بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی صنایع

پایان‌نامه
برای دریافت درجه دکتری
مهندسی صنایع

ارائه یک روش مبتنی بر استنباط بیزی و برآورد حداکثر درستنمایی برای تشخیص الگو در نمودارهای کنترل

استاد راهنما: دکتر محمدصالح اولیاء

استاد مشاور: دکتر محمدصابر فلاح نژاد

پژوهش و نگارش: مهدی کبیری نائینی

مهرماه ۹۱

تقدیم به

همسر فداکارم

پسر خوبم، محمد حسین

دختر عزیزم، هدی

قدردانی

بدینوسیله صمیمانه ترین مراتب قدردانی خود را تقدیم استاد راهنمای عزیز، آقای پروفسور اولیاء، می‌کنم. راهنمایی‌های دقیق و هوشمندانه ایشان در کلیه مراحل پژوهش و نیز مراحل دفاع از رساله بسیار مفید و راهگشا بود.

همچنین از استاد مشاور و دوست خوبم، آقای دکتر فلاح‌نژاد، بابت زحمات و مساعدت‌های فراوان ایشان تشکر می‌کنم.

از داور محترم، آقای دکتر صادقیه، که در تنظیم متن رساله راهنمایی‌های دقیقی داشتند نیز تشکر و قدردانی می‌کنم.

چکیده

هر فرایند، گرفتار نوسانات از دو نوع متفاوت است؛ نوسانات طبیعی و نوسانات غیرطبیعی. نوسانات طبیعی، ذاتی فرایند و اجتناب ناپذیر هستند. در مقابل، نوسانات غیرطبیعی، نشان دهنده یک عامل اختلال خارجی هستند که بایست هرچه سریعتر شناسایی و حذف شود. نوسانات غیرطبیعی در انواع مختلف بر روی نمودار کنترل بروز می‌کند. شناسایی نوع نوسان غیرطبیعی می‌تواند ما را به شناسایی مسأله موجود در فرایند هدایت کند. بنابراین، مسأله کشف[۱] و شناسایی[۲] نوسانات غیرطبیعی، به مقوله‌ای مهم در حوزه کنترل آماری فرایند تبدیل می‌شود.

در مواجهه با این مسأله، روش‌های تحلیلی و غیرتحلیلی مختلفی ارائه شده است. روش‌های تحلیلی، بر صریح بودن قضاوت تأکید داشته عمدتاً مبتنی بر رویکردهای آماری هستند. عمده پژوهش‌های تحلیلی، یا فاقد توان شناسایی نوع نوسان غیرطبیعی هستند و یا بر فرضیات بعضاً غیرکاربردی بنا شده‌اند. بعلاوه مسأله عدم کشف و شناسایی اشتباهی گریبانگیر اکثر این روش-هاست. در مقابل روشهای غیرتحلیلی که مبتنی بر هوش مصنوعی[۳] (AI) و یادگیری هستند، به این مسأله در قالب مسأله تشخیص الگو[۴] نگاه می‌کنند. در این گروه روش‌ها، علاوه بر دشواری‌های مرحله آموزش و طراحی ساختار، بدلیل ماهیت جعبه سیاهی سیستم، جواب ضمنی ارائه می‌شود و امکان تفسیر صریح جواب خروجی فراهم نیست.

در این پژوهش یک روش تحلیلی جدید مبتنی بر رویکرد تصمیم‌گیری بر روی حدس‌ها ارائه شد. مدل ارائه شده، با اقتباس قواعد آماری به تفسیر رفتار فرایند و شناسایی الگوهای نمودار کنترل می‌پردازد. رویکرد پیشنهادی، به دو صورت خالص و ادغام با شبکه عصبی، مورد بررسی قرار گرفت. برخلاف عمده مطالعات انجام شده در این حوزه، این پژوهش بر اساس رویکرد پنجره متحرک که کاربردی‌تر و برای حالت آنلاین مناسب‌تر می‌باشد، انجام گرفت. به منظور تدارک مثال‌های آموزشی شبکه، رویکردی جدید ارائه شد که قابلیت بهتری در شبیه‌سازی شرایط آنلاین،

[۱] Detecting
[۲] Identification
[۳] Artificial Intelligence (AI)
[۴] Pattern Recognition Problem

فراهم می‌آورد. با استفاده از شبیه‌سازی، عملکرد روش پیشنهادی بر اساس مجموعه‌ای از شاخص-ها، مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج بدست آمده، توجیه‌پذیری رویکرد پیشنهادی را نشـان مـی-دهد.

کلمات کلیدی: کنترل آماری فرآیند، نمودار کنترل، تشخیص الگو، استنباط بیزی

Keywords: SPC, Control Chart, Pattern Recognition, Bayesian Inference

۱-۱- مقدمه

در بازار رقابتی امروز، کیفیت نقشی حیاتی در بقاء شرکت‌ها دارا می‌باشد و بنابراین توسعه و بکارگیری ابزارها و رویه‌های مدرن برای کنترل کیفیت، به یک ضرورت اساسی تبدیل شده است.

یکی از بخش‌های کنترل کیفیت، کنترل فرایند است که بر کاهش تغییرپذیری فرایند با هدف اطمینان از تولید محصولات مناسب، تأکید دارد. کنترل فرایند دربرگیرنده تفسیر رفتار فرایند، تشخیص مسأله فرایند و اجرای اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه است. تفسیر رفتار فرایند، با استفاده از تکنیک‌های تحلیلی کنترل آماری فرایند[۱] (SPC) صورت می‌گیرد تا اختلالات خارجی در فرایند، در صورت وجود، سریعا کشف شوند و با اجرای اقدامات اصلاحی مناسب از تولید محصولات نامنطبق جلوگیری شود.

تحلیل و تفسیر رفتار فرایند، به تحلیلگران آموزش دیده ماهری نیاز دارد که علاوه بر اطلاع از مبانی تئوریک مربوط به نمودارهای کنترل، از تجربه کافی نیز برخوردار باشند. برای حل مساله کمبود کارکنان متخصص، سیستمهای اتوماتیک، می توانند راهگشا باشند. بنابراین یکی از مسائل مطرح در حوزه کنترل کیفیت، اتوماتیک سازی تفسیر رفتار و کشف اختلالات فرایند می‌باشد. برای تفسیر رفتار فرایند، مدل‌های مختلفی ارائه شده است. این پایان‌نامه یک مدل تحلیلی جدید برای شناسایی نوسانات غیرطبیعی فرایند ارائه می‌دهد.

۱-۲- تعریف مسأله

نمودار کنترل، یکی از ابزارهای اساسی کنترل آماری فرایند است. نمودار کنترل، نمایشی گرافیک از رفتار سیستم ارائه می دهد که برای پایش آنلاین فرایند، تفسیر رفتار فرایند و شناسایی حالات غیرطبیعی استفاده می شود. یک نمودار می تواند زمان لازم برای شروع جستجو برای عوامل تغییر را نشان دهد [۱]، [۲]. اما نمودار در خصوص مکان و نوع تغییر اطلاعاتی ارائه نمی-

[۱] Statistical Process Control (SPC)

دهد، زیرا تمرکز بر روی جدیدترین نقطه رسم شده است و اطلاعات ارزشمند موجود در نقاط قبلی استفاده نمی‌شود. برای تقویت عملکرد نمودارهای کنترل، تعدادی قواعد مکمل توسط وسترن الکتریک ارائه شد [۳]. اما این قواعد، تنها قادرند برخی از وضعیت‌های غیرطبیعی را هشدار دهند و در خصوص نوع رفتار فرایند، اطلاعاتی ارائه نمی‌دهند. بعلاوه استفاده از قواعد متعدد می‌تواند نرخ هشدارهای اشتباهی را افزایش دهد.

فواید حاصل از نمودارهای کنترل می‌تواند با اتخاذ یک استراتژی کنترلی مناسب که قابلیت تفسیر رفتار فرایند را داشته باشد افزایش یابد. تفسیر رفتار فرایند و شناسایی نوع نوسانات، اطلاعاتی به دست می‌دهد که می‌تواند برای اقدامات بعدی مهندسی فرایند، مفید باشد. برای رسیدن به این استراتژی، چنانکه در فصل ۳ خواهد آمد، سیستمهای متعددی بر اساس تئوریهای مختلف ارائه شده است. سیستمهایی از قبیل سیستمهای خبره [۴]، تکنیکهای ساختاری تشخیص الگو [۵]، تکنیکهای آماری [۶]، رویکرد شبکه عصبی مصنوعی [۱]. این سیستمها به دو گروه عمده سیستم‌های تحلیلی و سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، تقسیم می‌شوند. با وجود نقاط قوت هر یک از این روش‌ها، در کل کمبودهای زیر همچنان وجود دارد:

۱. هشدارهای اشتباهی (خطای نوع اول) و عدم هشدار (خطای نوع دوم)
۲. تشخیص غلط (ضعف در تفکیک بین الگوهای دارای فیچرهای مشابه)
۳. نیاز سیستم به آموزش زمانبر
۴. دشواری طراحی ساختار مناسب سیستم
۵. فقدان امکان تفسیر نتایج ارائه شده توسط سیستم

به خصوص دو مساله عمده وجود دارد که هنوز توجه مطالعاتی کافی به آن صورت نگرفته است. اولا، رویکردهای تحلیلی که با هدف تفسیر نوسانات فرایند ارائه شدند، یا فاقد قدرت شناسایی نوع نوسانات غیرتصادفی هستند و صرفا تغییر در ساختار فرایند را بدون ارائه اطلاعات مرتبط با شکل ساختار حادث شده نشان می‌دهند، و یا بر فرضیات غیرکاربردی بنا شده‌اند. ثانیا، در مورد رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی، که به دنبال اجرای استراتژی تشخیص الگو در مورد

نمودار کنترل هستند، هر یک از این سیستمها، به مجموعـه ای از مثالهـای خـوب بـرای آمـوزش سیستم تشخیص الگو نیاز دارند. این مثال‌ها تأثیر بالایی در عملکرد سیستم حاصل دارند. بعلاوه به دلیل ماهیت جعبه سیاهی شبکه‌های عصبی، جواب ارائه شده صریح نیست. بنابراین بهره‌گیـری از چارچوبی برای تدارک مثال‌های آموزشی مناسب و نیز تفسیر خروجی‌های شبکه عصبی، می‌توانـد ضعف موجود در این سیستم‌ها را پوشش دهد.

۱-۳- هدف تحقیق

توجه اصلی این رساله پرداختن به دو مساله فوق اسـت. در ایـن مسـیر یـک روش تحلیلـی جدید، مبتنی بر تکنیک‌های آمار و احتمالات، جستجو می‌شود کـه هـم قابلیـت کشـف تغییـر در ساختار فرایند را دارا باشد و هم تفسیر صریحی از نوع رفتار فرایند ارائه دهد.

مبنای مدل پیشنهادی بر اساس رویکرد تصمیم‌گیری بر روی حدس‌هـا[۱] (DOB) اسـت. در این رویکرد به مسأله، در قالب یک مسأله تصمیم‌گیری، نگاه می‌شود. کل فضای تصمیم‌گیـری بـه تعدادی زیرفضا افراز می‌شود که یکی از آنها جواب مسأله است. اساس DOB، بر انتخاب زیرفضایی است که با بیشترین احتمال، شانس بهینه شدن را داشته باشد. این احتمال، که حدس نامیده می-شود، باید حداقل به اندازه یک مقدار تعیین شده باشد. در هر تکرار در صورت برآورده نشدن شرط توقف، یک مشاهده دیگر دریافت شده و حدس بر روی هر یک از زیرفضاها با اسـتفاده از رابطـه‌ای که از قانون بیز حاصل می‌شود بهبود می‌یابد. رویکرد DOB قدرت خود را در حـل مسـائل آمـاری مختلف نشان داده است.

در این پژوهش برآنیم تا قابلیت‌های این رویکرد را در مسأله تفسیر رفتار فرایند و تشـخیص الگو در نمودارهای کنترل، به خدمت بگیریم. مدل ارائه شده باید بتواند رفتار فراینـد را بـر مبنـای اصول آمار و احتمالات، تفسیر کند و نوع نوسان فرایند را شناسایی کند.

---

[۱] Decision On Beliefs (DOB)

۱-۴- سازماندهی رساله

فصل بعد به بحث در مورد مفهوم کنترل کیفیت آماری و نمودارهـای کنترلـی مـی‌پـردازد. فصل سوم به مرور ادبیات مربوط به تشخیص الگو در نمودارهای کنترل می‌پردازد. در فصل چهارم روش پیشنهادی تشریح شده و عملکرد آن در فصل پنج مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نهایتاً در فصل شش، نتیجه‌گیری از پایان‌نامه با بحث در خصوص نوآوری های تحقیـق، نتـایج و مسـائل تحقیـق آینده ارائه می‌شود.

۲-۱- مقدمه

به‌عنوان فتح باب تحقیق، و قبل از پرداختن به ادبیات حوزه تحقیق (در فصل ۳)، در این فصل، مطالب زیربنایی مرتبط با موضوع تحقیق به اختصار معرفی می‌شود. ابتدا واژه‌های کیفیت و کنترل کیفیت تعریف و سپس اساس و تاریخچه شکل‌گیری مفهوم کنترل آماری فرایند، تشریح می‌شود. بعد از آن، نمودارهای کنترل، به‌عنوان مهم‌ترین ابزار کنترل آماری فرایند معرفی می‌شود. در ادامه، با تشریح انواع رفتارهای محتمل در فرایند، ضرورت تحلیل رفتار فرایند بحث می‌شود. در پایان قواعد دنباله به‌عنوان یکی از ابزارهای ابتدایی برای تفسیر رفتار فرایند، معرفی شده مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۲- کنترل کیفیت

واژه کیفیت به صورت سنتی بیانگر مفاهیمی چون "مناسبت با کاربرد[۱]"، "درجه خوبی[۲]" یا "مطابقت با یک استاندارد[۳]" است [۲]. اهمیت به کیفیت، در طبیعت آدمی قرار دارد و بنابراین پیشینه کیفیت به پیشینه آدمی برمی‌گردد. با شروع تولید توسط انسان، اهمیت کیفیت محصول شروع شد.

کنترل کیفیت را می‌توان مجموعه‌ای از وظایف مدیریتی و مهندسی تعریف کرد که از طریق آنها کیفیت مواد و کالاهای تولیدی کنترل می‌شود تا از تولید اقلام معیوب جلوگیری شود. امروزه کنترل کیفیت، یک مفهوم گسترده در برگیرنده طرح‌ها و رویه‌های اثربخش کنترلی در کلیه وظایف مربوط به تولید کالا و ارائه خدمات است؛ که به دنبال برآوردن انتظارات مشتری و یا حتی فراتر رفتن از آن در بازار رقابتی می‌باشد. این وظایف شامل توسعه محصول، طراحی، ساخت، بسته‌بندی، حمل و نقل، فروش و نگهداری می‌باشد.

---

[۱] Fitness for Use
[۲] Degree of Excellence
[۳] Conformance to a Standard

کنترل کیفیت آماری[۱] (SQC) فرایند از آزمایشگاه‌های تلفن بل در دهه ۱۹۲۰ شروع شد. تکنیک‌های کنترل آماری فرایند که اولین بار توسط دکتر والتر شوهارت ارائه شد، ابزارهای قدرتمندی برای طراحی سیستم‌های اثربخش کنترل کیفیت بوده است. بر پایه تئوری کنترل آماری فرایند، علل متفاوتی نوسانات فرایند را ایجاد می‌کنند [۲]. همه فرایندها با هر سطح دقت دارای نوسان هستند که طبیعی و اجتناب‌ناپذیر بوده؛ ریشه در عدم قطعیت ذاتی موجود در فعالیت‌های انسان، تجهیزات و سیستم‌ها دارد. اما به صورت آماری می‌توان نوسانات و تغییرات ایجاد شده در مشخصه‌های کیفیتی را بر اساس علت ایجاد آنها به دو نوع متفاوت تقسیم کرد. نوسانات تصادفی (شانسی)[۲]، مربوط به علل طبیعی[۳] و نوسانات مربوط به علل قابل تخصیص یا غیرطبیعی[۴] [۳]. دمینگ علل قابل تخصیص را علل خاص[۵] و علل طبیعی را علل معمولی[۶] نامید [۷]. علل طبیعی، ذاتی فرایند هستند و به علت مجموعه‌ای از انحرافات کوچک در پارامترهای مختلف فرایند ایجاد شده و نمی‌توانند مرتبط با یک عامل خاص دانسته شوند. این‌گونه علل اگرچه به صورت کامل قابل حذف نیستند، تأثیر آنها به طرقی همچون طراحی بهتر محصول، قابل کاهش می‌باشد. مثال‌هایی از علل طبیعی عبارتند از: طراحی ضعیف محصول، مواد نامناسب، دستورالعمل‌های ضعیف، ماشین‌آلات قدیمی و غیره. در مقابل علل خاص نوسانات، مربوط به بیرون فرایند می‌شوند. به طور کلی، این‌گونه علل مربوط به اختلالات بیرونی هستند که فرایند را از رفتار نرمال منحرف ساخته است. مثال‌هایی از این نوع علل عبارتند از: تغییر ناگهانی در مهارت-های اپراتور، تأثیرات فصلی همچون دما و رطوبت، خستگی اپراتور، خرابی و فرسودگی در اتصالات و غیره. فرآیندی که فقط تحت تأثیر نوسانات تصادفی قرار دارد را فرآیند «تحت کنترل آماری» گویند [۲]. زمانی‌که وجود یک علت خاص در فرایند شناسایی شود به فرایند خارج از کنترل آماری و یا ناپایدار[۷] تعبیر می‌شود. تفاوت بین این دو نوع نوسانات، شالوده تحلیل نمودار کنترل و

---

[۱] Statistical Quality Control (SQC)
[۲] Chance or Random Variation
[۳] Natural Causes
[۴] Assignable or Unnatural Causes
[۵] Special Causes
[۶] Common Causes
[۷] Unstable

تکنیک‌های اخیر همچون تشخیص الگو بوده است. علل خاص می‌تواند به وسیله نمودارهای کنترل کشف و به وسیله بازرسی و تحلیل مناسب محیط کار فرایند، شناسایی شود. متخصصان کیفیت پس از شناسایی منابع علل غیرتصادفی، می‌توانند آنها را حذف کنند و فرایند را به حالت نرمال برگردانند. کنترل آماری فرایند مبنای ریاضی دقیقی برای حداقل کردن نوسانات فرایند از طریق طراحی آماری بهینه رویه‌های نمونه‌گیری و بازرسی فراهم می‌آورد. علم آمار، ابزارهای کارآمدی برای کشف وجود علل خاص و شناسایی علل محتمل مربوط ارائه کرده است. نخستین ابزار کنترل کیفیت، نمودار کنترل است. تفسیر مقدماتی نمودارهای کنترل بر مبنای رفتار آماری فرایند تحت تأثیر نوسانات تصادفی انجام می‌گیرد.

۲-۳- نمودارهای کنترل کیفیت

کنترل آماری فرایند (SPC) ابزاری است که هدف آن بهبود کیفیت بوسیله کاهش انحراف-ها می باشد. یکی از تکنیک‌های اولیه SPC نمودارهای کنترل[۱] می باشد که رسماً توسط شوهارت[۲]، در سال ۱۹۳۱ ارائه شد [۲].

نمودارهای کنترلی برای نظارت بر ثبات فرایند و تشخیص تغییرات غیرتصادفی استفاده می-شود. ایده نمودارهای کنترل بر مبنای تمایز بین رفتار طبیعی و غیرطبیعی فرایند بنا شده است. به این ترتیب که اگر فرایند در یک وضعیت تحت کنترل آماری باشد، خروجی فرآیند قابل پیش بینی است و براساس مشاهدات قبلی، امکان تعیین حدودی که مشاهدات بعدی، با احتمال مشخصی، در این حدود بیفتد وجود دارد. بر مبنای اصول آماری، مشاهدات جمع‌آوری شده از خروجی فرایند باید مابین حدود حاصل از توزیع آماره‌ی رسم شده روی نمودار قرار گیرند. حدود کنترل مورد نظر، نشان‌دهنده محدوده تغییرات تصادفی است. در حالت کلی، نمودار کنترل یک ترسیم زمانی ساده‌ای از توالی زیرگروههای آماری است. در شرایطی که همه نقاط رسم شده، در حدود کنترلی

---

[۱] Control Chart
[۲] Walter A. Shewhart

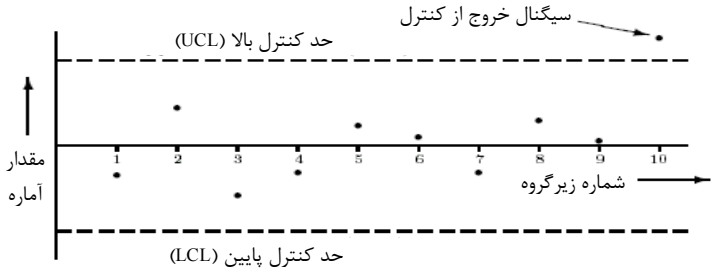
هستند فرض تحت کنترل بودن فرآیند قبول می‌شود. یک یا چند نقطه خارج از حدود کنترلی نشان می‌دهد که تغییرات، بیش از آن مقداری است که بتواند به تغییرات تصادفی نسبت داده شود.

اگر نوسانات مشاهده شده از فرایند خارج از حدود مشخص شده واقع شود؛ نمودار وجود یک رفتار غیرطبیعی را اعلام خواهد کرد. بنابراین نمودارهای کنترل به صورت گسترده در صنایع مختلف برای یافتن مسائل فرایندها و اینکه چه موقع و کجا شروع به جستجوی آن مسائل و علل آنها کنیم، استفاده شده‌اند. از طریق نمایش گرافیکی داده‌های فرایند، نمودارهای کنترل آشفتگی فرایند را هشدار می‌دهند و بنابراین به رفع آن قبل از رخداد کمک می‌کنند.

بسته به اینکه مشخصه کیفی، اندازه‌گیری باشد و یا طبقه‌بندی داده‌ها باشد، نمودارهای کنترل، به دو نوع متغیر و وصفی، تقسیم می‌شوند. مثلاً در اندازه‌گیری قطر شافت‌ها نمودار متغیر استفاده می‌شود. مثال‌هایی از نمودارهای متغیر، نمودار $\bar{x}$ و نمودار R است.

در مقابل، مثلاً اگر بخواهیم در مورد معیوب یا سالم بودن هر واحد محصول تولیدی، با شمارش تعداد نقص موجود روی آن قضاوت کنیم از نمودارهای وصفی استفاده می‌شود. نمودار P و نمودار c از جمله مثال‌های رایج نمودارهای وصفی هستند.

نمودارهای کنترل اعم از متغیر یا وصفی، شامل یک خط مرکزی و دو حد کنترل (حد بالای کنترل و حد پایین) هستند. خط مرکزی مربوط به سطح متوسط آماره در حالت تحت کنترل بودن فرایند است. حدود کنترل، در حالت نرمال در فاصله $\pm 3\sigma$ میانگین این آماره هستند. در حالت رفتار طبیعی در فرایند، نوسانات در فاصله $\pm 3\sigma$ هستند. در صورتی‌که در حالت رفتار غیرطبیعی یا از این حدود خارج می‌افتند و یا به صورت متوازن حول خط مرکزی نوسان نمی‌کنند. معمولاً نمودارهای $\bar{x}$ و R به صورت همراه با هم برای کشف موقعیت‌های خارج از کنترل در نمودارهای متغیر به‌کار می‌روند. شکل (۲-۱) یک مثال از نمودار کنترل را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) یک نمودار کنترل [۲]

الف) نمودار $\bar{x}$

نمودار $\bar{x}$ نمایشی از میانگین‌های زیرگروه‌های[۱] x ها مربوط به اندازه‌گیری‌های منفرد است. این نمودار برای پایش میانگین پارامتر موردنظر فرایند به‌کار می‌رود. این نمودار نماینده مرکز توزیع مربوط به فرایند و یک ابزار مفید برای نمایش نوسانات مابین زیرگروه‌هاست.

ب) نمودار R

نمودار R برای پایش محدوده نوسانات فرایند (فاصله بین حداکثر و حداقل مقادیر در داخل زیرگروه) است. بنابراین نمودار R برای پایش تغییرپذیری پارامتر موردنظر فرایند است و یکنواختی خروجی فرایند را نشان می‌دهد. هرچه فرایند یکنواخت‌تر باشد؛ محدوده نوسانات کاهش می‌یابد و نتیجتاً مطلوب است که نمودار R دارای محدوده هرچه کوچک‌تر باشد. نمودارهای R برای نمایش نوسانات داخل زیرگروه‌ها مناسب هستند.

ج) نمودار P

نمودار P از نسبت مشاهدات معیوب در نمونه استفاده می‌کند. هر نقطه در نمودار P نماینده نسبت معیوب در نمونه است. قابلیت این نمودار برای اهداف تشخیصی[۲]، کمتر از نمودارهای $\bar{x}$ و R می‌باشد و اغلب در مواقعی استفاده می‌شود که علل مهم، شناخته شده هستند.

د) نمودار C

این نمودار، برای پایش تعداد نقص در بازرسی، به‌کار می‌رود. هر بازرسی می‌تواند مشتمل بر یک واحد یا چند واحد محصول به عنوان یک گروه باشد. یک نقص، به عنوان یک خرابی مشخص مرتبط به یک ویژگی خاص، تعریف می‌شود.

---

[۱] Subgroups
[۲] Diagnostic Purposes

۲-۴- تحلیل نمودارهای کنترل

روال کار با نمودارهای کنترل به این شکل است که بعد از طراحی نمودار کنترل برای فرایند، نمونه‌ها از فرایند اخذ می‌شود، آماره مورد نظر محاسبه شده و بر روی نمودار رسم می‌شود. در گذر زمان، نقاط نمونه به صورت دوره‌ای (و یا غیر دوره‌ای) گرفته می‌شوند و بنابراین، نمودار کنترل سابقه زمانی از مقادیر آماره مربوط به مشخصه کیفی تحت مطالعه را نمایش می‌دهد. به طور کلی چهار حالت وجود دارد که می‌تواند رفتار فرایند را توصیف کند. در حالت اول، فرایند تحت کنترل آماری قرار دارد و هیچ محصول نامنطبقی[۱] تولید نمی‌کند؛ که این حالت، نماینده رفتار طبیعی فرایند است. در حالت دوم، فرایند تحت کنترل است و قطعات نامنطبق تولید می‌کند. این وضعیت در دنیای واقع بسیار بعید است زیرا داشتن یک محصول نامنطبق در حالتی که فرایند تحت کنترل است بسیار غیرمحتمل است. در حالت سوم، فرایند خارج از کنترل است و قطعات نامنطبق تولید نمی‌کند. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که فرایند همچنان داخل حدود باقی‌مانده، اما، الگوهای غیرطبیعی[۲] نشان می‌دهد. در نهایت، حالتی‌که فرایند خارج از کنترل بوده و قطعات نامنطبق تولید می‌کند.

۲-۵- الگوهای غیرطبیعی در نمودارهای کنترل

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، وضعیت‌های خارج از کنترل ناشی از حضور آشفتگی بیرونی یا علل خاص هستند. تحت تأثیر این‌گونه علل، فرایند رفتار غیرتصادفی[۳] به خود می‌گیرد که منجر به نقاط خارج از حدود و/ یا الگوهای غیرطبیعی در داده‌ها خواهد شد. نمودار کنترل یک ابزار مقدماتی برای کنترل فرایند است با ارائه سوابق مقادیر مشاهدات فرایند در طول زمان، قابلیت تشخیص دو کلاس الگویی طبیعی و غیرطبیعی را فراهم می‌کند. این دو نوع رفتار مستقیماً به علل تصادفی و غیرتصادفی نسبت داده می‌شوند.

---

[۱] Non-Conforming
[۲] Unnatural Patterns
[۳] Non-Randomly

هندبوک کنترل کیفیت آماری شرکت وسترن الکتریک رفتار طبیعی فرایند را به این ترتیب تعریف می‌کند:

"اغلب نقاط (در نمودار کنترل) نزدیک خط مرکز قرار دارند و تعداد کمی در فاصله از خط مرکز و نزدیک حدود کنترل پراکنده‌اند و هیچ نقطه‌ای (البته به جز تعداد خیلی کم نقاط) از حدود تجاوز نمی‌کند." [۳]

هندبوک وسترن الکتریک، به صورت مفصل به بحث در خصوص الگوهای غیرطبیعی نمودار کنترل می‌پردازد. الگوهایی که غالباً رخ می‌دهند و در مطالعات این حوزه بیشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از: وضعیت نرمال، روند[۱] (اعم از صعودی و نزولی)، سیکل[۲]، و شیفت[۳] (اعم از شیفت به بالا و شیفت به پایین). این الگوها به شکل زیر تعریف می‌شوند:

۱. الگوی روند عبارت است از توالیی از نقاط که شیفت تدریجی (صعودی یا نزولی) در میانگین فرایند را نشان می‌دهند. توزیع احتمال فرایند در این حالت بسیار شبیه یک توزیع قله هموار[۴] است. علل محتمل روند عبارتند از خرابی ابزار، خستگی اپراتور، فرسودگی تجهیزات.

۲. الگوی سیکل به صورت شکل سینوسی با افزایش و کاهش‌های دوره‌ای در داده‌های فرایند مشخص می‌شود. سیکل زمانی اتفاق می‌افتد که متغیرهای موثر فرایند به صورت تقریباً منظم حاضر و غایب می‌شوند. علل مرسوم الگوی سیکل عبارتند از گردش دوره‌ای در اپراتورها، تغییرات محیطی سیستماتیک یا نوسانات در تجهیزات تولیدی.

۳. الگوی شیفت، توالی از نقاط است که یک تغییر ناگهانی[۵] در میانگین فرایند را نشان می‌دهند. این الگو زمانی اتفاق می‌افتد که یک متغیر جدید در فرایند شروع به کار کند. توزیع احتمال جدید دقیقاً همان توزیع طبیعی است که حول یک میانگین متفاوت نوسان می‌کند.

---

[۱] Trend
[۲] Cycle
[۳] Sudden Shift
[۴] Flat-Topped Distribution
[۵] Sudden Change

این تغییر می‌تواند بوسیله یک جابجایی در تنظیمات فرایند، جایگزینی مـواد خـام، نقـص جزئی در قطعات ماشین، شروع به کار نیروهای جدید و غیره باشد.

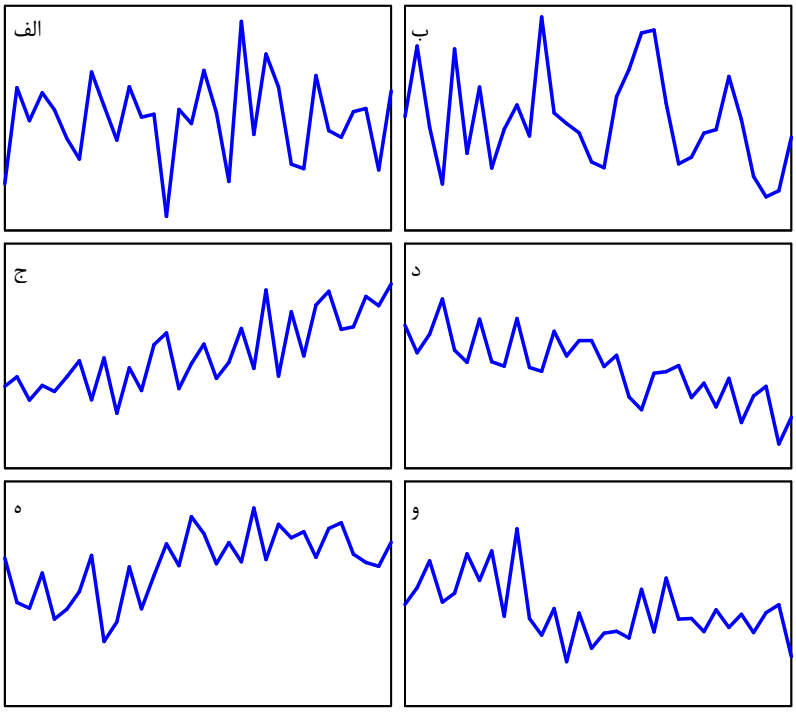
همه این الگوها در شکل ۲.۲ نمایش داده شده‌اند. تعدادی از علل بالقوه الگوهای غیرطبیعی در نمودار $\bar{x}$ در جدول ۲.۱ لیست شده‌اند.

به صورت سنتی از نمودار کنترل شوهارت برای شناسایی حالات خارج از کنترل بـر مبنـای وجود نقاط خارج از حدود[۱] استفاده شده است. ساده‌ترین قاعده مورد استفاده بـرای کشـف حالـت خارج از کنترل بر اساس نمودار کنترل عبارت است از: اگر مقدار یک نمونه خارج از حدود کنتـرل افتاد، فرایند خارج از کنترل اعلام می‌شود و باید جستجو برای علت خاص شروع شود. ایـن قاعـده اولین بار توسط والتر شوهارت ارائه و "معیار اول[۲]" نام‌گذاری شد [۸]. امـا یـک انتقـاد بـه نمـودار کنترل شوهارت بر اساس صرف این قاعده این است که تنها آخرین نقطه رسم شـده بـرای تعیـین تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن فرایند استفاده شده، اطلاعات ارزشمند موجود در نقاط قبلی، استفاده نمی‌شود. برای مثال بر اساس این معیار، نمودار کنترل تقریبا نسبت به شیفت‌های کوچک غیرحساس است در صورتی که در سیستم تولید به‌هنگام[۳]، نیاز به شرایط تولید ۱۰۰٪ سالم[۴] می-باشد که این سطح کیفیت نیاز به سیستم کنترل محکمتـری[۵] دارد. بنـابراین حـدود کنتـرل سـه سیگما برای هشدار حالات خارج از کنترل، کافی نیست. در مسـیر تقویـت حساسـیت نمودارهـای شوهارت همانطور که در ادامه خواهد آمد تعدادی قواعد تکمیلی پیشنهاد شد. همچنین بـه‌عنـوان یک گزینه کارا در حالت تغییرات کوچک در میانگین، نمودارهـای جمـع تجمعـی[۶] (CUSUM) و نمودارهای میانگین متحرک موزون نمایی[۷] (EWMA) ارائه شدند [۲].

تغییرات غیرطبیعی در فرایند، منجر به تنوعی از الگوهای غیرنرمـال[۸] مـی‌شـود کـه ممکـن است توسط نمودارهای کنترلی تشخیص داده نشود یعنی در بسیاری از موارد با عدم آلارم[۱] روبـرو

[۱] Outliers
[۲] Criterion I
[۳] Just-In-Time Production
[۴] Defect-Free Products
[۵] Tighter Control
[۶] Cumulative Sum (CUSUM)
[۷] Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)
[۸] Anomaly Patterns

خواهیم شد. به این ترتیب که یک یا چند علت غیرتصادفی می‌تواند بدون تخطی هیچ نقطه‌ای از حدود کنترلی وجود داشته باشد. بنابراین تشخیص اتوماتیک سریع و دقیق الگوهای موجود در نمودار کنترل یک مقوله اساسی در تشخیص کارای تغییرات فرایندهای صنعتی است.



شکل (۲-۲) شش الگوی پایه‌ای نمودار کنترل (الف: نرمال[۲] (NOR)، ب: سیکل[۳] (CYC)، ج: روند صعودی[۴] (IT)، د: روند نزولی[۵] (DT)، ه: شیفت به بالا[۶] (US)، و: شیفت به پایین[۷] (DS))

جدول (۲-۱) تعدادی از علل بالقوه مربوط به الگوهای غیرطبیعی در نمودار $\bar{X}$ [۹]

روند	سیکل	شیفت
– خرابی دستگاه یا ابزار	– تأثیرات فصلی	– اپراتور جدید
– فرسودگی	– خستگی اپراتور	– بازرس جدید
– عوامل انسانی	– گردش پرسنل در شغل	– ماشین جدید
– خستگی اپراتور	– تفاوت بین گیج‌ها	– تنظیمات جدید ماشین
– نگهداری ضعیف تجهیزات	– تفاوت بین شیفت شب و روز	
– تغییر تدریجی در استانداردها		

[۱] Missing Alarms
[۲] Normal (NOR)
[۳] Cycle (CYC)
[۴] Increasing Trend (IT)
[۵] Decreasing Trend (DT)
[۶] Upward Shift (US)
[۷] Downward Shift (DS)

۲-۶- قواعد دنباله در نمودارهای کنترل

جهت کاهش نقصان موجود در نمودار کنترل شوهارت، تعدادی قواعد تکمیلی با نام قواعد دنباله ارائه شدند. این قواعد توسط وسترن الکتریک [۳]، لیوید نلسون [۷]، و دیگران ارائه گردید. این قواعد در واقع نوعی قواعد تصمیم‌گیری هستند که برای کشف شرایط خارج از کنترل و یا بعبارت دیگر شرایط غیرتصادفی در نمودارهای کنترل استفاده می‌شوند. با استفاده از این قواعد، موقعیت مشاهدات نسبت به حدود کنترل نمودار ($\pm 3\sigma$) و خط مرکزی نشان می‌دهد که آیا نیاز به جستجوی علل خاص[۱] هست یا خیر. بدین ترتیب این قواعد با داشتن قابلیت کشف رفتارهای غیرطبیعی، تحلیل نمودارهای کنترل را تقویت می‌کنند. این قواعد در قالب توالی‌ای از نمونه‌ها که در نواحی خاصی از نمودار قرار می‌گیرند فرموله شده‌اند. به این منظور هر نیمه نمودار کنترل (ناحیه بین خط مرکز و هر یک از دو حد کنترل) به سه ناحیه[۲] A وB وC، (هرکدام به پهنای یک سیگما)، تقسیم شده به این ترتیب که در مورد نیمه بالایی نمودار، ثلث بیرونی را با A، ثلث میانی را با B، و ثلث داخلی را با C نمادگذاری می‌شود و در مورد نیمه پایینی نمودار، تصویر آینه‌ای نیمه بالا استفاده می‌شود (جدول (۲-۲)). این نواحی، گاه به ترتیب ناحیه 1σ و ناحیه 2σ و ناحیه 3σ نیز خوانده می‌شوند.

قواعد دنباله مبتنی بر این اصل هستند که در یک محیط کاملا تصادفی از پراکنش[۳] نقاط حول میانگین، یک دنباله خاص از نقاط، احتمال رخداد کمی دارد و بنابراین بروز آن دنباله به این معنی است که یک علت خاص فرایند را تحت تأثیر قرار داده و آن را به صورت الگوی غیرتصادفی تغییر داده است.

جدول (۲-۲) نواحی ۶ گانه نمودار کنترل [۹]

ناحیه	موقعیت
ناحیه A	در فاصله 2σ از خط مرکز تا حد کنترل (3σ)
ناحیه B	در فاصله 1σ تا 2σ از خط مرکز
ناحیه C	در فاصله 1σ از خط مرکز

[۱] Assignable Causes
[۲] Zone
[۳] Scattering