

## طراحی یک روش ابتکاری برای شناسایی نوع تغییر در فرایند اتورگرسیو درجه یک

سید محمد تقی فاطمی قمی

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[fatemi@aut.ac.ir](mailto:fatemi@aut.ac.ir)

محمد حسین فاضل زرنندی

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[zarandi@aut.ac.ir](mailto:zarandi@aut.ac.ir)

یاسر صمیمی

کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[samimi@mail.iust.ac.ir](mailto:samimi@mail.iust.ac.ir)

### واژه‌های کلیدی

نمودار کنترل باقیمانده، کنترل فرایند آماری، خودهمبستگی، تشخیص نوع تغییر

### چکیده

مدل اتورگرسیو درجه یک، از اعضای خانواده مدل‌های سری زمانی باکس-جنکینز و از جمله مدل‌های پرکاربرد در میان فرایندهای خودهمبسته است که شامل سه پارامتر مختلف می‌باشد. با تغییر هر یک از این پارامترها نسبت به مقدار طبیعی خود، شرایط اولیه فرایند نیز تغییر خواهد نمود. تا کنون برای کنترل پارامترهای میانگین و پراکندگی این مدل روش‌های متعددی ارائه شده است، اما تغییر در پارامتر خودهمبستگی تا کنون مورد موشکافی و تحلیل کامل قرار نگرفته است. در این مطالعه، قصد داریم نحوه طراحی یک سیستم کنترلی را برای پایش وضعیت یک فرایند اتورگرسیو درجه یک که در شرایط طبیعی بصورت  $x_t = 0.5x_{t-1} + \varepsilon_t$  مدل شده است بیان نماییم. این سیستم یک پایگاه قواعد فازی است که بر اساس روش‌های یادگیری استقرائی حاصل می‌شود. معیارهای عملکردی این سیستم به گونه‌ای تعریف شده است تا بتوان علاوه بر سرعت کشف تغییر در مدل، توانایی تشخیص پارامتر تغییر یافته را نیز مورد ارزیابی قرار داد. در نهایت با استفاده از رویکرد شبکه عصبی یک ابزار کمکی برای شناسایی نوع و جهت تغییر در فرایند تحت بررسی ارائه شده است.



## ۱. مقدمه

استقلال مشاهدات گردآوری شده از فرایند، لازمهٔ بکارگیری نمودارهای کنترل شوهارت محسوب می‌شود. در زمان استفاده از این نمودارها فرض می‌شود هنگامیکه فرآیند تحت کنترل به سر می‌برد، مشخصه کیفی  $X$  در زمان  $t$  از مدل  $x_t = \mu + \varepsilon_t$ ،  $(t = 1, 2, \dots)$  که غالباً مدل شوهارت نامیده می‌شود پیروی می‌کند. در این رابطه  $\mu$  نشاندهنده میانگین فرایند است.  $\varepsilon_t$  مقدار خطای تصادفی فرآیند در زمان  $t$  است که فرض می‌شود از شرایط NID برخوردار بوده و دارای میانگین صفر و واریانس  $\sigma_\varepsilon^2$  می‌باشد ( $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ ). متأسفانه فرض استقلال مشاهدات حتی بصورت تقریبی نیز در برخی فرایندهای تولیدی وجود ندارد. برای نمونه می‌توان فرایندهای شیمیایی را خاطر نشان ساخت که مشاهدات متوالی از فرآیند اغلب از همبستگی زیادی برخوردارند. از سوی دیگر وجود رویه‌های بازرسی خودکار که امکان اندازه‌گیری کلیه قطعات یک فرآیند را مطابق ترتیب زمانی تولید آنها فراهم ساخته است، سبب بروز خودهمبستگی مابین مشاهدات متوالی خواهد شد [۱]. سقائی به انواع فرایندهای تولیدی که مقالات تحقیقاتی با مشاهدات خود همبسته در آنها مواجه شده‌اند اشاره نموده است [۲]. تأثیر مخرب خودهمبستگی بر عملکرد نمودار کنترل برای مشاهدات انفرادی، توسط تعداد زیادی از محققین از جمله الوان و رابرتز<sup>۱</sup> (۱۹۸۸)، مونتگمری و فریدمن<sup>۲</sup> (۱۹۸۹) و مراغه و وودال<sup>۳</sup> (۱۹۹۲) مورد بررسی واقع شده است [۱].

در این تحقیق به مطالعهٔ دسته‌ای از فرایندهای خودهمبسته خواهیم پرداخت که از مدل اتورگرسیو با تأخیر یک،  $AR(1)$  پیروی می‌کنند. در این مدل رابطه همبستگی مابین مشاهدات متوالی بصورت زیر ارایه می‌شود:

$$x_t - \mu_t = \varphi(x_{t-1} - \mu_{t-1}) + \varepsilon_t \quad , \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه ۱،  $\mu_t$  میانگین فرایند در لحظه  $t$  و  $x_t$  و  $x_{t-1}$  به ترتیب مشاهدات فرایند در لحظات  $t$  و  $t-1$  می‌باشند. ضریب خودهمبستگی فرایند نامیده می‌شود و نشاندهنده میزان همبستگی مشاهداتی است که با یک پیوند زمانی فاصله، از یکدیگر واقع شده‌اند. مقدار واریانس مدل  $AR(1)$  با استفاده از رابطه  $\sigma_x^2 = \sigma_\varepsilon^2 / (1 - \varphi^2)$  حاصل می‌شود. غالباً برای برازش مدل به یک فرایند اتورگرسیو از روش کمترین مربعات خطا استفاده می‌شود. چنانچه  $\hat{x}_t$  نشاندهنده مقدار پیش بینی یک پیوندی برای مشاهده در زمان  $t$  باشد که با استفاده از مدل برازش شده، در زمان  $t-1$  بدست آمده است در اینصورت مقدار باقیمانده پیش بینی که با نماد  $R_t$  نشان داده می‌شود به شکل  $R_t = x_t - \hat{x}_t$  قابل محاسبه است [۷].

پارامترهای مختلف مدل  $AR(1)$  عبارتند از میانگین فرایند ( $\mu$ )، واریانس فرایند ( $\sigma_x^2$ ) و ضریب خودهمبستگی مدل ( $\varphi$ ). با تغییر هر یک از این پارامترها نسبت به مقدار اصلی خود، مدل اتورگرسیو از شرایط طبیعی خود خارج خواهد شد. با این وجود تا کنون اغلب تحقیقات بر کنترل پارامتر میانگین در این فرایندها متمرکز بوده است. برای کنترل پارامتر میانگین در فرایندهای خودهمبسته روشهای متعددی ابداع شده است که در قالب دو گروه اصلی تحت عنوان رویکردهای مبتنی بر مدل و مدل-آزاد<sup>۴</sup> دسته بندی می‌شوند [۳]. لزوم پایش تغییرات ضریب  $\varphi$  در فرایند خودهمبسته اولین بار توسط یورستون و مونتگمری<sup>۵</sup> (۱۹۸۹ و ۱۹۹۰) مورد تأکید واقع شد. دو محقق مذکور برای کنترل ضرایب مدل خود همبستگی، روشی ارائه نمودند که آنرا نمودار خود همبستگی نمونه‌ای<sup>۶</sup> (SACC) نام نهاده‌اند. آتینزا، تانگ و آنگ<sup>۷</sup> (۱۹۹۷) نشان داده‌اند که این روش برای کنترل میانگین و پراکندگی یک مدل اتورگرسیو درجه یک چندان مناسب نیست اما برای کشف تغییرات ضریب خود همبستگی مدل

<sup>1</sup> Alwan and Roberts

<sup>2</sup> Montgomery and Friedman

<sup>3</sup> Maragah and Woodall

<sup>4</sup> model-based and model-free

<sup>5</sup> Yourstone and Montgomery (YM)

<sup>6</sup> Sample Autocorrelation Chart (SACC)

<sup>7</sup> Atienza, Tang and Ang



عملکرد مطلوبی از خود نشان می‌دهد [۸].

در این مطالعه یک سیستم کنترلی جدید برای یک حالت خاص از فرایند اتورگرسیو ارائه خواهد شد که بطور همزمان موضوع پایش تغییرات در هر سه نوع پارامتر را مورد توجه قرار می‌دهد. بمنظور سادگی کار، فرض خواهیم نمود که در شرایط عادی مقدار پارامتر  $\varphi$  برابر با 0.5 است. همچنین مقدار واریانس خطای تصادفی را بدون لطمه زدن به کلیت بحث برابر با یک و مقدار میانگین فرایند را در شرایط طبیعی آن، برابر با صفر در نظر می‌گیریم. علاوه بر این، فرض می‌کنیم در هر زمان، تنها یکی از سه پارامتر مدل قابل تغییر است و شرایطی که تغییرات همزمان برای دو پارامتر یا هر سه پارامتر رخ می‌دهد را بررسی نخواهیم کرد. دامنه تغییراتی که برای ضریب  $\varphi$  در نظر خواهیم گرفت مقادیر صفر تا یک خواهد بود. به بیان دیگر فرض می‌شود در یک فرایند خودهمبسته از نوع  $x_t = 0.5x_{t-1} + \varepsilon_t$ ، تغییر در ضریب خودهمبستگی تنها در بازه مثبت رخ خواهد داد. این فرض بنظر منطقی می‌رسد چرا که در شرایط عملی امکان دارد به دلایل مختلف از جمله افزایش یا کاهش زمان بین نمونه‌گیری، مقدار خود همبستگی مابین مشاهدات متوالی کم یا زیاد شود اما تغییر علامت پارامتر  $\varphi$  از مثبت به منفی بعید بنظر می‌رسد. معیارهای عملکردی این سیستم به گونه‌ای تعریف می‌شود تا هم بتوان سرعت کشف تغییر در مدل را ارزیابی نموده و هم قدرت شناسایی پارامتر تغییر یافته را مورد تحلیل قرار داد.

نحوه ارائه مطالب در این مقاله بدین شکل خواهد بود که در قسمت دوم بطور مختصر به بررسی سوابق بکارگیری رویکردهای فراابتکاری برای کنترل فرایندهای خودهمبسته خواهیم پرداخت و سپس رویکردی را که در این مقاله استفاده خواهد شد معرفی می‌کنیم. در قسمت سوم، به تفصیل درباره نحوه آموزش سیستم کنترلی توضیح داده می‌شود. قسمت چهارم به موضوع ارزیابی عملکرد سیستم کنترلی و قیاس آن با برخی روشهای مبتنی بر مدل اختصاص یافته است. در قسمت پنجم به استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای شناسایی نوع تغییر در فرایند مورد مطالعه اشاره خواهیم نمود و نهایتاً در قسمت ششم به جمع‌بندی و تصمیم‌گیری در مورد چگونگی پیاده سازی سیستم طراحی شده در عمل خواهیم پرداخت.

## ۲. تکنیکهای فراابتکاری یادگیرنده و کنترل فرایند اتورگرسیو

بمنظور کنترل میانگین در فرایند خودهمبسته، روش جدیدتری که می‌توان آنرا جزء گروه روشهای مبتنی بر مدل به شمار آورد، از شبکه‌های عصبی مصنوعی بهره می‌گیرد که در این رابطه می‌توان به کار کوک و چیو<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۸، چیو، چن و لی<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۱ و همچنین نورالسائ، فرخی و سقائی در سال ۲۰۰۳ اشاره کرد [۴، ۵ و ۶]. باید گفت ضعف روشهای آماری مبتنی بر مدل در کشف تغییرات میانگین، در کنار عدم نیاز شبکه‌های عصبی به برقراری شرط استقلال برای اطلاعات ورودی، علل عمده علاقمندی محققین به بکارگیری شبکه‌های عصبی در این زمینه محسوب می‌شود [۴].

در این مقاله، ما از یکی دیگر از روشهای هوش محاسباتی برای کنترل پارامترهای فرایند خودهمبسته استفاده نموده و عملکرد آنرا با روشهای مبتنی بر مدل مقایسه خواهیم کرد. روشهای یادگیری استقرائی، نوع دیگری از سیستمهای یادگیرنده هستند که بر خلاف شبکه‌های عصبی با استفاده از داده‌های فرایند، قادر به استخراج قواعد می‌باشند. بویژه تعدادی از سیستمهای یادگیری استقرائی که بر مبنای منطق فازی شکل گرفته است، توجه فراوانی را به خود جلب نموده‌اند. از جمله تحقیقاتی که به ابداع این سیستمهای فازی یادگیرنده منجر شده است می‌توان به سوگنو و یاسوکاوا<sup>۳</sup> (۱۹۹۳)، جانگ<sup>۴</sup> (۱۹۹۳) و چیو<sup>۵</sup> (۱۹۹۴) اشاره نمود. در کلیه این رویکردها از روش خوشه بندی فازی برای تشکیل پایگاه

<sup>1</sup> Cook and Chiu

<sup>2</sup> Chiu, Chen and Lee

<sup>3</sup> Sugeno and Yasukawa

<sup>4</sup> Jang

<sup>5</sup> Chi



قواعد فازی استفاده می‌شود. در کار اول، با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی FCM<sup>1</sup> یک پایگاه قواعد، مطابق با آنچه سیستم فازی مددانی نامیده می‌شود ایجاد می‌گردد. رویکرد دوم که با در اختیار داشتن یک مجموعه از داده‌های ورودی/خروجی فرایند، از روشی شناخته شده با نام ANFIS<sup>2</sup> برای تهیه پایگاه قواعد فازی استفاده می‌کند، مبتنی بر تنظیم پارامترهای توابع تعلق مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی مدل است و بر طبق رویکرد سیستم‌های فازی TSK به مدلسازی داده‌ها می‌پردازد. در این روش برای تنظیم پارامترهای توابع تعلق، با هدف دستیابی به کمترین میزان خطا از روشهایی همچون پس انتشار خطا و کمترین مربعات خطا بهره‌گیری می‌شود. رویکرد سوم که در این مقاله نیز مورد استفاده واقع خواهد شد از یکی دیگر از روشهای خوشه‌بندی فازی با عنوان خوشه بندی کاهشی<sup>3</sup> استفاده نموده و سیستم فازی حاصل از این روش مطابق بر سیستم‌های فازی TSK از درجه اول تشکیل داده می‌شود. در این تحقیق، قصد داریم از رویکرد سوم، یعنی یادگیری استقرائی مبتنی بر خوشه‌بندی کاهشی، برای اولین بار در حوزه کنترل فرایند خودهمبسته بهره‌گیری کنیم. در قسمت بعد درباره ساختار و نحوه آموزش این سیستم کنترلی توضیحاتی ارائه می‌شود.

### ۳. تهیه یک سیستم فازی برای کنترل فرایند AR(1)

#### ۳-۱. انتخاب متغیرهای ورودی

برای تهیه یک سیستم کنترلی مناسب، از جمله مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار، گزینش متغیرهای ورودی است. چنانچه اطلاعات ورودی، نسبت به تغییر پارامترهای کلیدی فرایند، از حساسیت لازم برخوردار باشد نتیجه آن افزایش توانایی سیستم کنترلی برای کشف تغییر در شرایط طبیعی فرایند خواهد بود. این موضوع بویژه از اوایل دهه ۹۰ میلادی، همزمان با توسعه کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در حوزه کنترل فرایند آماری، مد نظر محققین بوده است. استانداردهای، کدبندی و بطور خلاصه پیش پردازش مشاهدات خام، پیش از ورود به شبکه عصبی از جمله اقدامات مرسوم در مقالات تحقیقاتی برای افزایش میزان اثربخشی شبکه می‌باشد. کار هوانگ و هایل<sup>4</sup> (۱۹۹۳) نمونه جالبی در این زمینه محسوب می‌شود. همچنین می‌توان به مطالعه دقیق حسن، شریف، شاهارون و جمال‌الدین<sup>5</sup> (۲۰۰۳) اشاره نمود [۹]. حسن و همکاران در مطالعه خود، برای تهیه متغیرهای ورودی شبکه از ویژگیهای آماری داده‌های فرایند استفاده نموده و در مقایسه با موقعیتی که از مشاهدات خام برای آموزش شبکه استفاده شده باشد به موفقیت قابل توجهی دست یافته‌اند.

با توجه به سوابق موجود، در این مطالعه نیز ترجیح داده شد بجای استفاده از مشاهدات خام فرایند بمنظور آموزش سیستم یادگیرنده، از ویژگیهای آماری مناسب برای ورود اطلاعات به سیستم کنترلی بهره گرفته شود. چون هدف از مطالعه، کنترل همزمان سه پارامتر از یک فرایند AR(1) یعنی میانگین، پراکندگی و ضریب خودهمبستگی آن می‌باشد، متناسب با هر یک از این سه پارامتر، از ویژگیهای آماری متعددی برای آموزش سیستم کنترلی بهره گرفته شد. ویژگیهای آماری مورد استفاده عبارتند از: میانگین نمونه‌ای، میانه نمونه‌ای، واریانس نمونه‌ای، ضریب خودهمبستگی نمونه‌ای با تاخیر یک و دامنه مشاهدات (نحوه محاسبه این شاخصهای آماری برای یک مجموعه از مشاهدات فرایند در ضمیمه بیان شده است).

قبل از اشاره به نحوه آموزش، این مسئله خاطر نشان می‌شود که برای تحلیل فرایند هر بار پنجره‌ای متشکل از بیست مشاهده متوالی از فرایند، مورد بررسی واقع می‌شود. از آنجا که غالباً توصیه می‌شود در فاز اول از بکارگیری نمودارهای کنترل تعداد ۲۰ تا ۲۵ مشاهده مورد تحلیل قرار گیرد [۱]، این تعداد مشاهده برای تهیه سیستم کنترلی نیز منطقی بنظر می‌رسد. از سوی دیگر در تحقیقاتی که با استفاده از رویکردهای فراابتکاری در زمینه کنترل فرایند آماری و بویژه از جهت کاربرد شبکه‌های عصبی به ثبت رسیده است اندازه پنجره مشاهدات مابین ۸ تا ۶۴ مشاهده انتخاب شده است [۱۰]. بدلیل آنکه در نظر گرفتن پنجره مشاهدات با اندازه بزرگ سبب کاهش در سرعت کشف تغییرات خواهد شد و از

<sup>1</sup> Fuzzy C-Mean (FCM) clustering

<sup>2</sup> Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)

<sup>3</sup> Subtractive clustering

<sup>4</sup> Hwang and Hubele

<sup>5</sup> Hassan, Shariff, Shahraroun and Jamaluddin

سوی دیگر اندازه کم پنجره سبب کاهش قدرت سیستم برای شناسایی تغییر در فرایند خواهد بود، تعداد بیست مشاهده برای تحلیل، اندازه مناسبی خواهد بود. بنابراین نحوه کار بدینصورت است که با انتخاب یک مجموعه از داده‌های فرایند شامل بیست مشاهده متوالی، پنج ویژگی مذکور محاسبه می‌شود و از این ویژگی‌های آماری بعنوان اطلاعات ورودی به سیستم کنترلی بهره گرفته خواهد شد.

### ۳-۲. آموزش سیستم کنترل فازی

جهت دستیابی به یک سیستم کنترل فازی که بطور همزمان بتواند هر سه پارامتر یک مدل اتورگرسو از درجه یک را کنترل نموده و تغییرات پارامترهای آنرا شناسایی نماید سه مولفه مجزا تدارک دیده شد. مولفه اول بمنظور تشخیص تغییرات در میانگین فرایند، مولفه دوم برای کشف تغییر در انحراف معیار و مولفه سوم با هدف کشف تغییر در ضریب خودهمبستگی مدل آموزش داده شدند. قصد داریم از بکارگیری همزمان این سه مولفه در راستای کشف تغییرات پارامترهای مدل AR(1) و همچنین تشخیص پارامتری که دچار تغییر شده است استفاده کنیم. در مرحله آموزش، برای تهیه داده‌های شبیه‌سازی شده، از رابطه ۱ استفاده می‌شود که جزئیات آن ذکر شد. همانطور که اشاره شد پارامترهای مدل در حالت تحت کنترل شامل مقادیر  $\mu_0 = 0$ ،  $\phi_0 = 0.5$  و  $\sigma_0 = \sqrt{1/(1-0.25)} = 1.1547$  می‌باشد. برنامه‌های تهیه شده در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 7.0 نوشته شده است.

### ۳-۲-۱. آموزش مولفه اول: کشف تغییر در میانگین فرایند

برای آموزش مولفه اول، دامنه تغییرات پارامتر میانگین نسبت به مقدار اولیه، در دامنه  $3^-$  تا  $3^+$  انحراف معیار ( $\sigma_x$ ) در نظر گرفته شد. در این حالت سایر پارامترهای مدل ثابت و برابر با همان مقدار اولیه خواهد بود. به ازای هر مقدار از پارامتر میانگین، مجموعه‌ای شامل ۱۰۰۰ بردار از مشاهدات فرایند (اندازه هر بردار برابر با بیست می‌باشد)، برای آموزش، شبیه‌سازی شد. سپس برای هر بردار از مشاهدات، ویژگی‌های آماری مذکور محاسبه شد. مقدار خروجی سیستم در دامنه  $1^-$  تا  $1^+$  در نظر گرفته شد به گونه‌ای که علامت آن نمایانگر جهت تغییر در میانگین فرایند باشد. بطور خلاصه مقدار پارامتر میانگین و مقدار هدف متناظر با آن بمنظور آموزش سیستم یادگیرنده در جدول شماره ۱ آورده شده است. عدد صفر بعنوان هدف متناظر با وضعیت تحت کنترل تعریف شد. با ارائه این مجموعه از داده‌ها به سیستم یادگیرنده، بر مبنای رویکرد خوشه بندی کاهشی یک سیستم فازی TSK از درجه اول، شامل ۱۱ قاعده، پنج متغیر ورودی و یک متغیر خروجی حاصل شد.

جدول ۱ - مجموعه مقادیر پارامتر میانگین در مدل AR(1) برای آموزش مولفه اول از سیستم فازی

مقدار پارامتر میانگین	مقدار خروجی متناظر (مقدار هدف)	مقدار پارامتر میانگین	مقدار خروجی متناظر (مقدار هدف)
$\mu_1 = \mu_0 - 3\sigma_x$	-1	$\mu_1 = \mu_0 + 0.5\sigma_x$	1/6
$\mu_1 = \mu_0 - 2.5\sigma_x$	-5/6	$\mu_1 = \mu_0 + 1\sigma_x$	1/3
$\mu_1 = \mu_0 - 2\sigma_x$	-2/3	$\mu_1 = \mu_0 + 1.5\sigma_x$	1/2
$\mu_1 = \mu_0 - 1.5\sigma_x$	-1/2	$\mu_1 = \mu_0 + 2\sigma_x$	2/3
$\mu_1 = \mu_0 - 1\sigma_x$	-1/3	$\mu_1 = \mu_0 + 2.5\sigma_x$	5/6
$\mu_1 = \mu_0 - 0.5\sigma_x$	-1/6	$\mu_1 = \mu_0 + 3\sigma_x$	1

### ۳-۲-۲. آموزش مولفه دوم: کشف تغییر در پراکندگی فرایند

در تهیه مولفه دوم، ضریب تغییر انحراف معیار مدل برای آموزش، در بازه مقادیر ۰٫۱ الی ۲٫۵ انتخاب شد. به ازای هر مقدار از پارامتر انحراف معیار، در حالیکه مقدار دو پارامتر دیگر ثابت در نظر گرفته شده بود مجموعه‌ای متشکل از ۱۰۰۰ بردار با اندازه بیست، از مشاهدات یک فرایند AR(1) تهیه شد. مقدار خروجی متناظر با هر یک از این مجموعه‌ها، در دامنه اعداد  $1^-$  تا  $1^+$  تعریف شده است. بطور خلاصه می‌توان مقادیر پارامتر انحراف معیار و مقدار هدف متناظر با آنرا در جدول ۲ مشاهده نمود.



جدول ۲- مجموعه مقادیر پارامتر انحراف معیار در مدل AR(1) برای آموزش مولفه دوم از سیستم فازی

مقدار پارامتر انحراف معیار	مقدار خروجی متناظر (مقدار هدف)	مقدار پارامتر انحراف معیار	مقدار خروجی متناظر
$\sigma_1 = 0.1\sigma_0$	-1	$\sigma_1 = 1.75\sigma_0$	1/3
$\sigma_1 = 0.25\sigma_0$	-2/3	$\sigma_1 = 2\sigma_0$	2/3
$\sigma_1 = 0.75\sigma_0$	-1/3	$\sigma_1 = 2.5\sigma_0$	1

همانند مولفه اول، مقدار هدف متناظر با وضعیت طبیعی فرایند برابر با صفر قرار داده شد. نتیجه آموزش مولفه دوم مطابق با مقادیر پارامتر در جدول ۲، دستیابی به یک سیستم فازی TSK از درجه اول بود که شامل ۷ قاعده، پنج متغیر ورودی و یک متغیر خروجی است.

### ۳-۲-۳. آموزش مولفه سوم: کشف تغییر در ضریب خودهمبستگی مدل

از آنجا که در این مطالعه به یک حالت خاص از مدل AR(1) پرداخته شده است، دامنه تغییرات ضریب خودهمبستگی جهت آموزش در بازه مقادیر 0.1 الی 0.9 در نظر گرفته شد. چون نحوه آموزش این مولفه نیز همانند دو مولفه قبل است از بیان جزئیات آن صرفنظر می‌کنیم. مقدار ضریب خودهمبستگی و مقدار هدف متناظر با آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود. پس از آموزش به کمک داده‌های شبیه سازی شده، بر اساس روش خوشه بندی کاهشی، سیستم فازی سوم حاصل شد که از ۶ قاعده، پنج متغیر ورودی و یک متغیر خروجی تشکیل شده است.

جدول ۳- مجموعه مقادیر پارامتر خودهمبستگی در مدل AR(1) برای آموزش مولفه سوم از سیستم فازی

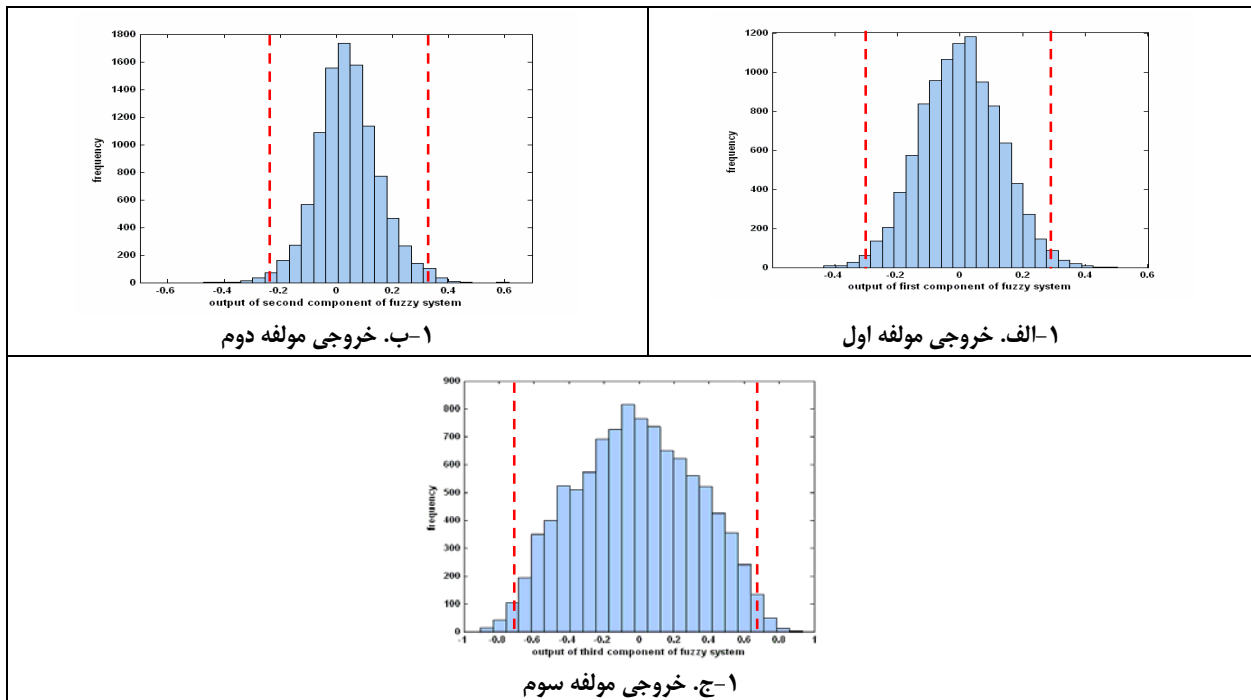
مقدار ضریب خودهمبستگی	مقدار خروجی متناظر (مقدار هدف)	مقدار ضریب خودهمبستگی	مقدار خروجی متناظر (مقدار هدف)
$\varphi_1 = \varphi_0 - 0.4$	-1	$\varphi_1 = \varphi_0 + 0.1$	0.25
$\varphi_1 = \varphi_0 - 0.3$	-0.75	$\varphi_1 = \varphi_0 + 0.2$	0.5
$\varphi_1 = \varphi_0 - 0.2$	-0.5	$\varphi_1 = \varphi_0 + 0.3$	0.75
$\varphi_1 = \varphi_0 - 0.1$	-0.25	$\varphi_1 = \varphi_0 + 0.4$	1

### ۴. ارزیابی عملکرد سیستم فازی

سیستم فازی که در مرحله قبل نحوه آموزش زیر-سیستم‌های آن توضیح داده شد برای کشف وضعیت غیر طبیعی در یک فرایند اتورگرسیو درجه یک بکار برده خواهد شد. بنابراین دو معیار مهم برای ارزیابی عملکرد این سیستم، سرعت تشخیص تغییر در شرایط عادی فرایند و قدرت شناسایی نوع تغییر را شامل می‌گردد. به جهت مقایسه عملکرد سیستم فازی با روشهای مرسوم آماری، مطابق با رویکرد مبتنی بر مدل، از نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی-دامنه متحرک (IMR) و نمودار کنترل جمع تجمعی (CUSUM)، برای باقیمانده‌های مدل استفاده خواهد شد.

#### ۴-۱. قدرت تشخیص وضعیت غیر عادی در فرایند AR(1)

مشاهده سیگنال خارج از کنترل توسط هر یک از سه مولفه سیستم فازی، بیانگر تغییر در شرایط طبیعی فرایند خواهد بود. بنابراین لازمست برای بررسی توانایی سیستم طراحی شده در تشخیص شرایط غیر طبیعی، برای خروجی هر یک از سه مولفه سیستم فازی، حدود تصمیم معین شود. برای این منظور ابتدا خطای نوع اول مشخصی را برای عملکرد سیستم تعریف نموده و سپس با استفاده از رویکرد نامساوی بانفرونی و تخصیص خطای نوع اول به هر یک از سه مولفه خواهیم توانست حدود کنترلی را برای آنها محاسبه نماییم.



شکل ۱. نمودار فراوانی برای خروجی مولفه‌های سه گانه سیستم کنترلی

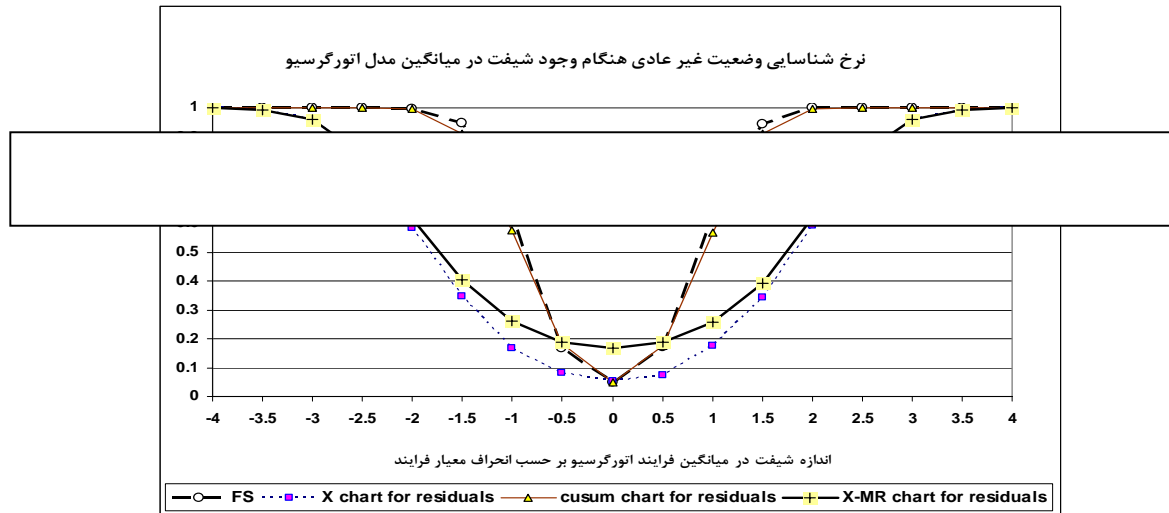
چنانچه یک نمودار کنترل مشاهدات انفرادی با حدود  $\pm 3$  انحراف معیار را برای باقیمانده‌های مدل اتورگرسیو در نظر بگیریم، مادامیکه فرایند تحت کنترل به سر می‌برد، مقدار خطای نوع اول حاصل از ترسیم بیست باقیمانده بر روی نمودار، برابر با  $(1 - 0.0027)^{20} = 0.0526$  نتیجه خواهد شد. پس اگر مقدار خطای نوع اول را برای سیستم کنترلی معادل 0.05 تعریف کنیم، با استفاده از نامساوی بانفرونی، مقدار خطای نوع اولی که برای هر یک از سه مولفه اختصاص می‌یابد تقریباً برابر با مقدار 0.0167 می‌باشد. چون هر یک از مولفه‌های سیستم نیازمند حد کنترل بالا و پایین خواهند بود، این مقدار خطای نوع اول بطور مساوی برای محاسبه حد تصمیم بالا و پایین تقسیم خواهد شد. با این توضیح توجه خواننده به شکل ۱ جلب می‌شود که نمودار فراوانی خروجی را برای هر یک از سه مولفه در وضعیت طبیعی (یعنی شرایطی که پارامترهای مدل برابر با مقدار اولیه خود می‌باشند) نشان می‌دهد. خط‌چین‌هایی که روی نمودارها مشاهده می‌شود حد تصمیم بالا و پایین برای مولفه‌ها می‌باشد که با در نظر گرفتن مقدار خطای نوع اول 0.0083 محاسبه شده است. مطابق شکل، حدود کنترل برای خروجی مولفه اول کاملاً متقارن است، در حالیکه در مورد سایر مولفه‌ها بویژه مولفه دوم، نحوه توزیع مقادیر خروجی نشان‌دهنده چولگی توزیع خروجی است.

#### ۴-۱-۱. قدرت تشخیص تغییر در میانگین فرایند

پس از تعیین حدود تصمیم برای خروجی مولفه‌های سیستم، امکان مقایسه عملکرد سیستم فازی با روشهای مبتنی بر مدل و بویژه نمودار کنترل مشاهدات انفرادی برای باقیمانده‌ها وجود خواهد داشت. اولین پارامتری که تغییرات آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت میانگین فرایند است. برای انجام شبیه‌سازی نحوه کار بدینصورت است که یک فرایند  $AR(1)$  که تا پریود ۱۰۰ تحت کنترل قرار دارد دچار تغییر در پارامتر میانگین می‌شود. مجموعه بیست مشاهده‌ای که در فاصله پریودهای ۱۰۱ الی ۱۲۰ بوجود می‌آید را استخراج نموده و با محاسبه ویژگیهای آماری برای این مجموعه، ورودی سیستم فازی را تهیه می‌کنیم. این کار به تعداد ۵۰۰۰ بار تکرار گردیده و سپس نرخ تشخیص وضعیت غیر عادی توسط سیستم فازی به ثبت رسیده است. نتایج این بررسی در شکل ۲ آورده شده است. دامنه تغییرات میانگین از -۴ تا +۴ انحراف معیار فرایند در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به نرخ تشخیص وضعیت غیر عادی برای روشهای کنترلی IMR و جمع تجمعی نیز در این نمودار ارائه شده است. همانطور که مشهود است عملکرد سیستم فازی و عملکرد نمودار کنترل جمع تجمعی برای باقیمانده‌های مدل، تا اندازه بسیار زیادی



نزدیک به هم بوده و بوضوح نسبت به نمودار کنترل مشاهدات انفرادی و روش IMR برتری دارد.



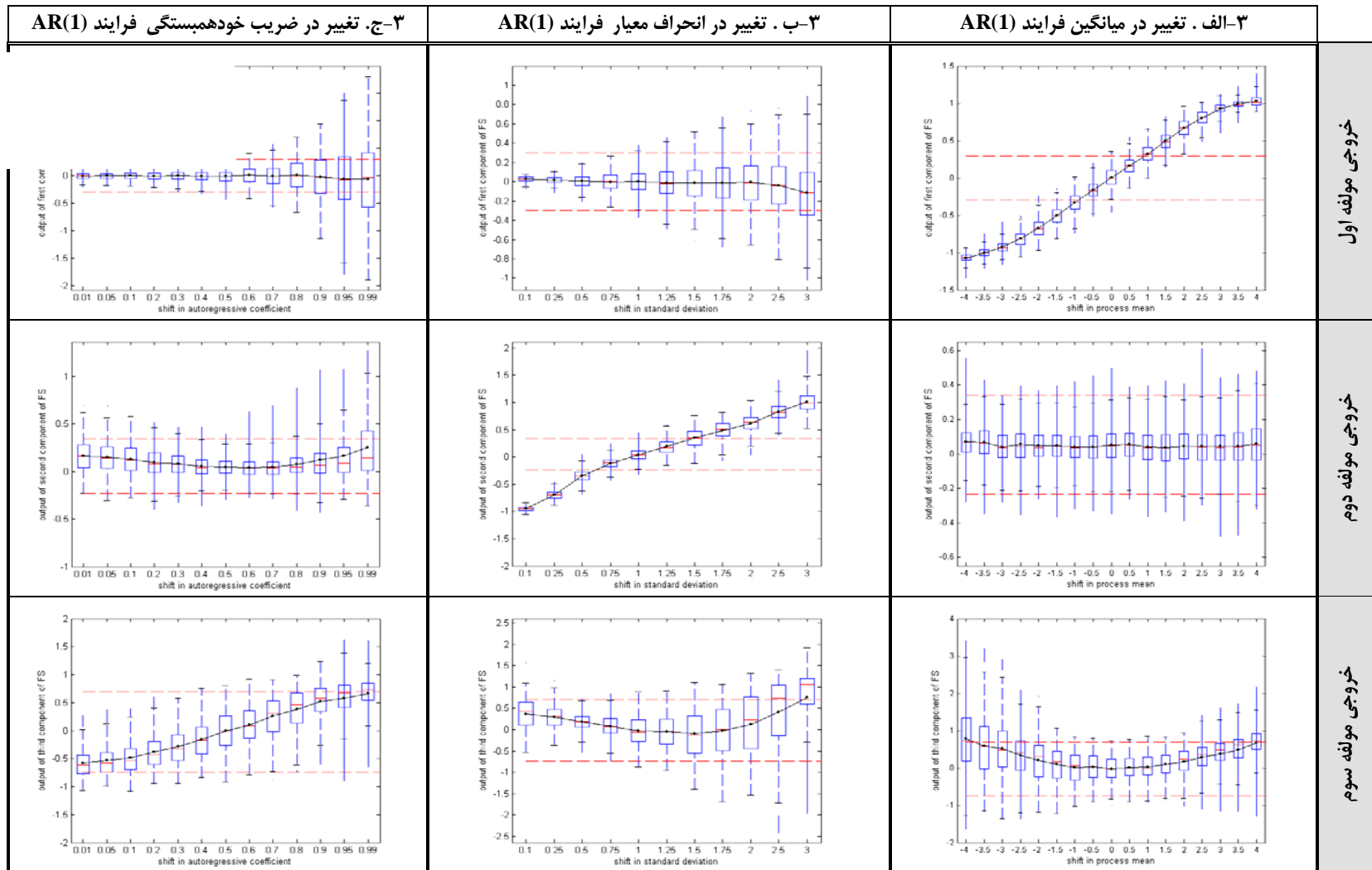
شکل ۲.

بمنظور تحلیل دقیقتر این یافته، رفتار هر یک از سه مولفه سیستم فازی را در برابر تغییرات میانگین فرایند مورد بررسی قرار دادیم که نتایج آن در شکل ۳، قسمت الف (ستون اول) ارائه شده است. در این شکل، علاوه بر نمودار جعبه‌ای یک خط دیگر نیز که مقادیر میانگین خروجی‌ها را نشان می‌دهد ترسیم شده است. همچنین خطچین‌های روی شکل بیانگر حدود تصمیم بالا و پائین برای مولفه‌های سیستم کنترلی است. همانطور که از این نمودار استنتاج می‌شود مولفه سوم از سیستم فازی، تغییر در میانگین فرایند را با افزایش ضریب خودهمبستگی فرایند اشتباه گرفته و بویژه در مواردی که نسبت به مقدار اولیه اختلاف زیادی داشته باشد درصد اعلام وضعیت خارج از کنترل افزایش پیدا می‌کند. برای بهبود عملکرد سیستم فازی در شناسایی تغییرات میانگین حذف شاخص میانگین مشاهدات از مجموعه ورودی‌های مولفه سوم می‌تواند اقدام موثری باشد.

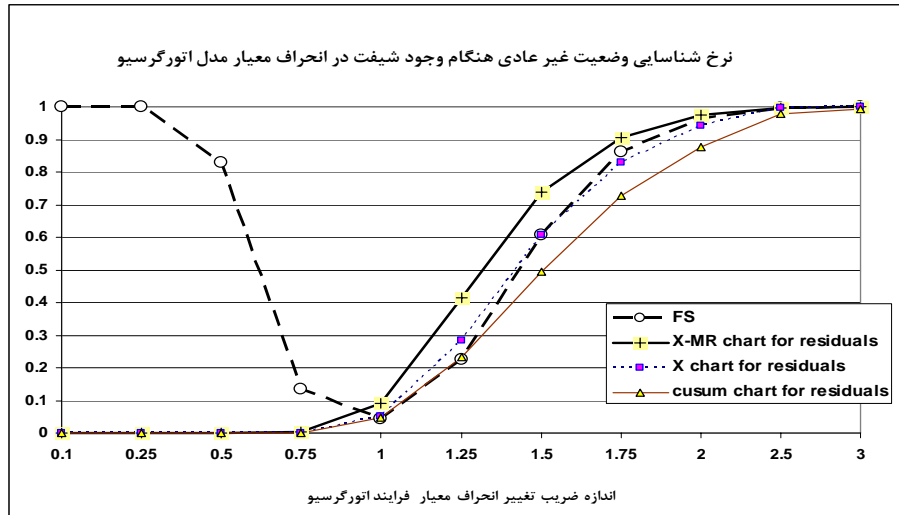
#### ۴-۲-۱-۴. قدرت تشخیص تغییر در انحراف معیار فرایند

مطابق روشی که در قسمت قبل توضیح داده شد یک فرایند اتورگرسیو را در نظر می‌گیریم که تا پریود ۱۰۰ در وضعیت عادی به سر می‌برد. اما در پریود ۱۰۱ پارامتر انحراف معیار مدل دچار تغییر می‌شود. مجموعه مشاهدات ۱۰۱ تا ۱۲۰ که بعد از ایجاد تغییر تولید شده‌اند را استخراج نموده و پس از محاسبه شاخصهای آماری، برای ورود به سیستم فازی آماده می‌کنیم. نتایج مربوط به این بررسی که نرخ تشخیص تغییر را در برمی‌گیرد و با انجام ۵۰۰۰ بار شبیه‌سازی به ازای هر مقدار از انحراف معیار بدست آمده است، در شکل ۴ ملاحظه می‌شود. کاملاً مشخص است که به هنگام تغییر در انحراف معیار، باید وضعیتی که پراکندگی فرایند کاهش یافته است را نسبت به وضعیتی که پراکندگی افزایش یافته، جداگانه تفسیر نمود. نمودار کنترل MR هنگام کاهش در پراکندگی از قدرت تشخیص بسیار ضعیفی برخوردار است (که البته استفاده از قوانین حساس سازی می‌تواند در رفع این مشکل کمک کند). اما سیستم فازی در این مورد کاملاً موفقیت‌آمیز عمل نموده است. با این وجود در وضعیتی که پراکندگی فرایند افزایش یافته، روش ترکیبی IMR بنظر تواناتر از سایر روشها عمل کرده است. البته مقدار خطای نوع اول این روش نیز نسبت به سایر روشها بیشتر می‌باشد که همین موضوع انجام مقایسه دقیق را با مشکل مواجه می‌سازد. بطور کلی می‌توان گفت هنگام افزایش پراکندگی، عملکرد نمودار دامنه متحرک و سیستم فازی طراحی شده شبیه به هم بوده و از عملکرد نمودار کنترل جمع تجمعی بهتر است. روش جمع تجمعی که برای پایش میانگین باقیمانده‌های مدل بکار برده شده، نسبت به تغییر در پراکندگی مشاهدات از حساسیت بالایی برخوردار نیست.





شکل ۳- خروجی حاصل از مولفه‌های مختلف سیستم فازی، به هنگام وجود تغییر در پارامترهای فرایند  $AR(1)$



شکل ۴.

برای تفسیر این نتیجه، به نمودار شماره ۳، قسمت ب (ستون دوم) رجوع می‌کنیم. همانطور که می‌دانیم با افزایش پراکندگی، مقدار تغییرپذیری میانگین نمونه‌ای نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین اعلام وضعیت خارج از کنترل توسط مولفه اول چندان دور از انتظار نیست. اما این مسئله در مورد مولفه سوم انتظار نمی‌رفت. همچون حالتی که تغییرات میانگین بررسی شد، تصور می‌شود استفاده از شاخصهای واریانس نمونه‌ای و دامنه نمونه‌ای باعث ایجاد اختلال در عملکرد مولفه سوم شده است و با حذف این دو شاخص از مجموعه متغیرهای ورودی مولفه سوم می‌توان عملکرد سیستم فازی را بهبود بخشید.

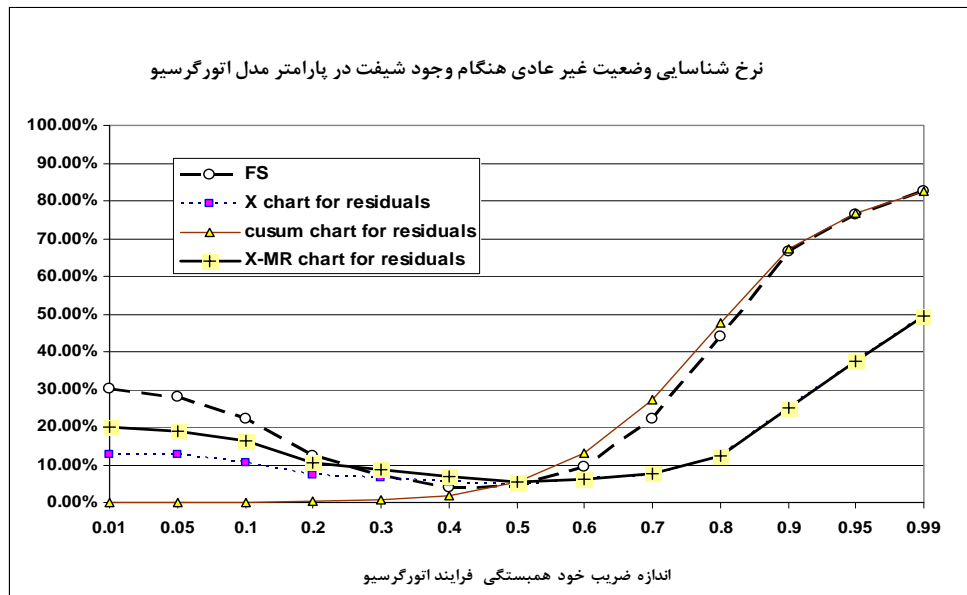
#### ۴-۱-۳. قدرت تشخیص تغییر در پارامتر خودهمبستگی فرایند

بعنوان سومین پارامتر از مدل  $AR(1)$ ، تغییرات ضریب خودهمبستگی و حساسیت سیستم فازی را در مقابل آن مورد بررسی قرار می‌دهیم. در مرحله آزمون، دامنه تغییرات این پارامتر در فاصله 0.01 تا 0.99 در نظر گرفته شد. روند شبیه سازی و استخراج نتایج این قسمت نیز همانند دو پارامتر قبل می‌باشد و به همین دلیل از بیان مجدد توضیحات خودداری می‌کنیم. نتایج این بررسی در شکل ۵ ارائه شده است. در مورد این پارامتر نیز باید کاهش و افزایش پارامتر را به تفکیک بررسی شود. هنگامی که مقدار ضریب خودهمبستگی کاهش می‌یابد از بین روشهای کنترل فرایند آماری، روش کنترلی IMR عملکرد بهتری نسبت به سایر روشها دارد. در این حالت، سیستم فازی عملکردی بهتر از کلیه روشهای مرسوم کنترل فرایند آماری از خود بروز داده است. اما هنگامیکه ضریب خودهمبستگی افزایش یافته باشد نمودار کنترل جمع تجمعی عملکرد بهتری از سایر روشهای کنترل فرایند آماری داشته و عملکرد سیستم فازی نیز تا اندازه زیادی مشابه نمودار جمع تجمعی است. نکته مهم دیگری که با مشاهده این نمودار می‌توان متوجه شد آنست که تشخیص ضریب خودهمبستگی در یک مدل اتورگرسیو بطور کلی برای تمامی روشهای مورد بررسی راحتتر از تشخیص کاهش آن است که این امر برای سیستم فازی نیز صادق است. با افزایش ضریب خودهمبستگی مدل، مقدار پراکندگی مشاهدات افزایش خواهد یافت. همین امر سبب افزایش توانایی تشخیص تغییر در ضریب خودهمبستگی می‌شود. چرا که در زمان کاهش پارامتر تنها دو مولفه سوم و دوم از سیستم فازی موفق به تشخیص وضعیت غیر عادی شده‌اند اما با افزایش ضریب خودهمبستگی، مولفه اول نیز به یاری این دو مولفه آمده است.

مطالعه رفتار خروجی مولفه‌های سیستم فازی در برابر تغییراتی که در پارامتر خودهمبستگی رخ می‌دهد تفسیر عملکرد سیستم فازی را ساده‌تر نیز خواهد نمود. در نمودار ۳، قسمت ج (ستون سوم) مشاهده می‌شود که چون کاهش یا افزایش پارامتر خودهمبستگی، کاهش یا افزایش



پراکندگی فرایند را به همراه دارد، مولفه دوم از سیستم فازی نسبت به این تغییر عکس‌العمل نشان می‌دهد. در آخر باید گفت افزایش پارامتر خودهمبستگی سبب افزایش مقدار پراکندگی در عملکرد مولفه اول از سیستم فازی می‌شود و همین مسئله سبب بروز حساسیت بیشتر از این مولفه نسبت به تغییر در پارامتر خودهمبستگی شده است.

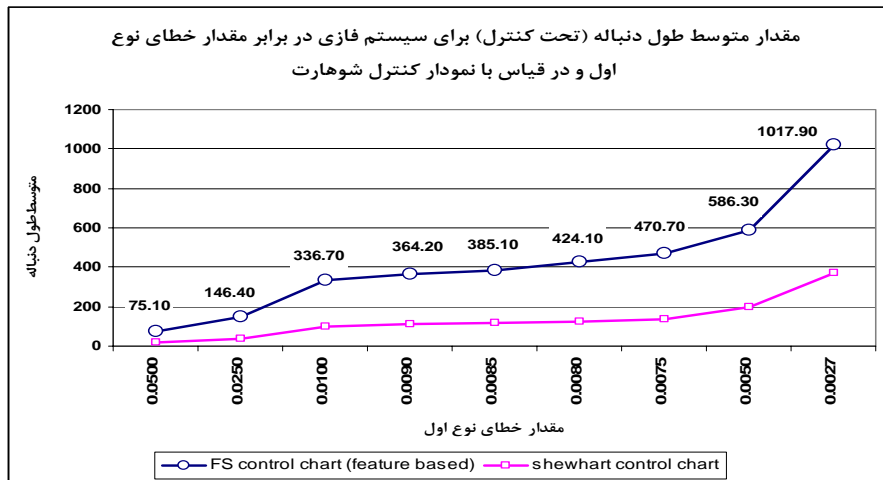


شکل ۵.

#### ۴-۲. ارزیابی سرعت سیستم فازی در کشف وضعیت غیر عادی در مدل اتورگرسیو

در این قسمت، برای بررسی سرعت سیستم فازی در تشخیص وضعیت غیر طبیعی، از شاخص متوسط طول دنباله<sup>۱</sup> (ARL) استفاده می‌شود. از آنجا که نتایج مربوط به این بررسی با نمودار کنترل مشاهدات انفرادی برای باقیمانده‌ها مورد مقایسه واقع خواهد شد لازمست ابتدا مقدار متوسط طول دنباله در وضعیت تحت کنترل برای سیستم فازی و نمودار مشاهدات انفرادی، بطور مساوی تنظیم شود. مقدار متوسط طول دنباله برای نمودار مشاهدات انفرادی در وضعیت تحت کنترل تقریباً معادل 370 است. می‌دانیم در این حال مقدار خطای نوع اول نمودار برابر با 0.0027 است. رابطه میان مقدار خطای نوع اول و اندازه متوسط طول دنباله برای این نمودار یک رابطه معکوس می‌باشد. برای تعیین حدود تصمیم برای مولفه‌های سیستم فازی لازمست ابتدا ارتباط میان اندازه خطای نوع اول و متوسط طول دنباله مشخص شود. این موضوع نباید فراموش شود که سیستم فازی طوری طراحی شده است که برای تصمیم‌گیری درباره فرایند نیازمند بیست مشاهده از فرایند می‌باشد در حالیکه نمودار کنترل مشاهدات انفرادی همواره بر اساس آخرین نقطه ترسیم شده بر روی نمودار به تصمیم‌گیری می‌پردازد.

<sup>1</sup> Average run length (ARL)

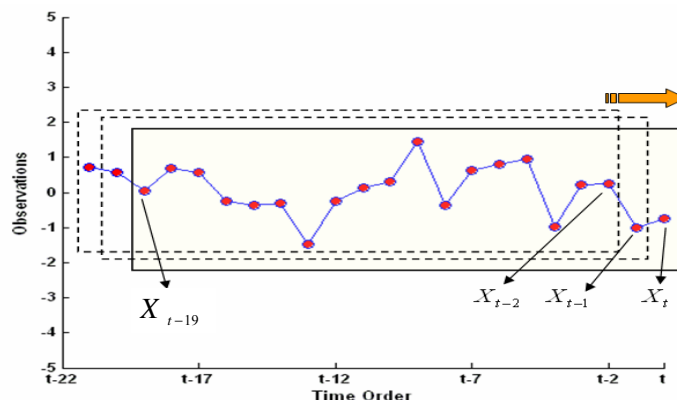


شکل ۶. ارتباط میان اندازه خطای نوع اول و مقدار متوسط طول دنباله در حالت تحت کنترل

شکل ۶ ارتباط میان اندازه خطای نوع اول و مقدار متوسط طول دنباله را بر اساس تعداد ۱۰۰ بار شبیه سازی مشخص کرده است. در این نمودار همچنین مقدار متوسط طول دنباله برای نمودار کنترل شوهارت نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود چنانچه احتمال ارتکاب خطای نوع اول برای سیستم فازی برابر با ۰.۰۰۸۵ در نظر گرفته شود مقدار متوسط طول دنباله نزدیک به مقدار ۳۷۰ خواهد بود. بدین ترتیب محاسبه حدود تصمیم جدید برای مولفه‌های سیستم با استفاده از نامساوی بانفرونی امکان پذیر خواهد بود.

#### ۴-۲-۱. سرعت کشف تغییر در میانگین فرایند

همچنانکه در قسمت ۴-۱، توانایی سیستم فازی برای شناسایی تغییر در پارامترهای مدل بررسی شد، در این قسمت، ارزیابی عملکرد سیستم، بر اساس سرعت تشخیص و با استفاده از شاخص متوسط طول دنباله انجام خواهد شد. ابتدا پارامتر میانگین را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نحوه کار بدین‌صورت است که یک مدل اتورگرسیو که تا پریود شماره ۱۰۰ در وضعیت تحت کنترل به سر می‌برد را در نظر می‌گیریم. در فاصله پریود ۱۰۰ و ۱۰۱ تغییری در میانگین مدل رخ می‌دهد. برای تحلیل فرایند با استفاده از روش فازی هر بار آخرین بیست مشاهده فرایند را استخراج نموده، شاخصهای آماری مربوطه را محاسبه می‌نماییم و بعنوان ورودی به سیستم فازی ارائه می‌کنیم. با اضافه شدن هر مشاهده جدید به فرایند یک پنجره جدید متشکل از آخرین بیست مشاهده تشکیل می‌شود و این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که حداقل یکی از مولفه‌های سه‌گانه سیستم با تولید سیگنال خارج از کنترل موفق به تشخیص وضعیت غیر عادی شود.



شکل ۷. نحوه گردآوری مشاهدات از فرایند اتورگرسیو و تحلیل آنها توسط سیستم فازی



به هر ترتیب نتایج مربوط به این بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. این نتایج حاصل ۳۰۰ بار تکرار شبیه‌سازی می‌باشد. از آنجا که عملکرد سیستم فازی همانند روشهای کنترل فرایند آماری نسبت به تغییرات غیر هم جهت ولی مساوی در میانگین فرایند یکسان می‌باشد در این جدول تنها نتایج مربوط به افزایش مقدار میانگین آورده شده است. این خاصیت در ادبیات مرتبط با موضوع تحت عنوان عدم حساسیت نسبت به جهت تغییر<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. نمودار ۸ که نتایج متوسط طول دنباله را برای سیستم فازی در کنار روشهای کنترلی IMR و همچنین CUSUM - MR نشان می‌دهد، بیانگر آنست که عملکرد سیستم فازی نسبت به روش IMR بسیار بهتر است. همچنین عملکرد سیستم فازی و روش CUSUM-MR تقریباً مشابه است. اگر چه برای مقایسه دقیقتر، افزایش تعداد تکرار شبیه‌سازی ضروری به نظر می‌رسد.

---

<sup>1</sup> Directional invariance property

جدول ۴ - سرعت تشخیص وضعیت غیر عادی توسط سیستم فازی در قیاس با روشهای کنترل فرایند آماری هنگامیکه میانگین فرایند  $AR(1)$  نسبت به مقدار اولیه خود دچار تغییر شده باشد

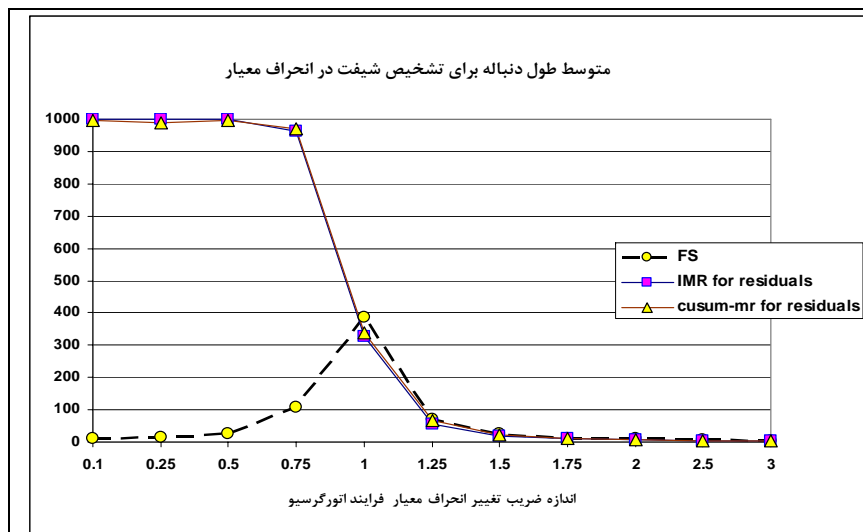
روش ترکیبی CUSUM-MR برای باقیمانده مدل						روش ترکیبی IMR برای باقیمانده مدل						سیستم فازی		مقدار شیفت در میانگین بر حسب انحراف معیار فرایند
احتمال تشخیص همزمان با هر دو نمودار	احتمال تشخیص، تنها با نمودار MR	احتمال تشخیص، تنها با نمودار جمع تجمعی	احتمال تشخیص (قبل از ۱۰۰۰ پریود)	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	احتمال تشخیص همزمان با هر دو نمودار	احتمال تشخیص، تنها با نمودار MR	احتمال تشخیص، تنها با نمودار ICC	احتمال تشخیص (قبل از ۱۰۰۰ پریود)	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	
0	0.151	0.764	0.915	314.21	366.33	0.054	0.053	0.836	0.943	286.24	327.08	412.43	370.97	0
0	0.043	0.957	1	97.168	102.28	0.039	0.034	0.903	0.976	231.68	241.62	110.9	121.37	0.5
0	0.018	0.982	1	22.555	25.01	0.02	0.024	0.956	1	130.33	127.5	19.57	30.437	1
0.001	0.015	0.984	1	8.0299	10.786	0.025	0.011	0.964	1	56.906	54.569	6.9459	14.147	1.5
0.004	0.035	0.961	1	3.8998	6.063	0.045	0.005	0.95	1	27.47	22.789	3.9527	10.177	2
0.005	0.064	0.931	1	2.2485	3.909	0.072	0.003	0.925	1	14.901	10.178	2.7303	5.1433	2.5
0.026	0.107	0.867	1	1.6521	2.942	0.148	0.002	0.85	1	6.3312	3.992	2.5421	3.45	3
0.066	0.176	0.758	1	1.1612	2.114	0.247	0.001	0.752	1	3.0354	1.973	1.0854	2.55	3.5
0.181	0.208	0.611	1	0.8113	1.602	0.361	0	0.639	1	1.1952	1.212	1.0222	2.0433	4

جدول ۵ - سرعت تشخیص وضعیت غیر عادی توسط سیستم فازی در قیاس با روشهای کنترل فرایند آماری هنگامیکه انحراف معیار فرایند  $AR(1)$  نسبت به مقدار اولیه خود دچار تغییر شده باشد.

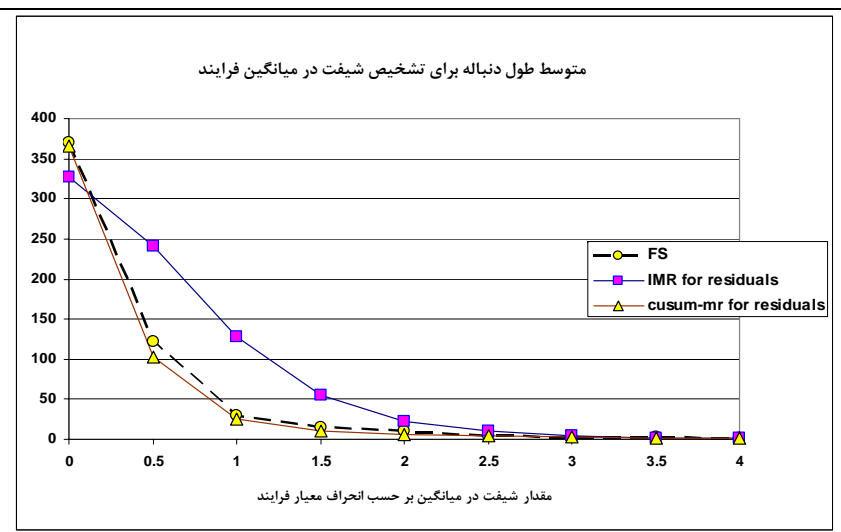
روش ترکیبی CUSUM-MR برای باقیمانده مدل						روش ترکیبی IMR برای باقیمانده مدل						سیستم فازی		مقدار ضریب تغییر در انحراف معیار فرایند
احتمال تشخیص همزمان با هر دو نمودار	احتمال تشخیص، تنها با نمودار MR	احتمال تشخیص، تنها با نمودار جمع تجمعی	احتمال تشخیص (قبل از ۱۰۰۰ پریود)	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	احتمال تشخیص همزمان با هر دو نمودار	احتمال تشخیص، تنها با نمودار MR	احتمال تشخیص، تنها با نمودار ICC	احتمال تشخیص (قبل از ۱۰۰۰ پریود)	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	
0	0	0.004	0.004	63.087	996	0	0	0	0	0	1000	0	12	0.1
0	0	0.01	0.01	99.449	990.01	0	0	0	0	0	1000	1.7563	14.65	0.25
0	0	0.005	0.005	70.498	995.01	0	0	0	0	0	1000	9.9862	25.197	0.5
0	0	0.048	0.048	148.63	970.51	0	0.004	0.069	0.073	158.83	961.4	100.19	109.17	0.75
0.001	0.149	0.79	0.939	289.77	357.5	0.043	0.05	0.857	0.95	287.43	326.1	401.11	385.8	1
0.003	0.278	0.719	1	61.879	67.446	0.105	0.08	0.815	1	55.84	56.3	53.878	69.323	1.25
0.008	0.344	0.648	1	21.959	24.138	0.161	0.064	0.775	1	18.995	20.3	16.578	24.857	1.5
0.038	0.389	0.573	1	10.765	12.411	0.203	0.061	0.736	1	10.442	11.2	8.0895	11.877	1.75
0.06	0.42	0.52	1	7.5568	9.211	0.248	0.044	0.708	1	7.3223	7.5	5.6989	10.977	2
0.142	0.376	0.482	1	3.7131	4.963	0.297	0.026	0.677	1	3.6972	4.4	4.1713	6.7033	2.5
0.246	0.333	0.421	1	2.7872	3.763	0.396	0.027	0.577	1	2.3955	3	3.239	4.6833	3

جدول ۶- سرعت تشخیص وضعیت غیر عادی توسط سیستم فازی در قیاس با نمودارهای کنترل، هنگامیکه ضریب خود همبستگی در فرایند  $AR(1)$  نسبت به مقدار اولیه خود (0.5) تغییر کرده باشد

روش ترکیبی CUSUM-MR برای باقیمانده مدل						روش ترکیبی IMR برای باقیمانده مدل					سیستم فازی		مقدار پارامتر خودهمبستگی در فرایند $AR(1)$	
احتمال تشخیص همزمان با هر دو نمودار	احتمال تشخیص، تنها با نمودار MR	احتمال تشخیص، تنها با نمودار جمع تجمعی	احتمال تشخیص (قبل از ۱۰۰۰ پریود)	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	احتمال تشخیص همزمان با هر دو نمودار	احتمال تشخیص، تنها با نمودار MR	احتمال تشخیص، تنها توسط نمودار ICC	احتمال تشخیص (قبل از ۱۰۰۰ پریود)	انحراف معیار طول دنباله	متوسط طول دنباله	انحراف معیار طول دنباله		متوسط طول دنباله
0.001	0.99	0.009	1	162.48	160.89	0.256	0.267	0.477	1	99.549	108.28	48.495	52.67	0.01
0	0.988	0.006	0.994	183.3	180.47	0.229	0.242	0.529	1	125.78	126.75	59.86	65.31	0.05
0	0.986	0.004	0.99	215.49	226.32	0.212	0.242	0.543	0.997	147.86	146.58	70.999	80.363	0.1
0	0.895	0.017	0.912	309.47	359.92	0.175	0.164	0.658	0.997	192.74	204.43	130.52	141.39	0.2
0	0.702	0.097	0.798	347.18	496.98	0.122	0.127	0.728	0.977	239.02	253.11	213.57	213.23	0.3
0.001	0.428	0.341	0.77	353.62	519.39	0.077	0.078	0.808	0.961	269.77	300.16	416.84	396.86	0.4
0	0.143	0.783	0.926	302.23	359.37	0.036	0.049	0.85	0.935	286.96	326.54	414.9	382.84	0.5
0	0.033	0.964	0.997	149.17	150.09	0.027	0.027	0.894	0.948	279.83	316.46	182.26	173.13	0.6
0	0.005	0.995	1	60.935	63.58	0.008	0.012	0.948	0.968	250.81	263.54	65.886	67.977	0.7
0	0.001	0.999	1	28.496	30.344	0	0.002	0.998	1	140.17	144.98	30.563	32.163	0.8
0	0	1	1	15.853	18.348	0.001	0	0.999	1	61.488	63.395	15.457	20.787	0.9
0	0	1	1	12.22	14.828	0.001	0	0.999	1	39.696	40.636	13.336	18.737	0.95
0	0	1	1	10.592	12.889	0	0	1	1	24.998	28.251	10.058	17.563	0.99



شکل ۹.



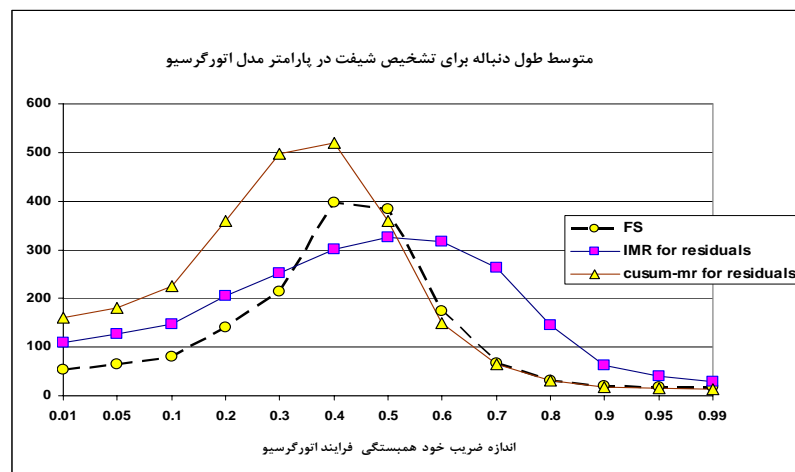
شکل ۸.

#### ۴-۲-۲. سرعت کشف تغییر در انحراف معیار فرایند AR(1)

روند بررسی که در بالا تشریح شد برای حالتی که انحراف معیار فرایند دچار تغییر شده باشد هم انجام شد. نتایج این بررسی علاوه بر جدول ۵، در شکل ۹ نیز ارائه شده است. مقادیر حاصله با تعداد ۳۰۰ بار شبیه سازی به ازای هر یک از مقادیر انحراف معیار فرایند بدست آمده است. هنگامیکه انحراف معیار فرایند کاهش یافته باشد روشهای کنترل فرایند آماری (بویژه نمودار MR برای باقیمانده‌ها) بر خلاف سیستم فازی قادر به شناسایی تغییر نخواهند بود. اما هنگامیکه با افزایش مقدار انحراف معیار مواجه هستیم بطور کلی تمامی روشهای مورد بررسی عملکرد یکسانی به لحاظ سرعت تشخیص از خود بروز داده‌اند.

#### ۴-۲-۳. سرعت کشف تغییر در پارامتر خودهمبستگی فرایند AR(1)

هنگامیکه با تغییر در پارامتر خودهمبستگی در یک فرایند AR(1) مواجه باشیم، نتایج شبیه سازی مطابق روند تشریح شده، در جدول ۶ قابل مشاهده است. شکل ۱۰ نیز مقادیر متوسط طول دنباله را نمایش می‌دهد. مهمترین مسئله در مورد تغییرات پارامتر خودهمبستگی آنست که چه برای روش کنترلی CUSUM-MR و چه برای سیستم فازی، بیشترین مقدار متوسط طول دنباله به ازای مقدار 0.4 رخ داده است. این مشکل در مورد روش CUSUM-MR از جانب نمودار دامنه متحرک حادث شده است. برای رفع این مشکل نیازمند تغییر در حدود کنترلی نمودار MR و همچنین تجدید نظر در حدود کنترل مولفه سوم از سیستم فازی هستیم. اما چنانچه از این مورد صرفنظر کنیم برتری عملکرد سیستم فازی به ازای سایر مقادیر پارامتر خودهمبستگی بر دیگر روشها مشهود است.



شکل ۱۰.

#### ۵. شناسایی نوع تغییر

در این مقاله تنها شرایطی بررسی می‌شود که در هر زمان، حداکثر یکی از سه پارامتر فرایند دچار تغییر می‌شود. نمودارهای کنترل IMR برای باقیمانده‌ها حداکثر می‌توانند تغییر در دو پارامتر از سه پارامتر مدل را تشخیص بدهند. به بیان دیگر انتظار داریم نمودار مشاهدات انفرادی، تغییر در پارامتر میانگین و نمودار دامنه متحرک تغییر در پراکندگی را تشخیص دهند (البته فقط افزایش در پراکندگی توسط نمودار MR قابل تشخیص خواهد بود، چرا که حد کنترل پایین در این نمودار برابر با صفر است بدین معنا که تشخیص کاهش در پراکندگی ممکن نیست). نکته دیگر آنکه حتی در مواقعی که پراکندگی فرایند نیز با افزایش روبرو می‌شود بر اساس نتایج این مطالعه، نمودارهای کنترلی که برای پایش میانگین تشکیل شده‌اند (همانند نمودار کنترل مقادیر انفرادی یا نمودار جمع تجمعی) سریعتر از نمودار دامنه متحرک علامت خارج از کنترل تولید می‌کنند (به جدول شماره ۵ رجوع کنید). بنابراین احتمال تشخیص صحیح نوع تغییر (به لحاظ نوع پارامتر) بسیار اندک خواهد بود. در مجموع شاید بتوان گفت با استفاده از نمودارهای کنترل مورد بررسی در این مطالعه تنها تغییرات میانگین فرایند را می‌توان با احتمال بالا بطور صحیح و موثر شناسایی نمود.

سیستم کنترلی ارائه شده در این مقاله از سه مولفه جداگانه تشکیل شده است که هر یک بمنظور شناسایی تغییر در یکی از سه پارامتر مدل آموزش دیده‌اند. اما در عمل به کمک نمودار شماره ۳ مشاهده شد که هر یک از سه مولفه نه تنها نسبت به تغییر در پارامتر مورد نظر،





بلکه به ازای تغییر در دو پارامتر دیگر نیز از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند. برای نمونه هنگامیکه ضریب خودهمبستگی افزایش می‌یابد در نمودار ۳-ج ملاحظه می‌شود که احتمال تولید سیگنال خارج از کنترل توسط هر سه مولفه افزایش می‌یابد. این مسئله سبب خواهد شد امکان تشخیص نوع تغییر، تا اندازه زیادی تقلیل پیدا کند. جدول ۷، نتایج مربوط به نرخ تشخیص نوع پارامتر تغییر یافته را هنگامی که تنها یکی از سه مولفه سیگنال خارج از کنترل تولید می‌کند (و دو مولفه دیگر تحت کنترل هستند) نشان می‌دهد. بر این اساس تنها در زمان کاهش پراکندگی، احتمال تشخیص صحیح نوع تغییر (۸۸٫۸۷٪) قابل توجه است.

جدول ۷- نرخ شناسایی نوع تغییر توسط روش تصمیم‌گیری اول (مبتنی بر مولفه‌های خود سیستم فازی) بر حسب درصد

تغییر واقعی در فرایند	الگوی شناسایی شده							غیر قابل شناسایی
	وضعیت طبیعی	کاهش میانگین	افزایش میانگین	کاهش پراکندگی	افزایش پراکندگی	کاهش خود همبستگی	افزایش خود همبستگی	
وضعیت طبیعی	<b>95.80</b>	1.00	0.73	0.60	0.60	0.67	0.40	0.20
کاهش میانگین	6.43	<b>63.51</b>	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	29.94
افزایش میانگین	6.34	0.00	<b>70.26</b>	0.06	0.09	0.09	0.11	23.06
کاهش پراکندگی	6.33	0.00	0.00	<b>88.87</b>	0.00	0.00	0.13	4.67
افزایش پراکندگی	11.44	0.32	1.08	0.00	<b>29.12</b>	1.12	0.16	56.76
کاهش خود همبستگی	78.35	0.00	0.00	0.35	1.80	<b>12.00</b>	0.00	7.50
افزایش خود همبستگی	31.50	14.75	11.00	0.40	0.05	0.00	<b>7.60</b>	34.70

ملاحظه می‌شود که بویژه در مورد تغییر ضریب خود همبستگی در مدل تحت بررسی، عملکرد این روش تصمیم‌گیری چندان مناسب نیست. به همین سبب بعنوان گزینه دوم در تصمیم‌گیری برای کشف عامل تغییر، تصمیم‌گیری هرگاه سیستم فازی یک سیگنال هشدار به علامت وضعیت غیر نرمال تولید نمود آنگاه هر یک از مولفه‌های سه گانه این سیستم که مقدار خروجی آن به لحاظ اندازه مطلق، دارای مقدار بزرگتری بود را بعنوان سیگنال شناسایی عامل تغییر تلقی نماییم. این ایده از آنجا به ذهن خطور می‌کند که با مشاهده رفتار خروجی مولفه‌ها (نمودار ۳)، چنانچه یکی از مولفه‌ها در زمان تغییر پارامترهای دیگر (به غیر از پارامتری که مولفه برای کشف آن آموزش دیده است) علامت خارج از کنترل تولید نماید، مقدار آن نسبت به زمانی که این سیگنال مربوط به عامل اصلی خود مولفه می‌باشد از اندازه کوچکتری برخوردار است. به هر صورت می‌توان حاصل این روش تصمیم‌گیری را در جدول ۸ ملاحظه نمود. همانطور که مشهود است عملکرد این روش تصمیم‌گیری در قیاس با روش اول تا اندازه قابل توجهی بهتر بنظر می‌رسد.

لازم بذکر است که اینگونه نحوه ارائه نتایج بصورت یک ماتریس مربعی همانند آنچه در جدول شماره ۸ ملاحظه می‌شود غالباً در مقالات مربوط به موضوع شناسایی الگو در نمودارهای کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اصطلاح به این ماتریس، ماتریس اغتشاش<sup>۲۰</sup> اطلاق می‌شود [۹].

جدول ۸- نرخ شناسایی نوع تغییر توسط روش تصمیم‌گیری دوم (ماکزیمم خروجی مولفه‌های سیستم فازی) بر حسب درصد

تغییر واقعی در فرایند	الگوی شناسایی شده						
	وضعیت طبیعی	کاهش میانگین	افزایش میانگین	کاهش پراکندگی	افزایش پراکندگی	کاهش خود همبستگی	افزایش خود همبستگی
وضعیت طبیعی	<b>95.80</b>	0.47	0.53	0.00	0.13	1.67	1.40
کاهش میانگین	6.43	<b>63.29</b>	0.00	0.00	0.06	6.17	24.06
افزایش میانگین	6.34	0.00	<b>80.17</b>	0.09	0.11	3.26	10.03
کاهش پراکندگی	6.33	0.00	0.07	<b>85.93</b>	0.00	0.47	7.20
افزایش پراکندگی	11.44	0.72	1.48	0.00	<b>35.76</b>	17.84	32.76
کاهش خود همبستگی	78.35	0.05	0.50	0.60	0.10	<b>19.75</b>	0.65
افزایش خود همبستگی	31.50	9.75	9.35	0.50	2.00	1.75	<b>45.15</b>

اگر چه عملکرد هر یک از مولفه‌ها به تنهایی در شناسایی عامل تغییر نسبت به قبل بهبود یافته اما موضوع افزایش احتمال تشخیص

<sup>20</sup> Confusion matrix

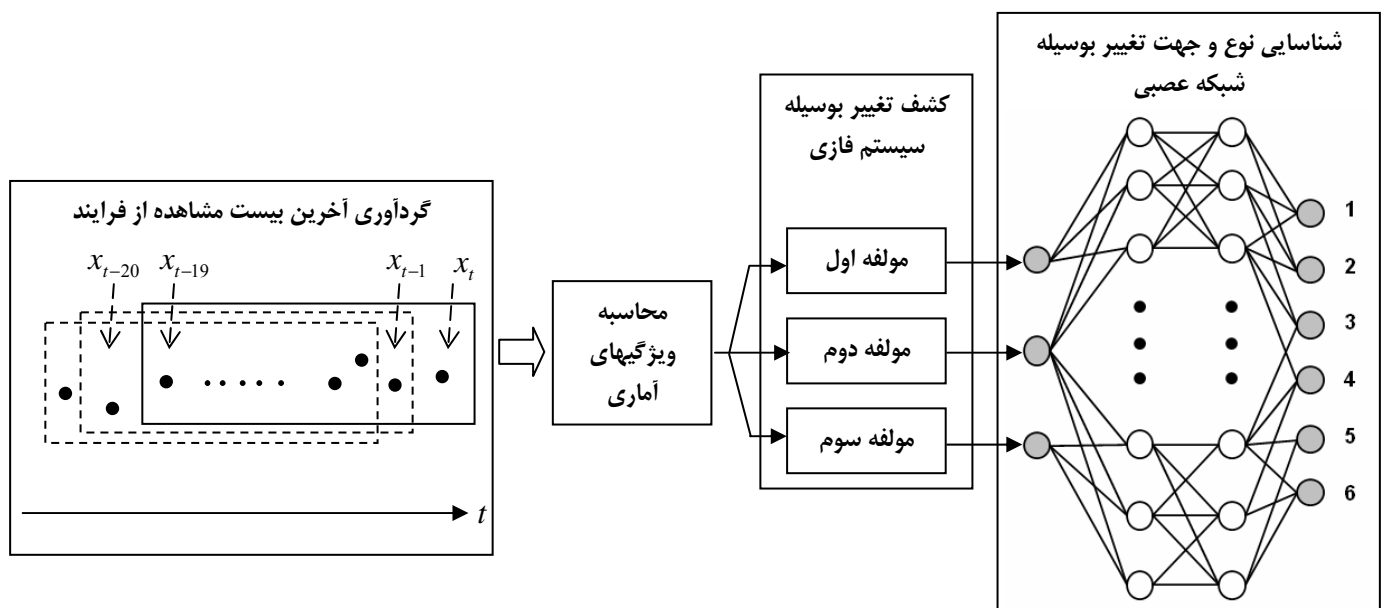


اشتباه یعنی مواردی که روش تصمیم، عامل تغییر را به اشتباه اعلام می‌نماید نگران کننده است. بمنظور رفع معایب دو روش قبل یعنی اولاً با هدف افزایش احتمال تشخیص صحیح و ثانیاً با هدف کاهش احتمال تشخیص اشتباه عامل تغییر، به طراحی یک روش سوم برای تصمیم‌گیری پرداخته شد. در روش سوم از رویکرد شبکه عصبی برای تصمیم‌گیری درباره خروجی سیستم فازی بهره‌گیری شد. بعبارت دیگر یک شبکه عصبی به نحوی آموزش داده شد تا با دریافت مقادیر خروجی هر یک از سه مولفه سیستم فازی (یک بردار شامل سه مولفه) بتواند عامل و جهت تغییر را شناسایی نماید. برای این منظور یک شبکه عصبی پرسپترون با دو لایه میانی، هر کدام با ۱۵ نرون بکار گرفته شد. برای آموزش این شبکه از قاعده یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. لایه ورودی این شبکه مطابق توضیحات، دارای سه نرون برای دریافت مقادیر خروجی سه مولفه سیستم فازی و لایه خروجی آن دارای تعداد ۶ نرون می‌باشد که خروجی آن مطابق جدول ۹ تعریف شده است.

جدول ۹ - نحوه آموزش شبکه عصبی برای تشخیص نوع و جهت تغییر در مدل AR(1)

نوع تغییر	بردار هدف در هنگام آموزش شبکه عصبی					
کاهش میانگین	1	0	0	0	0	0
افزایش میانگین	0	1	0	0	0	0
کاهش انحراف معیار	0	0	1	0	0	0
افزایش انحراف معیار	0	0	0	1	0	0
کاهش خود همبستگی	0	0	0	0	1	0
افزایش خود همبستگی	0	0	0	0	0	1

برای آنکه خروجی شبکه عصبی در بازه صفر تا یک متغیر است از تابع محرکه سیگموئید برای نرونهای لایه خروجی استفاده شد. شکل زیر نحوه استفاده از شبکه عصبی را برای شناسایی نوع و جهت تغییر نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ - نحوه کشف تغییر و شناسایی نوع آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۱۰ نتایج حاصل از بکارگیری این شبکه عصبی را برای شناسایی عامل تغییر نشان می‌دهد. همانطور که مشهود است استفاده از این شبکه برای کشف عامل و جهت تغییر، هنگامی که با تغییر در میانگین یا انحراف معیار مواجه هستیم سبب بهبود چشمگیری در افزایش احتمال تصمیم صحیح گردیده است اما در مورد شناسایی تغییر در ضریب خودهمبستگی نتوانسته نسبت به روش دوم بهبودی حاصل نماید.



جدول ۱۰- نرخ شناسایی نوع تغییر توسط روش تصمیم‌گیری سوم (شبکه عصبی مبتنی بر خروجی سیستم فازی) بر حسب درصد

تغییر واقعی در فرایند	الگوی شناسایی شده						
	وضعیت طبیعی	کاهش میانگین	افزایش میانگین	کاهش پراکندگی	افزایش پراکندگی	کاهش خود همبستگی	افزایش خود همبستگی
وضعیت طبیعی	94.53	0.33	0.53	0.27	0.20	2.60	1.53
کاهش میانگین	6.63	90.86	0.00	0.11	0.17	0.46	1.77
افزایش میانگین	6.60	0.00	90.49	0.06	0.23	0.57	2.06
کاهش پراکندگی	5.87	0.07	0.07	93.60	0.00	0.20	0.20
افزایش پراکندگی	11.04	1.64	1.08	0.00	77.00	5.80	3.44
کاهش خود همبستگی	76.90	0.05	0.10	0.85	0.35	21.40	0.35
افزایش خود همبستگی	31.95	10.55	12.10	1.55	4.80	2.15	36.90

چنانچه بخواهیم بررسی دقیقتری در رابطه با عملکرد این سه روش برای شناسایی نوع تغییر داشته باشیم، می‌توان به جدول ۱۱ رجوع نمود. در این جدول، نرخ تشخیص صحیح، در واقع متوسط حسابی عناصر روی قطر در ماتریس اغتشاش بوده و نرخ تشخیص اشتباه متوسط سایر عناصر ماتریس مذکور را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود روش سوم که از شبکه عصبی بهره می‌گیرد توانسته است ضمن باقی نگه داشتن میزان تشخیص اشتباه در سطحی قابل قبول، به اندازه قابل توجهی نسبت به دو روش اول در شناسایی صحیح نوع تغییر موفقیت آمیز عمل کند.

جدول ۱۱ - نرخ تشخیص توسط سه روش ارائه شده برای شناسایی نوع تغییر در مدل تحت بررسی (بر حسب درصد)

نام روش	نرخ تشخیص اشتباه	نرخ تشخیص صحیح
روش اول (مولفه‌های سیستم فازی به تنهایی)	4.19	52.45
روش دوم (ماکزیمم خروجی مولفه‌ها)	6.53	60.84
روش سوم (شبکه عصبی)	4.65	72.11

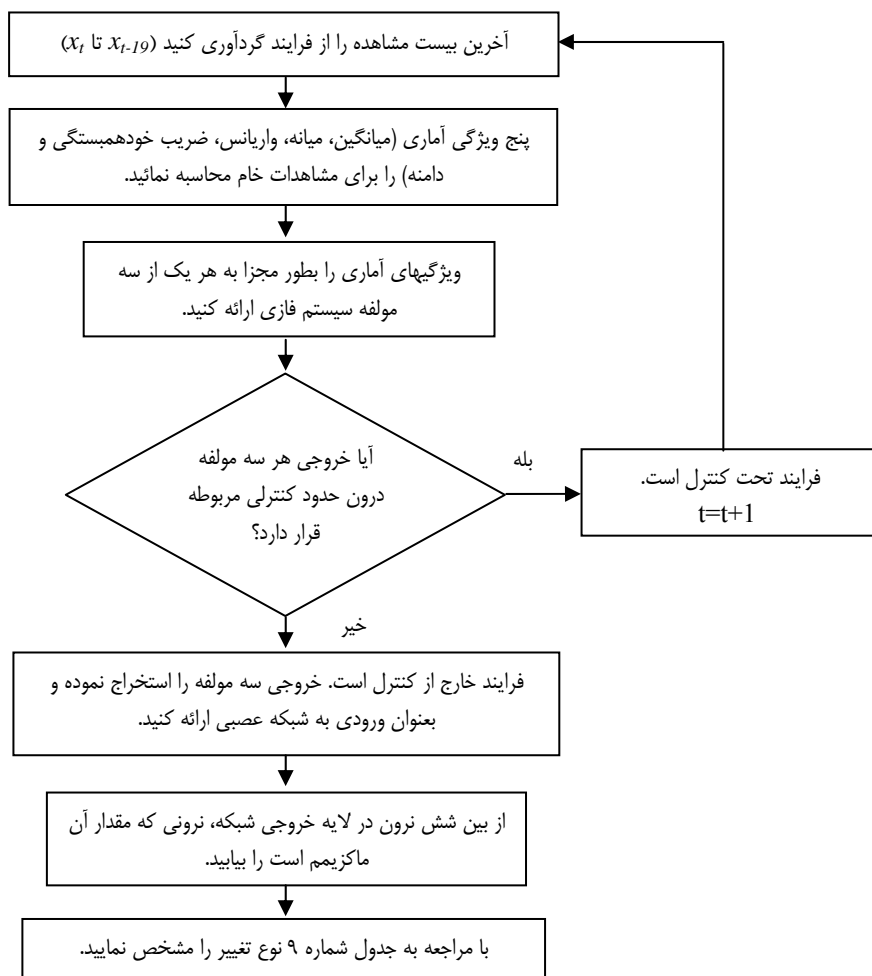
## ۶. نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای کشف تغییرات در پارامترهای مدل  $AR(1)$  (شامل میانگین، انحراف معیار و ضریب خودهمبستگی)، با استفاده از رویکرد خوشه بندی کاهشی، یک سیستم فازی طراحی شد. هدف اصلی از انجام این مطالعه، علاوه بر کشف تغییر در مدل فرایند، شناسایی پارامتری از فرایند است که دچار تغییر شده است. این قابلیت سیستم کنترل، کمک موثری برای مهندسين فرایند در جهت شناسایی و ریشه‌یابی مشکلات فرایند محسوب می‌شود.

سیستم فازی طراحی شده از سه مولفه تشکیل یافته است که هر یک از این سه مولفه برای تشخیص تغییر در یکی از سه پارامتر مدل  $AR(1)$  آموزش دیده‌اند. روش آموزش سیستم فازی، بر مبنای استخراج ویژگی‌های آماری از مشاهدات فرایند طراحی شد. در این مطالعه پنج ویژگی آماری برای مجموعه‌ای شامل بیست مشاهده خام از فرایند محاسبه می‌شود و بعنوان ورودی به سیستم فازی معرفی می‌گردد. جهت ارزیابی عملکرد سیستم فازی از دو معیار استفاده نمودیم. اولین معیار سرعت کشف وضعیت غیر عادی (بر حسب متوسط طول دنباله) است. علاوه بر سرعت کشف تغییر، احتمال کشف تغییر در مدل فرایند با استفاده از اولین بیست مشاهده تولید شده بعد از ایجاد تغییر، یکی از روشهایی بود که در این مطالعه برای ارزیابی توان سیستم فازی مورد تحلیل قرار گرفت. نمودارهای کنترل فرایند آماری را نیز در شرایط مشابه مورد آزمون قرار دادیم.

مقایسه عملکرد سیستم فازی با نمودارهای کنترلی مرسوم نشان می‌دهد هنگامیکه با تغییر در میانگین مدل مواجه باشیم، سیستم فازی عملکردی مشابه نمودار جمع تجمعی برای باقیمانده‌های مدل، از خود نشان می‌دهد. برای تشخیص تغییرات انحراف معیار، باید کاهش و افزایش این پارامتر را بطور جداگانه مورد بررسی قرار داد. در شرایطی که با افزایش انحراف معیار مواجه هستیم از نظر سرعت کشف تغییر، سیستم فازی، روش ترکیبی  $CUSUM-MR$  (برای باقیمانده‌ها) و نمودار کنترلی  $IMR$  (برای باقیمانده‌ها) تقریباً یکسان عمل می‌کنند. اما کشف کاهش در پراکندگی را باید نقطه ضعف اصلی نمودارهای کنترل دانست چرا که توانایی این نمودارها در این شرایط برای کشف تغییر بسیار ناچیز است، در حالیکه سیستم فازی می‌تواند با سرعت قابل توجهی کاهش پراکندگی را کشف کند. هنگامیکه مقدار ضریب

خودهمبستگی مدل کاهش یافته باشد، عملکرد سیستم فازی از نظر سرعت کشف، به جز یک مورد ( $\phi = 0.4$ ) بطور آشکار از نمودارهای کنترلی CUSUM-MR و IMR (برای باقیمانده‌ها) برتر است. اما هنگامی که مقدار این پارامتر افزایش می‌یابد عملکرد روش CUSUM-MR و سیستم فازی بسیار شبیه به هم بوده و نسبت به عملکرد نمودار IMR کاملاً برتر است. از سوی دیگر در این مقاله با اشاره به ضعف نمودارهای کنترل برای شناسایی نوع تغییر در مدل تحت بررسی، سه روش مختلف مبتنی بر خروجی سیستم فازی، برای هدف مذکور معرفی شد. در روش سوم یک شبکه عصبی پس انتشار به گونه‌ای آموزش داده شد تا با دریافت خروجی مولفه‌های مختلف سیستم فازی، قادر به تشخیص نوع تغییر باشد. همانطور که اشاره شد، در مجموع روش طراحی شده (که شمای آن در شکل ۱۰ قابل مشاهده است) بطور متوسط در ۷۲٫۱۱٪ موارد از توانایی تشخیص صحیح نوع تغییر برخوردار است. نمودار ۱۲ فلوجارت پیاده سازی روش طراحی شده را در شرایط عملی نمایش می‌دهد.



شکل ۱۲- مراحل بکارگیری روش طراحی شده برای کشف و سپس شناسایی نوع تغییر در فرایند AR(1)

## ۶-۱. ملاحظات نهایی

در این قسمت به دو نکته پایانی اشاره می‌شود. اولاً در ادامه این مطالعه، عملکرد روش «نمودار ضریب خود همبستگی نمونه‌ای» که در مرور ادبیات موضوع از آن نام برده شد نیز با سیستم فازی مورد مقایسه قرار گرفت. روش کنترلی مذکور دقیقاً به همان صورتی که توسط آتینزا، تانگ و آنگ طراحی شده [۸]، برای کشف تغییر در پارامتر سوم (یعنی ضریب خودهمبستگی مدل) مورد استفاده قرار گرفت. از مقایسه عملکرد این نمودار با روش فازی این گونه نتیجه شد که قدرت کشف تغییر در اولین بیست مشاهده پس از تغییر، توسط سیستم فازی به میزان قابل توجهی بیش از نمودار مذکور می‌باشد. برای بررسی جزئیات این مقایسه می‌توان به مرجع آخر رجوع نمود [۱۱].



نکته دیگر درباره گزینش متغیرهای ورودی و تاثیر آن بر عملکرد سیستم فازی است. استفاده از شاخصهای آماری همچون CUSUM، یا آماره EWMA از جمله مواردی هستند که به نظر نویسنده می‌توان با بکارگیری آنها بعنوان متغیرهای ورودی، عملکرد سیستم فازی را نسبت به وضعیت فعلی ارتقاء داد. در بررسی کاملی که در مرجع پایانی به انجام رسیده، نشان داده شده که استفاده از شاخصهای آماری به جای مشاهدات خام جهت ورود به پایگاه قواعد فازی، ضمن بهبود عملکرد سیستم کنترلی، در کاهش حجم ساختمانی سیستم نیز بسیار تاثیرگذار بوده است. این امر در کاهش زمان پاسخگویی سیستم و بویژه در کاهش زمان مورد نیاز برای آموزش سیستم موثر می‌باشد.

## ۷. ضمیمه

در این تحقیق از تعدادی ویژگیهای آماری برای پنجره‌ای با اندازه بیست از مشاهدات متوالی فرایند استفاده نموده‌ایم. چنانچه بیست مشاهده از فرایند را که به ترتیب زمانی جمع‌آوری شده‌اند بصورت  $x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-19}$  نمایش بدهیم، نحوه محاسبه و روابط ریاضی مربوط به هر یک از این ویژگیها به شرح ذیل می‌باشد:

- میانگین:  $\bar{x}_t = \sum_{i=t-19}^t x_i / 20$

- میانه: چنانچه مقادیر مشاهدات فرایند را بر اساس مقدار مرتب نموده، و مقادیر مرتب شده را به ترتیب از کوچک به بزرگ بصورت  $y_1, y_2, \dots, y_{19}, y_{20}$  نشان دهیم میانه مشاهدات با استفاده از رابطه  $\tilde{x}_t = (y_{10} + y_{11}) / 2$  محاسبه می‌شود.

- واریانس:  $s_t^2 = \sum_{i=t-19}^t (x_i - \bar{x}_t)^2 / 19$ . اندیس  $t$  نشاندهنده زمان می‌باشد. از آنجا که آخرین مشاهده از فرایند با اندیس  $t$  نمایش داده شده است در این مورد هم از همین اندیس استفاده نموده‌ایم. بطور کلی از این اندیس برای نشان دادن ترتیب زمانی استفاده خواهد شد.

- ضریب خود همبستگی با تاخیر  $k$ :  $r_{k,t} = \left[ \sum_{i=t-19}^{t-k} (x_i - \bar{x}_t)(x_{i+k} - \bar{x}_t) \right] / \left[ \sum_{i=t-19}^t (x_i - \bar{x}_t)^2 \right]$

- دامنه:  $R_t = \max(x_{t-19}, \dots, x_t) - \min(x_{t-19}, \dots, x_t)$

## منابع و مراجع

[1] Montgomery, D.C., "Introduction to Statistical Quality Control", 4th edition, John Wiley & Sons, 2000.

[۲] سقائی، عباس، "توسعه نمودارهای کنترل با داده‌های خودهمبسته به کمک شبکه‌های عصبی و محیط فازی"، پایان نامه دکترا، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۲.

[3] Runger, G. & Willemain, T., "Model-Based and Model-Free control of autocorrelated processes", Journal of Quality Technology, vol.27, no.4, 1995, pp.283-292.

[4] Cook, D.F. & Chiu, C., "Using radial basis function neural networks to recognize shifts in correlated manufacturing process parameters", IIE Transactions, vol.30, 1998, pp.227-234.

[5] Chiu, C., Chen, M. & Lee, K., "Shift recognition in correlated process data using a neural network", International Journal of Systems Science, vol.32, no.2, 2001, pp.137-143.



[6] Noorossana, R., Farrokhi, M. & Saghaei, A., "Using neural networks to detect and classify out-of-control signals in autocorrelated processes", Quality and Reliability Engineering International, vol.19, Issue.6, 2003, pp.493-504.

[۷] فاطمی قمی، سید محمد تقی، "تجزیه و تحلیل سریهای زمانی"، ویرایش سوم، انتشارات ندا، ۱۳۷۹.

[8] Atienza, O.O., Tang, L.C. & Ang, B.W., "ARL properties of a sample autocorrelation chart", Computers and Industrial Engineering, vol.33, no.3-4, 1997, pp.733-736.

[9] Hassan, A, Baksh, M.S.N, Shahrour, A.M., Jamaluddin, H, "Improved SPC chart pattern recognition using statistical features", International Journal of Production Research, Vol.41, No.7, 2003, pp.1587-1603.

[10] Guh, R.S, Zorriassatine, F, Tannock, J.D.T, & O'Brien, C, "On-line control chart pattern detection and discrimination—a neural network approach", Artificial Intelligence in Engineering, vol.13, 1999, pp.413-425.

[۱۱] صمیمی، یاسر، "توسعه روشهای ابتکاری در کنترل فرایند آماری تک متغیره برای مشخصه‌های کیفی متغیر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.