردد که مرتبط و مناسب با سازمان باقی مانده است.

۳ـ طرح‌ریزی

طرح‌ریزی در این استاندارد شامل ۳ آیتم مهم زیر است:

I. شناسایی خطر، ارزیابی ریسک و تعیین کنترل‌ها

سازمان باید برای شناسایی مداوم خطر، ارزیابی ریسک و تعیین کنترل‌های مورد نیاز، اقدام به ایجاد، استقرار و نگهداری روش‌های اجرایی کند. روش‌های اجرایی شناسایی خطر و ارزیابی ریسک باید موارد زیر را در نظر بگیرد:

الف) فعالیت‌های عادی و غیرعادی؛
ب) فعالیت‌های همهٔ افرادی که به محیط کار دسترسی دارند از جمله پیمانکاران و بازدیدکنندگان؛
ج) رفتار انسانی، قابلیت‌ها و دیگر عوامل انسانی؛
د) خطرات شناسایی‌شده با منشأ بیرونی محیط کاری که قابلیت تأثیرگذاری نامطلوب بر ایمنی و بهداشت افراد تحت کنترل سازمان را درون محیط کار دارند؛
هـ) خطرات ایجادشده در مجاورت محیط کار به واسطهٔ فعالیت‌های مربوط به کار که تحت کنترل سازمان هستند؛

و) زیرساخت‌ها، تجهیزات و مواد موجود در محیط کار، چه توسط سازمان فراهم شده باشد و چه توسط دیگران؛
ز) اصلاحات سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، شامل تغییرات موقتی و پیامدهای آنها بر عملیات، فرایندها و فعالیت‌ها؛
ح) هرگونه تعهدات قانونی قابل کاربرد مربوط به ارزیابی ریسک و استقرار کنترل‌های لازم؛
ط) طراحی محدوده‌های کاری، فرایندها، تأسیسات و ماشین‌آلات، روش‌های اجرایی عملیاتی و سازمان کاری.

II. الزامات قانونی و سایر الزامات

سازمان باید روش‌های اجرایی برای شناسایی و دستیابی به الزامات قانونی و دیگر الزامات ایمنی و بهداشت شغلی که در سازمان کاربرد دارد را ایجاد، مستقر و نگهداری کند. سازمان باید مطمئن شود که این الزامات قانونی و دیگر الزامات قابل کاربرد که سازمان خود را موظف به رعایت آنها می‌داند، در ایجاد، استقرار و نگهداری سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی مورد توجه قرار گرفته است. سازمان باید این اطلاعات را به‌روز نگهداری کند و به افرادی که تحت کنترل سازمان کار می‌کنند و سایر طرف‌های ذی‌نفع مرتبط کند.

III. اهداف و برنامه‌ها

سازمان باید اهداف ایمنی و بهداشت شغلی مدونی را در مورد بخش‌ها و سطوح درون سازمان، ایجاد، مستقر و نگهداری کند. اهداف باید قابل اندازه‌گیری بوده و با خط‌مشی ایمنی و بهداشت شغلی، شامل تعهد به پیشگیری از آسیب و بیماری، انطباق با الزامات قانونی و دیگر الزامات قابل کاربرد که سازمان خود را موظف به رعایت آنها می‌داند و بهبود مستمر، سازگار باشند. همچنین سازمان باید گزینه‌های فناوری خود، الزامات تجاری، عملیاتی و مالی خود و دیدگاه‌های طرف‌های ذی‌نفع را مورد توجه قرار دهد.

۴ـ اجرا و عملیات

I. منابع، وظایف، مسئولیت، پاسخگویی و اختیار

مدیریت عالی باید مسئولیت نهایی برای ایمنی و بهداشت شغلی و سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی را بر عهده گیرد. شخص منصوب‌شده مدیریت عالی ممکن

است برخی از وظایف خود را در حالی که همچنان پاسخگوی مسئولیت‌هاست به نماینده‌هایی تفویض کند. هویت منصوب‌شدهٔ مدیریت عالی باید برای تمامی افرادی که تحت کنترل سازمان کار می‌کند، محرز باشد. تمامی افراد با مسئولیت‌های مدیریتی باید تعهد خود را به بهبود مستمر عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی اثبات کنند. سازمان باید اطمینان حاصل کند که افراد در محیط کار مسئولیت در قبال جنبه‌های ایمنی و بهداشت شغلی تحت کنترل خود از جمله تبعیت از الزامات ایمنی و بهداشت شغلی قابل کاربرد در سازمان را برعهده گرفته‌اند.

II. صلاحیت آموزش و آگاهی

سازمان باید نیازهای آموزشی مرتبط با ریسک‌های ایمنی و بهداشت شغلی و سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت خود را شناسایی کند و آموزش یا دیگر اقدامات را برای برآورده کردن این نیازها فراهم کند. اثربخشی آموزش یا اقدامات انجام‌شده را ارزیابی کند و سوابق را نگهداری کند. سازمان باید روش‌های اجرایی ایجاد، مستقر و نگهداری کند تا افرادی که تحت کنترل سازمان کار می‌کنند را از موارد زیر آگاه کند:

الف) پیامدهای بالفعل و بالقوه فعالیت‌های ایمنی و بهداشت شغلی آنان و مزایای ایمنی و بهداشت شغلی در بهبود عملکرد فردی؛

ب) وظایف و مسئولیت‌های آنان و اهمیت در دستیابی به انطباق با خط‌مشی ایمنی و بهداشت شغلی و روش‌های اجرایی و الزامات سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، از جمله الزامات آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری؛

ج) پیامدهای بالقوه انحراف از روش‌های اجرایی مشخص‌شده؛

III. ارتباطات، مشارکت و مشاوره

سازمان باید با توجه به خطرات ایمنی و بهداشت شغلی و سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی خود، روش‌های اجرایی برای موارد زیر را ایجاد، مستقر و نگهداری کند:

الف) ارتباطات داخلی میان سطوح و بخش‌های مختلف سازمان؛

ب) ارتباط با پیمانکاران و دیگر بازدیدکنندگان محیط کاری؛

ج) دریافت، مستند کردن و پاسخگویی به ارتباطات دارای موضوعیت که از سوی طرف‌های ذی‌نفع بیرون از سازمان برقرار شده است.

همچنین سازمان باید روش‌های اجرایی برای موارد زیر را ایجاد، مستقر و نگهداری کند:

الف) مشارکت کارگران از طریق:

- مشارکت مناسب در شناسایی خطر، ارزیابی‌های ریسک و تعیین کنترل‌ها؛
- مشارکت مناسب در رسیدگی به رویداد؛
- مشارکت مناسب در تدوین و بازنگری خط‌مشی‌ها و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی؛
- مشاوره در جایی که تغییراتی صورت می‌گیرد که بر ایمنی و بهداشت شغلی آنان تأثیر می‌گذارد؛
- ارائه موضوعات مرتبط با ایمنی و بهداشت شغلی.

ب) مشاوره با پیمانکاران در جایی که تغییراتی صورت می‌گیرد که بر ایمنی و بهداشت شغلی آنان تأثیر می‌گذارد.

سازمان باید اطمینان یابد که طرف‌های ذی‌نفع مرتبط خارج از سازمان، در زمان مقتضی، دربارهٔ موضوعات ایمنی و بهداشت شغلی مورد مشاوره قرار می‌گیرند.

IV. مستندسازی

مستندسازی سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی باید شامل موارد زیر باشد:

الف) خط‌مشی و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی؛

ب) تشریح دامنه کاربرد سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی؛

ج) تشریح عناصر اصلی سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی و روابط متقابل آنها و ارجاع به مستندات مربوطه؛

د) مستندات، از جمله سوابقی که استاندارد OHSAS آن ها را الزام کرده است؛

هـ) مستندات از جمله سوابقی که توسط سازمان ضروری تشخیص داده شده‌اند تا از موثر بودن طرح‌ریزی اجرایی و کنترل فرایندهای مرتبط با مدیریت ریسک‌های ایمنی و بهداشت شغلی خود اطمینان یابد.

V. کنترل مستندات

مستنداتی که توسط سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی و استاندارد OHSAS الزام شده‌اند باید کنترل شوند. سازمان باید برای موارد زیر روش‌های اجرایی ایجاد، مستقر و نگهداری کند:

الف) تصویب مستندات به منظور کفایت آنها پیش از انتشار؛

ب) بازنگری و در صورت نیاز به‌روزآوری و تصویب مجدد مستندات؛
ج) اطمینان حاصل گردد که تغییرات و وضعیت ویرایش جاری مستندات مشخص هستند؛
د) حصول اطمینان از اینکه نسخه‌های مستندات مورد کاربرد در محل‌های استفاده از آنها در دسترس هستند؛
هـ) حصول اطمینان از اینکه خوانا و به‌آسانی قابل شناسایی هستند؛
و) حصول اطمینان از اینکه مستندات با منشأ برون‌سازمانی که سازمان آنها را برای طرح‌ریزی و عملیات سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی لازم می‌داند شناسایی شده‌اند و توزیع آنها تحت کنترل است؛
ز) پیشگیری از استفادهٔ ناخواسته از مستندات منسوخ و در صورتی که این مستندات به هر دلیل همچنان نگهداری می‌شوند به راحتی قابل شناسایی هستند.

VI. کنترل عملیات

سازمان باید عملیات و فعالیت‌هایی که مرتبط با خطرهای شناسایی‌شده هستند را در جایی که استقرار کنترل‌ها برای مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی ضروری است تعیین کند. سازمان باید برای این عملیات و فعالیت‌ها موارد زیر را مستقر و نگهداری کند:
الف) کنترل‌های عملیاتی، به طوری که برای سازمان و فعالیت‌های آن قابل کاربرد باشد. سازمان باید آن کنترل‌های عملیاتی را با کل سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی خود یکپارچه کند.
ب) کنترل‌های مربوط به کالاها، تجهیزات و خدمات خریداری‌شده؛
ج) کنترل‌های مربوط به پیمانکاران و دیگر بازدیدکنندگان محیط کاری؛
د) روش‌های اجرایی مدون برای پوشش دادن وضعیت‌هایی که نبود آنها می‌تواند موجب انحراف از خط‌مشی و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی شود.
هـ) تصریح معیارهای عملیاتی در جایی که خود آنها می‌تواند موجب انحراف از خط‌مشی و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی شوند.

VII. آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری

سازمان باید روش‌های اجرایی برای موارد زیر ایجاد، مستقر و نگهداری کند:
الف) شناسایی زمینه‌های بالقوه برای وضعیت‌های اضطراری؛

ب) واکنش در برابر وضعیت های اضطراری؛

سازمان باید در برابر وضعیت‌های اضطراری بالفعل واکنشی نشان دهد و از عواقب نامطلوب ایمنی و بهداشت شغلی مربوطه پیشگیری کند یا بخش عمده آنها را کاهش دهد. سازمان در طرح‌ریزی واکنش در شرایط اضطراری خود باید نیازهای طرف‌های ذی‌نفع، برای مثال، خدمات شرایط اضطراری و همسایگان را در نظر داشته باشد. همچنین سازمان باید، هرجا که امکان‌پذیر باشد روش‌های اجرایی واکنش در وضعیت‌های اضطراری خود را به طور دوره‌ای و در موارد مقتضی با مشارکت طرف‌های ذی‌نفع به آزمایش بگذارد. سازمان باید به طور دوره‌ای روش‌های اجرایی آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری خود را بازنگری و هرجا که لازم باشد تجدید نظر کند. این کار به ویژه باید بعد از تست‌های دوره‌ای و رخ دادن وضعیت‌های اضطراری صورت گیرد.

۵ـ بررسی

I. اندازه‌گیری و پایش عملکرد

سازمان باید روش‌های اجرایی، ایجاد، مستقر و نگهداری کند تا عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی را به طور منظم پایش و اندازه‌گیری کند. برای این منظور، باید روش‌های اجرایی برای موارد زیر تهیه شوند:

الف) اندازه‌گیری کیفی و کمی، متناسب با نیازهای سازمان؛

ب) پایش میزان برآورده شدن اهداف ایمنی و بهداشت شغلی سازمان؛

ج) پایش اثربخشی کنترل‌ها برای بهداشت و همچنین برای ایمنی؛

د) شاخص‌های پیشگیرانه عملکرد که انطباق با برنامه‌های ایمنی و بهداشت شغلی، کنترل‌ها و معیارهای عملیاتی را پایش می‌کند؛

هـ) شاخص‌های واکنشی عملکرد که بیماری، رویدادها و دیگر شواهد عملکرد نامناسب ایمنی و بهداشت شغلی در گذشته را پایش می‌کند؛

و) ثبت نتایج پایش به طوری که تجزیه‌وتحلیل اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی بعدی تسهیل شود.

اگر تجهیزاتی برای پایش و اندازه‌گیری عملکرد مورد نیاز بود سازمان باید در موارد مقتضی روش‌های اجرایی برای کالیبراسیون و نگهداری چنین تجهیزاتی را ایجاد و حفظ کند. سوابق فعالیت‌ها و نتایج کالیبراسیون باید حفظ شوند.

II. ارزیابی انطباق

سازمان باید در راستای الزامات قانونی، روش‌های اجرایی برای ارزیابی دوره‌ای رعایت الزامات قانونی ایجاد، مستقر و نگهداری کند. سازمان باید سوابق نتایج ارزیابی‌های دوره‌ای را نگهداری کند. سازمان باید رعایت دیگر الزامات که خود را موظف به پیروی از آنها می‌داند را ارزیابی کند.

III. بررسی رویداد، عدم انطباق، اقدام اصلاحی و اقدام پیشگیرانه

سازمان باید روش‌های اجرایی برای ثبت، بررسی و تجزیه‌وتحلیل رویدادها در موارد زیر ایجاد، مستقر و نگهداری کند:

الف) تعیین نواقص اساسی ایمنی و بهداشت شغلی و دیگر عواملی که ممکن است علت بروز رویدادها باشند؛

ب) شناسایی نیاز به اقدام اصلاحی؛

ج) شناسایی فرصت‌ها برای اقدامات پیشگیرانه؛

د) شناسایی فرصت‌ها برای بهبود مستمر؛

هـ) اطلاع‌رسانی منابع این تحقیقات؛

بررسی‌ها باید به طور زمان‌بندی‌شده انجام شوند. به هرگونه نیاز شناسایی‌شده به اقدام اصلاحی یا اقدام پیشگیرانه باید مطابق با بخش‌های مربوطه پرداخته شود. نتایج بررسی‌های رویداد باید مدون و نگهداری شوند. سازمان باید روش‌های اجرایی برای پرداخت به عدم انطباق‌های بالفعل و بالقوه و انجام اقدام اصلاحی و اقدام پیشگیرانه ایجاد، مستقر و نگهداری کند. این روش‌های اجرایی باید الزاماتی را برای موارد زیر تعریف کنند:

الف) شناسایی و اصلاح عدم انطباق‌ها و انجام اقدام‌هایی به منظور کاهش عواقب ایمنی و بهداشت شغلی آنها؛

ب) بررسی عدم انطباق‌ها، تعیین علت آنها و انجام اقداماتی به منظور جلوگیری از رخ دادن مجدد آنها؛

ج) ارزیابی نیاز به اقدام به منظور پیشگیری از عدم انطباق و اجرای اقدامات مناسب که برای جلوگیری از رخ دادن آنها طراحی می‌شود؛

د) ثبت و ابلاغ نتایج اقدام اصلاحی و اقدام پیشگیرانه انجام‌شده؛

هـ) بازنگری اثربخشی اقدام پیشگیرانه انجام‌شده؛

هرجا شناسایی شود که اقدام اصلاحی و اقدام پیشگیرانه موجب خطرات جدید یا تغییر در خطرات موجود یا نیاز به کنترل‌های جدید یا تغییر در کنترل‌های موجود می‌شود، روش اجرایی باید الزام کند که اقدامات پیشنهادی قبل از اجرا مورد ارزیابی ریسک قرار گیرند. هرگونه اقدام اصلاحی یا اقدام پیشگیرانه‌ای که برای حذف علت‌های عدم انطباق بالفعل و بالقوه انجام می‌شود باید متناسب با میزان مشکلات باشد و با ریسک ایمنی و بهداشت شغلی پیش رو تناسب داشته باشد. سازمان باید مطمئن شود که هرگونه تغییرات مورد نیاز ناشی از اعمال اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه در سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی مستندسازی می‌شوند.

IV. کنترل سوابق

سازمان باید هرگونه سوابق مورد نیاز به منظور اثبات انطباق با الزامات سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی خود و استاندارد OHSAS را ایجاد و نگهداری کند. سازمان باید روش اجرایی برای شناسایی، انبار، حفاظت، بازیابی، نگهداری و امحای سوابق مستقر و نگهداری کند. سوابق باید خوانا، قابل شناسایی و قابل ردیابی باشند.

V. ممیزی داخلی

سازمان باید مطمئن شود که ممیزی‌های داخلی سیستم ایمنی و بهداشت شغلی در دوره‌های زمانی برنامه‌ریزی‌شده انجام می‌شوند تا بدین وسیله:

الف) معین شود که سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی:

۱) با طرح‌ریزی انجام‌شده برای مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی از جمله الزامات این استاندارد انطباق دارد.

۲) به طور مناسب مستند و نگهداری می‌شود.

۳) در برآورده کردن خط‌مشی و اهداف سازمان اثربخش است.

ب) اطلاعات مربوط به نتایج ممیزی‌ها برای ارائه به مدیریت فراهم شود.

برنامه ممیزی باید براساس نتایج ارزیابی ریسک فعالیت‌های سازمان و منابع ممیزی‌های قبلی، توسط سازمان طرح‌ریزی، ایجاد، مستقر و نگهداری شود.

VI. بازنگری مدیریت

مدیریت عالی باید سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی سازمان را در فواصل زمانی برنامه‌ریزی‌شده بازنگری کند تا از تناسب، کفایت و اثربخشی مستمر آن مطمئن شود.

بازنگری‌ها باید شامل ارزیابی فرصت‌های بهبود و تغییرات مورد نیاز در سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی باشد.
سوابق بازنگری‌های مدیریت باید نگهداری شوند و ورودی بازنگری‌های مدیریت باید شامل موارد زیر باشد:

الف) نتایج ممیزی‌های داخلی و ارزشیابی رعایت الزامات قانونی و سایر اقدامات قابل کاربرد که سازمان خود را موظف به پیروی از آنها می‌داند؛
ب) نتایج مشارکت و مشاوره؛
ج) بازخوردهای ذی‌نفعان برون‌سازمانی از جمله شکایت‌ها؛
د) عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی سازمان؛
هـ) میزان برآورده شدن اهداف و وضعیت بررسی رویداد، اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه؛
و) اقدامات مربوط به تغییر شرایط حاکم، از جمله توسعه در قوانین و سایر الزامات ایمنی و بهداشت شغلی.

خروجی‌های بازنگری‌های مدیریت باید متناسب با تعهد سازمان به بهبود مستمر باشد شامل هرگونه تصمیمات و اقدامات مربوطه به تغییرات ممکن در موارد زیر باشد:

الف) عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی؛
ب) خط‌مشی و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی؛
ج) منابع؛
د) سایر عناصر سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی.

خروجی‌های بازنگری مدیریت باید برای اطلاع‌رسانی و مشاوره در دسترس باشند.

۵ـ۷ استاندارد ISO 14001,2015

دستیابی به تعادل میان محیط‌زیست، جامعه و اقتصاد برای برآوردن نیازهای امروزی بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های بعدی برای برآوردن نیازهایشان ضروری است. توسعه پایدار به عنوان یک هدف با تعادل سه رکن پایداری به دست می‌آید. این امر سازمان‌ها را بر آن داشته با هدف کمک به ارکان توسعهٔ پایدار با پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی رویکردی سیستماتیک به محیط‌زیست داشته باشند. ایزو ۱۴۰۰۱ استانداردی مبتنی بر چرخهٔ PDCA است که مطابق آن یک سیستم مدیریت

زیست‌محیطی باید تأسیس شود به طور پیوسته بهبود یابد و مستندسازی‌های لازم آن انجام پذیرد.

۷ـ۵ـ۱ هدف از استقرار یک سیستم مدیریت زیست محیطی

هدف از این استاندارد بین‌المللی ارائهٔ یک چارچوب به سازمان، برای حفاظت از محیط‌زیست و واکنش در برابر تغییرات زیست‌محیطی در تعادل با نیازهای اجتماعی- اقتصادی است. این استاندارد، الزاماتی را مشخص می‌کند تا سازمان قادر باشد به نتایج مورد نظری که برای سیستم مدیریت زیست‌محیطی‌اش تعیین می‌کند دست یابد. یک رویکرد سیستماتیک به مدیریت زیست‌محیطی می‌تواند اطلاعاتی را برای ایجاد موفقیت طولانی مدت در اختیار مدیریت ارشد قرار بدهد تا با کمک موارد زیر به توسعهٔ پایدار کمک کند:

- حفاظت از محیط‌زیست با پیشگیری یا کاهش پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی؛
- کاهش اثر نامطلوب بالقوه شرایط زیست‌محیطی بر سازمان؛
- ارتقای عملکرد زیست‌محیطی؛
- اصلاح طراحی، تولید، توزیع و مصرف محصولات با دیدگاه چرخهٔ حیات که می‌تواند از انتقال پیامدهای زیست‌محیطی به جایی دیگر در طی چرخهٔ حیات خودداری کند؛
- دستیابی به مزایای مالی و عملیاتی که از پیاده‌سازی گزینه‌های دیگر دوستدار محیط‌زیست حاصل می‌شود و موقعیت سازمان را در بازار تقویت می‌کند.

۷ـ۵ـ۲ عوامل موفقیت

موفقیت سیستم مدیریت زیست‌محیطی به تعهد در تمام سطوح و وظایف سازمان بستگی دارد که توسط مدیریت ارشد هدایت می‌شود. سازمان‌ها می‌توانند از فرصت‌ها برای پیشگیری یا کاهش پیامدهای نامطلوب زیست محیطی و ارتقای پیامدهای زیست‌محیطی مطلوب به خصوص در رابطه با آنها که مضامین استراتژیک و رقابتی دارند استفاده کنند.

مدیریت ارشد با یکپارچه‌سازی مدیریت زیست‌محیطی با فرایندهای کسب‌وکار سازمان، جهت‌گیری و تصمیم‌گیری استراتژیک، هم‌راستایی آنها با دیگر اولویت‌های

کسب‌وکار و قانونگذاران زیست‌محیطی و دخیل کردن حکمرانی زیست‌محیطی در سیستم کلی مدیریتش می‌تواند به طور مؤثر به ریسک‌ها و فرصت‌هایش بپردازد. از اظهار پیاده‌سازی این استاندارد بین‌المللی می‌توان برای کسب اطمینان در طرف‌های ذی‌نفع استفاده کرد که یک سیستم مدیریت زیست‌محیطی مؤثر در جریان است.

۷ـ۵ـ۳ الزامات سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی

این استاندارد بین‌المللی الزاماتی را برای سیستم مدیریت زیست‌محیطی مشخص می‌کند که یک سازمان می‌تواند از آن برای ارتقای عملکرد زیست‌محیطی‌اش استفاده کند. این استاندارد بین‌المللی به سازمان کمک می‌کند به نتایج مورد نظرش در سیستم مدیریت زیست محیطی دست یابد که فراهم‌کننده ارزش برای محیط زیست، سازمان و طرف‌های ذی‌نفع است. نتایج مورد نظر سیستم مدیریت زیست‌محیطی یک سازمان شامل موارد زیرند:

- ارتقای عملکرد زیست‌محیطی
- انجام تعهدات به تطابق
- دستیابی به اهداف زیست‌محیطی

این استاندارد بین‌المللی برای هر سازمانی صرف‌نظر از اندازه، نوع و ماهیت قابل کاربرد است و می‌توان آن را به صورت کلی یا بخشی برای بهبود سیستماتیک مدیریت زیست‌محیطی به کار برد. البته ادعای انطباق با این استاندارد بین‌المللی قابل قبول نیست مگر تا زمانی که تمام الزامات آن در سیستم مدیریت زیست‌محیطی سازمان به کار گرفته شود و بدون استثنایی برآورده شوند.

۷ـ۶ معرفی تعدادی از استانداردهای دیگر

بجز استانداردهای یادشده در این فصل، استانداردهای مفید و مشهور دیگری توسط سازمان جهانی استاندارد تدوین شده است که در اینجا به معرفی تعدادی از این استانداردها می‌پردازیم:

- IMS سیستم مدیریت یکپارچه
- ISO 10002 :2004 استاندارد سیستم رضایت‌مندی مشتریان
- ISO 22000 :2005 استاندارد سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت مواد غذایی

- ISO 13485 :2003 استاندارد سیستم مدیریت تجهیزات پزشکی
- ISO/ TS 16949 :2009 استاندارد سیستم مدیریت صنایع خودروسازی
- ISO 17025 :2005 استاندارد سیستم مدیریت آزمایشگاه
- ISO / TS 29001 :2010 استاندارد سیستم مدیریت صنایع نفت، گاز و پتروشیمی
- ISO 27001 :2005 استاندارد سیستم مدیریت امنیت اطلاعات
- ISO 10006 :2003 استاندارد مدیریت کیفیت در پروژه‌ها
- ISO 17020 :1998 استاندارد سیستم مدیریت صلاحیت سازمان‌های بازرسی
- ISO 50001 :2011 استاندارد سیستم مدیریت انرژی
- ISO 10015 :1999 استاندارد سیستم مدیریت کیفیت آموزش
- ISO 15189 :2007 استاندارد خدمات آزمایشگاه تشخیص طبی
- ISO 1765 :1986 استاندارد فرش ماشینی
- ISO 12944-5 :2007 استاندارد رنگ و روغن جلا
- ISO 12647 :2004 استاندارد صنعت چاپ
- ISO 3632 :2011 استاندارد زعفران و ادویه
- ISO 16050 :2003 استاندارد آجیل و خشکبار
- ISO 6820 :1985 استاندارد نان
- ISO 9202 :1991 استاندارد جواهرات، طلا و نقره
- HACCP استاندارد امریکایی سلامت غذا
- Halal تطابق مواد غذایی با الزامات قوانین اسلامی
- CE استاندارد محصول در اروپا، تطابق محصول با الزامات اتحادیه اروپا
- EFOM گواهینامه تعالی سازمانی
- E-Mark استاندارد وسایل نقلیه در اروپا
- HSE-MS سیستم مدیریت ایمنی-بهداشت-محیط زیست
- QS 9000 استاندارد سیستم مدیریت کیفیت در صنایع خودروسازی
- GMP عملکرد خوب در تولید
- GDP عملکرد خوب در توزیع و پخش
- GLP عملکرد خوب آزمایشگاهی
- Global GAP استاندارد محصولات باغی و کشاورزی

- DIN EN 676 :2008 استاندارد مشعل‌های گازسوز
- EN 9100 استاندارد مدیریت هوافضا
- COC - Certificate of Conformity گواهینامهٔ انطباق با استانداردهای بین‌المللی

۷ـ۷ تمرین‌ها

۱ـ خانواده استاندارد کیفیت ایزو۹۰۰۰ کدام‌اند؟
۲ـ آیا استانداردهای ایزو۹۰۰۰ قابل بازنگری هستند؟
۳ـ منافع بالقوه پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت براساس استاندارد بین‌الملل ایزو ۹۰۰۱ برای یک سازمان چیست؟
۴ـ ارتباط استاندارد ایزو ۹۰۰۱ با سایر استانداردهای سیستم مدیریت را بیان کنید.
۵ـ مراحل استقرار و پیاده‌سازی استانداردهای ایزو در بنگاه‌ها و سازمان‌های مختلف را بیان کنید.
۶ـ هدف از پیاده سازی یک سیستم مدیریت زیست‌محیطی چیست؟

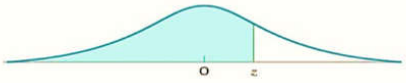
٢٠٢٣٠٤٢٠٠٤٠٥٥٥

پیوست‌ها

- پیوست ۱: توزیع تجمعی نرمال استاندارد
- پیوست ۲: نقاط درصد توزیع
- پیوست ۳: نقاط درصد توزیع t
- پیوست ۴: نقاط درصد توزیع F به‌ازای
- پیوست ۵: نقاط درصد توزیع F به‌ازای
- پیوست ۶: نقاط درصد توزیع F به‌ازای
- پیوست ۷: نقاط درصد توزیع F به‌ازای
- پیوست ۸: نقاط درصد توزیع F به‌ازای
- پیوست ۹: ضرایب طراحی نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر

پیوست ۱: توزیع تجمعی نرمال استاندارد

$$\Phi(z)\int_{-\infty}^{z}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-u^2/2}du$$



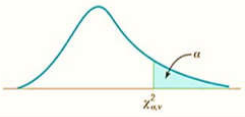
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	z
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.0
0.1	0.53983	0.54379	0.54776	0.55172	0.55567	0.1
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.2
0.3	0.61791	0.62172	0.62551	0.62930	0.63307	0.3
0.4	0.65542	0.65910	0.62276	0.66640	0.67003	0.4
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.5
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.6
0.7	0.75803	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.7
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79954	0.8
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.9
1.0	0.84134	0.84375	0.84613	0.84849	0.85083	1.0
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87285	1.1
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	1.2
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	1.3
1.4	0.91924	0.92073	0.92219	0.92364	0.92506	1.4
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	1.5
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	1.6
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	1.7
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96637	0.96711	1.8
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	1.9
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	2.0
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	2.1
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	2.2
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	2.3
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	2.4
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	2.5
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	2.6
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	2.7
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	2.8
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	2.9
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	3.0
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	3.1
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	3.2
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	3.3
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	3.4
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	3.5
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	3.6
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	3.7
3.8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	3.8
3.9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	3.9

پیوست ۱: (ادامه)

$$\Phi(z)\int_{-\infty}^{z}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-u^2/2}du$$

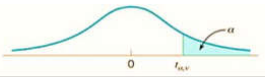
z	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	z
0.0	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586	0.0
0.1	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57534	0.1
0.2	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409	0.2
0.3	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173	0.3
0.4	0.67364	0.67724	0.68082	0.68438	0.68793	0.4
0.5	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240	0.5
0.6	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490	0.6
0.7	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78523	0.7
0.8	0.80234	0.80510	0.80785	0.81057	0.81327	0.8
0.9	0.82894	0.83147	0.83397	0.83646	0.83891	0.9
1.0	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214	1.0
1.1	0.87493	0.87697	0.87900	0.88100	0.88297	1.1
1.2	0.89435	0.89616	0.89796	0.89973	0.90147	1.2
1.3	0.91149	0.91308	0.91465	0.91621	0.91773	1.3
1.4	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189	1.4
1.5	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408	1.5
1.6	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95448	1.6
1.7	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327	1.7
1.8	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062	1.8
1.9	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670	1.9
2.0	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169	2.0
2.1	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574	2.1
2.2	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899	2.2
2.3	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158	2.3
2.4	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361	2.4
2.5	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520	2.5
2.6	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643	2.6
2.7	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736	2.7
2.8	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807	2.8
2.9	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861	2.9
3.0	0.99886	0.99889	0.99893	0.99897	0.99900	3.0
3.1	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929	3.1
3.2	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950	3.2
3.3	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965	3.3
3.4	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976	3.4
3.5	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983	3.5
3.6	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989	3.6
3.7	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992	3.7
3.8	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995	3.8
3.9	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	3.9

پیوست ۲: نقاط درصد توزیع χ^2



	α								
ν	**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
10	2.16	2.56	3.25	3.94	9.34	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	10.34	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	11.34	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	12.34	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	13.34	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.27	7.26	14.34	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	15.34	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	16.34	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	17.34	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.884	7.63	8.91	10.12	18.34	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	19.34	31.41	34.17	37.57	40.00
25	10.52	11.52	13.12	14.61	24.34	37.65	40.65	44.31	46.93
30	13.79	14.95	16.79	18.49	29.34	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	39.34	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	49.33	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	59.33	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	69.33	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	79.33	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	89.33	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.06	74.22	77.93	99.33	124.34	129.56	135.81	140.17

پیوست ۳: نقاط درصد توزیع t



	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
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.20	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.992
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

پیوست ۴: نقاط درصد توزیع F به‌ازای $\alpha = 0.25$

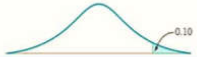
$F_{0.25,\nu_2,\nu_1}$

ν_2 \ ν_1 (درجه آزادی صورت)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
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	9.58	9.63	9.67	9.71	9.76	9.80	9.85
2	2.57	3.00	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.48
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	2.46	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
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	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
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	1.88	1.88	1.88	1.88	1.87	1.87	1.87
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	1.76	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.74
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	1.67	1.67	1.66	1.66	1.65	1.65	1.65
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	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.58
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	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53
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	1.52	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48
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	1.49	1.49	1.48	1.47	1.47	1.46	1.45
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	1.47	1.46	1.45	1.45	1.44	1.43	1.42
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	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.41	1.40
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	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.39	1.38
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	1.41	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36
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	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34
17	1.42	1.51	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33
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	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32
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	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30
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	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.29
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	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28
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	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28
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	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27
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	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26
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	1.33	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25
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	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.25
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	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26	1.24
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	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24
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	1.31	1.30	1.29	1.27	1.26	1.25	1.23
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	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.24	1.23
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	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19
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	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19	1.17	1.15
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	1.22	1.21	1.19	1.18	1.16	1.13	1.10
∞	1.32	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.19	1.18	1.16	1.14	1.12	1.08	1.00

درجه آزادی مخرج (ν_2)

viewed by guest with id_2 in 1399/9/15 14:54:42

پیوست ۵: نقاط درصد توزیع F به‌ازای $\alpha = 0.1$



$F_{0.10,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1 (درجه آزادی صورت)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.03	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.00

درجه آزادی مخرج (ν_2)

Note: $F_{0.90,\nu_2,\nu_1} = 1/F_{0.10,\nu_1,\nu_2}$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 14:54:40

پیوست ۶: نقاط درصد توزیع F به‌ازای $\alpha = 0.05$

$F_{0.05,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1 (درجه آزادی صورت)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

درجه آزادی مخرج (ν_2)

Note: $F_{0.95,\nu_1,\nu_2} = 1/F_{0.05,\nu_2,\nu_1}$.

viewonly by guest with id=2 in 1399/9/15 14:54:54

پیوست ۷: نقاط درصد توزیع F به‌ازای $\alpha = 0.025$

$F_{0.025,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1 (درجه آزادی صورت)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001.0	1006.0	1010.0	1014.0	1018.0
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00

درجه آزادی مخرج (ν_2)

Note: $F_{0.975,\nu_1,\nu_2} = 1/F_{0.025,\nu_2,\nu_1}$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 14:55:0

پیوست ۸: نقاط درصد توزیع F به‌ازای $\alpha = 0.01$

$F_{0.01,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1 (درجه آزادی صورت)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4052.0	4999.5	5403.0	5625.0	5764.0	5859.0	5928.0	5982.0	6022.0	6056.0	6106.0	6157.0	6209.0	6235.0	6261.0	6287.0	6313.0	6339.0	6366.0
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.00	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.59
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

درجه آزادی مخرج (ν_2)

Note: $F_{0.99,\nu_2,\nu_1} = 1/F_{0.01,\nu_1,\nu_2}$.

viewed by guest with id=2 in 1399/9/15 14:55:5

پیوست ۹: ضرایب طراحی نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های کیفی متغیر

Observations in Sample, n	Chart for Averages: Factors for Control Limits A	A_2	A_3	Chart for Averages: Factors for Center Line c_4	$1/c_4$	Chart for Standard Deviations: Factors for Control Limits B_3	B_4	B_5	B_6	Factors for Center Line d_2	$1/d_2$	Chart for Ranges: Factors for Control Limits d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For $n > 25$.

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}} \quad c_4 \cong \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4\sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4\sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

viewed by guest with id=2 in 1398/8/15 14:55:11

منابع

امیری، امیرحسین و مهدی کوشا (۱۳۹۳). کنترل کیفیت آماری، انتشارات نگاه دانش، چاپ هفتم.

ایوزیان، مجید و ابوالفضل واقفی (۱۳۸۵). مبانی احتمالات و آمار مهندسی (جلد اول)، انتشارات ترمه.

ایوزیان، مجید، ابوالفضل واقفی و حمید اسماعیلی (۱۳۸۶). مبانی احتمالات و آمار مهندسی (جلد دوم)، انتشارات ترمه.

بسترفیلد، دیل اچ. و دیگران (۱۳۹۴). مدیریت کیفیت جامع، ترجمهٔ عبدالله آقایی، احسان انعامی، حسین حاج‌بابایی، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

پایک، جان و ریچارد بارنز (۱۳۷۷). مدیریت کیفی جامع در عمل، ترجمهٔ محمد حسین سلیمی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

فارسیجانی، حسن (۱۳۸۶). کلاس جهانی سازمان‌ها و مدیریت کیفیت جامع، مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران.

فتاحی، پرویز (۱۳۹۰). مدیریت کیفیت و بهره‌وری، انتشارات دانشگاه پیام نور.

گائینی، احمد (۱۳۸۹). جزوهٔ کنترل کیفیت آماری، مؤسسهٔ آموزش عالی آزاد پارسه.

مونتگومری، داگلاس سی(۱۳۷۶). کنترل کیفیت آماری، ترجمهٔ رسول نورالسناء، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ویرایش سوم.

نقندریان، کاظم (۱۳۹۰). کنترل کیفیت آماری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ویرایش دوم، چاپ پنجم.

BSI. BS EN ISO 14001: 2015: Environmental management systems. Requirements.

ISO E. 9001:2015 Quality management systems. Requirements (ISO 9001: 2015), European Committee for Standardization, Brussels. 2015.

OHSAS B. 18001 (2007) Occupational Health and Safety Management Systems. Requirements. British Standards. 2007.