



Identifying Change Point in a Bivariate Normal Process Mean Vector with Monotonic Changes

Karim Atashgar & Rassoul Noorossana*

Karim Atashgar: PhD student of Industrial Eng-Iran University of Science and Technology
Rassoul Noorossana: Professor of Industrial Eng-Iran University of Science and Technology

Keywords

Change point,
Artificial neural networks,
Control chart,
Average run length

ABSTRACT

When a control chart shows an out-of-control condition, a search begins to identify and eliminate the root cause(s) of the process disturbance. The time when the disturbance has manifested itself to the process is referred to as change point. Identification of the change point is considered as an essential step in analyzing and eliminating the disturbance source(s) effectively. When a process control is based on a quality characteristic vector, identification of the change point alone would not help practitioners to an effective elimination of the source(s) contributing to the out-of-control condition. This paper provides a control scheme based on artificial neural networks to identify the change point in a mean vector when the change type is monotonic and at the same time allows one to perform effective diagnostic analysis to identify the variable(s) responsible for the change in a bivariate process. To the best of our knowledge, this is the first time that an artificial neural networks scheme is presented to identify the change point and simultaneously perform diagnostic analysis in a multivariate environment when a monotonic change appears in the mean vector. Average run length criterion is used as a vehicle to investigate the performance of the proposed scheme numerically under different correlation structure. Simulation results indicate effective performance for the proposed scheme.

© (نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید) شماره ۱، جلد ۲۱، ۱۳۸۹

شناسایی نقطه تغییر در بردار میانگین فرآیند نرمال دو متغیره با تغییرات مونوتونیک

کریم آتشگر و رسول نورالسناء

چکیده:

زمانی که نمودار کنترل شرایط خارج از کنترل را نشان می‌دهد، جستجو برای شناسایی و حذف علت/علل انحراف آغاز می‌شود. شناسایی زمان ایجاد انحراف در فرآیند که از آن به عنوان "نقطه تغییر" نام برده می‌شود می‌تواند یک اقدام موثر در شناسایی و حذف اثربخش علت/علل ایجاد

کلمات کلیدی

نقطه تغییر، شبکه عصبی،
نمودار کنترل،
متوسط طول دنباله

تاریخ وصول: ۸۸/۶/۲۲

تاریخ تصویب: ۸۸/۱۲/۱۲

کریم آتشگر، دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، Atashgar@iust.ac.ir

دکتر رسول نوالسناء، استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، Rassoul@iust.ac.ir

انحراف در یک فرآیند محسوب شود. زمانی که از یک بردار مشخصه‌های کیفی جهت کنترل یک فرآیند استفاده می‌شود آنگاه شناسایی نقطه تغییر به تنها یک نمی‌تواند در شناسایی و حذف علت/علل ایجاد شرایط خارج از کنترل موثر واقع شود. عبارت دیگر، در فرآیند های کند متغیره لازم است علاوه بر شناسایی نقطه تغییر، متغیر(هایی) که موجب ایجاد حالت خارج از کنترل شده اند نیز شناسایی شوند تا بتوان به طور اثربخش اقدامات بهبود را انجام داد. در این مقاله برای اولین بار با استفاده از شبکه عصبی مدلی ارائه می‌شود که بدون آنکه نوع تغییرات بردار میانگین یک فرآیند دانسته انگاشته شود، با فرض آنکه تغییرات فوق وابسته به تغییرات مونوتونیک باشند و یا تغییرات بصورت نامنظم افزایشی/کاهشی در فرآیند ظاهرشوند، می‌تواند علاوه بر تشخیص متغیری که موجب خارج از کنترل شدن فرآیند شده است، نقطه تغییر را نیز برای یک فرآیند نرمال دو متغیره شناسایی نماید. مدل فوق برای ترکیبات مختلف تغییر در میانگین متغیرها با ضرایب همبستگی متعدد، با دو شاخص "نرخ خطأ" و "متوسط طول دنباله" مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بکارگیری روشهای جمع تجمعی^۱ و میانگین متحرک موزون نمایی^۲
در فرآیند های چند متغیره مورد توجه محققان قرار گیرد. محققانی مانند "وودال و ان کیوبی"^[۷] و "کروسیر"^[۸] [۸] بکارگیری روش جمع تجمعی را در فرآیند های چند متغیره ارائه دادند. محققانی دیگر نیز مانند "لوری" و "همکاران"^[۹] و "بن"^[۱۰] [۱۰] بکارگیری روش میانگین موزون نمایی را در فرآیند های چند متغیره پیشنهاد دادند. دو روش فوق بعنوان روشهایی که شناسایی نقطه تغییر را در ذات خود دارند، شناخته می‌شوند. بمنظور شناسایی دقیق تر نقطه تغییر در فرآیند های چند متغیره، "سولیوان" و "وودال"^[۱۱] [۱۱] روشی را برای شناسایی تغییر پله ای که در میانگین فرآیند و یا در ماتریس کوواریانس و یا در هر دو آنها پیدید می‌آید را ارائه کردند. مدل فوق یک نوع عمومیت بخشیدن به روش تست "اسریواستاوا" و "ورسلی"^[۱۲] [۱۲] بود. گزارش ارائه شده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در شناسایی تغییرات ماتریس کوواریانس بهتر از شناسایی تغییرات میانگین عمل می‌کند. بمنظور افزایش دقت در شناسایی نقطه تغییر فرآیندهای چندمتغیره، "ندوماران" و "همکاران"^[۱۳] [۱۳] یک تخمین زننده ماکزیمم درست نمایی^۳ ارائه دادند که می‌تواند نقطه تغییر پله ای^۴ را برای میانگین یک فرآیند چند متغیره با توزیع نرمال شناسایی نماید. آنها در مقاله خود توضیح می‌دهند هنگامی که نمودار کنترل^۲ χ^2 شرایط خارج از کنترل را هشدار می‌دهد، تخمین زننده پیشنهادی چگونه می‌تواند برای برآورد نقطه تغییر بکار گرفته شود.

تغییر تک پله ای که در مقالات فوق بعنوان یکی از مبانی عملکردی مدل در نظر گرفته شده است، فقط یکی از انواع تغییراتی است که می‌تواند در فرآیند ظاهر شود. نوع دیگری از تغییر که فرآیند می‌تواند با آن مواجه شود، تغییر خطی است، مانند زمانی که ابزار ماشین بتدریج سائیده می‌شود. نورالسناء و همکاران^[۱۴] [۱۴]

۱. مقدمه

نمودارهای کنترل، یکی از متدائل ترین ابزارهای پایش و ارزیابی عملکرد فرآیندهای تولیدی و خدماتی محسوب می‌شود. هنگامی که یک نمودار کنترل شرایط خارج از کنترل را در یک فرآیند نشان می‌دهد، کارشناسان کیفیت اقدامات لازم جهت شناسایی و حذف علت/علل خارج از کنترل را آغاز می‌کنند. اما شناسایی علت/علل تاثیر گذار در انحراف فرآیند هنگامی می‌تواند به صورت اثربخش انجام شود که زمان ایجاد تغییر به درستی شناسایی شود. زمانی که انحراف در فرآیند آغاز می‌شود را "نقطه تغییر" می‌نامند. در ادبیات موضوع ، شناسایی نقطه تغییر در فرآیندهای تک متغیره به عنوان مهمترین گام در تشخیص عوامل تاثیر گذار در انحراف فرآیند ذکر شده است. محققانی مانند ساموئل و همکاران^[۱] [۱]، پری و همکاران^[۲] [۲] و نورالسناء و همکاران^[۴] [۴] [۵] انواع نقطه تغییر (مانند تغییر پله ای، تغییر خطی و تغییرات مونوتونیک) را در یک فرآیند تک متغیره مورد توجه و بررسی قرار داده‌اند. حال اگر در فرآیندی چند مشخصه کیفی بطور همزمان پایش و کنترل شود، بطوریکه مشخصه های کیفی از یکدیگر مستقل نباشند، شناسایی علت/علل موثر در انحراف فرآیند فوق صرفاً با شناسایی نقطه تغییر امکان پذیر نیست. به عبارت دیگر، در یک فرآیند چند متغیره که در حالت خارج از کنترل بسر می‌برد، شناسایی و حذف علت/علل مؤثر بر ایجاد انحراف در فرآیند برای کارشناسان کیفیت هنگامی به شکلی اثربخش امکان پذیر است که علاوه بر شناسایی نقطه تغییر، متغیر(هایی) که باعث انحراف در فرآیند شده اند نیز شناسایی شوند.

روش پایش و کنترل فرآیندهایی که دارای چند مشخصه کیفی وابسته هستند، اولین بار توسط "هتلینگ"^[۶] [۶] ارائه شد. نمودار کنترل چند متغیره T^2 که توسط هتلینگ ارائه شد فقط برای شناسایی شرایط خارج از کنترل یک فرآیند چند متغیره قابل استفاده است و توانایی شناسایی نقطه تغییر را ندارد. این مهم باعث شد که

¹ Cumulative Sum (CUSUM)

² Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)

³ Maximum Likelihood Estimator (MLE)

⁴ Step change Point

شناسایی عامل تغییر و مقدار تغییر برای میانگین را در یک فرآیند دو متغیره دارد. او فرض کرده است که فرآیند فوق از توزیع نرمال پیروی می کند و نوع تغییر بردار میانگین تک پله ایی و ماتریس کوواریانس ثابت و با مقدار مشخص است.^۱ هوانگ [۲۵] نیز یک شبکه عصبی ارائه کرد که شرایط خارج از کنترل و متغیری را که موجب شرایط فوق شده است را در یک فرآیند دو متغیره نرمال و با تغییرات تک پله ای شناسایی می کند. او تمامی ترکیبات تغییراتی که برای متغیرها متصور است را گزارش نکرده است (مانند تغییرات کاهشی)، مضاف آنکه ضرایب همیستگی گزارش شده از جامعیت لازم بر خوددار نیست. در حوزه "درخت تصمیم" نیز "گاه" و "شیو"^۲ [۲۷] مدلی را ارائه کرده اند که در یک فرآیند چند متغیره می تواند عامل تاثیر گذار در انحراف فرآیند را شناسایی کند.

در این مقاله، برای اولین بار مدلی جامع مشتمل بر یک مجموعه شبکه عصبی، معرفی می شود که در یک فرآیند منطقی می تواند علاوه بر نقطه تغییر، عواملی را که موجب انحراف فرآیند شده اند را نیز شناسایی نماید. این مدل با فرض مونوتونیک بودن نوع تغییرات، اعم از غیرکاهشی^۳ یا غیرافزایشی^۴ و یا حتی ترکیب نامنظم خطی-پله ای و افزایشی-کاهشی تغییرات در هر یک از متغیرها، توانایی دارد انواع تغییرات بردار میانگین فرآیند دو متغیره را در شرایطی که از توزیع نرمال پیروی کند را تشخیص دهد.

در بخش بعدی این مقاله، مبانی تاثیرگذار در طراحی مدل پیشنهادی، که رابطه مستقیمی با عملکرد شبکه ها دارد، ارائه می شود. در بخش سوم، ساختار مدل مورد بررسی قرار می گیرد. بخش چهارم مقاله، فرآیند آموزش شبکه های طراحی شده را بحث می نماید، و سپس در بخش پنجم چگونگی انجام ارزیابی از عملکرد مدل و نتایج آن ارائه می شود. نتیجه گیری آخرین قسمت این گزارش تحقیقی را تشکیل می دهد.

۲. مبانی مدل پیشنهادی

فرض کنید $X_T, X_1, X_2, \dots, X_{\tau}, X_{\tau+1}, \dots$ یک سری مشاهدات مستقل برای فرآیندی باشد که دارایتابع توزیع شناخته شده $f_1(x, \Theta_1)$ است. اگر در زمان τ توزیع احتمال X_τ از $f_1(x, \Theta_1)$ به $f_2(x, \Theta_2)$ تغییر نماید، یکی از دو حالت زیر می تواند اتفاق افتد:

-I $f_1 \neq f_2$: در این حالت تابع توزیع قبل و بعد از زمان τ یکسان نیست ولی پارامترهای هر دو تابع شناخته شده هستند.

-II $f_1 = f_2$ و $\Theta_1 \neq \Theta_2$: در این حالت بعد از زمان τ تابع توزیع تغییر نمی کند، ولی پارامترهای توزیع تغییر می کند.

در هردو حالت فوق، τ عنوان نقطه تغییر فرآیند شناخته می شود. بعبارت دیگر، قبل از زمان τ فرآیند تحت کنترل می باشد ولی بعد

تخمین زننده ای را برای شناسایی نقطه تغییر خطی برای میانگین فرآیند چندمتغیره، با استفاده از روش درستنمایی بیشینه ارائه کردند. گزارش عملکرد تخمین زننده فوق حکایت از صحت و دقت بسیار مناسب آن برای کلیه اندازه های روند خطی دارد.

علاوه بر تغییر تک پله ای و تغییر خطی، فرآیند می تواند با انواع دیگری از تغییرات مونوتونیک نیز مواجه شود. مشاهده تغییرات در فرآیند بصورت چند پله ای^۱ و در عین حال نامنظم، نمونه ای دیگر از تغییرات مونوتونیک است. مثلاً تغییرات متناوب آمپر دستگاه جوش، می تواند به صورت چند پله ای، متناسب با نوع سیم جوش استفاده شده، بر میزان مقاوت جوش اثر گذارد.

در مقالاتی که بدان اشاره شد، فرض بر آنست که نوع تغییرات فرآیند دقیقاً مشخص است، حال آنکه در عرصه اجرا بندرت ممکن است نوع تغییرات از قبل مشخص باشد، و لذا لازم است با کاهش پیش فرض ها و به واقعیت نزدیک کردن آنها، مدلی طراحی و توسعه یابد که در اجرا قابلیت کاربرد بیشتری برای شناسایی نقطه تغییر در یک فرآیند چند متغیره داشته باشد. ازسوی دیگر شناسایی نقطه تغییر به تنها یکی برای تشخیص و حذف عواملی که موجب انحراف فرآیند چند متغیره شده اند، کفایت نمی کند. لذا برای انجام اقدامات اصلاحی در یک فرآیند چند متغیره که در آن انحرافی پدیدار گشته است، لازم است، تغییر یا متغیرهایی که موجب

انحراف فرآیند شده اند نیز شناسایی شود.

اهمیت موضوع فوق موجب شده که در سالهای اخیر تحقیق در رابطه با شناسایی متغیری که موجب انحراف فرآیند چند متغیره شده است، مورد توجه محققان قرار گیرد. محققانی مانند "چوا"^۵ و "مونتگومری"^۶ [۱۵]، "وید" و "وودال"^۷ [۱۶]، "هاوکینز"^۸ [۱۷]، "هایتر" و "توسی"^۹ [۱۸]، "ماسون" و همکاران^{۱۰} [۱۹]، "کورتی" و "مک گری گور"^{۱۱} [۲۰]، "نویتنینگ هام" و همکاران^{۱۲} [۲۱]، "مارولاکیس" و همکاران^{۱۳} [۲۲]، نیاکی و عباسی^{۱۴} [۲۳]، "گاه"^{۱۵} [۲۴] و "هوانگ"^{۱۶} [۲۵] تفسیر و تشخیص عامل انحراف در فرآیند چند متغیره را مورد توجه قرار داده اند. بررسی میس^{۱۷} و همکاران^{۱۸} [۲۶] با انجام یک مرور ادبیات جامع، تحقیقات مرتبط با تشخیص عامل تغییر در فرآیند چند متغیره را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی نتیجه گیری شده است، که هر چند روش تجزیه T^2 امید بخش ترین روش در میان روشهای موجود است، ولی انجام تحقیق در رابطه با شناسایی عامل تغییر در یک فرآیند چند متغیره یک نیاز در این حوزه می باشد. در بررسی فوق روشهای محاسباتی نرم^{۱۹} مانند شبکه های عصبی و درخت تصمیم مورد توجه قرار نگرفته است. در حالی که روشهای محاسباتی نرم یکی از روشهایی است که اخیراً محققان برای تشخیص عامل تغییر فرآیند های چند متغیره به آن روی آورده اند. "گاه"^{۲۰} [۲۴] در تحقیق خود یک شبکه عصبی را ارائه داد که توانایی

¹ Multi-Step change

² Soft Computing

اگر دریک شبکه عصبی اندازه پنجره کوچک باشد، ممکن است شبکه زودتر از زمان واقعی هشدار دهد و در نتیجه خطای آن بالا می‌رود و متوسط طول دنباله تحت کنترل کاهش می‌باشد. حال اگر اندازه پنجره افزایش یابد، قابلیت تمایز شبکه بالا می‌رود، ولی عکس العمل شبکه را کند و موجب افزایش مقدار متوسط طول دنباله خارج از کنترل می‌شود. در این تحقیق اندازه پنجره ۱۲ در نظر گرفته شده است. (برای مطالعه جزئیات بیشتر در رابطه با اندازه پنجره به مرجع "زوال ریاستین" [۲۸] مراجعه نمایید)

ج- منطقه بندی^۳: اگریک سری اعداد مجاور هم را بلوک بندی کرده و به هر بلوک یک مقدار مشخص (کد) برای شناسایی اعداد داخل آن بلوک تخصیص دهیم، به این عمل منطقه بندی می‌گویند. منطقه بندی موجب کاهش اختشاش^۴ در شبکه عصبی می‌شود. در این تحقیق فاصله بین دو عدد $\frac{۳}{۲۵}$ - $\frac{۳}{۲۵}$ تا $\frac{۳}{۲۵}$ - $\frac{۳}{۲۵}$ را که در آموزش شبکه عصبی پیشنهادی استفاده شده است، ابتدا به ۱۳ بلوک مساوی تقسیم کرده و سپس بر اساس الگوریتم زیر منطقه بندی انجام شده است:

$$\begin{array}{ll} X_t > 3.25 & Z_t = +7 \\ -3.25 + 0.5(k-1) \leq X_t \leq -3.25 + 0.5k & Z_t = -7+k \quad ; k=1,2,\dots,13 \\ X_t < -3.25 & Z_t = -7 \end{array} \quad (۲)$$

در این الگوریتم، t زمان نمونه گیری، X_t مقدار متغیر در زمان t ، Z_t مقدار کد شده برای X_t ، k شماره بلوک برای منطقه بندی است.

۳. ساختار مدل پیشنهادی

ساختار، تعداد شبکه‌های عصبی مورد نیاز و نقشی را که هریک از آنها در فرآیند مدل ایفا می‌نماید را مشخص می‌کند. عبارت دیگر ساختار بر عملکرد مدل تاثیر مستقیم دارد. ساختار مدل پیشنهادی بر اساس شکل ۱ دارای سه مژول اصلی می‌باشد. شبکه ۱ در مژول اصلی ۱ بعد از آموزش قادر است در صورتی که در میانگین یک فرآیند دو متغیره تغییری حادث شود، به گونه‌ایی که فرآیند در شرایط خارج از کنترل قرار گیرد، آنرا هشدار دهد. این شبکه با هشدار خود مشخص می‌کند که هر دو مشخصه کیفی موجب انحراف فرآیند شده است یا یکی از مشخصه‌ها شرایط فوق را پذیدآورده است. در مدل پیشنهادی، مژول اصلی ۲ مشتمل بر دو شبکه عصبی^۳ و^۴ وظیفه تشخیص متغیری که موجب انحراف بردار میانگین فرآیند شده است را بهمراه تعیین جهت تغییر، برuehده دارد. به گونه‌ایی که، اگر براساس خروجی مژول اصلی ۱ هر دو متغیر عامل انحراف میانگین باشند، شبکه ۲ جهت مثبت یا منفی

از زمان ۷ فرآیند از کنترل خارج شده و این شرایط تا زمان T که شرایط خارج از کنترل شناسایی می‌شود، بر رفتار فرآیند حاکم می‌باشد.

حال اگر فرض شود که تعداد P مشخصه کیفی تاثیر گذار برهم در فرآیند وجود دارد که باید کنترل شوند، آنگاه:

$$\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p) \quad \text{یک بردار تصادفی } P \times 1 \text{ می‌باشد}$$

که \mathbf{Z} این عنصر بیانگر \mathbf{Z} این مشخصه کیفی است. در اینجا فرض برآنست که \mathbf{X} از یک توزیع نرمال P متغیره پیروی می‌کند و دارای بردار میانگین $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)$ و ماتریس کوواریانس Σ می‌باشد. در اینصورت $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n$ نمونه تابی تصادفی از بردارهای مشخصه‌های کیفی است. از آنجاییکه پیش فرض این تحقیق انجام تجزیه و تحلیل تغییر بردار میانگین در فاز دو می‌باشد، لذا برای زمانی که بردار میانگین دارای مقدار مشخص μ_0 و اندازه نمونه n باشد، آماره χ^2 برای پایش تحت کنترل بودن فرآیند از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\chi^2 = n (\bar{\mathbf{X}} - \boldsymbol{\mu}_0)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\bar{\mathbf{X}} - \boldsymbol{\mu}_0) \quad (1)$$

در این تحقیق برای سهولت کار، فرآیندی را با دو مشخصه کیفی که دارای توزیع نرمال دو متغیره است را درنظر می‌گیریم، بطوریکه (μ_0, Σ_0) . در این فرآیند با فرض آنکه $\boldsymbol{\mu}_0$ در فاز یک بدست آمده است، شبکه عصبی پیشنهادی، با فرض ثابت بودن Σ_0 ، برای شناسایی نقطه تغییر در بردار میانگین طراحی شده است. دیگر مبانی و فرضیات در نظر گرفته شده در این تحقیق عبارتست از:

الف- مژولاریتی^۱: در رویکرد مژولاریتی، ورودیها و خروجی‌های هر شبکه را بهتر می‌توان مدیریت نمود و نتایج حاصل از عملکرد هر شبکه قابل ردیابی می‌باشد. حال اگر در طراحی مدل مورد نظر در این تحقیق فقط از یک شبکه استفاده شود، شبکه بزرگ و پیچیده می‌شود. در این تحقیق سه مژول اصلی برای عملکرد بهینه مدل در نظر گرفته شده است.

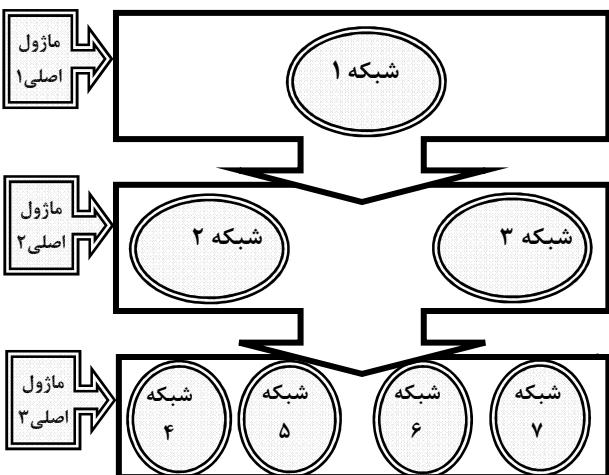
ب- اندازه پنجره^۲: تعداد مشاهداتی که برای ارزیابی عملکرد یک فرآیند استفاده می‌شود، اندازه پنجره نامیده می‌شود. اندازه پنجره یک مؤلفه مهم در روند شناسایی یک الگو می‌باشد. اندازه پنجره برمبنای دو عامل زیر تعیین می‌شود:

- I- قابلیت تشخیص الگو، یا زمانی که برای شناسایی الگو در نظر گرفته می‌شود.
- II - قابلیت تمایز قائل شدن، تا شبکه بتواند الگوی درست را تشخیص دهد.

^۳: Zoning
^۴: Noise

^۱: Modularity
^۲: Window size

کمینه دو نقطه تغییر شناسایی شده بعنوان نقطه تغییر فرآیند فرض می شود.



شکل ۱. ساختار مدل پیشنهادی

تغییر میانگین هریک از مشخصه های کیفی فرآیند را شناسایی می کند. ولی اگر بر اساس خروجی مازول اصلی ۱، فقط یکی از مشخصه های کیفی موجب خارج از کنترل شدن فرآیند شده باشد، شبکه ۳ عامل انحراف را تشخیص و جهت مثبت یا منفی بودن تغییر را نیز معین می کند.

در این مدل، مازول اصلی ۳ با چهار شبکه عصبی بعد از مشخص شدن خروجی مازول اصلی ۲ می تواند نقطه تغییر را شناسایی کند. بطوریکه اگر عامل انحراف، متغیر اول با جهت تغییر مثبت باشد، شبکه ۴ فعال می شود ولی اگر جهت تغییر منفی باشد شبکه ۵ فعال می شود. از طرف دیگر، اگر عامل انحراف میانگین فرآیند، متغیر دوم با جهت تغییر مثبت باشد شبکه ۶ و اگر با جهت تغییر منفی باشد شبکه ۷ فعال می شود. در صورتیکه هر دو متغیر موجب شرایط خارج از کنترل بودن فرآیند باشند، متناسب با جهت مثبت و منفی هر یک از متغیرها دو تا از چهار شبکه مازول اصلی ۳ فعال و

جدول ۱. مشخصات شبکه های عصبی

نام شبکه	تعداد نرون لایه خروجی	تعداد نرون لایه پنهان	تعداد لایه پنهان	تابع انتقال لایه پنهان	تابع انتقال لایه خروجی	الگوریتم آموزشی	روش عمومیت دادن ^۱
۱	۲	۱۴	۲	نائزانت اس شکل ^۲	ل杰ستیک اس شکل ^۳	لونبرگ-مارکوارت ^۴	توقف اولیه ^۵
۲	۴	۳۰	۲	نائزانت اس شکل	ل杰ستیک اس شکل	بونبرگ-مارکوارت	توقف اولیه
۳	۴	۳۰	۲	نائزانت اس شکل	ل杰ستیک اس شکل	لونبرگ-مارکوارت	توقف اولیه
۴	۱	۲۹	۳	نائزانت اس شکل	ل杰ستیک اس شکل	بونبرگ-مارکوارت	توقف اولیه
۵	۱	۲۹	۳	نائزانت اس شکل	ل杰ستیک اس شکل	بونبرگ-مارکوارت	توقف اولیه
۶	۱	۲۹	۳	نائزانت اس شکل	ل杰ستیک اس شکل	بونبرگ-مارکوارت	توقف اولیه
۷	۱	۲۹	۳	نائزانت اس شکل	ل杰ستیک اس شکل	بونبرگ-مارکوارت	توقف اولیه

غیرخطی ایجاد شده است. هر چند که طولانی بودن زمان یادگیری از نقاط ضعف این الگوریتم می باشد، اما این الگوریتم بعنوان عمومی ترین و متداول ترین الگوریتم در آموزش با ناظر^{۱۳} در شبکه های عصبی پرسپترون چندلازه ظاهر شده است.

مقالات مرتبط با تشخیص الگوی نمودارهای کنترل نیز دلالت بر موفقیت بکارگیری این الگوریتم در طرحهای تحقیقاتی فوق دارد، بطوریکه شبکه پس انتشار^{۱۴} در بیشتر مقالات مرتبط با کنترل فرآیند آماری^{۱۵} استفاده شده است.

یکی از مسائل مهم در طراحی شبکه عصبی انتخاب نوع شبکه می باشد. شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه^۶، توابع رادیال پایه^۷، بردار یادگیری کوانتیزه^۸، شبکه هاپفیلد^۹ و شبکه های مازولار^{۱۰} نمونه ای از شبکه های ساخته شده می باشند.

شبکه پیشخور چند لایه^{۱۱} یکی از متداول ترین شبکه ها در طراحی شبکه های عصبی می باشد. این شبکه با استفاده از الگوریتم پس انتشار^{۱۲} برای حل مسائل پیچیده بکار گرفته شده است. الگوریتم پس انتشار برای استفاده در شبکه های چند لایه و توابع انتقال

¹ Generalization Feature

² Hyperbolic tangent sigmoid (tan-Sigmoid)

³ Logistic sigmoid (Log-Sigmoid)

⁴ Levenberg -Marquardt (trainlm)

⁵ Early Stopping

⁶ Multilayer Perceptron (MLP)

⁷ Radial Basis Function (RBF)

⁸ Learning Vector Quantization (LVQ)

⁹ Hopfield Network

¹⁰ Modular Network

¹¹ Multilayer Feed-Forward Network

¹² Back Propagation Algorithm

¹³ Supervised Training

¹⁴ Back Propagation Network (BPN)

¹⁵ Statistical Process Control (SPC)

جدول ۵. طبقه بندی خروجی شبکه ۴ و ۵

$x_{i,1}$	خروجی
P/N	۱
NC	.

$P = \text{تغییر مثبت} = \text{تغییر منفی} = NC$ بدون تغییر

جدول ۶. طبقه بندی خروجی شبکه ۶ و ۷

$x_{i,2}$	خروجی
P/N	۱
NC	.

$P = \text{تغییر مثبت} = \text{تغییر منفی} = NC$ بدون تغییر

جدول ۷. طول متوسط دنباله و حد آستانه شبکه ها

نام شبکه	حد آستانه	متوسط طول دنباله
۱۹۷/۲۴۹۱	.۹۵۶۳۰۰	۱
۱۹۸/۲۰۲۱	.۹۹۹۶۵۳	۲
۱۹۸/۸۱۰۴	.۹۹۵۳۵۰	۳
۲۰۰/۲۵۵۸	.۹۸۳۳۰۰	۴
۱۹۸/۹۰۰۰	.۹۸۵۳۰۰	۵
۱۹۹/۵۵۳۴	.۹۸۰۸۰۰	۶
۲۰۱/۱۹۹۵	.۹۸۰۳۰۰	۷

۴. آموزش شبکه ها

در این تحقیق از روش شبیه سازی مونت کارلو برای تولید داده های آموزشی و داده های تست، استفاده شده است. فرمول (۳) که توسط "گاه" [۲۴] بکار گرفته شده، برای تولید داده های مورد نیاز استفاده می شود:

$$X_t = \mu + n_t + k\sigma \quad (3)$$

در اینجا t زمان نمونه گیری و X_t بردار تصادفی مستقل و مربوط به دو مشخصه کیفی است که در زمان t حاصل می شود. زمانی که فرآیند تحت کنترل می باشد X_t از $N(\mu, \Sigma)$ پیروی می کند. در فرمول ۳ مقدار n_t تغییرات ذاتی فرآیند می باشد که از $N(0, \Sigma)$ پیروی می نماید. بردار k بصورت (k_1, k_2) تعریف می شود و مقدار تغییر را در میانگین فرآیند نشان می دهد. بنابر این، در زمانی که بردار فوق صفر باشد بیانگر آنست که فرآیند تحت کنترل است. قبل از آنکه داده ها وارد شبکه شود اقدامات زیر در رابطه با داده ها انجام می پذیرد:

الف- استانداردسازی: بدین ترتیب دادها بصورت نرمال استاندارد، با میانگین صفر و واریانس یک، تبدیل می شوند. برای این منظور از فرمول زیر استفاده شده است:

بسیاری از محققان مانند "زوالریاستین" [۲۸] "هوانگ" [۲۹] و "گاه" [۲۴] در رابطه با رفتار اثربخش شبکه پس انتشار برای آشکار نمودن انحراف فرآیند بحث کرده اند. در این مقاله نیز شبکه پس انتشار برای طراحی شبکه های عصبی مورد نیاز استفاده شده است. بطوری که لایه ورودی هر کدام از شبکه ها دارای ۲۴ نرون است که از ۱۲ نمونه متوالی مجموعه داده های مربوط به دو مشخصه کیفی بدت می آید ($x_{i,1}, x_{i,2}$).

مشخصات شبکه های فوق در جدول شماره یک ارائه شده است. جداول ۲ الی ۶ نیز نحوه طبقه بندی نرون لایه خروجی هریک از شبکه ها را بوضوح نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، خروجی شبکه ها بین [۰, ۱] تنظیم شده است. تشخیص نوع طبقه بندی خروجی شبکه، با استفاده از "حد آستانه"^۱ انجام می پذیرد. هرسینگنالی که توسط شبکه صادر شود و مقدار آن بزرگتر یا مساوی حد آستانه باشد، عدد یک فرض می شود و هرسینگنالی که کمتر از مقدار حد آستانه باشد عدد صفر در نظر گرفته می شود. عدد حد آستانه در این تحقیق براساس مقدار ۲۰۰ برای متوسط طول دنباله تحت کنترل و ۱۰۰۰۰ بار تکرار بدت آمده است. جدول شماره ۷ مقدار حد آستانه و متوسط طول دنباله واقعی هریک از شبکه ها را نشان می دهد.

جدول ۱. طبقه بندی خروجی شبکه ۱

$x_{i,2}$	$x_{i,1}$	نرون خروجی
S	S	۱
S/N	N/S	.
N	N	.

$= \text{تغییر مثبت} = N$ بدون تغییر

جدول ۲. طبقه بندی خروجی شبکه ۲

$x_{i,2}$	$x_{i,1}$	نرون خروجی
P	P	۱
P	N	۲
N	P	.
N	N	.
NC	NC	.

$= \text{تغییر مثبت} = N$ بدون تغییر

جدول ۴. طبقه بندی خروجی شبکه ۴

$x_{i,2}$	$x_{i,1}$	نرون خروجی
P	NC	۱
NC	P	۲
NC	N	.
N	NC	.
NC	NC	.

$= \text{تغییر مثبت} = N$ بدون تغییر

¹ Threshold or Cut-off

- ب- اگر مقدار تغییر بین $0/25 \pm 0/75$ تا باشد، تغییراز پنجمین مشاهده ۱۲ تایی فرآیند آغاز می شود.
- ج- اگر مقدار تغییر بین $1/5 \pm 1/15$ تا باشد، تغییر از هفتمین مشاهدات فرآیند اعمال می شود.
- د- اگر مقدار تغییر بین $1/75 \pm 2/25$ تا باشد، نهمین مشاهده آغاز تغییر می باشد.
- ه- اگر مقدار تغییر بین $2/5 \pm 3/25$ تا باشد، تغییر از یازدهمین مشاهده اعمال می شود.
- بدین ترتیب بر اساس خروجی های جداول ۲ الی ۴ و با رعایت پنج دسته مقطع تغییر مشخص شده فوق، امکان یادگیری با ناظر، به تناسب برای هر یک از شبکه های ۱ الی ۳ فراهم می شود.
- برای آموزش شبکه ۱ تمام ۷۲۹ ترکیب تغییرات بر اساس گروه بندی ذکر شده در جدول شماره ۸ قابل استفاده می باشد. بدین ترتیب ۴۷۴۳۶ ترکیب مختلف تغییرات شبیه سازی شده برای آموزش شبکه ۱ استفاده شده است. برای آموزش شبکه ۲ تعداد ۶۷۷ ترکیب از ۷۲۹ ترکیب قابل استفاده می باشد. جزیيات گروه بندی و تعداد تکرار آنها در جدول شماره ۹ ارائه شده است. آموزش شبکه ۳ با ۵۳ ترکیب تغییرات امکان پذیر است. جدول شماره ۱۰ جزئیات لازم را ارائه می دهد. برای شبکه های ۴ الی ۷ تعداد $(13^2 + 13^3 + 13^4)$ ترکیب از ۳۵۲ ترکیب برای آموزش آنها، به تناسب هریک، قابل استفاده می باشد. بمنظور اثر بخش نمودن آموزش، ترکیب تغییرات ثابت و منفی بصورت جدول شماره ۱۱ دسته بندی می شود. بر اساس گروه بندی انجام شده، جداول ۱۲ الی ۱۵ تعداد تکرار آموزشی را برای هر یک از شبکه های ۴ الی ۷ نشان می دهد. برای فراهم شدن آموزش با ناظر برای شبکه های ۴ الی ۷ لازم است نقطه تغییر برای داده های آموزشی مشخص شود. براساس آنچه که در قسمت پنجم مقاله ارائه می شود، زمانیکه پنجره حرکت می کند، داده ها از سمت راست وارد پنجره می شوند و بنابر این هر نوع تغییری در فرآیند باید در مقطعی که برابر اندازه پنجره است، یعنی ۱۲، آشکار شود. منطق فوق در تعریف پاسخ مطلوب برای داده های آموزشی بکار گرفته شده است. در طراحی وکلیه تجزیه و تحلیل های مدل پیشنهادی از نرم افزار " MATLAB " استفاده شده است.

جدول ۸. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۱

جمع	تعداد تکرار آموزش	تعداد ترکیبات	ردیف
۱۰۸۱۶	۱۶	۶۷۶	$(k_1 > 0) \wedge (k_2 > 0) /$
۳۵۶۲۰	۶۸۵	۵۲	$(k_1 = 0) \vee (k_2 = 0)$
۱۰۰	۱۰۰	۱	$(k_1 = 0) \wedge (k_2 = 0)$
۴۷۴۳۶		۷۲۹	جمع

^۴ MATLAB

$$X_{sp} = \sigma_p^{-1}(X_{i,p} - \mu_p) \quad (4)$$

بطوریکه بردار X_s که شامل p عنصر می باشد از $N(\theta, R)$ و M ماتریس شامل عناصر $X_{i,p}$ از $N(\mu, \Sigma)$ پیروی می کند و R ماتریس همبستگی است که بصورت زیر می باشد:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

در اینجا ρ ضریب همبستگی بین متغیرهای کیفی است که در هنگام آموزش صفر فرض می شود ولی بهنگام ارزیابی مدل اعداد بین [۰/۹ و ۰/۰] با فاصله ۰/۱ به آن اختصاص می یابد.

ب- منطقه بندی
ج- بهم ریختن ترتیب اعداد: این عمل برای بهبود اثربخشی شبکه انجام می شود.

د- مقیاس سازی^۱: با این عمل ورودی ها در یک محدوده مشخص قرار می گیرند. اگرچه استانداردسازی نیز موجب می شود ورودیها در یک محدوده مشخص قرار گیرند ولی با استفاده از روش حداقل-حداکثر^۲، علاوه بر استفاده از فرمول ۴، کارایی آموزش بالاتر رفته است. در این تحقیق به استثنای شبکه ۳، بقیه شبکه ها بین فاصله [۰/۰ و ۰/۸]^۳- مقیاس سازی شده اند.

در این تحقیق، داده های تولید شده برای آموزش شبکه از توزیع نرمال دو متغیره، که در حالت تحت کنترل دارای واریانس ۰/۰ می باشد، پیروی می نماید. داده های بردار میانگین $\mu = (0, 0)$ می باشد، مدل توپایی می یابد الگوریتم یادگیری با آموزشی با استفاده از فرمول شماره ۳ برای آنچه که در ناظر، شبیه سازی می شوند. به گونه ایی که پس از مراحلی که در ادامه تشریح می شود، مدل توپایی می یابد عامل انحراف، نقطه تغییر وجهت تغییر را برای تغییرات خطی، تک پله ایی، چند پله ایی، ترکیب خطی و پله ایی، ترکیب چند پله ایی افزایشی- کاهشی، و یا هر نوع ترکیب قابل تصور خطی و پله ایی دیگر برای متغیرها را شناسایی نماید.

در مرحله آموزش، برای تولید داده ها مقدار تغییر در بردار میانگین بین ۰/۲۵- ۳/۲۵ تا ۳/۲۵ با فاصله های ۰/۲۵ درنظر گرفته می شود. بدین ترتیب ۷۲۹ ترکیب برای متغیرها قابل پیش بینی می باشد که به تناسب برای آموزش شبکه ها قابل استفاده است. داده های آموزشی بصورت ۱۲ مشاهده (به تعداد اندازه پنجره) دو متغیره برای آموزش شبکه ها تولید می شوند. برای شکل گیری یادگیری با ناظر برای داده های ۱۲ تایی تغییراتی بصورت زیر در ماتریس مشاهدات اعمال می شود:

الف- برای حالتی که تغییر در میانگین وجود ندارد، تغییر در بینهایت فرض می شود.

¹ Permutation

² Scaling

³ Min-Max

جدول ۱۵. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۷

ردیف	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	تعداد تکرار آموزش	جمع
۱	$k_2 < -1.5$	۱۸۹	۳۲۰	۶۰۴۸۰
۲	$k_2 \geq -1.5$	۱۶۲	۴۲۰	۶۸۰۴۰
۳	$k_1 = 0 \wedge k_2 = 0$	۱	۳۰۰۰	۳۰۰۰
	جمع	۳۵۲		۱۵۸۵۲۰

۵. ارزیابی عملکرد مدل

برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی از رویکرد پنجره متحرک^۱ استفاده شده است. محققان مانند، "هوانگ"^[۲۵] [۲۹] [۳۱] ، "چنگ"^[۳۲] [۳۳] و "گاه"^[۲۴] برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی خود از رویکرد پنجره متحرک استفاده کرده اند. حرکت پنجره متحرک از زمانی که فرآیند تحت کنترل می باشد، آغاز می شود. بنابراین، در ابتدا برداری از مشاهدات وجود دارد که هیچگونه انحرافی را در فرآیند نشان نمی دهد. سپس یک تغییر ماندگار در مشاهداتی که برای فرآیند تولید می شود، اعمال می شود. بنابراین، با حرکت پنجره بسمت جلو، مشاهداتی که بیانگر انحراف در فرآیند می باشند از سمت راست وارد پنجره می شوند.

در این تحقیق، تغییر ماندگار در داده های تولید شده فرآیند، از مقطع زمانی ۱۰۱ اعمال شده است. بدین ترتیب که، ابتدا ۱۰۰ سری داده با توزیع نرمال دو متغیره برای یک فرآیند تحت کنترل با بردار میانگین $\mu = [0,0]^T$ و ماتریس کوواریانس $\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$ در شرایط $(0,0,1,0,2,\dots,0.8,0.9)$ تولید می شود. از آنجایی که داده ها برای شرایطی تولید می شود که فرآیند تحت کنترل است، لذا هر بردار تولید شده که آماره χ^2 آن از UCL تجاوز نماید، حذف و بجای آن داده جدید تولید می شود.

برای ارزیابی عملکرد شبکه ۱ (ماژول اصلی) از ۱۲۰ نوع ترکیب نشان داده شده در جدول شماره ۱۶ استفاده شده است. هر یک از این ترکیبات برای تولید ۱۰۰۰۰ سری مشاهده در شرایط خارج از کنترل، بکارگرفته شده است.

جدول شماره ۱۶ نتایج عملکرد را در حالتیکه نوع تغییرات فرآیند خطی و $\rho = 0$ می باشد را نشان می دهد. در این جدول منظور از "ترخ خطا" آنست که، شبکه پس از شناسایی شرایط خارج از کنترل در تشخیص اینکه دو متغیر عامل انحراف فرآیند هستند یا یکی از متغیرها، چه میزان خطا دارند.

سناریوی ذکر شده برای دیگر مازول های اصلی به تناسب نوع ترکیبات تغییرخطی که نیاز دارند، در مشاهدات اعمال شده و نتایج در جداول شماره ۱۷ و ۱۸ ارائه شده است. متوسط نتایج حاصل از دیگر ضرایب همبستگی برای تغییرات خطی برای هریک از شبکه ها

جدول ۹. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۲

ردیف	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	تعداد تکرار آموزش	جمع
۱	$(k_1 > 0) \wedge (k_2 > 0)$	۶۷۶	۱۰۰	۶۷۶۰۰
۲	$(k_1 = 0) \wedge (k_2 = 0)$	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰
جمع		۶۷۷		۶۹۶۰۰

جدول ۱۰. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۳

ردیف	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	تعداد تکرار آموزش	جمع
۱	$(k_1 = 0) \vee (k_2 = 0)$	۵۲	۱۰۰	۵۲۰۰
۲	$(k_1 = 0) \wedge (k_2 = 0)$	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰
جمع		۷۲۹		۷۲۰۰

جدول ۱۱. گروه بندی تغییرات شبکه های ۴-۷

ردیف	جهت تغییر	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	جمع
۱	تغییرات مثبت میانگین	$k_i > 1.5$		
۲	تغییرات منفی میانگین	$k_i \leq 1.5$		
۳	تحت کنترل	$k_i < -1.5$		
		$k_i \geq -1.5$		
		$k_i = 0$		

جدول ۱۲. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۴

ردیف	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	تعداد تکرار آموزش	جمع
۱	$k_1 > 1.5$	۱۸۹	۳۲۰	۶۰۴۸۰
۲	$k_1 \leq 1.5$	۱۶۲	۴۴۰	۷۱۲۸۰
۳	$k_1 = 0 \wedge k_2 = 0$	۱	۳۰۰۰	۳۰۰۰
جمع		۳۵۲		۱۶۱۷۶۰

جدول ۱۳. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۵

ردیف	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	تعداد تکرار آموزش	جمع
۱	$k_1 < -1.5$	۱۸۹	۳۲۰	۶۰۴۸۰
۲	$k_1 \geq -1.5$	۱۶۲	۴۰۰	۶۴۸۰۰
۳	$k_1 = 0 \wedge k_2 = 0$	۱	۳۰۰۰	۳۰۰۰
جمع		۳۵۲		۱۵۵۲۸۰

جدول ۱۴. ترکیب تغییرات در بردار میانگین و تعداد تکرار در شبکه ۶

ردیف	گروه ترکیب تغییرات	تعداد ترکیبات	تعداد تکرار آموزش	جمع
۱	$k_2 < 1.5$	۱۸۹	۳۲۰	۶۰۴۸۰
۲	$k_2 \leq 1.5$	۱۶۲	۴۰۰	۶۴۸۰۰
۳	$k_1 = 0 \wedge k_2 = 0$	۱	۳۰۰۰	۳۰۰۰
جمع		۳۵۲		۱۵۵۲۸۰

^۱ Moving Window

۲۱ در فرآیند اعمال می شود، در مقاطع زمانی بعدی به ترتیب $0/25$ ، $0/75$ ، $0/05$ و $1/25$ به تغییرات پله ایی فوق، به تناسب جهت افزایشی یا کاهشی آنها، اضافه و یا کم می شود.

در شکلهای ۲ الی ۹ نشان داده شده است. در شکلهای ۲ الی ۹ متوسط نتایج برای تغییرات تک پله ایی و تغییرات چند پله ایی نیز ارائه شده است. برای گزارش تغییرات چند پله ایی فرض شده است که بعد از اولین مقطع زمانی که ترکیب زمانی که ترکیب تغییرات جداول ۱۶ الی

جدول ۱۶. گزارش عملکرد مازول اصلی ۱ در تغییرات خطی

ترکیب تغییرات	-3,-3	-3,-2.5	-3,-2	-3,-1.5	-3,-1	-3,0	-3,1	-3,1.5	-3,2	-3,2.5	-3,3	-2.5,-3	-2.5,-2.5	-2.5,-2
ARL	2.4778	2.5695	2.6848	2.8719	3.2751	10.0073	3.3440	2.7948	2.4864	2.3206	2.2399	2.6277	2.6966	2.7877
نرخ خطأ	0.0297	0.0222	0.0227	0.0179	0.0147	0.0723	0.0106	0.0124	0.0117	0.0150	0.0144	0.0305	0.0263	0.0233
ترکیب تغییرات	-2.5,-1.5	-2.5,-1	-2.5,0	-2.5,1	-2.5,1.5	-2.5,2	-2.5,2.5	-2.5,3	-2,-3	-2,-2.5	-2,-2	-2,-1.5	-2,-1	-2,0
ARL	2.9331	3.3306	10.1126	3.3800	2.8412	2.5748	2.4128	2.3428	2.8304	2.8722	2.9203	3.0445	3.412	10.3105
نرخ خطأ	0.0182	0.0170	0.0726	0.0100	0.0127	0.0142	0.0180	0.0169	0.0350	0.0322	0.0268	0.0173	0.0154	0.0690
ترکیب تغییرات	-2,1	-2,1.5	-2,2	-2,2.5	-2,3	-1.5,-3	-1.5,-2.5	-1.5,-2	-1.5,-1.5	-1.5,-1	-1.5,0	-1.5,1	-1.5,1.5	-1.5,2
ARL	3.4224	2.9141	2.7156	2.6007	2.5234	3.2075	3.2073	3.2196	3.2989	3.5876	10.5792	3.5015	3.0751	2.9597
نرخ خطأ	0.0110	0.0178	0.0167	0.0192	0.0248	0.0434	0.0382	0.0329	0.0242	0.0197	0.0758	0.0144	0.0182	0.0204
ترکیب تغییرات	-1.5,2.5	-1.5,3	-1,3	-1,-2.5	-1,-2	-1,-1.5	-1,-1	-1,0	-1,1	-1,1.5	-1,2	-1,2.5	-1,3	0,3
ARL	2.8926	2.8461	3.8862	3.8859	3.9041	3.9368	4.0521	11.1576	3.8233	3.5396	3.4708	3.4534	3.4540	5.4891
نرخ خطأ	0.0219	0.0299	0.0681	0.0587	0.0481	0.0356	0.0262	0.0648	0.0202	0.0277	0.0343	0.0385	0.0461	0.0072
ترکیب تغییرات	0,-2.5	0,-2	0,-1.5	0,-1	0,1	0,1.5	0,2	0,2.5	0,3	1,-3	1,-2.5	1,-2	1,-1.5	1,-1
ARL	5.6406	5.8959	6.1547	6.673	11.0771	10.7145	10.6772	10.4085	10.2565	4.2015	4.1239	4.0547	3.9451	3.9873
نرخ خطأ	0.0091	0.0076	0.0073	0.0076	0.0176	0.0194	0.0188	0.0199	0.0169	0.0745	0.0651	0.04880	0.0388	0.0222
ترکیب تغییرات	1,0	1,1	1,1.5	1,2	1,2.5	1,3	1.5,-3	1.5,-2.5	1.5,-2	1.5,-1.5	1.5,-1	1.5,0	1.5,1	1.5,1.5
ARL	10.2013	3.7725	3.4706	3.3918	3.3404	3.3379	3.0613	3.1047	3.0846	3.1689	3.5327	9.7174	3.4691	3.0288
نرخ خطأ	0.0210	0.0187	0.0268	0.0351	0.0489	0.0544	0.0448	0.0373	0.0294	0.0216	0.0144	0.0232	0.0109	0.0135
ترکیب تغییرات	1.5,2	1.5,2.5	1.5,3	2,-3	2,-2.5	2,-2	2,-1.5	2,-1	2,0	2,1	2,1.5	2,2	2,2.5	2,3
ARL	2.8755	2.7780	2.7370	2.6095	2.673	2.7565	2.9362	3.4428	9.3561	3.3947	2.8662	2.6655	2.5414	2.4494
نرخ خطأ	0.0176	0.0244	0.0253	0.0334	0.0246	0.0202	0.0146	0.0123	0.0274	0.0089	0.0107	0.0123	0.0138	0.0163
ترکیب تغییرات	2.5,-3	2.5,-2.5	2.5,-2	2.5,-1.5	2.5,-1	2.5,0	2.5,1	2.5,1.5	2.5,2	2.5,2.5	2.5,3	3,-3	3,-2.5	3,-2
ARL	2.3855	2.4671	2.5829	2.8152	3.4045	9.2939	3.3697	2.793	2.5274	2.3658	2.2705	2.2643	2.3498	2.4952
نرخ خطأ	0.0276	0.0213	0.0178	0.0138	0.0119	0.0279	0.0067	0.0090	0.0096	0.0117	0.0145	0.0193	0.0168	0.0133
ترکیب تغییرات	3,-1.5	3,-1	3,0	3,1	3,1.5	3,2	3,2.5	3,3						
ARL	2.7742	3.4303	9.1766	3.3554	2.7400	2.4492	2.2733	2.1857						
نرخ خطأ	0.0128	0.0109	0.0250	0.0072	0.0068	0.0073	0.0097	0.0114						

جدول ۱۷. گزارش عملکرد مازول اصلی ۲ در تغییرات خطی

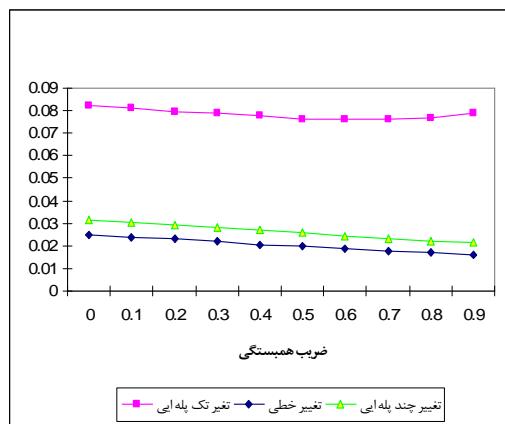
ترکیب تغییرات	-3,-3	-3,-2.5	-3,-2	-3,-1.5	-3,-1	-3,0	-3,1	-3,1.5	-3,2	-3,2.5	-3,3	-2.5,-3	-2.5,-2.5	-2.5,-2
نرخ خطأ	0.0039	0.0043	0.0040	0.0044	0.006	0.0054	0.0076	0.0066	0.0052	0.0068	0.0057	0.0049	0.0043	0.0049
ترکیب تغییرات	-2.5,-1.5	-2.5,-1	-2.5,0	-2.5,1	-2.5,1.5	-2.5,2	-2.5,2.5	-2.5,3	-2,-3	-2,-2.5	-2,-2	-2,-1.5	-2,-1	-2,0
نرخ خطأ	0.0037	0.0059	0.0060	0.0068	0.0074	0.0058	0.0070	0.0065	0.0050	0.0051	0.0053	0.0056	0.0050	0.0057
ترکیب تغییرات	-2,1	-2,1.5	-2,2	-2,2.5	-2,3	-1.5,-3	-1.5,-2.5	-1.5,-2	-1.5,-1.5	-1.5,-1	-1.5,0	-1.5,1	-1.5,1.5	-1.5,2
نرخ خطأ	0.0055	0.0064	0.0074	0.0082	0.0082	0.0070	0.0077	0.0068	0.0071	0.0046	0.0097	0.0089	0.0087	0.0099
ترکیب تغییرات	-1.5,2.5	-1.5,3	-1,3	-1,-2.5	-1,-2	-1,-1.5	-1,-1	-1,0	-1,1	-1,1.5	-1,2	-1,2.5	-1,3	0,3
نرخ خطأ	0.0091	0.0140	0.0150	0.0116	0.0108	0.0088	0.0074	0.0091	0.0087	0.0101	0.0144	0.0153	0.0157	0.0072
ترکیب تغییرات	0,-2.5	0,-2	0,-1.5	0,-1	0,1	0,1.5	0,2	0,2.5	0,3	1,-3	1,-2.5	1,-2	1,-1.5	1,-1
نرخ خطأ	0.0072	0.009	0.0077	0.0085	0.0121	0.0095	0.0069	0.0062	0.0054	0.0240	0.0194	0.0185	0.0138	0.0104
ترکیب تغییرات	1,0	1,1	1,1.5	1,2	1,2.5	1,3	1.5,-3	1.5,-2.5	1.5,-2	1.5,-1.5	1.5,-1	1.5,0	1.5,1	1.5,1.5
نرخ خطأ	0.0091	0.0103	0.0110	0.0147	0.0192	0.0231	0.0158	0.0118	0.0115	0.0085	0.0074	0.0063	0.0094	0.0078
ترکیب تغییرات	1.5,2	1.5,2.5	1.5,3	2,-3	2,-2.5	2,-2	2,-1.5	2,-1	2,0	2,1	2,1.5	2,2	2,2.5	2,3
نرخ خطأ	0.0090	0.0093	0.0090	0.0116	0.0115	0.0090	0.0066	0.0057	0.0064	0.0124	0.0075	0.0077	0.0072	0.0081
ترکیب تغییرات	2.5,-3	2.5,-2.5	2.5,-2	2.5,-1.5	2.5,-1	2.5,0	2.5,1	2.5,1.5	2.5,2	2.5,2.5	2.5,3	3,-3	3,-2.5	3,-2
نرخ خطأ	0.0090	0.0100	0.0071	0.0060	0.0058	0.0052	0.0134	0.0075	0.0074	0.0054	0.0068	0.0074	0.0073	0.0063
ترکیب تغییرات	3,-1.5	3,-1	3,0	3,1	3,1.5	3,2	3,2.5	3,3						
نرخ خطأ	0.0063	0.0054	0.0057	0.0152	0.0091	0.0070	0.0066	0.0042						

جدول ۱۸. گزارش عملکرد مازول اصلی ۳ برای شناسایی نقطه تغییر در تغییرات خطی

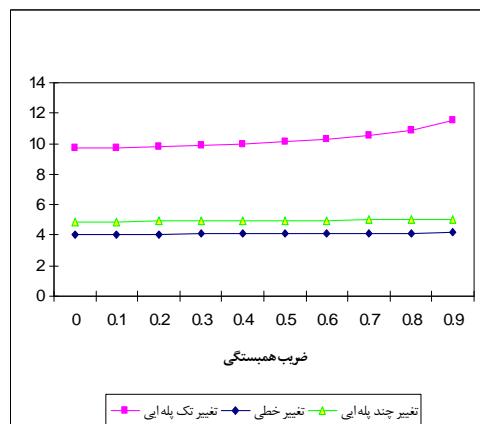
ترکیب تغییرات	-3,-3	-3,-2.5	-3,-2	-3,-1.5	-3,-1	-3,0	-3,1	-3,1.5	-3,2	-3,2.5	-3,3	-2.5,-3	-2.5,-2.5	-2.5,-2	
متوسط نقطه تغییر	100.0878	100.1501	100.2316	100.3156	100.3945	100.4712	100.4162	100.3443	100.2713	100.1876	100.0969	100.1705	100.2598	100.3592	
خطای استاندارد	0.0029	0.0037	0.0043	0.0047	0.0050	0.0053	0.0050	0.0048	0.0045	0.0039	0.0030	0.0038	0.0044	0.0048	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.8977	0.8419	0.7627	0.6790	0.6062	0.5248	0.5886	0.6510	0.7171	0.8076	0.8961	0.8123	0.7257	0.6254	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9999	0.9999	0.9999	0.9996	0.9973	0.9871	0.9989	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9998	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$					0.9999	0.9996	0.9999								
ترکیب تغییرات	-2.5,-1.5	-2.5,-1	-2.5,0	-2.5,1	-2.5,1.5	-2.5,2	-2.5,2.5	-2.5,3	-2,-3	-2,-2.5	-2,-2	-2,-1.5	-2,-1	-2,0	
متوسط نقطه تغییر	100.4702	100.5651	100.6701	100.5816	100.5057	100.405	100.2608	100.1519	100.2334	100.3854	100.5118	100.6451	100.7552	100.9134	
خطای استاندارد	0.0050	0.0051	0.0054	0.0050	0.0050	0.0049	0.0044	0.0037	0.0024	0.0039	0.0051	0.0051	0.0053	0.0059	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.5369	0.4470	0.3513	0.4108	0.4727	0.5905	0.7302	0.8389	0.7592	0.6089	0.4714	0.3798	0.2950	0.2104	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9983	0.9925	0.9664	0.9932	0.9985	0.9997	0.9999	0.9999	0.9999	0.9984	0.9848	0.9566	0.8751		
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$	0.9999	0.9999	0.9985	0.9999	0.9999					0.9999	0.9999	0.9999	0.9957		
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 3)$					0.9999								0.9998		
ترکیب تغییرات	-2,1	-2,1,5	-2,2	-2,2,5	-2,3	-1,5,-3	-1,5,-2,5	-1,5,-2	-1,5,-1	-1,5,-1,5	-1,5,-1	-1,5,0	-1,5,1	-1,5,1,5	-1,5,2
متوسط نقطه تغییر	100.786	100.6809	100.5205	100.3634	100.229	100.2921	100.4623	100.6486	100.8302	101.1623	101.3449	101.054	100.8212	100.6253	
خطای استاندارد	0.0051	0.0050	0.0051	0.0048	0.0042	0.0029	0.0046	0.0067	0.0055	0.0175	0.0072	0.0061	0.0054	0.0051	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.2478	0.3303	0.4738	0.6285	0.7630	0.7003	0.5324	0.3544	0.2276	0.1158	0.1012	0.1451	0.2482	0.3808	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9529	0.9824	0.9977	0.9999	0.9999	0.9993	0.9898	0.9219	0.7209	0.5836	0.8010	0.9250	0.9873		
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$	0.9999	0.9999						0.9999	0.9934	0.9614	0.9989	0.9999	0.9999	0.9999	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 3)$								0.9999	0.9991	0.9999					
ترکیب تغییرات	-1,5,2,5	-1,5,3	-1,-3	-1,-2,5	-1,-2	-1,-1,5	-1,-1	-1,0	-1,1	-1,1,5	-1,2	-1,2,5	-1,3	0,-3	
متوسط نقطه تغییر	100.4499	100.3067	100.3663	100.5321	100.7284	101.0303	101.427	102.1134	101.4188	101.0427	100.7504	100.5499	100.3694	100.4081	
خطای استاندارد	0.0050	0.0046	0.0037	0.0054	0.0079	0.0141	0.0072	0.0094	0.0072	0.0061	0.0053	0.0051	0.0049	0.0042	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.5431	0.6871	0.6295	0.4639	0.2972	0.1531	0.0813	0.0466	0.0903	0.1597	0.2886	0.4520	0.6263	0.5853	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9990	0.9996	0.9994	0.9970	0.9680	0.8121	0.5230	0.2404	0.5261	0.7921	0.9548	0.9923	0.9985	0.9978	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$					0.9999	0.9999	0.9993	0.9557	0.6532	0.9590	0.9991	0.9999		0.9999	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 3)$						0.9999	0.9473	0.9999							
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 4)$							0.9982								
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 5)$							0.9999								
ترکیب تغییرات	0,-2,5	0,-2	0,-1,5	0,-1	0,1	0,1,5	0,2	0,2,5	0,3	1,-3	1,-2,5	1,-2	1,-1,5	1,-1	
متوسط نقطه تغییر	100.5988	100.8286	101.2263	101.9533	102.0742	101.3094	100.8868	100.6333	100.4316	100.3696	100.5554	100.7525	101.0407	101.4246	
خطای استاندارد	0.0062	0.0099	0.0196	0.0463	0.0093	0.0070	0.0058	0.0052	0.0051	0.0037	0.0057	0.0084	0.0145	0.0071	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.4003	0.2415	0.1204	0.0506	0.0459	0.1088	0.2201	0.3783	0.5658	0.6250	0.4422	0.2833	0.1513	0.0811	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9914	0.9221	0.6596	0.2887	0.2487	0.5959	0.8846	0.9812	0.9955	0.9990	0.9956	0.9564	0.8014	0.5277	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$	0.9999	0.9999	0.9873	0.7289	0.6673	0.9788	0.9997	0.9999		0.9999	0.9999	0.9999	0.9982	0.9590	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 3)$				0.9999	0.9727	0.9573	0.9999						0.9999	0.9999	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 4)$					0.9996	0.9992									
ترکیب تغییرات	1,0	1,1	1,1,5	1,2	1,2,5	1,3	1,5,-3	1,5,-2,5	1,5,-2	1,5,-1,5	1,5,-1	1,5,0	1,5,1	1,5,1,5	
متوسط نقطه تغییر	102.0015	101.4971	101.0731	100.7582	100.5637	100.3789	100.3155	100.4824	100.6647	100.8454	101.0274	101.273	101.0533	100.8862	
خطای استاندارد	0.0090	0.0075	0.0062	0.0052	0.0051	0.0049	0.0032	0.0049	0.0070	0.0053	0.0059	0.0068	0.0059	0.0053	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.0461	0.0769	0.1464	0.2787	0.4353	0.6113	0.6778	0.5118	0.3429	0.2248	0.1566	0.1061	0.1439	0.1973	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.2717	0.4900	0.7750	0.9567	0.9950	0.9994	0.9997	0.9986	0.9840	0.9242	0.8113	0.6312	0.7989	0.9115	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$	0.7095	0.9311	0.9985	0.9999				0.9999	0.9999	0.9999	0.9989	0.9833	0.9985	0.9999	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 3)$	0.9674	0.9991								0.9999	0.9999				
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 4)$	0.9992														
ترکیب تغییرات	1,5,2	1,5,2,5	1,5,3	2,-3	2,-2,5	2,-2	2,-1,5	2,-1	2,0	2,1	2,1,5	2,2	2,2,5	2,3	
متوسط نقطه تغییر	100.6715	100.4934	100.3259	100.2572	100.4066	100.534	100.6367	100.7425	100.8704	100.7612	100.6578	100.5615	100.4082	100.2539	
خطای استاندارد	0.0051	0.0050	0.0047	0.0026	0.0041	0.0050	0.0051	0.0052	0.0055	0.0051	0.0050	0.0050	0.0049	0.0044	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.3395	0.5007	0.6661	0.7360	0.5871	0.4621	0.3671	0.2895	0.2187	0.2708	0.3497	0.4385	0.5861	0.7397	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9822	0.9989	0.9999	0.9999	0.9997	0.9981	0.9872	0.9616	0.9056	0.9624	0.9863	0.9956	0.9999	0.9999	
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$	0.9999				0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999			
ترکیب تغییرات	2,5,-3	2,5,-2,5	2,5,-2	2,5,-1,5	2,5,-1	2,5,0	2,5,1	2,5,1,5	2,5,2	2,5,2,5	2,5,3	3,-3	3,-2,5	3,-2	
متوسط نقطه تغییر	100.184	100.2738	100.3677	100.4619	100.5476	100.6301	100.5679	100.4965	100.3996	100.3038	100.1933	100.1039	100.1537	100.2235	
خطای استاندارد	0.0039	0.0045	0.0048	0.0050	0.0051	0.0050	0.0050	0.0049	0.0046	0.0039	0.0031	0.0036	0.0042		

ادامه جدول ۱.۸. گزارش عملکرد مازول اصلی ۳ برای شناسایی نقطه تغییر در تغییرات خطی

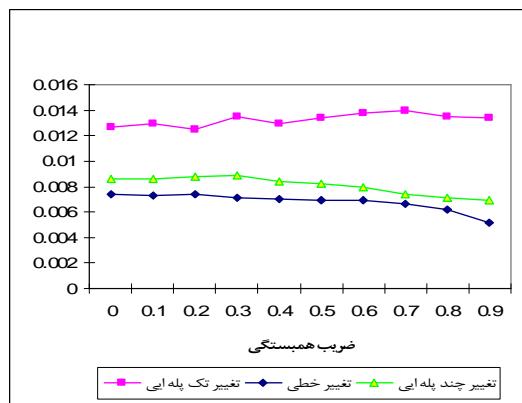
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.8084	0.7211	0.6257	0.5320	0.4516	0.3756	0.4293	0.4991	0.5930	0.6908	0.8033	0.8905	0.8407	0.7699
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9999	0.9999	0.9999	0.9991	0.9960	0.9899	0.9970	0.9990	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$						0.9999	0.9999	0.9999						
ترکیب تغییرات	3,-1.5	3,-1	3,0	3,1	3,1.5	3,2	3,2.5	3,3						
متوسط نقطه تغییر	100.3007	100.3658	100.4314	100.3846	100.3361	100.2632	100.177	100.1161						
خطای استاندارد	0.0046	0.0048	0.0050	0.0049	0.0047	0.0044	0.0038	0.0032						
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau)$	0.6923	0.6282	0.5639	0.6093	0.6579	0.7304	0.8176	0.8781						
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 1)$	0.9998	0.9994	0.9989	0.9997	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999						
$\hat{p}(\hat{\tau} = \tau \leq 2)$						0.9999								



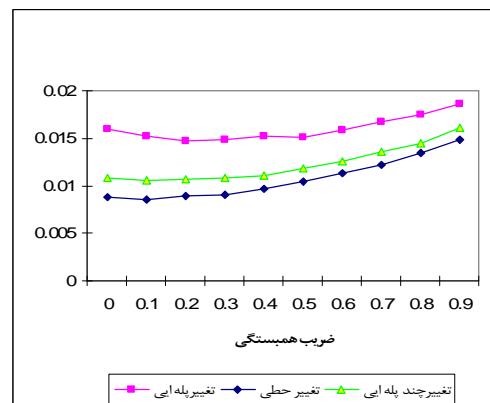
شکل ۳. نرخ خطادر شبکه ۱ برای انواع تغییرات



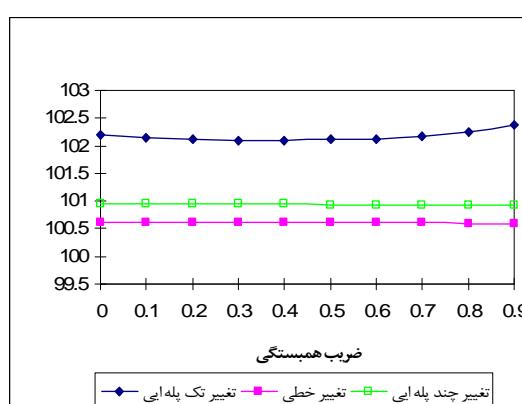
شکل ۲. متوسط طول دنباله شبکه ۱ برای انواع تغییرات



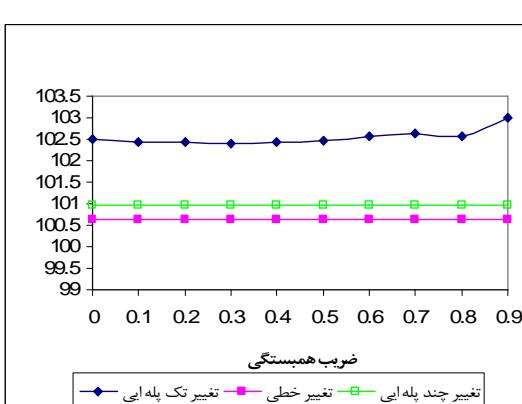
شکل ۵. نرخ خطای در شبکه ۳ برای انواع تغییرات



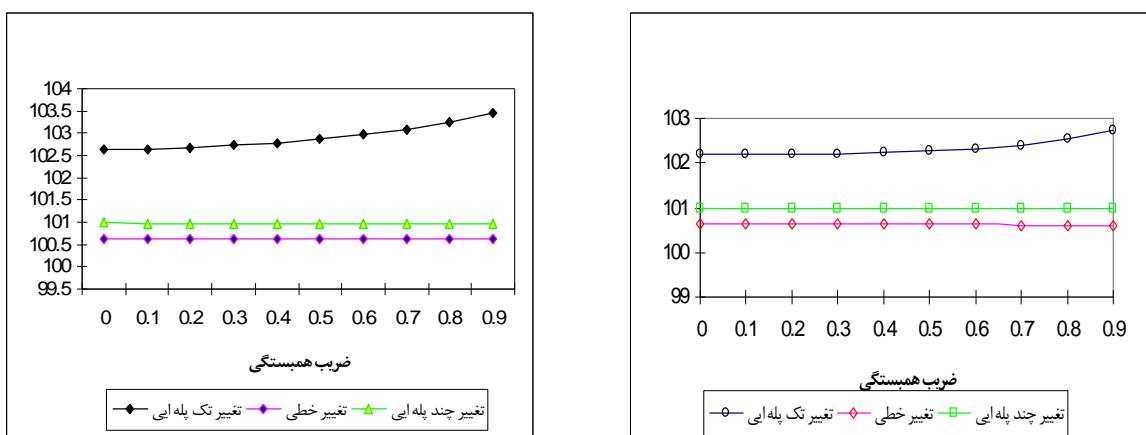
شکل ۴. نرخ خطای در شبکه ۲ برای انواع تغییرات



شکل ۷. شناسایی نقطه تغییر توسعه شبکه ۵ برای انواع تغییرات



شکل ۶. شناسایی نقطه تغییر توسعه شبکه ۴ برای انواع تغییرات



شکل ۸. شناسایی نقطه تغییر توسط شبکه ۷ برای انواع تغییرات
شکل ۹. شناسایی نقطه تغییر توسط شبکه ۶ برای انواع تغییرات

مرتبط با فرآیندهای چند متغیره نرمال و غیرنرمال را الزام‌آور می‌کند.

منابع

- [۱] نورالسناء، رسول، ارباب زاده، نسیم، سقایی کامران پی نبر، عباس. "توسعه روش‌های شناسایی نقطه تغییر در محیط چندمتغیره، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع- ایران- تهران- ۱۳۸۷.
- [۲] Samuel, T.R., Pignatiello, J.J.JR., Calvin, J.A., "Identifying the Time of a Step Change with X Bar Control Charts", Quality Engineering, Vol. 10, No 3, March. 1998, pp. 521-527.
- [۳] Perry M.B., Pignatiello JJ. JR., "Estimation of the Change Point of a Normal Process Mean with a Linear Trend Disturbance", Quality Technology and Quantitative Management, Vol. 3, No. 3, Sep. 2006, pp. 325-334.
- [۴] Perry, M.B., Pignatiello, JJ.JR., Simpson, J.R., "Estimation of the Change Point of the Process Fraction Nonconforming with a Monotonic Change Disturbance in SPC", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 23, No. 3, Apr. 2007, pp. 327-339.
- [۵] Noorossana, R., Shademan, A., "Estimating the Change Point of a Normal Process Mean with a Monotonic Change", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 25, No. 1, Feb. 2009, pp. 79-90.
- [۶] Noorossana, R., Saghaei, A., Paynabar, K., Abdi, S., "Identifying the Period of a Step Change in High-Yield Processes", Quality and Reliability Engineering International, Published on line in Wiley InterScience, DOI: 10.1002/qre.1007, : Mar. 2009.
- [۷] Hotelling, H., "Multivariate quality control-Illustrated by the air testing of sample bombsights", Techniques of Statistical Analysis, Eisenhart, C., Hastay, M.W., Wallis, W.A. (Eds). McGraw-Hill: New York, 1947, pp. 111-184.
- [۸] Woodall, W.H., Ncube, M.M., "Multivariate CUSUM Quality Control Procedures", Technometrics, Vol. 27, No. 3, Aug. 1985, pp. 285-292.

گزارشات فوق بیانگر پایداری^۱ عملکردی شبکه‌ها بهنگام تغییر ضریب همبستگی متغیرها است. مضافاً آنکه، با افزایش میزان تغییرات در بردار میانگین فرآیند، عملکرد مناسب تری را از مدل پیشنهادی شاهد خواهیم بود.

۶. نتیجه گیری

هنگامیکه فرآیندی با چند مشخصه کیفی تاثیرگذار بر یکدیگر، توسط نمودارهای کنترل پایش می‌شود، آشکار شدن شرایط خارج از کنترل فرآیند زمانی می‌تواند راهگشای فعالیتهای بهبود برای مهندسین کیفیت شود که علاوه بر شناسایی نقطه تغییر، عامل انحراف فرآیند نیز تشخیص داده شود. در این مقاله بر مبنای الگوریتم یادگیری با ناظر، یک مجموعه شبکه عصبی ارائه گردید که توانایی شناسایی نقطه تغییر، تشخیص عامل انحراف فرآیند و تشخیص جهت تغییر را برای تغییرات خطی، تک پله‌ای، چند پله‌ای، ترکیب خطی و پله‌ایی، ترکیب چند پله‌ایی افزایشی-کاهشی، و یا هر نوع ترکیب قابل تصور خطی و پله‌ایی دیگر برای متغیرها را دارا می‌باشد. عملکرد مدل پیشنهادی که برای فرآیندی با توزیع نرمال دو متغیره طراحی شده است، برای برخی از ترکیبات تغییرات مونوتونیک و نیز تغییرات افزایشی-کاهشی بردار میانگین ارزیابی گردید. متوسط طول دنباله و نرخ خطای محاسبه شده برای انواع ترکیب تغییرات، بیانگر عملکرد با ثبات در مدل پیشنهادی می‌باشد. نتایج حاصل شده بیانگر قابلیت و توانایی بالاتر این مدل نسبت به مدل‌های موجود در عرصه فعالیتهای واقعی می‌باشد. هرچند که فرآیندهای چند متغیره بدیل تاثیر متقابل متغیرهای کیفی بریکدیگر موجب پیچیده و سخت شدن تحقیقات مرتبط با تهیه طرح‌های برآورد نقطه تغییر و شناسایی عامل تغییر می‌شود، ولی نیاز موجود در عرصه فعالیتهای تولیدی و خدماتی، توسعه تحقیقات

^۱ Robust

- [23] Niaki, S.T.A., Abbasi, B., "Fault Diagnosis in Multivariate Control Charts using Artificial Neural Network", Quality and reliability Engineering International, Vol. 21, No. 8, Dec. 2005, pp. 825-840.
- [24] Guh, R.S., "On-line Identification and Quantification of Mean Shifts in Bivariate Processes using a Neural Network-based Approach", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 23, No. 3, Apr. 2007, pp.367-385.
- [25] Hwarng, H.B., "Toward Identifying the Source of Mean Shifts in Multivariate SPC: a Neural Network Approach", International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 20, Oct. 2008, pp. 5531-5559.
- [26] Bersimis, S., Psarakis, S., Panaretos, J., "Multivariate Statistical Process Control Chart: An Overview", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 23, No. 5, Aug. 2007, pp. 517-543.
- [27] Guh, R.S., Shiue, Y.R., "An Effective Application of Decision Tree Learning for on-line Detection of Mean Shifts in Multivariate Control Charts", Computer and Industrial Engineering, Vol. 55, No. 2, Sep. 2008, pp. 475-493.
- [28] Zorriassatine, F., Tannock, J.D.T., "A Review of Neural Networks for Statistical Process Control", Journal of intelligent manufacturing, Vol. 9, No. 3, May 1998, pp. 209-224.
- [29] Hwarng, H.B., "Detecting Process Mean Shift in the Presence of Autocorrelation: a Neural Network Based Monitoring Scheme", International Journal of Production Research, Vol. 42, No. 3, Feb. 2004, pp. 573-595.
- [30] Hwarng, H.B., "Simultaneous Identification of Mean Shift and Correlation Change in AR(1) Processes", International Journal of Production Research, Vol. 43, No. 9, May 2005, pp. 1761-1783.
- [31] Hwang, H.B., Hubelle, N.F., "Back-Propagation pattern Recognizers for \bar{X} Control Charts: Methodology and Performance", Computers industrial Engineering, Vol. 24, No. 2, Apr. 1993, pp. 219-235.
- [32] Cheng, S.C., "A Multi-Layer Neural Network Model for Detecting Changes in the Process Mean", Computers industrial Engineering, Vol. 28, No. 1, Jan. 1995, pp. 51-61.
- [33] Cheng, C.S., "A Neural Network Approach for the Analysis of Control Chart Patterns", International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 3, Mar. 1997, pp. 667-697
- [9] Crosier, R.B., "Multivariate Generalization of Cumulative Sum Quality Control Schemes", Technometrics, Vol. 30, No. 3, Aug. 1988, pp. 291-302.
- [10] Lowry, C.A., Woodall, W.H., Champ, C.W., Rigdon, S.E., "A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart", Technometrics, Vol. 34, No. 1, Feb. 1992, pp.46-53.
- [11] Pan, X., "An Alternative Approach to Multivariate EWMW Control Chart", Journal of applied statistics, Vol.32, No. 7, Sep. 2005, pp. 695-705.
- [12] Sullivan, J.H., Woodall, W.H., "Change-Point Detection of Mean Vector or Covariance Matrix Shifts Using Multivariate Individual Observation", IIE transactions, Vol. 32, No. 6, Jun. 2000, pp.537-549.
- [13] Srivastava, M.S., Worsley, K.J., "Likelihood Ratio Tests for a Change in the Multivariate Normal mean", Journal of the American Statistical Association, Vol. 81, No. 393, Mar. 1986, pp. 199-204.
- [14] Nedumaran, G., Pignatiello, J.J., Calvin, J.A., "Identifying the Time of a Step-Change with χ^2 Control Charts", Quality Engineering, Vol. 13, No. 2, Dec. 2000, pp. 153-159.
- [15] Chua, M.K., Montgomery, D.C., "Investigation and Characterization of a Control Scheme for Multivariate Quality Control", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 8, No. 1, Jan 1992, pp. 37-44.
- [16] Wade, M.R., Woodall, W.H., "A Review and Analysis of Cause-Selecting Control Charts", Journal of Quality Technology, Vol. 25, No. 3, July 1993, pp. 161-170.
- [17]. Hawkins, D.M., "Regression Adjustment for Variables in Multivariate Quality Control", Journal of Quality Technology, Vol. 25, No. 3, July 1993, pp. 170-182.
- [18] Hayter, A.J., Tsui, K.L., "Identification and Quantification in Multivariate Quality Control Problems", Journal of Quality Technology, Vol. 26, No. 3, July 1994, pp.197-208.
- [19] Mason, R.L., Tracy, N.D., Young, J.C., "Decomposition of T^2 for Multivariate Control Chart Interpretation", Journal of Quality Technology, Vol. 27, No. 2, Apr. 1995, pp. 109-119.
- [20] Kourtzi, T., MacGregor, J.F., "Multivariate SPC Methods for Process and Product Monitoring", Journal of Quality Technology, Vol. 28, No. 4,Oct. 1996, pp. 409-428.
- [21] Nottingham, Q.J., Cook, D.F., Zobel, C.W., "Visualization of Multivariate Data with Radial Plots using SAS", Computers and Industrial Engineering, Vol. 41, No. 1, Oct. 2001, pp.17-35.
- [22] Maravelakis, P.E., Bersimis, S., Panaretos, J., Psarakis, S., "Identifying the out of Control Variable in a Multivariate Control Chart", Communications in Statistics—Theory and Methods, Vol. 31, No. 12, Dec. 2002, pp. 2391-2408.