




Paper Type: Original-Application Paper



Designing an Applied Model of Statistical Process Control (SPC) by Fuzzy Mode and Middle Fuzzy and Comparing its Results with Classical Method Case Study: Dadash Baradar Ind. Co.

Bahavar Azarmizad¹, Kamaledin Rahmani Yoshanlui^{1,*} , Alireza Bafandeh Zende¹, Siroos Fakhimiazer¹

¹ Department of Management, Faculty of Management, Economic and Accounting, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran; azarmizad.b@gmail.com; kr13452000@yahoo.com; bafandeh@iaut.ac.ir; siroosfakhimiazer@iaut.ac.ir.

Citation:



Azarmizad, B. , Rahmani Yoshanlui, K. , Bafandeh Zende, A. , & Fakhimiazer, S. (2022). Designing an applied model of statistical process control (SPC) by fuzzy mode and middle fuzzy and comparing its results with classical method case study: Dadash Baradar Ind. Co. *Journal of decisions and operations research*, 7(1), 111-128.

Received: 18/01/2021

Reviewed: 22/02/2021

Revised: 13/07/2021

Accepted: 15/07/2021

Abstract

Purpose: Statistical Process Control (SPC) is a powerful set of problem-solving tools that stabilize production processes and increase the ability to produce high quality product. Classic control diagrams, using precise and definite data, place production processes into two groups: under control or out of control; while Fuzzy sets by defining continuous membership functions and using ambiguous, indefinite data, triangular and trapezoidal Fuzzy numbers, classify into these categories: under control, relatively under control, relatively out of control and out of control which express the quality level of the product more realistically.

Methodology: This research is an applied and descriptive research with the aim of designing an applied model of Statistical Process Control by Fuzzy Mode and Middle Fuzzy and comparing its results with Classical Method in Dadash Baradar Ind. Co. in Tabriz. This method of data collection to run the model follows the sampling system at the inspection station and is in the form of 30 samples of 50 chocolates.

Findings: According to the seven defects of chocolate, which include: color, taste, acidity, sugar blossom, tissue factors and foreign substances, the nature of the produced chocolate was determined. In the Classical Method, 28 cases under control and only 2 cases out of control were identified, but in the study with Fuzzy SPC Method, 20 samples under control, 4 samples relatively under control, 4 samples relatively out of control and 2 samples were out of control.

Originality/Value: Research results shows the sensitivity of the Fuzzy SPC Method compared to the Classical Method; as a result, identifying process changes is more accurate and faster, and accordingly practical suggestions have been provided to the company.

Keywords: Dadash Baradar Ind. Co., Fuzzy SPC, Fuzzy mode, Middle fuzzy.



Corresponding Author: azarmizad.b@gmail.com



<https://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.1.7.2>



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نوع مقاله: پژوهشی-کاربردی



طراحی مدل کاربردی کنترل آماری فرآیند به روش مد و میانه فازی و مقایسه نتایج آن با روش کلاسیک (مطالعه موردی: شرکت صنعتی داداش برادر)

به‌پور آذرمی زاده^۱، کمال‌الدین رحمانی یوشانلوئی^۱ ، علیرضا بافنده زنده^۱، سیروس فخریمی آذر^۱
^۱ گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

چکیده

هدف: کنترل آماری فرآیند مجموعه‌ای توانا از ابزارهای حل مشکل است که باعث ثبات در فرآیندهای تولید شده و توانایی تولید محصول با کیفیت را بالا می‌برد. نمودارهای کنترل کلاسیک با استفاده از داده‌های دقیق و معین، فرآیندهای تولیدی را در دو گروه تحت کنترل یا خارج از کنترل قرار می‌دهند، در حالی که مجموعه‌های فازی با تعریف توابع عضویت پیوسته و استفاده از داده‌های مبهم و نامعین با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای، به صورت دسته‌های تحت کنترل، نسبتاً تحت کنترل، نسبتاً خارج از کنترل و خارج از کنترل طبقه‌بندی نموده و سطح کیفی محصول را به صورت واقعی‌تر بیان می‌کنند.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش از نوع تحقیقات کاربردی و توصیفی می‌باشد و باهدف طراحی مدل کاربردی کنترل آماری فرآیند به روش مد و میانه فازی و مقایسه نتایج آن با روش کلاسیک در شرکت صنعتی داداش برادر تبریز اجرا شده است. روش جمع‌آوری اطلاعات برای اجرای مدل از سیستم نمونه‌گیری در ایستگاه بازرسی تبعیت می‌کند و به صورت ۳۰ نمونه ۵۰ تایی انواع شکلات است.

یافته‌ها: با توجه به نقص‌های هفت‌گانه شکلات که شامل: رنگ، طعم، ماسیدگی، شکوفه شکر، عوامل بافتی و مواد خارجی می‌باشد، ماهیت شکلات‌های تولیدی مشخص گردید. در روش کلاسیک ۲۸ مورد تحت کنترل و فقط ۲ مورد خارج از کنترل شناسایی گردید، اما در بررسی با روش SPC فازی ۲۰ نمونه تحت کنترل، ۴ نمونه نسبتاً تحت کنترل، ۴ نمونه نسبتاً خارج از کنترل و ۲ نمونه خارج از کنترل بودند.

اصالت/ارزش افزوده علمی: نتایج تحقیق حساس بودن روش SPC فازی را نسبت به روش کلاسیک نشان می‌دهد، در نتیجه شناسایی تغییرات فرآیند دقیق‌تر و سریع‌تر است، و بر این اساس پیشنهادات کاربردی به شرکت مذکور ارائه گردید.

کلیدواژه‌ها: شرکت صنعتی داداش برادر، SPC فازی، مد فازی، میانه فازی.

۱- مقدمه

کیفیت به‌عنوان مجموع خواسته‌های مقبول مشتری دو خصوصیت اصلی دارد. یکی انتظار مشتری که محصول تولیدی باید خواسته‌هایش را برآورده کند و دیگری کاستی‌های موجود در محصول که در برآورده کردن هدف آن محصول موردنظر با شکست روبرو می‌شود و یا نارضایتی مشتری را به دنبال دارد. کیفیت یک معیار تصمیم‌گیری از جانب مشتری و نه ابزار تصمیم برای مهندسان، بازار یا مدیریت سازمان است. این مبتنی بر تجربه واقعی مشتری از محصول و خدمت است که در مقابل الزامات موردنظر تعیین می‌شود و هدف اصلی اندازه‌گیری کیفیت، تعیین و ارزیابی درجه و سطح محصول و خدمت مورداستفاده است (کاسکو^۱، ۱۹۹۳). نمودارهای کنترل، محصولات را به صورت

^۱Casco

* نویسنده مسئول



طبقه‌بندی دودویی (صفر و یک) در دوطبقه تحت کنترل یا خارج از کنترل، سالم یا معیوب و منطبق یا نامنطبق قرار می‌دهد. این نوع طبقه‌بندی در شرایطی که کیفیت محصول به‌صورت ناگهانی از حالت رضایت‌بخش به حالت ضعیف تغییر نکند، مناسب نخواهد بود. در تقسیم‌بندی کلاسیک، اگر نمونه انتخاب‌شده بسیار نزدیک به حدود کنترلی بالا و پایین اما درون محدوده تحت کنترل باشد، منطبق و اگر نزدیک به حدود کنترلی بالا و پایین و خارج از کنترل باشد، محصول نامنطبق نامیده می‌شود. در صورتی که بتوان^۱ طبقه‌بندی‌های دیگری به‌صورت حد وسط بین منطبق یا نامنطبق و تحت کنترل یا خارج از کنترل در نظر بگیریم، سطح کیفی محصول به‌صورت واقعی‌تری بیان خواهد شد؛ بنابراین مسئله‌ای که به دنبال راه‌حل برای آن هستیم، استفاده از مدلی است که علاوه بر کارکرد نمودارهای کنترل، توانایی ارائه سطوح میانی کیفیت را نیز داشته باشد (ژانگ و لو^۲، ۲۰۱۶). نمودارهای کنترل فازی فرآیند هنگامی که اطلاعات مبهم و غیردقیق هستند، استفاده می‌شوند. این نمودارها محصولات را در دسته‌های «درجه یک»، «درجه دو» و «درجه سه» یا دسته‌های «تحت کنترل»، «نسبتاً تحت کنترل»، «نسبتاً خارج از کنترل» و «خارج از کنترل» قرار می‌دهند. این اصطلاحات زبانی میانه‌ای توسط افراد خبره و کارشناسان معرفی می‌شوند تا به‌وسیله آن محدوده کنترلی را رسم و محصولات را بر اساس آن‌ها طبقه‌بندی نمایند. لذا مسئله این تحقیق طراحی یک مدل کنترل فرآیند آماری بر پایه منطق فازی برای نمودارهای وصفی و مقایسه نتایج کنترل فرآیند فازی و غیر فازی در جهت شناسایی سطح قابل قبول کیفیت در شرکت صنعتی داداش برادر می‌باشد. محصولات تولیدی این شرکت شیرینی و شکلات می‌باشد، به همین دلیل پروسه کنترل کیفیت نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. در این پژوهش برای توانمند کردن نمودارهای کنترل آماری از نظریه فازی و نمودارهای آماری فازی استفاده شده است. در بیشتر تحقیقات برای بناسازی نمودارهای کنترل فازی از روش‌های تبدیل دیفازی استفاده شده است؛ درحالی‌که این روش‌ها سعی می‌کنند به این سؤال که آیا فرآیند تحت کنترل است یا خیر؟ پاسخی قطعی بدهند؛ همچنین استفاده از دیفازی سازها در نمودارهای کنترل فازی باعث می‌شود مجموعه‌های فازی متناظر با متغیرهای زبانی توسط عملگرهای دیفازی به اعداد قطعی تبدیل شوند و سپس نمودارهای کنترل بنا می‌شود که این امر باعث از دست دادن محتوای اطلاعاتی داده‌های اصلی (مشاهدات فازی) می‌شوند؛ بنابراین در این پژوهش از روش قوانین فازی استفاده شده است که قادر است خروجی‌ها را نیز به‌صورت فازی ارائه دهد. مد فازی روشی است که با استفاده از اصول پایه‌ای منطق فازی و استفاده از اعداد فازی برای هر اصطلاح زبانی بیان‌کننده تعداد نقص‌ها چهار مقدار در نظر می‌گیرد. شیوه نمایش این اعداد در قالب توابع عضویت به‌وسیله متخصصین تعریف شده است. این اعداد فازی زیربنای معرفی سطوح چندگانه کیفی در نمودار کنترل فرآیند فازی هستند؛ بنابراین می‌توان اهداف این تحقیق را ارائه مدل کنترل فرآیند آماری فازی تحت مدل مد و میانه فازی، به‌جای کنترل فرآیند آماری دانست که هدف آن شناسایی سطح قابل قبول کیفیت (AQL) فازی می‌باشد. کنترل فرآیند آماری (SPC) حین تولید، ابزار اصلی موردنیاز، جهت دست یافتن به چنین هدفی است؛ و همچنین یک تکنیک نمونه‌گیری است که کیفیت اقلام تولیدشده را اندازه‌گیری می‌کند. بسیاری از مشخصه‌های محصول از قبیل قطر، وزن یا حجم را می‌توان در قالب اندازه عددی بیان کرد. این مشخصه‌ها که به‌وسیله ابزار اندازه‌گیری دقیق قابل محاسبه هستند، «متغیر» نامیده می‌شود اما تعدادی از مشخصه‌های کیفی را نمی‌توان به‌سادگی اندازه‌گیری و در قالب عدد گزارش کرد. در این‌گونه موارد، هر محصول بازرسی شده معمولاً به دو گروه منطبق یا نامنطبق، قابل قبول یا غیرقابل قبول و سالم یا معیوب تقسیم می‌شود. این مشخصه‌های کیفی را که با چنین روشی تقسیم‌بندی می‌شوند، مشخصه‌های کیفی «وصفی» می‌نامند. نمودارهای کنترل فازی برای کنترل فرآیند هنگامی که اطلاعات مبهم و غیردقیق هستند، استفاده می‌شوند. متغیرها مشخصه‌های کیفی هستند که در قالب اندازه عددی بیان می‌شوند. وقتی که مشخصه‌های کیفی مورد مطالعه به‌صورت متغیر باشند میانگین نمودار \bar{X} ، واریانس آن نمودار S و نمودار R را کنترل می‌کنیم. نمودارهای کنترل وصفی نمودار نسبت معیوب‌ها (P)، نمودار تعداد معیوب‌ها (np)، نمودار تعداد نقص‌ها (C) و نمودار (U) مقادیر گسسته‌ای را اندازه می‌گیرد که در آن یک مشخصه به‌صورت سالم یا ناقص معین می‌گردد؛ بنابراین همانند نمودار کنترل متغیرها، اندازه و مقداری برای میانگین و دامنه، قابل محاسبه نخواهد بود. داده‌ها به‌صورت ساده تعداد منطبق‌ها و نامنطبق‌ها را نشان می‌دهند. یکی از مباحث مهم در منطق فازی، تمیز دادن آن از نظریه احتمالات در علم ریاضیات است. غالباً نظریه فازی با نظریه احتمالات اشتباه می‌شود. درحالی‌که این دو مفهوم کاملاً با یکدیگر متفاوت‌اند (نوعی پور^۳، ۲۰۰۶). منطق فازی با حقایق نادقیق سروکار داشته و به حدود و درجات یک واقعیت اشاره دارد، حال‌آنکه نظریه احتمالات بر شالوده مجموعه حالات تصادفی یک پدیده استوار است و درباره شانس وقوع حالتی خاص صحبت می‌کند؛ حالتی که وقتی اتفاق بیفتد، دقیق فرض می‌شود. برای روشن شدن موضوع، به این مثال توجه کنید. فرض کنید که در خیابانی رانندگی می‌کنید. اتفاقاً متوجه می‌شوید که کودکی در خودرویی دیگر که به موازات شما در حال حرکت است، نشسته و سر و یک دست خود را از پنجره بیرون آورده و در حال بازیگوشی است. این وضعیت، واقعی است و نمی‌توان گفت احتمال اینکه بدن این کودک بیرون از خودرو باشد، چقدر است (همان منبع) زیرا بدن او واقعاً



بیرون از خودرو است، با این توضیح که بدن او کاملاً بیرون نیست بلکه فقط بخشی از بدن او در خارج خودرو قرار گرفته است. در اینجا تئوری احتمالات کاربردی ندارد، چون ما نمی‌توانیم از احتمال خارج بودن بدن کودک از ماشین صحبت کنیم؛ زیرا آشکارا فرضی غلط است، اما می‌توانیم از احتمال وقوع حادثه صحبت کنیم. مثلاً هر چه بدن کودک بیشتر بیرون باشد، احتمال اینکه بر اثر برخورد با بدنه خودرویی دیگر دچار آسیب شود، بیشتر می‌شود. این حادثه هنوز اتفاق نیفتاده، اما می‌توانیم از احتمال وقوع آن صحبت کنیم. بیرون بودن تن کودک از ماشین همین حالا به واقعیت تبدیل شده و فقط می‌توانیم از میزان و درجات آن صحبت کنیم (نوعی پور، ۲۰۰۶). برد شاو^۱ (۱۹۸۳) تئوری مجموعه فازی را برای اولین بار به‌عنوان پایه‌ای جهت تفسیر نمایش درجه عملکرد محصول درجه‌بندی‌شده، استفاده کرد. برد شاو تأکید کرد که حدود اقتصادی کنترل فازی مزیت‌هایی بر نمودارهای پذیرش سنتی دارد، زیرا حدود اقتصادی کنترل فازی اصطلاحاتی را به تعداد فراوانی محصول نامنطبق و ناکارآمد فراهم می‌کند. وانگ و رز^۲ (۱۹۹۰) و رز و وانگ^۳ (۱۹۹۰) برای غلبه بر محدودیت‌های تقسیم‌بندی دودویی استفاده‌شده در نمودارهای کنترل وصفی‌ها (به‌عنوان مثال نمودار P و نمودار C) اصطلاحات زبانی از قبیل کامل، خوب، متوسط، ضعیف یا بد را به کار بردند تا سطوح میانی کیفیت را بیشتر و بهتر از انتخاب کلاسیک (قابل قبول یا غیرقابل قبول) بیان کنند. در توسعه نمودارهای کنترل برای خروجی‌ها بر اساس اصطلاحات زبانی، توابع عضویت اصطلاحات زبانی گوناگون، بر روی مقادیر عددی بین صفر و یک بیان‌شده است.

کاناگوا و همکاران^۴ (۱۹۹۳) نیز از اصطلاحات زبانی برای بیان خروجی‌های فرآیند استفاده کرده‌اند. اگرچه رویکرد آنان با آنچه وانگ و رز و وانگ به‌کار برده‌اند یکسان است، اما آنان به‌جای فرض اینکه تابع چگالی احتمال برای مقادیر نمایانگر اصطلاحات زبانی یک تابع نرمال است، اصطلاحات زبانی را به‌عنوان داده‌های فازی بر چسب‌دار در نظر گرفته و احتمال ظهور متغیر زبانی را با استفاده از تابع احتمال داده، محاسبه کرده‌اند. در این تحقیق برپایه آزمون‌های کلاسیک که توسط وسترن الکتریک^۵ (۱۹۵۶)، گرانت و لیون ورث^۶ (۱۹۹۶۲۰۰۶) و نلسون^۷ (۱۹۸۴) توسعه داده‌شده بود، آزمون‌های فازی موارد غیر نرمال را ایجاد کردند. ال‌شل و موریس^۸ (۲۰۰۰) با ایجاد یک سیستم استنتاج فازی با ارائه مجموعه‌ای از قواعد فازی، سعی در کاهش زنگ خطرهای غیرضروری و توقف‌های نابجای خط تولید داشتند. نتیجه به بهبود سرعت کشف نقص‌های موجود در خط تولید در زمان وقوع منجر شد. طالب و لیمام^۹ (۲۰۰۲) روش‌های مختلف ساخت نمودارهای کنترل برای داده‌های زبانی مبتنی بر تئوری‌های احتمال و مجموعه فازی را مورد بحث قرار داده‌اند. مقایسه بین رویکردهای فازی و احتمال بر اساس دو معیار بود: نمونه‌های تحت کنترل و حرکت عرضی میانگین. در این تحقیق در صنعت مورد بررسی، برخلاف نظریه وانگ و رز، بیان شد که درجه ابهام (فازی بودن) بر روی حساسیت نمودارهای کنترل تأثیر می‌گذارد. چنگ^{۱۰} (۲۰۰۵) یک رویکرد جایگزین پیشنهاد می‌دهد که قضاوت ذهنی متخصص را در نظر می‌گیرد. در این رویکرد، با استفاده از نمونه‌هایی که توسط متخصصین مختلف رتبه‌بندی شده و با کمک ماتریس‌هایی که در این رابطه تعریف می‌شود، اعداد فازی ساخته می‌شوند. این اعداد فازی برای تشریح خروجی‌های مبهم فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمودارهای کنترل فازی نیز به‌طور مستقیم از طریق اعداد فازی رتبه‌بندی گردیده و میزان ابهام مشاهدات نادقیق اصلی رسم می‌شوند. ارتگر و آیتک^{۱۱} (۲۰۰۹) نمودارهای کنترل را با استفاده از روش‌های احتمالی و فازی باهدف ترکیب کنترل فرآیند آماری با تئوری مجموعه‌های فازی انجام دادند. نمودارهای آماری فازی را برای متغیرها ارائه داده و از روش میان‌دامنه فازی در سطح آلفا استفاده کرده‌اند.

ارگینل و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۱) روشی برای محاسبه انحراف استاندارد فازی به‌منظور به دست آوردن نمودارهای کنترل فازی $x-s$ ارائه کردند؛ همچنین ساختار نظری نمودار کنترل فازی $x-s$ برای مواردی که پارامترهای جامعه شناخته‌شده‌اند را توسعه دادند. ابراهیمی و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۲) روشی برای کنترل فرآیند فازی با استفاده از فواصل اطمینان بوت استرپی و متریاثو-ویو که روشی کاملاً آماری است، ایجاد و آن را با سایر روش‌های فازی مقایسه کردند. وولورو و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۴) با استفاده از یک مطالعه موردی به بررسی شاخص‌های Cpk و Cp ، Cpm ، $Cpmk$ (شاخص تعدیل‌شده بالفعل قابلیت فرآیند) در حالت کلاسیک پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که شاخص $Cpmk$ نسبت به دیگر شاخص‌ها نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌کند. سنتورک و ارگینل^{۱۵} (۲۰۰۹) نمودارهای فازی مثلی را با استفاده از متغیر میانه و سطح α توسعه داده، سپس کاربرد نمودارهای فازی برای کنترل فرآیند تولید پیستون قطر داخلی در کمپرسورها

¹ Bradshaw

² Wang and Raz

³ Raz and Wang

⁴ Kanagawa et al.

⁵ Western Electric

⁶ Grant and Lonworth

⁷ Nelson

⁸ El-Shal and Morris

⁹ Taleb and Limam

¹⁰ Cheng

¹¹ Ertugrul and Aytac

¹² Erginel and et al.

¹³ Ebrahimi et al.

¹⁴ Wooluru et al.

¹⁵ Senturk and Erginel



را با مدل خود مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که نمودارهای کنترل فازی می‌توانند انعطاف‌پذیری بیشتری برای کنترل فرآیند فراهم کنند. گولبای و همکاران^۱ (۲۰۰۴) پس از ارائه نمودارهای کنترل فازی، برای شناسایی عوامل غیر نرمال داده‌هایی که درون حدود کنترلی قرار داشتند، به معرفی قواعد فازی تشخیص‌دهنده الگوی غیرطبیعی پرداختند. هدف آنان بهبود سیستم کنترل و شناسایی دقیق وضعیت‌های خارج از کنترل بدون غیر فازی کردن بود با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه نمودارهای کنترل فازی بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده برای متغیرهای کمی یا برای متغیرهای وصفی عمدتاً روی P و C و R و X انجام‌شده است و از آنجا که در پژوهش‌های بررسی شده موارد مرتبط روی نمودارهای فازی U و C کمتر کار شده است؛ بنابراین اجرای نمودار U و C فازی ضرورت می‌یابد. در این پژوهش قرار بر آن شد که با استفاده از قوانین فازی ارائه‌شده توسط کایا و کهرمان^۲ (۲۰۱۱) نمودارهای کنترل طراحی و در مورد وضعیت تحت کنترل بودن فرآیند تولید تصمیم‌گیری شود. در تعداد کمی از مقالات ارزیابی عملکرد نمودارهای کنترل فازی انجام‌شده و منحنی متوسط طول دنباله (ARL) است که برای این منظور از منحنی مشخصه عملکرد استفاده شده است. برای مثال رز و وانگ (۱۹۹۰) برای مقایسه ارزیابی عملکرد نمودار (ARL) استفاده کرده‌اند؛ در حالی که سوگندی و همکاران^۳ (۲۰۱۴) معیار OC فازی از معیار P کنترل را به کار برده‌اند. در این پژوهش از معیار استفاده‌شده توسط رز و وانگ منحنی مشخصه عملیات (OC) برای ارزیابی مقایسه عملکرد نمودارهای کنترل استفاده شده است. ساختار مقاله بدین صورت است که بعد از مقدمه، به ترتیب به تشریح روش تحقیق، نتایج تحقیق و در نهایت به بحث و نتیجه پرداخته شده است.

۲- روش پژوهش

این تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی می‌باشد که به صورت میدانی اجرا شده است. روش آن نیز بدین ترتیب است که با انجام مطالعات کتابخانه‌ای برای تعداد نقص‌ها مدل مد فازی استخراج گردیده است، سپس طی جلساتی با خبرگان و بررسی نمونه‌های محصول مورد نظر اعداد فازی متناسب با نوع نقص معرفی گردید، بعد مدل مد فازی برای نمودار $U - C$ در محیط نرم‌افزاری *Matlab* کد نویسی شده تا خروجی‌ها را به صورت اصطلاحات زبانی معرف سطح کیفی محصول نمایش داده شود و بر اساس جداول مربوطه مقدار سطح قابل قبول کیفیت Bj مشخص شده است. پژوهش حاضر در مطالعه موردی که تولیدکننده انواع شکلات، بیسکویت، ویفر، اسنک، کیک، آدامس، تافی و کارامل می‌باشد برای تمامی محصولات مشخصه‌های وصفی (کیفی) تعیین می‌گردد. دلیل انتخاب مشخصه‌های کیفی این است که مشخصه‌های کمی را نمی‌توان به صورت فازی بیان نمود ولی مشخصه‌های کیفی و وصفی را می‌توان به صورت فازی بیان کرد. برای جمع‌آوری داده‌ها از روش مطالعه اسنادی استفاده شده است، در این پژوهش اسناد فرم‌هایی هستند که بازرسان شرکت از آن برای کنترل نقص‌ها به صورت قطعی استفاده می‌کنند که به منظور اعتبارسنجی و مقایسه آن با روش مد و میانه فازی استفاده می‌شود. فرم‌هایی برای کنترل نقص‌ها به صورت مشاهدات فازی طراحی گردیده و برای وارد کردن مشاهدات فازی نسبت نقص‌ها (P) و نوع نقص‌ها (U) و تعداد نقص‌ها (C) از طیف فازی دوزنقه‌ای استفاده شده است، این طیف بخشی از ابزار جمع‌آوری داده‌هاست که با استفاده از داده‌های پژوهش طراحی شده‌اند. جهت کنترل این محصولات پارامترهای مختلف کمی و کیفی وجود دارد که بررسی همه آن‌ها از حوصله این تحقیق خارج است. از آنجایی که تنوع محصولات زیاد می‌باشد لذا در این تحقیق از بین محصولات تولیدی مطالعه موردی، انواع شکلات و پارامترهای وصفی مربوط به این محصول مورد ارزیابی قرار گرفته است. بازرسی به‌عنوان ابزاری برای رسیدن به اهداف کیفی سازمان نقش مهمی دارد، اگرچه به‌تنهایی نمی‌تواند منجر به بهبود کیفیت سازمان شود. نمونه‌برداری به‌عنوان یکی از ابزارهای بازرسی در فرآیند کنترل کیفیت نقش ایفا می‌کند. همچنین نمونه‌گیری جهت پذیرش در قالب طرح‌های یک‌بار نمونه‌گیری، جفت نمونه‌گیری و نمونه‌گیری پی‌درپی، در اندازه انباشته‌های مختلف، به منظور رسیدن به اهداف بازرسی، مثلاً شناسایی اقلام معیوب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق به جهت تعیین اندازه نمونه و تعداد نمونه از منحنی مشخصه عملیات (OC^k) و با استفاده از نرم‌افزار *WINQSB* استفاده شده است. لذا حجم نمونه برای نمودارهای کنترل ۳۰ نمونه ۵۰ تایی می‌باشد که به صورت کاملاً تصادفی در ساعات مختلف اجرا شده است. روش تجزیه و تحلیل اطلاعات و فرآیند اجرایی بدین صورت است که بعد از جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از فرمول‌های مربوطه مقدار سطح قابل قبول کیفیت و سطوح کنترل به دست آمده و نتایج با روش کلاسیک مقایسه گردیده است، به‌طور خلاصه فرآیند اجرایی به ترتیب زیر می‌باشد:

¹ Gülbay et al.

² Kaya and Kahraman

³ Sogandi et al.

⁴ Operating characteristic



۱. تعیین حجم نمونه بر اساس منحنی مشخصه عملیات (OC).

۲. تبدیل نمونه‌ها به اعداد فازی دوزنقه‌ای (a, b, c, d).

۳. محاسبه UCL و LCL نمونه در حالت فازی با استفاده از رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳) انجام شده است.

$$\bar{u}_1 = \sum u_{1j}/m, \bar{u}_2 = \sum u_{2j}/m, \bar{u}_3 = \sum u_{3j}/m. \quad (1)$$

$$\overline{UCL}_u = \left(\bar{u}_1 + 3\sqrt{\frac{\bar{u}_1}{n_j}}, \bar{u}_2 + 3\sqrt{\frac{\bar{u}_2}{n_j}}, \bar{u}_3 + 3\sqrt{\frac{\bar{u}_3}{n_j}} \right) \quad (2)$$

$$\overline{LCL}_u = \left(\bar{u}_1 - 3\sqrt{\frac{\bar{u}_1}{n_j}}, \bar{u}_2 - 3\sqrt{\frac{\bar{u}_2}{n_j}}, \bar{u}_3 - 3\sqrt{\frac{\bar{u}_3}{n_j}} \right)$$

$$\overline{CL}_u = (\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3). \quad (3)$$

اعداد فازی مربوط به تعداد نقص‌ها که در نمونه‌گیری به دست آمده است با استفاده از مد فازی به اعداد قطعی تبدیل شده و حدود کنترل نیز با استفاده از مد فازی تبدیل به مقادیر نشانگر زیر شده‌اند. مد فازی یک مجموعه فازی، مقدار متغیر x است که در آن تابع عضویت برابر با یک است.

$$f_{mod} = \{x \in X / \mu(x) = 1\}. \quad (4)$$

$$CL_{mod} = f_{mod}(\overline{CL}) = [CL_2, CL_3] \quad (5)$$

$$LCL_{mod} = CL_{mod} - 3\sqrt{CL_{mod}} = [(CL_2 - 3\sqrt{CL_2}), (CL_3 - 3\sqrt{CL_3})] = [LCL_2, LCL_3],$$

$$UCL_{mod} = CL_{mod} + 3\sqrt{CL_{mod}} = [(CL_2 + 3\sqrt{CL_2}), (CL_3 + 3\sqrt{CL_3})] = [UCL_2, UCL_3].$$

سپس مد فازی هر نمونه با حدود کنترل مقایسه شده است.

برای هر نمونه که تا حدودی در منطقه قابل قبول قرار دارد مقداری به عنوان درصد پذیرش β_j طبق فرمول زیر تعریف شده است.

$$\beta_j = \begin{cases} 0, & \text{for } b_j \geq UCL_3 \\ \frac{UCL_3 - b_j}{c_j - b_j}, & \text{for } (LCL_2 \leq b_j \leq UCL_3) \wedge (c_j \geq UCL_3) \\ 1, & \text{for } (b_j \geq LCL_2) \wedge (c_j \leq UCL_3) \\ \frac{LCL_2 - b_j}{c_j - b_j}, & \text{for } (b_j \leq LCL_2) \wedge (LCL_2 \leq c_j \leq UCL_3) \\ 0, & \text{for } c_j \leq LCL_2 \end{cases} \quad (6)$$

* (مقدار β قابل قبول نیز توسط خبرگان تعیین می‌شود).

$\beta_j \geq \beta$ نسبتاً تحت کنترل، $\beta_j < \beta$ نسبتاً خارج از کنترل.

فازی زدایی و بررسی تحت کنترل بودن و تحت کنترل نبودن با استفاده از رابطه‌های (۷) و (۸) انجام شده است.

$$S_{mr,j}^\alpha = \frac{a_j^\alpha + d_j^\alpha}{2} = \frac{(a_j + d_j) + \alpha[(b_j - a_j) - (d_j - c_j)]}{2} \quad (7)$$

$$Process\ control = \begin{cases} in\ control, & 0.85 \leq \beta_j \leq 1 \\ rather\ in\ control, & 0.60 \leq \beta_j < 0.85 \\ rather\ out\ of\ control, & 0.10 \leq \beta_j < 0.60 \\ out\ of\ contro\ 1, & 0 \leq \beta_j < 0.10 \end{cases} \quad (8)$$

به منظور بررسی اعتبار دور روش کنترل آماری و کنترل آماری فازی از نظر معیار عملکرد با یکدیگر مقایسه شده است، احتمال خطای نوع دو برای نمودار کنترل کلاسیک نسبت نقص‌ها در واحد U با فرمول رابطه (۸) محاسبه گردیده است.

$$OC(u) = \beta(u) = P(c < nUCL / u) - P(c \leq nLCL / \hat{u}). \quad (9)$$

به منظور بررسی اعتبارسنجی، دور روش کنترل آماری شوهارت و کنترل آماری فازی از نظر معیار عملکرد با یکدیگر مقایسه شده و به این منظور ابتدا نمودار در حالت قطعی و فازی طراحی و باهم مقایسه می‌شوند. در بررسی اعتبارسنجی مقالات پژوهشی، استفاده از منحنی OC فازی پیدا نشد؛ بنابراین ابتدا حدود کنترل فازی نمودار U با روش‌های دیفازی‌سازی به صورت قطعی تبدیل می‌شوند و سپس منحنی آن رسم می‌گردد، چون هر دو منحنی OC نمودار کنترل کلاسیک و فازی در حالت قطعی ارائه می‌شود، قابلیت مقایسه برای تعیین عملکرد را نیز دارد. روش‌های دیفازی‌سازی شامل میانه و میان دامنه فازی در سطح آلفا، میانگین و مد فازی است. تحقیقات



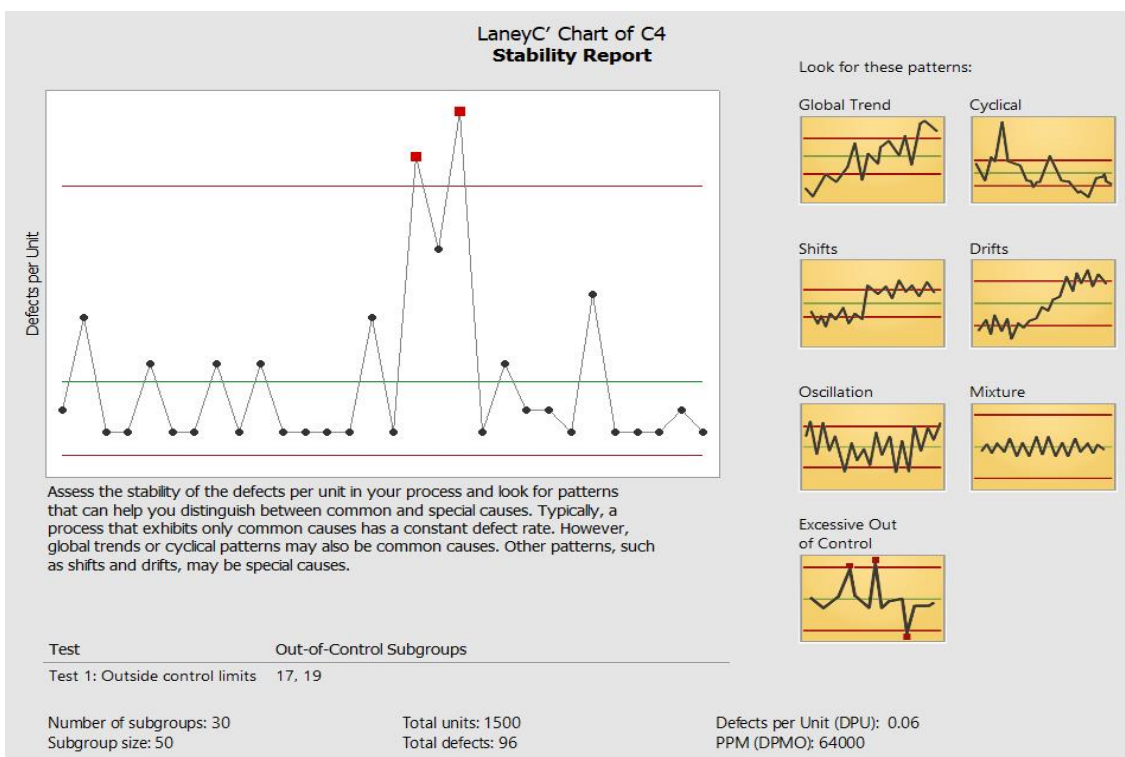
مشابهی در این زمینه انجام گرفته است. علیزاده و قمی^۱ (۲۰۱۱) احتمال خطای نوع دو با هر یک از روش‌های دیفازی را بدین شرح محاسبه کرده‌اند که در فرمول مربوطه به جای قرارگیری اعداد قطعی، اعداد دیفازی شده مربوط به هر یک از روش‌ها را قرار داده و نتایج آن‌ها را باهم مقایسه کرده‌اند؛ بنابراین پژوهش حاضر نیز در محاسبه احتمال خطای نوع دو برای نمودار کنترل فازی نسبت نقص‌ها مقادیر دیفازی شده به‌وسیله هر یک از روش‌ها را قرار می‌دهد؛ بنابراین طبق رابطه (۱۰) منحنی OC به‌صورت رابطه‌های زیر برای روش‌های دیفازی میان‌دامنه فازی، میانه، مد و میانگین برای نمودار کنترل فازی قابل استفاده است.

$$\begin{aligned}
 \hat{u}), OC(u) &= \beta(u) = P(c_{med}^{\alpha} < nUCL_{med}^{\alpha} / \hat{u}) - P(c_{med}^{\alpha} \leq nLCL_{med}^{\alpha} / \hat{u}), \\
 OC(u) &= \beta(u) = P(c_{mid}^{\alpha} < nUCL_{mid}^{\alpha} / \hat{u}) - P(c_{mid}^{\alpha} \leq nLCL_{mid}^{\alpha} / \hat{u}), \\
 OC(u) &= \beta(u) = P(c_{mod} < nUCL_{mod} / \hat{u}) - P(c_{mod} \leq nLCL_{mod} / \hat{u}), \\
 OC(u) &= \beta(u) = P(c_{avg} < nUCL_{avg} / \hat{u}) - P(c_{avg} \leq nLCL_{avg} / \hat{u}).
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- نتایج اجرای مدل SPC با داده‌های قطعی

در هر تحقیقی تهیه اطلاعات و داده‌های واقعی با توجه به منظوری که از تحقیق داریم، اهمیت اساسی دارد. داده‌ها که به‌وسیله روش‌های مناسب یا مشاهده گردآوری می‌شوند، به‌عنوان منبع اساسی برای کسب معلومات جدید درباره تحقیق مورد مطالعه بکار می‌روند. داده‌های مربوط به تعداد نقص در شکلات از ۳۰ گروه ۵۰ تایی به‌دست آمده و نمودار کنترل تعداد نقص اطلاعات قطعی که نشانگر تعداد نقص در ۳۰ گروه ۵۰ تایی می‌باشد با استفاده از نرم‌افزار *MINITAB 17* تهیه و تحلیل شده است.

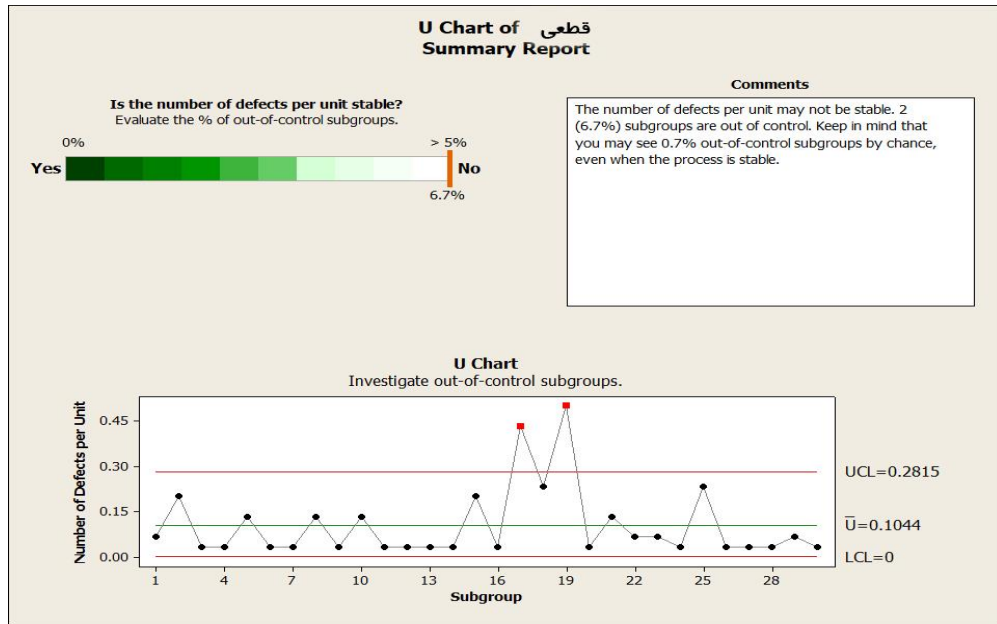


شکل ۱- نمودار کنترل C تعداد نقص با اطلاعات قطعی.

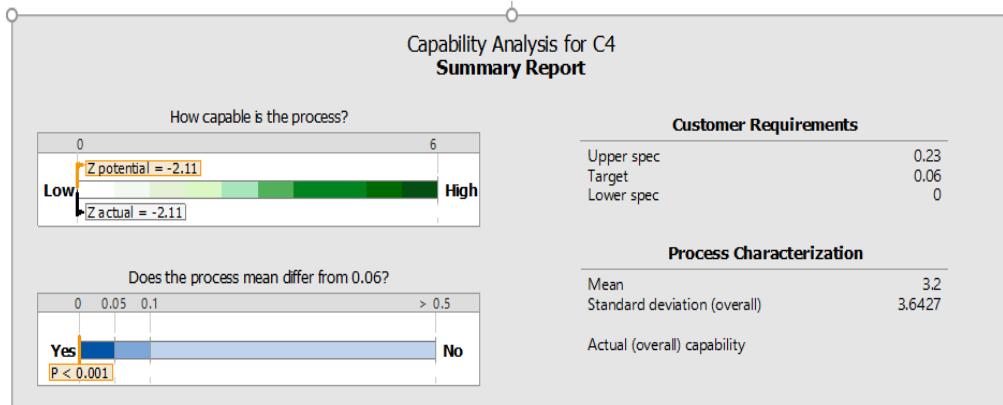
Figure 1- Defect control C chart with stability report.

شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که فرآیند از نظر نمودار C و U در کنترل نمی‌باشد و نمونه‌های ۱۷ و ۱۹ از کنترل خارج می‌باشند. همچنین فرآیند از نظر نمودار C دارای ۶٪ خرابی (DPU)، ۶۴۰۰۰ خرابی در یک میلیون تولید (PPM)، یا ۹۶ نقص در ۱۵۰۰ نمونه اخذ شده می‌باشند.

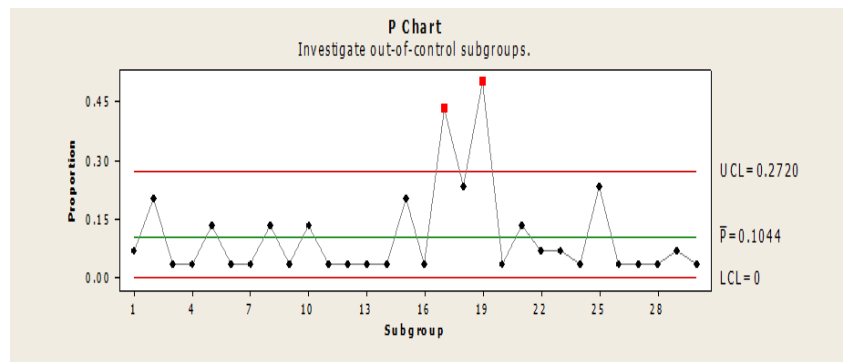
¹ Alizadeh and Ghomi



شکل ۲- نمودار کنترل U تعداد نقص با اطلاعات قطعی.
Figure 2- Defect control U chart with stability report.



شکل ۳- سطح سیگما، میانگین و انحراف معیار نقص‌ها برای داده‌های قطعی.
Figure 3- Sigma level, average & defect standard deviation for stable data.



شکل ۴- نمودار درصد خرابی P برای داده‌های قطعی.
Figure 4- Out of control P chart for stable data.

شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که فرآیند از نظر نمودار P دارای حد بالایی کنترل (UCL) برابر ۰.۲۷، حد پایینی کنترل (LCL) برابر ۰ و حد مرکزی (CL) برابر ۰/۱۰ بوده است و همچنین به‌طور میانگین در هر نمونه ۳/۲ نقص با انحراف معیار ۳/۶۴ بوده است و از نظر سطح سیگما ۲/۱۱ از عدد ۳ با اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد.



برای اجرای مدل، از سیستم نمونه‌گیری در ایستگاه بازرسی نهایی استفاده شده است. داده‌ها به صورت ۳۰ نمونه ۵۰ تایی جمع‌آوری شده که مربوط به ۳۰ روز کاری تولید محصولات شکلات بوده است.

با توجه به ماهیت نقص‌های هفت‌گانه:

- رنگ (دارای رنگ طبیعی کاکائو و عاری از هرگونه رنگ خارجی).
- طعم (فندقی، عاری از هرگونه طعم تند ناشی از فساد روغن، عاری از بو و مزه خارجی).
- ماسیدگی (نباید به هنگام خوردن حالت ماسیدگی در دهان ایجاد کند).
- شکوفه شکر (انواع شکلات باید بدون دانه‌های برآمده خاکستری‌رنگ مربوط به وجود شکوفه شکر، باشد).
- عوامل بافتی (دارای بافت همگن و یکنواخت، در دمای ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، ترد و شکننده).
- مواد خارجی (انواع شکلات باید عاری از هرگونه مواد دیگر به‌جز مواد تشکیل‌دهنده شکلات باشد).

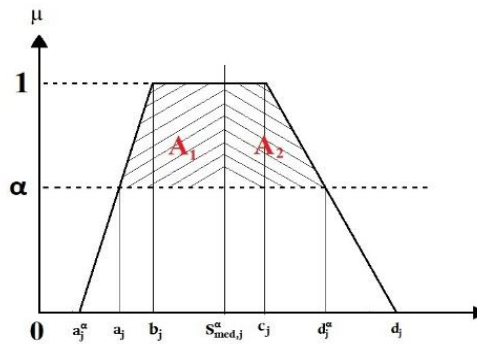
برای هر یک از آن‌ها تابع عضویت جداگانه‌ای تعریف شد. توابع عضویت از اعداد به‌دست‌آمده از فرآیند تولید مطالعه موردی، اعداد فازی دوزنقه‌ای ایجاد گردید و در نهایت در مرحله تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای *Minitab* و *Matlab* استفاده شده است. توانایی نرم‌افزار *Minitab* در رسم نمودارهای کنترلی کلاسیک است. نرم‌افزار *Matlab* با توانایی که در برنامه‌نویسی دارد، برای تعیین حدود کنترلی فازی و سایر محاسبات مربوط به روابط ریاضی کنترلی فرآیند فازی و مقایسه نهایی برای نمایش سطح کیفی به کار گرفته شده است. در تحلیل گزینه‌های تصمیم‌گیری این نکته قابل ذکر است که روش کلاسیک با فرض دقیق و کامل بودن اطلاعات، محصولات را در دودسته (تحت کنترل یا خارج از کنترل) قرار می‌دهد؛ در صورتی که روش فازی همان محصولات را در چهار دسته (تحت کنترل، نسبتاً تحت کنترل، خارج از کنترل، نسبتاً خارج از کنترل) قرار می‌دهد. روش کلاسیک نمونه‌های ۱۷ و ۱۹ را "خارج از کنترل" نشان می‌دهد، در حالی که روش فازی بعضی نمونه‌ها را با حساسیت بیشتر "نسبتاً خارج از کنترل" و "نسبتاً تحت کنترل" نشان می‌دهد. دلیل مشابه بودن تقسیم‌بندی سایر نمونه‌ها در دو روش ذکر شده، میزان کیفیت نمونه‌ها است که یا بسیار به مقدار هدف نزدیک هستند (تحت کنترل) یا فاصله زیاد با مقدار هدف دارند (خارج از کنترل). حالت دیگری که در مقایسه این دو روش روی می‌دهد این است که روش کلاسیک نمونه‌ها را "تحت کنترل" نشان می‌دهد اما روش فازی آن‌ها را "نسبتاً تحت کنترل" معرفی می‌کند. در واقع روش مد فازی بر اساس درصدی از مد فازی نمونه‌ها که درون یا بیرون حدود کنترل فازی وجود دارند با اعداد فازی قرار می‌گیرند، میزان تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن نمونه‌ها را در قالب چهار اصطلاح زبانی بیان می‌کند. معرفی سطوح میانه کیفیت در روش مد فازی بر اساس توانایی منطق فازی است. شکستن طبقه‌های کلاسیک که به معنای تقسیم‌بندی واقعی‌تر محصولات است و دسته‌بندی آن‌ها در چهار سطح به‌جای دو سطح، گزینه‌های تصمیم‌گیری بیشتری را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار داده و انعطاف‌پذیری را در مواجهه با بازارها و مشتری‌های مختلف افزایش می‌دهد. در مرحله ساخت نمودارهای کنترلی فازی چهار روش برای تبدیل مجموعه فازی به‌دست‌آمده از نمونه، به اسکالر (عدد حقیقی) وجود دارد که هرکدام به‌نوعی نمایانگر یک نوع رتبه‌بندی فازی می‌باشند این چهار روش که شبیه شاخص‌های تمایل مرکزی در آمار هستند شامل مد فازی، میانه فازی، میان‌دامنه فازی و میانگین می‌باشد که در این تحقیق از مد و میانه فازی استفاده شده است.

میانه فازی در سطح آلفا برش α به دو قسمت مساوی از لحاظ مساحت تقسیم می‌کند برای نمونه z میانه فازی در سطح α یعنی $S_{med,j}^{\alpha}$ همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود برای یک عدد دوزنقه‌ای از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_{med,j}^{\alpha} = \frac{1}{4} (a_j^{\alpha} + b_j + c_j + d_j^{\alpha}) \quad (11)$$

این مقادیر در واقع مکان یک خط عمودی روی محور X را تعیین می‌کند که ناحیه a تا d را به دو مساحت مساوی تقسیم می‌کند. در این مطالعه α برابر ۰/۶ و سطح قابل نسبت پذیرش یعنی β برابر ۰/۸۵ می‌باشد. لذا بر اساس محاسبه میانه نوع کنترلی‌ها و حد بالای کنترل و

حد پایین کنترل بر اساس رابطه‌های (۶)، (۷) و (۸) مشخص می‌شوند. نمودار کنترل برای عدم انطباق‌ها در فضای فازی با روش تبدیل میانه فازی طبق جدول ۱ می‌باشد.



شکل ۵- اعداد فازی ذوزنقه‌ای.

Figure 5- Trapezoidal fuzzy numbers.

جدول ۱- حدود کنترل و β_j برای داده‌های فازی نمونه آماری با روش تبدیل میانه فازی.

Table 1- Control limit & β_j for fuzzy data statistical samples with middle fuzzy conversion method.

شماره نمونه	تصمیم‌گیری با SPC	میان‌ه فازی با آلفای 0.60	β_j	تصمیم‌گیری با SPC فازی
1	تحت کنترل	9.1	0.93	تحت کنترل
2	تحت کنترل	4.28	0.57	نسبتاً خارج از کنترل
3	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
4	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
5	تحت کنترل	6.13	0.76	نسبتاً تحت کنترل
6	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
7	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
8	تحت کنترل	6.13	0.76	نسبتاً تحت کنترل
9	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
10	تحت کنترل	6.13	0.76	نسبتاً تحت کنترل
11	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
12	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
13	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
14	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
15	تحت کنترل	4.59	0.57	نسبتاً خارج از کنترل
16	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
17	خارج از کنترل	3	0	خارج از کنترل
18	تحت کنترل	4.08	0.44	نسبتاً خارج از کنترل
19	خارج از کنترل	2	0	خارج از کنترل
20	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
21	تحت کنترل	6.13	0.76	نسبتاً تحت کنترل
22	تحت کنترل	9	0.93	تحت کنترل
23	تحت کنترل	9	0.93	تحت کنترل
24	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
25	تحت کنترل	5	0.59	نسبتاً خارج از کنترل
26	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
27	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
28	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل
29	تحت کنترل	9	0.93	تحت کنترل
30	تحت کنترل	14	1	تحت کنترل

جدول ۲- مقادیر حدود کنترل بر اساس میانه فازی با برش آلفای ۶۰%.
Table 2- Control limit values based on middle fuzzy with α -cut 60%.

مقدار	حدود کنترل فازی
16.87	UCL
9.34	CL
4.21	LCL



مد فازی برای یک مجموعه فازی طبق رابطه (۱۲) زیر به دست می‌آید:

$$f_{mod} = \{x \in X / \mu_f(x) = \bar{f}\} \quad (12)$$

از آنجایی که برای یک عدد فازی دوزنقه‌ای مقدار مد برابر با فاصله بسته $\{c, b\}$ است لذا نمودار کنترل فازی با حدود سه انحراف معیار برای عدم تطابق‌ها در این حالت از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} CL_{mod} &= f_{mod}(CL) = [CL_2, CL_3] \\ LCL_{mod} &= CL_{mod} - 3\sqrt{CL_{mod}} \\ &= [(CL_2 - 3\sqrt{CL_2}), (CL_3 - 3\sqrt{CL_3})] \\ &= [LCL_2, LCL_3] \\ UCL_{mod} &= CL_{mod} + 3\sqrt{CL_{mod}} \\ &= [(CL_2 + 3\sqrt{CL_2}), (CL_3 + 3\sqrt{CL_3})] \\ &= [UCL_2, UCL_3]. \end{aligned} \quad (13)$$

چنانکه که فاصله بسته مربوط به مد نمونه $\{c, b\}$ به طور کامل توسط حدود کنترل پوشیده شود نمونه z به طور قطعی تحت کنترل حدود کنترل قرار می‌گیرد. نمونه z به طور قطعی خارج از کنترل قرار می‌گیرد در شرایطی که مد نمونه به طور نیمه کامل داخل حدود قرار گیرد، ابتدا توسط رابطه زیر درصد قرارگیری آن در بین حدود کنترل β_j محاسبه شده و سپس این مقدار با ۱٪ پذیرش از پیش تعیین شده β مقایسه می‌شود، چنانچه

$$\beta_j \geq \beta \quad (14)$$

آنگاه نمونه نسبتاً تحت کنترل و اگر:

$$\beta_j < \beta \quad (15)$$

آنگاه نمونه نسبتاً خارج از کنترل خواهد بود.

توضیح: مقدار و حدود کنترل β_j طبق رابطه (۶) قابل محاسبه می‌باشد.

نمودارهای کنترل کلاسیک با استفاده از داده‌هایی که بر اساس ذهنیت نیروی انسانی تعدیل شده و در قالب اعداد قطعی بیان شده است محموله‌های تولیدشده را در دو گروه تحت کنترل یا خارج از کنترل قرار می‌دهد؛ این در حالی است که پیش فرض روش کلاسیک کاربرد داده‌های قطعی و معین است که واقعاً دقیق باشند؛ اما رویکرد فازی ذهنیت افراد را در تعیین تعداد و نوع نقص محصولات با کاربرد اعداد فازی مثالی و دوزنقه‌ای موقع رسم نمودارهای کنترلی فرموله می‌کند. تعریف اعداد فازی هر نوع نقص، حساسیت مدل را برای تصمیم بر اساس اطلاعات واقعی تر افزایش داده و واحدهای تولیدی را به گونه‌ای در چهار گروه تقسیم می‌کند که بیان کننده کیفیت واقعی تر محصول باشد. گزینه‌های چهارگانه تصمیم (تحت کنترل، نسبتاً تحت کنترل، نسبتاً خارج از کنترل یا خارج از کنترل)، تأییدی برای فرضیه نگارنده، مبنی بر توانایی روش مد فازی و میانه فازی در ارائه سطوح چندگانه کیفی است.

با توجه به شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بر اساس روش کلاسیک در نمودار وصفی فقط دو مورد (نمونه‌های ۱۷ و ۱۹) خارج از کنترل وجود دارند. ولی در روش مد و میانه فازی (جدول ۱ و ۳) بیست نمونه تحت کنترل، چهار نمونه نسبتاً تحت کنترل، چهار نمونه نسبتاً خارج از کنترل و دو نمونه خارج از کنترل بودند، این قضیه نشانگر حساس بودن روش SPC فازی نسبت به روش SPC قطعی است. نمودار کنترل درصد نقص (P) با استفاده از داده‌های فازی که نشانگر درصد نقص در ۳۰ گروه ۵۰ تایی می‌باشد (جمعاً ۱۵۰۰ محصول).

جدول ۳- حدود کنترل برای عدم انطباق‌ها در فضای فازی با روش تبدیل مد فازی.

Table 3- Control limit for noncompliance in fuzzy environment with middle fuzzy conersion method.

شماره نمونه	تصمیم‌گیری با SPC	مد فازی s_{modj}	β_j	تصمیم‌گیری با SPC فازی
1	تحت کنترل	[8, 10]	0.89	تحت کنترل
2	تحت کنترل	[4, 5]	0.51	نسبتاً خارج از کنترل
3	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
4	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
5	تحت کنترل	[4, 8]	0.66	نسبتاً تحت کنترل
6	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
7	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
8	تحت کنترل	[4, 8]	0.66	نسبتاً تحت کنترل
9	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
10	تحت کنترل	[4, 8]	0.66	نسبتاً تحت کنترل
11	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
12	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
13	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
14	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
15	تحت کنترل	[4, 5]	0.51	نسبتاً خارج از کنترل
16	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
17	خارج از کنترل	[3, 3]	0	خارج از کنترل
18	تحت کنترل	[4, 4]	0.42	نسبتاً خارج از کنترل
19	خارج از کنترل	[2, 2]	0	خارج از کنترل
20	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
21	تحت کنترل	[4, 8]	0.66	نسبتاً تحت کنترل
22	تحت کنترل	[8, 10]	0.89	تحت کنترل
23	تحت کنترل	[8, 10]	0.89	تحت کنترل
24	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
25	تحت کنترل	[5, 5]	0.58	نسبتاً خارج از کنترل
26	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
27	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
28	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل
29	تحت کنترل	[8, 10]	0.89	تحت کنترل
30	تحت کنترل	[12, 16]	1	تحت کنترل

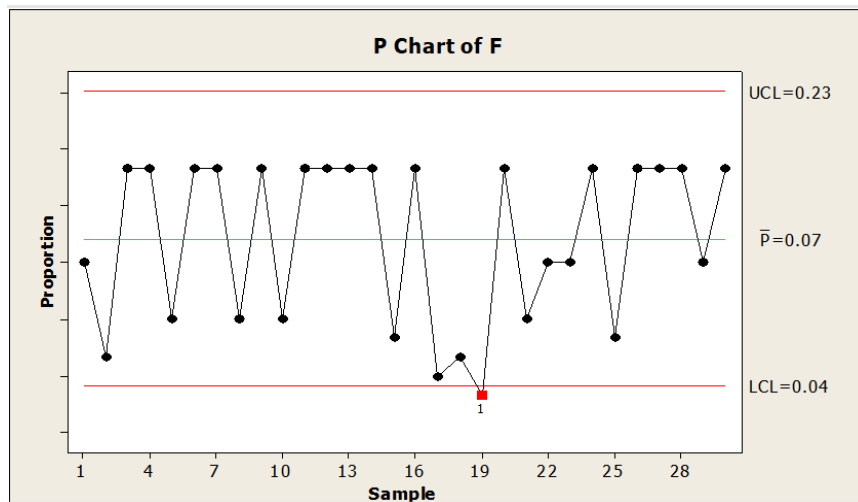
جدول ۴- حدود مقادیر کنترل بر اساس مد فازی با برش آلفای ۶۰٪.

Table 4- Control limit values based on fuzzy mode with α -cut 60%.

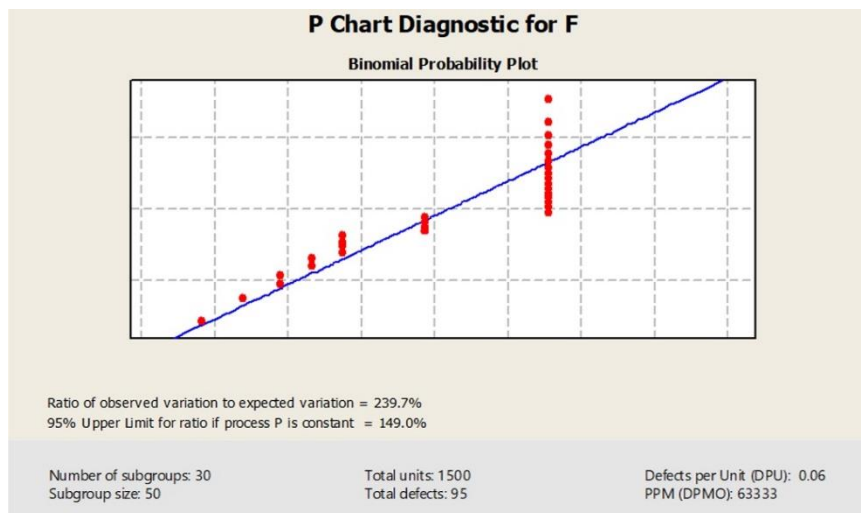
مقدار	حدود کنترل فازی
14.94	UCL
8.11	CL
3.88	LCL

به جهت تحلیل درست‌تر بایستی نمودارهای مدل SPC فازی و کلاسیک مقایسه شوند و از آنجایی که اعداد مد فازی نشانگر SPC فازی و روش کلاسیک نشانگر تعداد نقص‌های قطعی می‌باشند، لذا از نمودار کنترل درصد نقص‌ها (P) استفاده می‌شود.





شکل ۶- درصد خرابی P برای داده‌های فازی.
Figure 6- Out of control P percentage for fuzzy data.



شکل ۷- درصد خرابی P برای داده‌های فازی.
Figure 7- Out of control p percentage for fuzzy data.

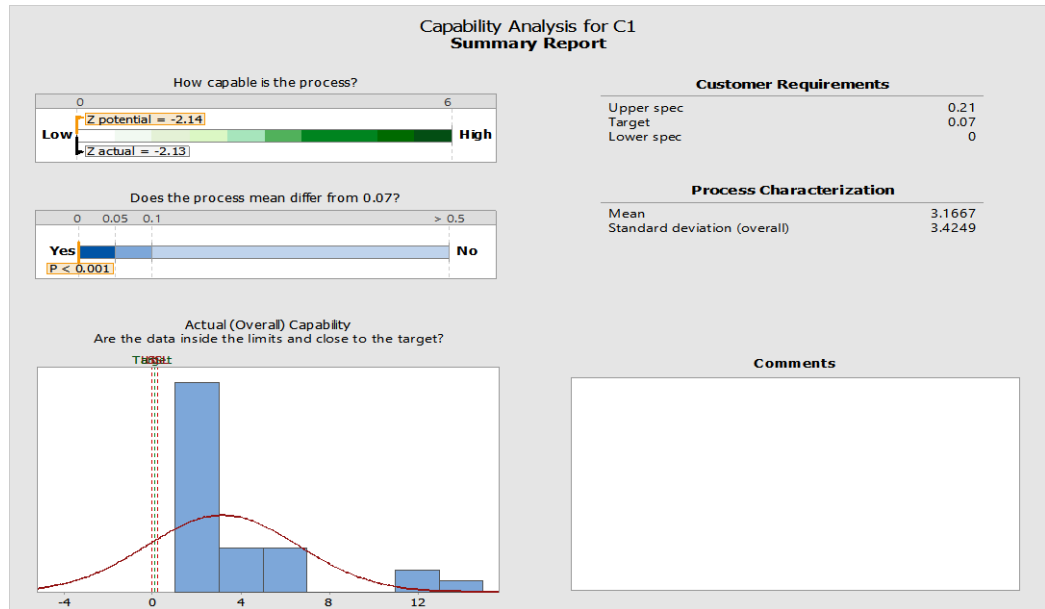
شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهند که فرآیند از نظر نمودار P برای داده‌های فازی در کنترل نبوده و نمونه شماره ۱۹ از کنترل خارج می‌باشد، در حالی که در شرایط غیر فازی و کلاسیک نمونه‌های ۱۷ و ۱۹ از کنترل خارج بوده‌اند، همچنین فرآیند از نظر نمودار P دارای ۶ درصد خرابی (DPU)، ۶۳۸۳۳ خرابی در یک میلیون تولید (PPM) و ۹۵ نقص در ۱۵۰۰ نمونه مشاهده شده است.

شکل ۸ حاکی از آن است که فرآیند از نظر نمودار P فازی دارای حد بالای کنترل (UCL) برابر ۰/۲۱، حد پایین کنترل (LCL) برابر صفر و حد مرکزی (CL) برابر ۰/۰۷ می‌باشد و همچنین به‌طور میانگین در هر نمونه ۳/۱۶ نقص با انحراف معیار ۳/۴۲ وجود داشته است.



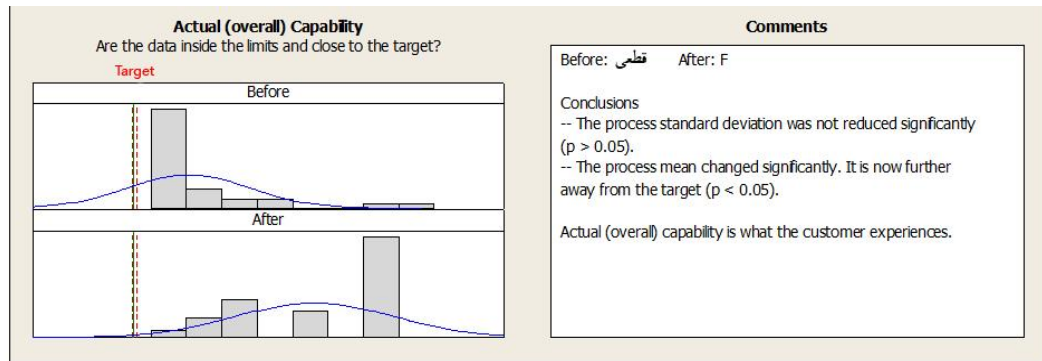
۱۲۲

طراحی مدل کاربردی کنترل آماری فرآیند به روش مد و میانه فازی و مقایسه نتایج آن با روش کلاسیک (مطالعه موردی: شرکت صنعتی داداش برادر)

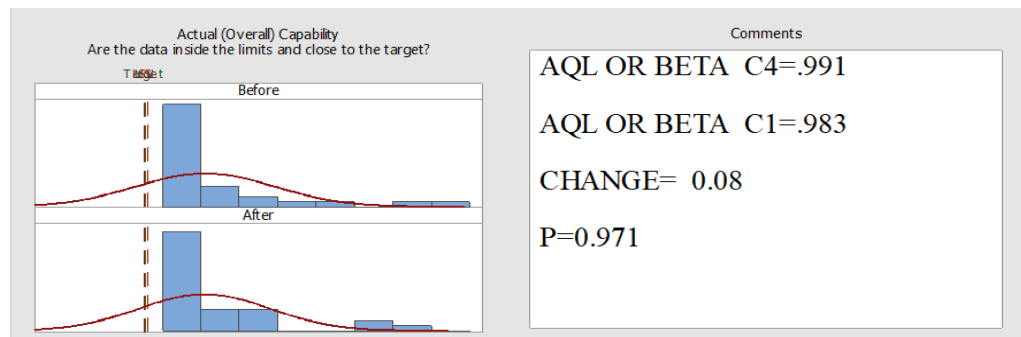


شکل ۸- حدود کنترل و سطح سیگمای داده‌های فازی.
Figure 8- Control limit & fuzzy data sigma level.

۳-۳- تفاوت‌های کنترل فرآیند آماری فازی تحت مدل مد و میانه فازی با کنترل فرآیند آماری



شکل ۹- سطح قابل قبول کیفیت.
Figure 9- Acceptable quality level.

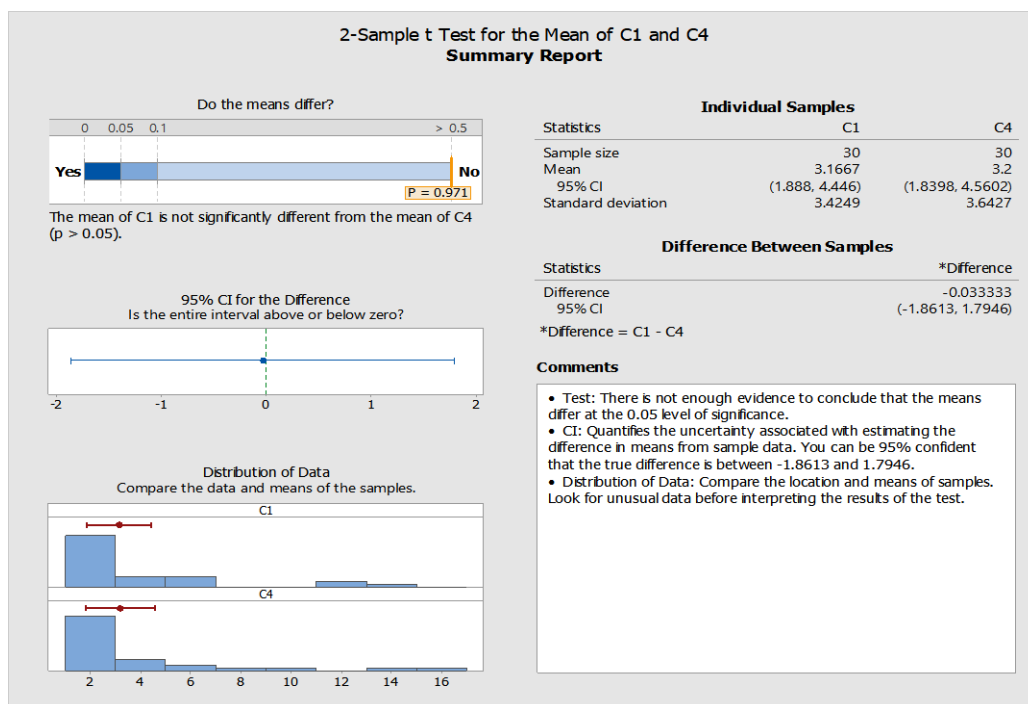


شکل ۱۰- سطح قابل قبول کیفیت.
Figure 10- Acceptable quality level.

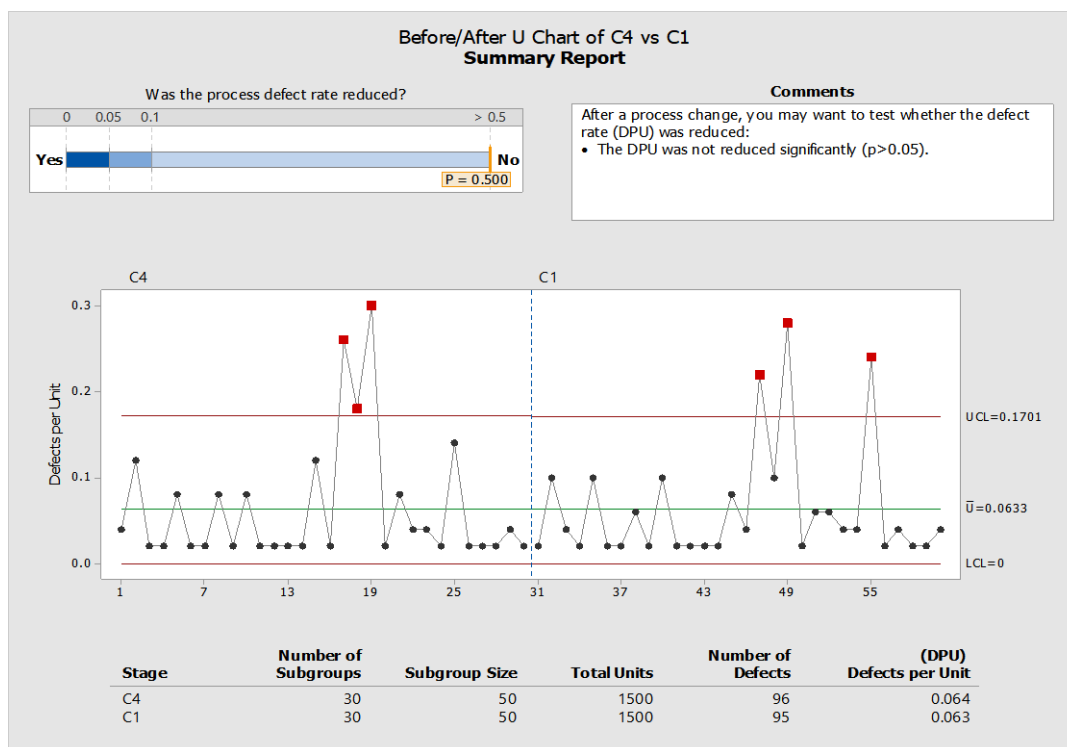
PPK و *CPK* عمدتاً شاخص‌های توانایی فرآیند هستند. اگر *PPK* به معنای شاخص عملکرد فرآیند باشد، *CPK* به معنی قابلیت فرآیند تعریف می‌شود. هر دو تأثیرات بسیار گسترده‌ای در استراتژی عملکرد سازمان‌ها دارند و بسیار از نزدیک مورد بررسی قرار می‌گیرند. شاخص *CPK* یا فرآیند توانمندی فرآیند، شاخصی است که چگونگی اجرای یک فرآیند را به محدودیت مشخصات خود در رابطه با تغییرپذیری طبیعی فرآیند اندازه‌گیری می‌کند. *CPK* معیاری است که بیان می‌کند یک سازمان در دستیابی به هدف نزدیک است و یک آرمان با توجه به عملکرد متوسط تا چه اندازه سازگار است. از سوی دیگر شاخص عملکرد *PPK* یا فرآیند کارایی، توانایی نمونه



تولید شده با CTQ های مشتری (هزینه‌های کیفیت یا هزینه بد بودن کیفیت کالا) را بررسی می‌کند. با توجه به اطلاعات شکل‌های ۹ و ۱۰ سطح قابل قبول کیفیت در سیستم کلاسیک برابر $0/981$ و در سیستم فازی برابر $0/991$ با اختلاف $0/08$ می‌باشد و سطح معنی‌داری برابر $0/971$ است، پس اختلاف معنی‌داری بین سطح قابل قبول کیفیت (AQL) نمودار فازی و کلاسیک وجود ندارد، زیرا سطح معنی‌داری بیشتر از 0.05 است. همچنین سطح سیگما در روش کلاسیک $2/10$ و در روش فازی $2/98$ از 3 (با حدود اطمینان 99%) و قابلیت عملکرد (PPK) در روش کلاسیک $0/27$ و در روش فازی $0/76$ است؛ بنابراین می‌توان با اطمینان 99% ادعا کرد سطح سیگما و قابلیت عملکرد در کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی اختلاف معنی‌داری دارند.



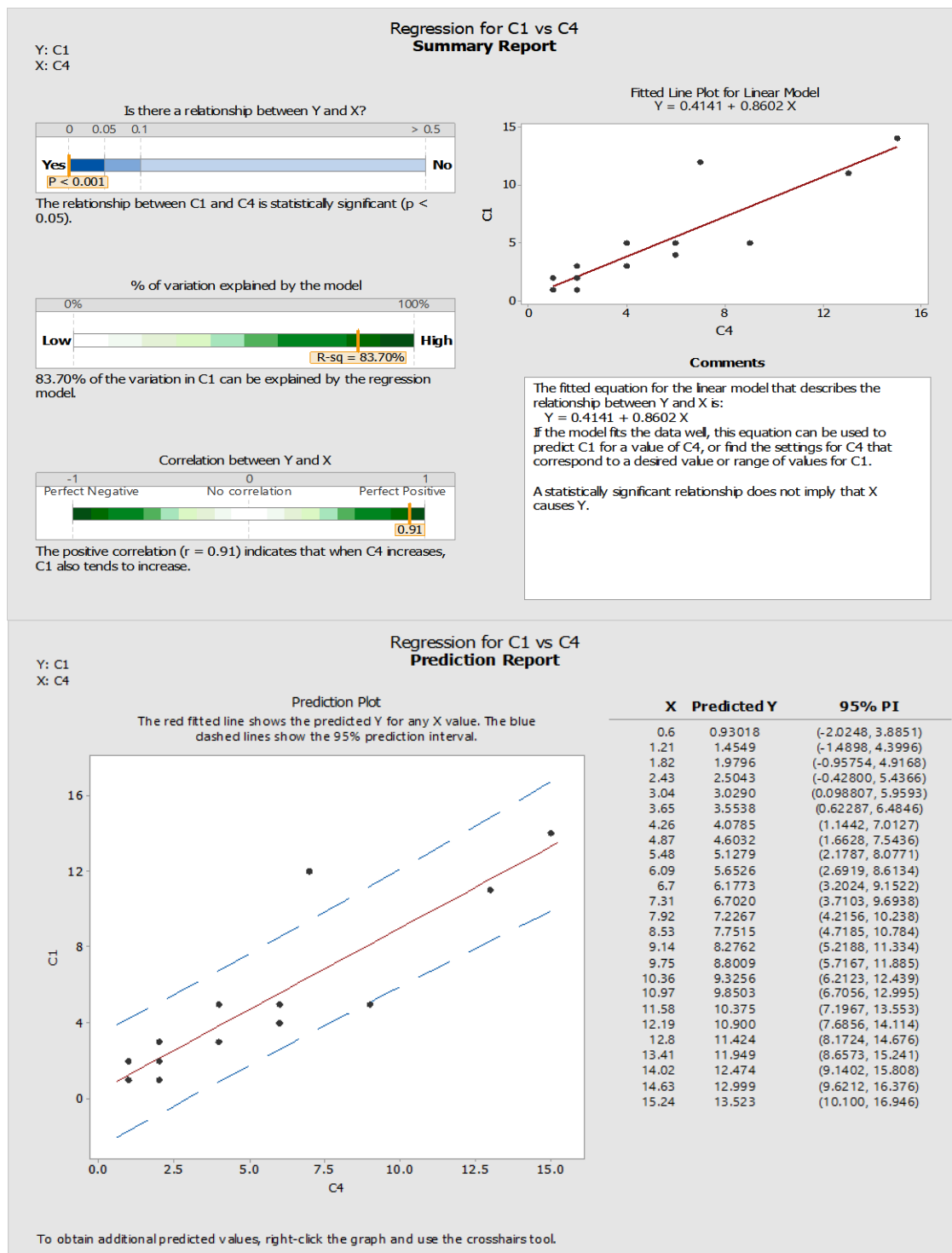
شکل ۱۱- مقایسه میانگین نقص‌ها (خرابی‌ها) در کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی.
 Figure 11- Comparing average defects (out of control) in SPC with fuzzy SPC.



شکل ۱۲- مقایسه تعداد نقص‌ها با نمودار U در کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی.
 Figure 12- Comparing the number of defects in U figure in SPC with fuzzy SPC.



با توجه به اطلاعات شکل ۱۱ سطح میانگین نقص‌ها در سیستم کلاسیک برابر ۳/۲ با انحراف معیار ۳/۶۴ و در سیستم فازی برابر ۳/۱۶ با انحراف معیار ۳/۴۲ می‌باشد؛ یعنی میانگین خرابی‌ها در کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی اختلاف معنی‌داری ندارد. با توجه به اطلاعات شکل ۱۲ آن‌گونه مشاهده می‌شود سطح *DPU* در سیستم کلاسیک برابر ۰/۰۶۳ و در سیستم فازی برابر ۰/۰۶۴ با اختلاف ۰/۰۰۱ می‌باشد، بنابراین اختلاف معنی‌داری بین *DPU* نقص‌ها نمودار فازی و کلاسیک وجود ندارد.



شکل ۱۳- همبستگی در کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی.
Figure 13- Regression in SPC with fuzzy SPC.

با توجه به اطلاعات شکل ۱۳ میزان ضریب همبستگی بین دو روش برابر ۰/۹۱ با ضریب تبیین بالا به مقدار ۸۳/۷٪ می‌باشد، همچنین از طریق معادله $Y = 0.414 + 0.8602X$ می‌توان از طریق نتایج روش کلاسیک نتایج فازی را پیش‌بینی کرد که شامل *LCL* و *UCL* است؛ بنابراین ارتباط معنی‌داری بین دو روش وجود دارد، زیرا سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بین نتایج کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی رابطه معنی‌داری وجود دارد.



نمودارهای کنترل کلاسیک با استفاده از داده‌هایی که بر اساس ذهنیت نیروی انسانی تعدیل شده و در قالب اعداد قطعی بیان شده است، محموله‌های تولید شده را در دو گروه تحت کنترل یا خارج از کنترل قرار می‌دهد؛ این در حالی است که پیش فرض روش کلاسیک کاربرد داده‌های قطعی و معین است که واقعاً دقیق باشند؛ اما رویکرد فازی ذهنیت افراد را در تعیین تعداد و نوع نقص محصولات با کاربرد اعداد فازی مثالی و دوزنقه‌ای در رسم نمودارهای کنترلی فرموله می‌کند. تعریف اعداد فازی برای هر نوع نقص، حساسیت مدل برای تصمیم بر اساس اطلاعات واقعی‌تر را افزایش داده و واحدهای تولیدی را به گونه‌ای در چهار گروه تقسیم می‌کند که بیان‌کننده کیفیت واقعی‌تر محصول است. گزینه‌های چهارگانه تصمیم (تحت کنترل، نسبتاً تحت کنترل، نسبتاً خارج از کنترل یا خارج از کنترل) تأییدی برای فرضیه نگارنده مبنی بر توانایی روش مد فازی در ارائه سطوح چندگانه کیفی است.

روش جمع‌آوری اطلاعات برای اجرای مدل از سیستم نمونه‌گیری در ایستگاه بازرسی تبعیت می‌کند و به صورت ۳۰ نمونه ۵۰ تایی انواع شکلات است. با توجه به ماهیت نقص‌های هفت‌گانه رنگ، طعم، ماسیدگی، شکوفه شکر، عوامل بافتی و مواد خارجی انواع شکلات‌های مورد بررسی، برای هر یک از آن‌ها تابع عضویت جداگانه‌ای تعریف گردید. توابع عضویت از اعداد حاصل فرآیند تولید مطالعه موردی می‌باشد، در نتیجه اعداد فازی دوزنقه‌ای استخراج گردید و در نهایت در مرحله تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای *Matlab* و *Minitab* استفاده شده است که به طور اختصار نتایج زیر به دست آمده است؛ در روش کلاسیک ۲۸ مورد «تحت کنترل» و فقط ۲ مورد «خارج از کنترل» شناسایی گردید، اما در بررسی با روش *SPC* فازی ۲۰ نمونه «تحت کنترل»، ۴ نمونه «نسبتاً تحت کنترل»، ۴ نمونه «نسبتاً خارج از کنترل» و ۲ نمونه «خارج از کنترل» بودند، این قضیه حساس بودن روش *SPC* فازی را نسبت به روش کلاسیک نشان می‌دهد. از نظر حدود کنترل بین داده‌های قطعی و فازی با برش آلفای ۶۰٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از آنجایی که نمودارهای مدل *SPC* فازی و *SPC* بایستی مقایسه شوند و اعداد *SPC* فازی نشانگر اعداد مد فازی و *SPC* نشانگر تعداد قطعی نقص‌ها می‌باشند، به جهت تحلیل درست‌تر از نمودار کنترل درصد نقص‌ها (*P*) کلاسیک استفاده شده است. نتایج بیان‌گر این است که فرآیند از نظر نمودار *P* برای داده‌های فازی در ۲۸ مورد تحت کنترل، نسبتاً تحت کنترل، نسبتاً خارج از کنترل و ۲ مورد خارج از کنترل می‌باشد در حالی که در شرایط غیر فازی ۲۸ مورد تحت کنترل و ۲ نمونه خارج از کنترل است. همچنین فرآیند از نظر نمودار *P* فازی دارای ۶٪ خرابی (*DPU*)، ۶۳۸۳۳ خرابی در یک میلیون تولید (*PPM*)، ۹۵ نقص در ۱۵۰۰ نمونه اخذ شده می‌باشد؛ بنابراین نتایج نشان می‌دهد که فرآیند از نظر نمودار *P* برای داده‌های فازی دارای حد بالای کنترل (*UCL*) ۰/۲۷، حد پایین کنترل (*LCL*) صفر و حد مرکزی (*CL*) برابر ۰/۱۰ می‌باشد، همچنین به طور میانگین در هر نمونه ۳/۱۶ نقص با انحراف معیار ۳/۴۲ وجود دارد. با توجه به نتایج سطح قابل قبول کیفیت در سیستم کلاسیک برابر ۰/۹۸۱ و در سیستم فازی برابر ۰/۹۹۱ با اختلاف ۰/۰۸ است. نتایج بیان‌گر این موضوع است که سطح میانگین نقص‌ها در سیستم کلاسیک برابر ۳/۲ با انحراف معیار ۳/۶۴ و در سیستم فازی برابر ۳/۱۶ با انحراف معیار ۳/۴۲ می‌باشد. همچنین سطح سیگما در روش کلاسیک برابر ۲/۱۰ و در روش فازی ۲/۹۸ از ۳ (حدود اطمینان ۹۹٪) و قابلیت عملکرد (*PPK*) در روش کلاسیک ۰/۲۷ و در روش فازی ۰/۷۶ می‌باشد، نتایج نشان می‌دهد میزان ضریب همبستگی بین دو روش برابر ۰/۹۱ با ضریب تبیین بالا به مقدار ۸۳/۷٪ می‌باشد. با استفاده از معادله $Y=0.8602X+414$ می‌توان از نتایج روش کلاسیک نتایج فازی را پیش‌بینی کرد که شامل *LCL* و *UCL* است، بنابراین ارتباط معنی‌داری بین دو روش وجود دارد؛ یعنی بین نتایج کنترل فرآیند آماری با کنترل فرآیند فازی رابطه معنی‌داری وجود دارد. در پژوهش‌های انجام شده مانند مطالعه ارتگرل و آیتک (۲۰۰۹) که نمودارهای کنترل را با استفاده از روش‌های احتمالی و فازی با هدف ترکیب کنترل فرآیند آماری با تئوری مجموعه‌های فازی را انجام دادند، نمودارهای آماری فازی را برای متغیرها ارائه داده و از روش میان‌دامنه فازی در سطح آلفا استفاده گردید.

در تحقیق گولبای و همکاران (۲۰۰۴) که نمودارهای کنترل فازی معرفی شده توسط وانگ و رز را برای سطح α برای وصفی‌ها پیشنهاد دادند، ضریب α میزان ابهام داده‌ها و شدت بازرسی را منعکس می‌کند. هدف از کاربرد ضریب α فرموله کردن دقیق‌تر رفتار بازرسی و ابهام موجود در شرایط واقعی در رسم نمودارهای کنترل فازی است. گولبای و کهرمان^۱ (۲۰۰۶) پس از ارائه نمودارهای کنترل فازی، برای شناسایی عوامل غیر نرمال داده‌هایی که درون حدود کنترلی قرار داشتند، به معرفی قواعد فازی تشخیص‌دهنده الگوی غیرطبیعی پرداختند. هدف آنان بهبود سیستم کنترل و شناسایی دقیق وضعیت‌های خارج از کنترل بدون غیر فازی کردن بود. اسماعیل‌پور و همکاران^۲ (۲۰۰۹) مدل کنترل فرآیند آماری فازی با روش مد فازی برای کنترل تعداد نقص‌های محصول، توسعه نمودار آماری فرآیند فازی نسبت نقص‌ها ارائه

¹ Gülbay and Kahraman

² Esmailpour et al.



کردند. ال شل و موریس (۲۰۰۰)، طالب و لیمام (۲۰۰۲)، سوگندی و همکاران (۲۰۱۴)، سنتورک و ارگینل (۲۰۰۹) و ارگینل و همکاران (۲۰۱۱) روش‌های دیفازی استفاده نموده‌اند که این روش‌ها باعث از بین رفتن اطلاعات فازی می‌شود؛ بنابراین در پژوهش حاضر از روش قوانین فازی کایا و کهرمان (۲۰۱۱) که نمودارهای کنترل را به صورت دیفازی طراحی می‌کند، استفاده شده است. در پژوهش حاضر ارزیابی عملکرد با متغیرهایی مانند سطح قابل قبول کیفیت، قابلیت عملکرد فرآیند، سطح سیگما، تعداد نقص‌ها در یک میلیون، درصد نقص‌ها برای نمودار کنترل فازی با استفاده از روش‌های دیفازی انجام و نتایج آن با نتایج نمودار کنترل کلاسیک مقایسه گردید که حاکی از حساسیت دقت در روش فازی نسبت به روش کلاسیک می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از نمودارهای کنترل کلاسیک و فازی، پیشنهادهایی کاربردی جهت استفاده جامعه آماری ارائه می‌گردد.

به دلیل حساس بودن روش *SPC* فازی (تحت کنترل، نسبتاً تحت کنترل، نسبتاً خارج از کنترل و خارج از کنترل) نسبت به *SPC* قطعی و همچنین از نظر معنی دار بودن اختلاف حدود کنترل بین داده‌های قطعی و فازی با برش آلفای ۶۰٪ و بالا بودن سطح قابل قبول کیفیت (*AQL*)، بالا بودن سطح سیگما، بالا بودن قابلیت عملکرد فرآیند فازی (*PPK*) جهت کنترل فرآیند از مدل فازی استفاده شود. پیشنهاد بعدی علی‌رغم پیشرفته بودن ماشین‌آلات تولیدی، بایستی مهارت کارکنان واحد کنترل کیفیت را در جهت اجرای کنترل فرآیند فازی با استفاده از آموزش‌های لازم و دوره‌ای افزایش دهند.

منابع

- Alizadeh, H. M., & Ghomi, S. M. T. (2011). Fuzzy development of Mean and Range control charts using statistical properties of different representative values. *Journal of intelligent & fuzzy systems*, 22(5-6), 253-265. DOI: 10.3233/IFS-2011-0487
- Bradshaw Jr, C. W. (1983). A fuzzy set theoretic interpretation of economic control limits. *European journal of operational research*, 13(4), 403-408. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90100-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90100-5)
- Casco, B. (1993). *Fuzzy thinking* [A. Ghaffari, A. Maghsoudpour Mumtaz, J. Qasimi, Trans.]. Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology Publications. (In Persian). https://www.agahbookshop.com/%D8%AA%D9%81%D9%83%D8%B1-%D9%81%D8%A7%D8%B2%D9%8A_16749
- Cheng, C. B. (2005). Fuzzy process control: construction of control charts with fuzzy numbers. *Fuzzy sets and systems*, 154(2), 287-303. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.03.002>
- Ebrahimi, E., Ghasem Akbari, M., & Etminan, J. (2012). Quality control chart C based on fuzzy data using bootstrap confidence interval and Yao-view meter. *11th national conference on intelligent systems*. Tehran. Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/214610/>
- El-Shal, S. M., & Morris, A. S. (2000). A fuzzy rule-based algorithm to improve the performance of statistical process control in quality systems. *Journal of intelligent & fuzzy systems*, 9(3-4), 207-223.
- Erginel, N., Sentürk, S., Kahraman, C., & Kaya, I. (2011). Evaluating the packing process in food industry using fuzzy and [stilde] control charts. *International journal of computational intelligence systems*, 4(4), 509-520. <https://doi.org/10.1080/18756891.2011.9727809>
- Ertuğrul, İ., & Aytac, E. (2009). Construction of quality control charts by using probability and fuzzy approaches and an application in a textile company. *Journal of intelligent manufacturing*, 20(2), 139-149. <https://doi.org/10.1007/s10845-008-0230-1>
- Esmailpour, R., Ramezani, M. R., & Kazemof, F. (2009). Presenting a model of fuzzy statistical process control with fuzzy mode method to control product defects. *Industrial management journal*, 1(2). (In Persian). https://imj.ut.ac.ir/article_20359.html?lang=en
- Grant, E. L., & Lonworth, R. (2006). *Statistical quality control* [M. Pesaran Qader, A. Kahalzadeh, A. Jabbari, Trans.]. University Publication Center. (In Persian). <https://www.gisoom.com/book/1370127/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%DA%A9%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%84-%DA%A9%DB%8C%D9%81%DB%8C%D8%AA-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1%DB%8C/>
- Gülbay, M., Kahraman, C., & Ruan, D. (2004). α -Cut fuzzy control charts for linguistic data. *International journal of intelligent systems*, 19(12), 1173-1195. <https://doi.org/10.1002/int.20044>
- Gülbay, M., & Kahraman, C. (2006). Development of fuzzy process control charts and fuzzy unnatural pattern analyses. *Computational statistics & data analysis*, 51(1), 434-451. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2006.04.031>
- Kanagawa, A., Tamaki, F., & Ohta, H. (1993). Control charts for process average and variability based on linguistic data. *The international journal of production research*, 31(4), 913-922. <https://doi.org/10.1080/00207549308956765>
- Kaya, İ., & Kahraman, C. (2011). Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts. *Expert systems with applications*, 38(4), 3172-3184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.004>
- Nelson, L. S. (1984). The Shewhart control chart—tests for special causes. *Journal of quality technology*, 16(4), 237-239. <https://doi.org/10.1080/00224065.1984.11978921>
- Noeipour, B. (2006). Fuzzy logic. *Network e-journal*, 71, 270-280. (In Persian). <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=178781>
- Raz, T., & Wang, J. H. (1990). Probabilistic and membership approaches in the construction of control charts for linguistic data. *Production planning & control*, 1(3), 147-157. <https://doi.org/10.1080/09537289008919311>
- Sentürk, S., & Erginel, N. (2009). Development of fuzzy $X\sim R\sim$ and $X\sim S\sim$ control charts using α -cuts. *Information sciences*, 179(10), 1542-1551. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.09.022>
- Sogandi, F., Mousavi, S. M., & Ghanaatian, R. (2014). An extension of fuzzy P-control chart based on a-level fuzzy midrange. *Advanced computational techniques in electromagnetics*, 1-8. DOI: 10.5899/2014/acte-00177

- Taleb, H., & Limam, M. (2002). On fuzzy and probabilistic control charts. *International journal of production research*, 40(12), 2849-2863. <https://doi.org/10.1080/00207540210137602>
- Wang, J. H., & Raz, T. (1990). On the construction of control charts using linguistic variables. *The international journal of production research*, 28(3), 477-487. <https://doi.org/10.1080/00207549008942731>
- Electric, W. (1982). *Statistical quality control handbook*. Western Electric Co. <https://www.amazon.com/Statistical-Quality-Control-Handbook-Second/dp/B004OVUP24>
- Wooluru, Y., Swamy, D. R., & Nagesh, P. (2014). The process capability analysis-a tool for process performance measures and metrics-a case study. *International journal for quality research*, 8(3), 399-416.
- Zhang, D., & Lu, Q. (2016). Robust regression analysis with LR-type fuzzy input variables and fuzzy output variable. *Journal of data analysis and information processing*, 4(2). DOI: [10.4236/jdaip.2016.42006](https://doi.org/10.4236/jdaip.2016.42006)

