University of Qom
Engineering Management and Soft Computing
JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

Designing an intelligent dynamic model of preventive maintenance and repairs in the textile and clothing industry in interaction with production using fuzzy-artificial neural network

(A case study of Borujerd textile factories)

Mehrdad Javadi [1], **Shahram Fatemi** [2], **Amir Azizi** [3] and **Esmaeil Najafi** [4]

1. Corresponding author, Professor, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran , Iran. Email: afshin.rahmati88@yahoo.com
2. PHD student, Islamic Azad University Science and Research Branch. Email: fatemi.shahram@yahoo.com
3. Associate Prof. Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran Email: azizi@srbiau.ac.ir
4. Assistance Prof. Department of Industrial Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: najafi1515@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2023 June 27
Received in revised form 2023 September 22
Accepted 2023 October 29
Published online 2024 March 15

Keywords:
artificial neural networks - fuzzy logic,
simulation,
system dynamics,
preventive maintenance and repairs.

ABSTRACT

One of the cases and factors that cause a lot of challenges for industries today, especially in the field of sales, repair costs, and non-acceptance of orders, can be considered the failure of production equipment and devices and, as a result, the general failure of production lines. This issue makes it necessary to research a comprehensive strategy to solve this problem. Since the process for each organization is specific to that organization, it should be done by the managers and researchers of that group. Conducting this research, "Designing a dynamic model of intelligent preventive maintenance and repairs using the methodology of Artificial Nervous System - Fuzzy Logic (ANFIS) in the Matlab programming environment, in interaction with production," based on the documentation of the textile and clothing industries based on a sample of 2000 data and reports. Textile and clothing industries during the years 1398 to 1400 and Borujerd textile factories have been prepared as the place of implementation of the project on a semi-annual basis.Simulating with the help of Vensim and then using the artificial intelligence environment of MATLAB software, it can be claimed that if; "Technology factor in the net" should be good (the upper limit of the excellent membership function), that is, precisely 0.9129; and the situation of "employees in the net" is good (the upper limit of the excellent membership function), that is, exactly 0.9239; And the status of the "work environment factor in the net" is relatively good (the lower limit of the excellent membership function), that is, precisely 0.8859; And the condition of "quality factor in the net" is completely good (the highest membership function), that is, exactly 0.9999; and the status of "strategy factor in the net" is good (the upper limit of the membership function is reasonable), that is, precisely 0.9350; Then, the status of the output variable of the research i.e. "preventive maintenance and repair performance (Y)" is at its fifth level, i.e. very good (MF5=V.H) and is equal to 0.882 (88% optimality of the objective function based on maintenance and repairs (It is preventive in Borujerd textile factories).

Cite this article: Javadi, M., Fatemi, Sh. Azizi, A. & Najafi E. (2023). Designing an intelligent dynamic model of preventive maintenance and repairs in the textile and clothing industry in interaction with production using fuzzy-artificial neural network. *Enginiiring Management and Soft Computing, 9 (2)*. 63-90. **DOI**: https://doi.org/

© The Author(s)
DOI: https://doi.org/
Publisher: University of Qom

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۵-۲۵۳۸

مدیریت مهندسی و رایانش نرم

دانشگاه قم

طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک در تعامل با تولید با بهره‌برداری از شبکه عصبی مصنوعی–فازی

(مطالعه موردی کارخانجات نساجی بروجرد)

جوادی مهرداد[۱]✉، فاطمی شهرام[۲]، عزیزی امیر[۳] و نجفی، اسماعیل[۴]

۱. نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگا آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران. رایانامه: afshin.rahmati88@yahoo.com

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب. رایانامه: fatemi.shahram@yahoo.com

۳. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم تحقیقات تهران. رایانامه: azizi@srbiau.ac.ir

۴. استادیار، گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ایران. رایانامه: azizi@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

کلیدواژه‌ها:
پویایی سیستم،
شبکه‌های عصبی مصنوعی–منطق فازی،
شبیه‌سازی،
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه.

چکیده

امروزه یکی از فاکتورهایی که برای صنایع باعث ایجاد چالش‌های فراوانی به‌خصوص در زمینه فروش، هزینه‌های تعمیرات، عدم قبول سفارشات می‌گردد را می‌توان خرابی تجهیزات و دستگاه‌های تولید و به تبع آن ازکارافتادگی کلی خطوط تولیدی دانست. لذا لزوم تحقیق بر روی یک استراتژی جامع جهت برطرف نمودن این معضل ضروری است. انجام پژوهش "طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با بهره‌برداری از متدولوژی سیستم عصبی مصنوعی - منطق فازی (ANFIS) در محیط برنامه‌نویسی Matlab، در تعامل با تولید" براساس مستندات و یک نمونه ۲۰۰۰ تایی از داده‌ها و گزارش‌های صنایع نساجی و پوشاک کارخانجات نساجی بروجرد به‌عنوان محل اجرای طرح طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰، به‌صورت نیم‌سال صورت گرفته‌است. با شبیه‌سازی به کمک ونسیم و استفاده از محیط هوش مصنوعی نرم‌افزار متلب می‌توان ادعا نمود که اگر (If)؛ وضعیت "عامل فناوری در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰.۹۱۲۹ و وضعیت "عامل کارکنان در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰.۹۲۳۹ و وضعیت "عامل محیط کار در نت" نسبتاً خوب (کران پایین تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰.۸۸۵۹ و وضعیت "عامل کیفیت در نت" کاملاً خوب (بالاترین تابع عضویت) باشد یعنی دقیقاً ۰.۹۹۹۹ و وضعیت "عامل استراتژی در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰.۹۳۵۰ باشد آنگاه (Then) وضعیت متغیر خروجی تحقیق یعنی "عملکرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (Y)" در پنجمین سطح خود یعنی خیلی خوب (MF5=V.H) قرار دارد و برابر با ۰.۸۸۲ (۸۸ درصد بهینگی تابع هدف براساس نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد) است.

استناد: جوادی، مهرداد؛ فاطمی، شهرام؛ عزیزی، امیر و نجفی، اسماعیل. (۱۴۰۲). «طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک در تعامل با تولید با بهره‌برداری از شبکه عصبی مصنوعی–فازی». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۹ (۲)*. صص: ۹۰-۶۳.
https://doi.org/

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

۱) مقدمه

۱-۱) بیان مسئله تحقیق

امروزه با توجه به شرایط اقتصادی جهان، یکی از مسائلی که به‌ویژه برای تولیدکنندگان واحدهای صنعتی حائز اهمیت است، توجه به مسئله کاهش هزینه‌های جاری مانند هزینه‌های تولید و خرید مواد اولیه و نیز کاهش میزان مصرف انرژی می‌باشد. یکی دیگر از مهمترین پارامترهایی که درصورت عدم توجه مسئولین و گردانندگان تولیدکننده فرآورده‌های صنعتی می‌تواند سبب روبه‌رو ساختن تولیدکننده با چالش‌هایی همچون هزینه‌های تعمیر، خرید قطعات یدکی و عدم تحویل شود، خرابی تجهیزات و ماشین‌آلات تولید می‌باشد که در مواردی حتی می‌تواند به ازکارافتادگی کل خطوط تولیدی نیز منجر گردد. موارد یاد شده را می‌توان از عوارض اصلی عدم توجه به نگهداری و تعمیرات تجهیزات خطوط تولیدی صنایع دانست.[۵۱] این موضوع گردانندگان، مؤسسین و همچنین پژوهشگران را بر آن داشته‌است که تمرکز بسیار در زمینه لزوم تدوین و ارائه استراتژی‌های نگهداری و تعمیراتی که تمامی معیارها و فاکتورهای مناسب در آنها نهادینه شده را داشته باشند (تیواری[۵۲] و همکاران، ۲۰۱۵). براساس یافته‌های محققان حوزه نت، دیدگاه نگهداری و تعمیرات از تمرکز شدید بر هزینه‌ها به سمت توانایی استراتژیک نگهداری و تعمیرات سازمانی هدایت شده‌است. استقرار چنین سیستمی در یک صنعت یا سازمان شامل اهداف همه‌جانبه و ارائه استراتژی‌های جامع سازمانی که با درنظرگرفتن عواملی نظیر نیروی انسانی، منابع، فرهنگ محیطی، ماشین‌آلات و تجهیزات، کیفیت محصول نهایی تنظیم گردیده‌است. (سونگو همکاران، ۲۰۱۸)

برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات از رایج‌ترین و مهمترین مشکلاتی هستند که مدیران صنایع با آنها مواجه می‌شوند. یکی از مهمترین چالش‌های مدیران صنایع را می‌توان لزوم اجرای یک برنامه‌ریزی منظم و منسجم تولید و سپس تخصیص اقدامات یا عملیات موردنیاز تولید یک محصول به این تجهیزات (اپراتور و یا نرم‌افزارهای تجهیزات) دانست به نحوی که هیچگونه وقفه در فرآیند تولید رخ ندهد. به بیانی دیگر ایجاد یک بانک اطلاعاتی منطقی و مناسب برای منطبق و هماهنگ ساختن شرایط محیطی و عملیاتی امری ضروری و حائز اهمیت بوده که اقدام چندان آسانی نیز نمی‌باشد. در این میان روش‌های فازی به‌عنوان یکی از موثرترین ابزار در راستای دستیابی به اهم موارد مذکور، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند (سای و همکاران،۱۹۹۶). روش‌های منطق فازی [۵۳]برای محققین و پژوهشگران این امکان را فراهم می‌سازد که از اطلاعات غیردقیق، نامطمئن و ذهنی در روش‌های منطقی استفاده نمایند. تلفیق روش‌های نگهداری و تعمیرات با روش‌های فازی منجر به متدها و مدل‌های مختلفی از نت گردیده‌است که نمونه‌هایی از آنها شامل: الف)نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان[۵۴] و ب) نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر[۵۵] و اثربخشی اشاره نمود که توانسته‌اند کارآیی و قابلیت دسترسی سیستم‌های تولید و بهره‌وری را در سازمان‌هایی همچون IT، راه و جاده‌ها و غیره افزایش و بهبود بخشند. (اسگاربوسا و همکاران،۲۰۱۸). سنجش بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری‌شده و مزایای استراتژی سازمانی نگهداری و تعمیرات هنوز بیشترین نگرانی برای تصمیم‌گیرندگان است. (الیوف، ۲۰۰۹). درواقع اولویت و هدف

---

[51] .Maintenance
[52] . Tiwari
[53]. Fuzzy logic
[54]. Reliability-Centered Maintenance (RCM)
[55]. Total Productivity Maintenance (TPM)

غایی اقدامات تبیین‌شده، نگهداری و تعمیرات حفظ سیستم و برگرداندن تجهیزات به یک موقعیت عملیاتی با کمترین شکست و توقفات می‌باشد لذا با اتخاذ بهینه‌سازی تصمیمات برنامه‌ریزی تولید همزمان با برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات هوشمند می‌تواند بهره‌وری تولید را بهبود داده و به افزایش سرمایه‌های مالی و کاهش هزینه‌های سازمان‌های تولیدکننده کمک شایان توجهی نماید. (بل ۲۰۱۵، بریلسفورد، ۲۰۱۰).

۱-۲) اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

امروزه ضمن اینکه تاثیر بهبوددهنده فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات بر تولید، کاملا اثبات گردیده‌است همچنین این نکته نیز ثابت شده‌است که درصورت به‌تعویق‌انداختن نگهداری و تعمیرات، احتمال شکست ماشین‌آلات و تجهیزات افزایش می‌یابد ولی از آنجاکه به‌طور معمول فرآیند عملیاتی‌نمودن نگهداری و تعمیرات زمان‌بر می‌باشد، به همین دلیل همواره اختلافاتی بین برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات و برنامه‌ریزی تولید وجود دارد. بااین‌حال، با توجه به نگرانی‌هایی که بعضی متخصصان نگهداری و تعمیرات نسبت به تمرکز سازمانی بر نحوه برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات مطرح می‌نمایند، ضرورت هرچه بیشتر از واکنش‌پذیر[۵۶] به پیشگیرانه نمودن اقدامات نگهداری و تعمیرات را پررنگ‌تر و مشهودتر می‌سازد. (دروت، ۲۰۰۶)

نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[۵۷]، یکی از تکنیک‌های نوین نگهداری و تعمیرات است که در طی سال‌های اخیر به‌طور گسترده در صنایع مختلف و نیروگاه‌های بادی، گازی، بخار و سیکل ترکیبی صنعت نفت و گاز مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌است. (رحیمی و نیکبخت، ۱۳۹۷). یک برنامه مؤثر PM، فرآیندی است که دوره‌های مختلف تنظیم و جایگزینی قطعات ماشین‌آلات را پیش‌بینی می‌نماید. برنامه PM شامل تعدادی از این دوره‌ها می‌باشد که کل دوره عمر کاری هر ماشین را طبق جداول زمانی منطقی، پوشش می‌دهد. تعویض مواد مصرفی موتور نظیر سوخت و روغن، بستگی به زمینه کاربرد آنها دارد. تعویض دستگاه‌های فرسوده نیز وابسته به حیطه کاربری آنها می‌باشد ولی تنظیم تناوب‌های زمانی واحد برای تعویض، به‌عنوان یک شاخص و فاکتور بهبوددهنده در ارتباط با فراهم‌آوردن امکان مدیریت زمان و توقف دستگاه درنظر گرفته می‌شود. (علیمیان، ۲۰۱۹). (چن[۵۸]، ۲۰۱۹) منافع روش PM شامل موارد زیر می‌باشد (زواشکیانی و همکاران. ۱۳۹۵):

الف. افزایش در دسترس‌بودن تجهیزات

ب. افزایش ایمنی کاری

ج. کاهش زمان توقف پیش‌بینی‌نشده

د. بهبود توزیع حجم کار که به‌طور نسبی فرآیند انجام مراحلی همچون انجام نگهداری و تعمیرات را آسان‌تر می‌نماید. درواقع توجه به مواردی همچون هزینه تعویض تجهیزات (و هم قطعات یدکی آنها)، نیاز به تعمیر تجهیزات و هزینه‌های بالای آن، آسان نبودن پروسه تهیه، افزایش زمان دسترسی، کاهش میزان و نرخ خرابی و کاهش زمان توقف و

56. Reactive
57. Preventive Maintenance
58. Chien

شکست از اهم مواردی است که فعالیت‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را به یک پروسه ضروری و حتی فاکتور رقابتی در بین صنایع تبدیل نموده‌است. (حیدریانی‌زاده و زنجیرچی، ۱۳۹۶) و (کبوکی و همکاران، ۲۰۱۹). در مقابل عدم مدیریت صحیح فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، خود سبب تحمیل هزینه‌های قابل توجه به بنگاه‌های اقتصادی خواهد شد (امیری، ۲۰۱۸). در بیشتر سازمان‌ها، داده‌ها به‌طور پراکنده و در ساختارها و اشکال متنوعی نگهداری می‌گردند. پلت‌فرم تحلیل داده، امکانات متنوعی جهت خواندن داده از انواع فایل‌های متداول در ساختار سازمانی را فراهم آورده و با اتصال داده‌ها به پایگاه‌های داده‌های متمرکز در سازمان، امکان دسترسی تحلیل‌گران به‌تمامی منابع متنوع داده‌ای را فراهم نموده‌است. این پلت‌فرم‌ها در تداخلات بین برنامه‌ریزی‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات با برنامه‌ریزی‌های تولید نیز موثر و کاهش‌دهنده تولید است و به تبع آن موثر در کاهش مواردی همچون هزینه نگهداری و تعمیرات و تولید نیز می‌باش (گارسیا، ۲۰۱۵). یکی از این روش‌ها، روش‌های منطق فازی است. یک سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی[1] (ANFIS) نوعی شبکه عصبی مصنوعی است که منطق فازی روابط مبهم و ذهنی را به‌صورت ریاضی بیان می‌کند و درواقع آن را می‌توان روشی مناسب دانست که از طریق مجموعه فازی، تبدیل مجموعه‌ای از ورودی‌ها به مجموعه‌ای از خروجی‌ها را اجرایی می‌نماید. (لاکز و همکاران، ۲۰۱۸).

۲) اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق، طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با بهره‌برداری از متدولوژی شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی (ANFIS) در تعامل با تولید در صنعت نساجی و پوشاک است.

۲-۱) سئوالات تحقیق

چگونه می‌توان یک مدل بهینه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی را برای ارزیابی و مقایسه استراتژی‌های توسعه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، طراحی کرد بطوریکه همزمان عملیات نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در ارتباط با عملیات تولید مورد توجه باشد؟

۲-۲) مفروضات تحقیق

بکارگیری روش بهینه‌سازی چندهدفه براساس شبیه‌سازی پویا، توانایی شناسایی عوامل مهم و تأثیرگذار بر قابلیت اطمینان تجهیزات را دارد. جهت تعامل با پیچیدگی خطوط عملیات باید از شبیه‌سازی گسسته پیشامد براساس بهینه‌سازی چندهدفه بهره‌برداری شود تا نقص شبیه‌سازی پویا را در مقابله با عملیات تولید مرتفع نماید.

- وجود اطلاعات حداکثری از تجهیزات خطوط تولید و بهره‌برداری از آنها به کمک نرم‌افزار داده‌کاوی در کنار دانش یادگیری می‌تواند باعث نوآوری در بکارگیری از روش‌های شبیه‌سازی شود.
- بکارگیری روش بهینه‌سازی چندمتغیره-هدفه براساس شبیه‌سازی پویا توانایی شناسایی عوامل مهم و تأثیرگذار بر قابلیت اطمینان تجهیزات را دارد. جهت تعامل با پیچیدگی خطوط عملیات و همچنین

برطرف‌نمودن نقص شبیه‌سازی پویا در مقابله با عملیات تولید باید از شبیه‌سازی گسسته پیشامد براساس بهینه‌سازی چندهدفه استفاده شود.

۲-۳) محدودیت‌های تحقیق

شناسایی کارآیی راه‌حل‌های تجاری در این تحقیق موردنیاز است که بایستی از طریق مدل‌های پیشرفته‌تر از شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی آزمایش و شناسایی شوند.

۲-۴) پیشینه پژوهش

یکی از ابزارهای مهم برای بقا در رقابت‌ها، داشتن یک سیستم نگهداری و تعمیرات کارا می‌باشد. بخش نگهداری و تعمیرات در یک سازمان یکی از مهمترین وظایف مراقبت از دارایی‌ها و تجهیزات به‌منظور تامین بهره‌وری را ایفا می‌کند. (وان و همکاران، ۲۰۱۸) ایمنی عملیات، هزینه نگهداری موثر و قابلیت تولید بدون وقفه ماشین‌آلات، تاثیر مستقیمی بر رقابت بین سازمان‌ها دارد. بهره‌وری در شرکت‌ها هنگامی افزایش می‌یابد که قابلیت دسترسی به منابع و استفاده مناسب و به‌موقع از این منابع افزایش یابد. در ارتباط با ماشین‌آلات برای افزایش بهره‌وری، استفاده از روش‌ها و استراتژی‌های مفید نگهداری و تعمیرات ضروری می‌باشد (لیواناج و کومار، ۲۰۰۳). خطرهای مربوط به ماشین‌آلات می‌تواند در دستیابی به اهداف پروژه تأثیرگذار باشد و در روند پروژه اختلال ایجاد کند. (ترجو و ریسچمی، ۲۰۰۵) امروزه با آماده نگه‌داشتن ماشین‌آلات و تجهیزات، می‌توان با افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها، اهداف اصلی سازمان را حمایت نمود (کواچ و همکاران، ۲۰۱۳). بدون بخش نگهداری و تعمیرات یا وجود یک نگهداری و تعمیرات ضعیف، سازمان هزینه زیادی را بابت ظرفیت تولید ازدست‌رفته، حجم زیاد قطعات یدکی، نقایص کیفی و تحویل دیرهنگام می‌پردازد (اتی و همکاران، ۲۰۰۶).

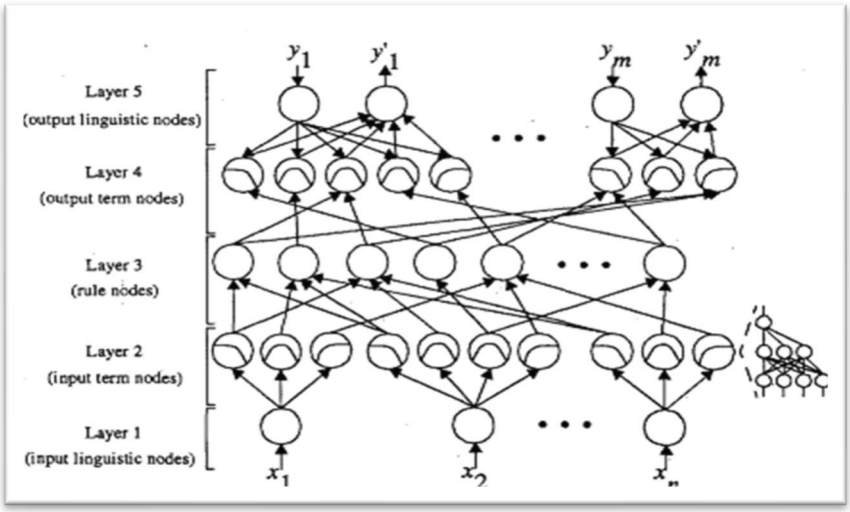
در جامعه امروزی که اکثرا از سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود، ازکارافتادگی یک سیستم یا بروز حوادث می‌تواند موجب بروز اختلال در سطوح مختلف شود و به این دلیل است که همگان در پی سیستمی ایمن و با احتمال خطر پایین هستند (آرنتز و همکاران، ۲۰۱۶). تعمیر و نگهداری پیشگیرانه به معنای کلیه اقدامات جهت نگهداری تجهیزات در شرایط عملیاتی مناسب و جلوگیری از خرابی است. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه باید بتواند زمان وقوع خرابی را نشان دهد، قبل از اینکه چنین خرابی رخ دهد. از این رو تعمیر و نگهداری پیشگیرانه یک رویکرد مؤثر در ارتقا قابلیت اطمینان است (یانگ، ۲۰۰۳).

در راستای مدیریت هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برحسب خروجی‌های موردنیاز، بایستی پارامترهای پایش وضعیت تجهیزات تعیین شوند. پارامترهای انتخاب‌شده، عوامل اثرگذار بر رخداد خرابی هستند که با شناسایی مهمترین آنها می‌توان خرابی‌ها را پیش از وقوع تشخیص داد (وود هوس، ۲۰۱۵). علت ریشه‌ای خرابی، اصلی‌ترین علت خرابی است که امکان تشخیص آن به‌صورت منطقی وجود دارد و مدیریت واحد کسب‌وکار آن را برای تعمیرات، کنترل می‌نماید. تحلیل علت ریشه‌ای خرابی از روش‌های اصلی افزایش قابلیت اطمینان است که با بکارگیری تکنیک‌های معروف

حل مسئله در قالب گروه منسجم و هماهنگ بسیار مؤثر، می‌توان قابلیت دسترسی به ماشین‌آلات و تجهیزات را دو چندان کرد (بنگلور و همکاران، ۲۰۱٤).

۳) روش و ابزار گردآوری داده‌ها

تحلیل داده‌ها براساس متدولوژی شبکه عصبی مصنوعی فازی مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM -SD-ANN جهت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با بهره‌برداری از متدولوژی شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی (ANFIS) در محیط برنامه‌نویسی Matlab بکار گرفته شد که در ادامه براساس ساختار مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon) ارائه می‌گردد.



نمودار ۱. ساختار مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon) (Lin & Lee.1996)

لایه اول مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon)، دربرگیرنده نودهای متغیرهای زبانی ورودی‌های مدل پویای هوشمند است. موتور استنتاج عصبی فازی۱، ورودی‌ها را با یک سری اعمال به خروجی تبدیل می‌نماید و از برخی از عملگرهای عصبی-فازی ذیل بهره‌برداری می‌نماید (Lin & Lee. 1996): اشتراک (And) (T-norm): اگر A و B دو مجموعه دلخواه باشند، آنگاه اشتراک آنها برابر است با مینیمم تابع عضویت مجموعه A ، B و آن را به‌صورت A∩B نشان می‌دهند (Lin & Lee. 1996): μA∩B (x) = min μA (x) ،T (x و μB (x) ،T (x ،y) =x. y

اجتماع (Or) (S-norm): اگر A و B دو مجموعه دلخواه باشند، اجتماع A ، B برابر است با ماکزیمم تابع عضویت مجموعه A، B و آن را به‌صورت μAUB (x) نشان می‌دهیم: μAUB (x) = max μA (x) ،S (x و μB (x) ،S (x ،y) =x+y-x. y

مکمل (Not) (C-norm): اگر S یک مجموعه باشد و A ذیل مجموع‌هایی از آن باشد، آن متمم مجموعه A حاصل کسر تمام اعضای A از یک است و آن را با Ā یا μnot A (x) نشان می‌دهند: μAUB (x) = max μA (x) ،μB

y) =x+y-x. y ،S (x و μB (x) ،μAUB (x) = max μA (x)

لایه دوم مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon)، دربرگیرنده واژه‌های متغیرهای ورودی مدل پویای هوشمند است. درحقیقت، مؤلفه ورودی اول: وضعیت "عامل کارکنان در نت"؛ مؤلفه ورودی دوم: "عامل فناوری در نت"؛ مؤلفه ورودی سوم: "عامل استراتژی در نت"؛ مؤلفه ورودی چهارم: وضعیت " عامل کیفیت در نت"؛ مؤلفه ورودی پنجم: "عامل محیط کار در نت"؛ است. یکی از مهمترین دلایل بهره‌برداری از محاسبات هوش مصنوعی در این تحقیق این است که مسائل دنیای واقعی به‌طور معمول ساختار پیچیده‌ای دارند که نشان‌دهنده وجود ابهام و عدم قطعیت در تعریف و درک آنهاست. از زمانیکه انسان توانست فکر کند، در مسائل مختلف اجتماعی، تکنیکی و اقتصادی همواره با ابهام مواجه بوده است. حتی اختراع رایانه و توسعه کاربردی آن در تحلیل مسائل دنیای واقعی نیز نتوانست مشکل ابهام و عدم قطعیت را حل نماید. انسان با وجود داده‌های نادقیق و ناکافی در مواجه با مسائل پیچیده دنیای واقعی، رفتار و ماهیت سیستم را به‌طور تقریبی درک و تحلیل می‌نماید. مغز انسان، جملات را با درنظرگرفتن عوامل گوناگون و بر پایه تفکر استنتاجی، تعریف و ارزش‌گذاری می‌نماید که الگوبندی آنها به زبان و فرمول‌های ریاضی اگر غیرممکن نباشد، کاری بسیار پیچیده خواهد بود. متغیرهای زبانی، براساس ارزش‌های زبانی (گفتاری) که در مجموعه عبارت (کلمات/اصطلاحات) قرار دارند، بیان می‌گردند و عبارات زبانی[59]، صفاتی برای متغیرهای زبانی هستند. در اینجا متغیرهای زبانی به متغیرهایی گفته می‌شود که مقادیر قابل قبول برای آنها به جای اعداد، کلمات و جملات زبان‌های انسانی و ماشینی هستند. یک عدد فازی، مجموعه عصبی-فازی خاصی به شکل ذیر می‌باشد که در آن، x مقادیر حقیقی عضو مجموعه R را می‌پذیرد و تابع عضویت آن به‌صورت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ می‌باشد:

$$A'=\{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \subset X\}$$

لایه سوم از مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon)، دربرگیرنده قواعد (Rules) فازی مدل پویای هوشمند است. پایگاه قواعد هوشمند[60]، مجموعه‌ای از قواعد اگر- آنگاه است که قلب یک مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM-ANN محسوب می‌گردد زیرا سایر اجزا مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM-ANN برای پیاده‌سازی این قواعد به شکل مؤثر و کارا بهره‌برداری می‌گردند. یک فازی‌ساز[61] در ورودی سیستم قرار دارد که مقدار عددی متغیرها را به یک مجموعه عصبی-فازی تبدیل می‌نماید. دلیل عدم بهره‌برداری از توابع عضویت زنگوله‌ای و غیرخطی در این تحقیق این است که بیش‌ترین اعداد فازی مورد بهره‌برداری، اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای هستند. اعداد فازی مثلثی به‌وسیله سه عدد حقیقی که به‌صورت (l، m، u) بیان می‌شوند، تعریف می‌گردد که در آن مقدار m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. آنها دارای تابع عضویتی هستند که براساس داده‌های اندک ساخته می‌شوند و انجام عملیات چهارگانه نیز بر روی این اعداد آسان است و اغلب درمواردی مانند کنترولرهای عصبی-فازی، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، بازرگانی و مالی، مقایسات و

59 .Linguistic terms
60 .Rule Base
61 .Fuzzifier

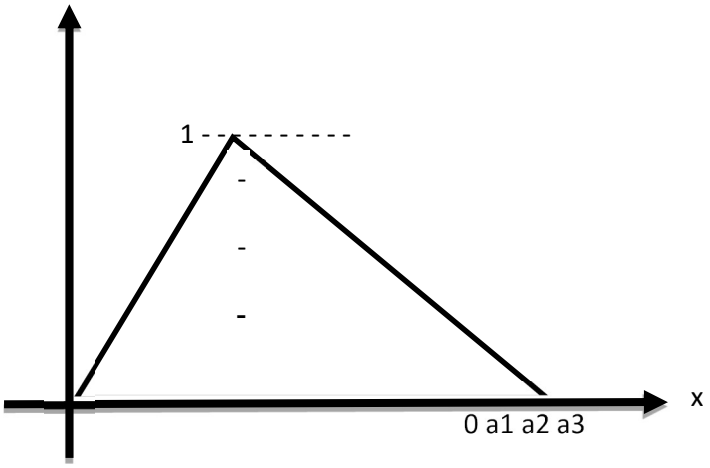
ارزیابی‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. یک عدد فازی مثلثی A عددی با تابع عضویت تکه‌ای خطی μA به‌صورت رابطه ذیل تعریف می‌گردد (وود هوس و تجنبرگ۶۲، ۲۰۱۸)

μA (X) = 0 if x<a1

μA (X) = x-a1/a2-a1 if a1≤x≤a2

μA (X) = a3-x/a3-a2 if a2≤x≤a3

μA (X) = 0 if x>a3



لایه چهارم از مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon)، دربرگیرنده واژه‌های متغیر خروجی مدل پویای هوشمند است. درواقع مؤلفه خروجی مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM-DM-SD-ANN تحقیق، وضعیت "عامل استراتژی در نت در صنایع نساجی و پوشاک" است.

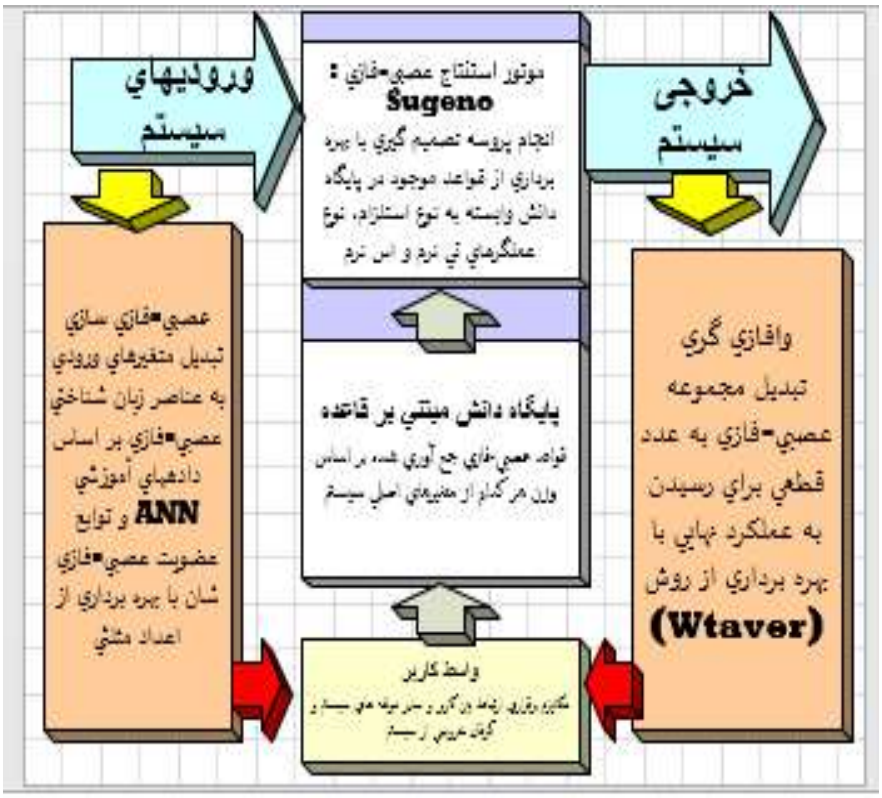
لایه پنجم از مدل پنج لایه‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (Falcon) دربرگیرنده نودهای متغیرهای زبانی خروجی مدل پویای هوشمند است. دیفازی‌ساز، خروجی عصبی-فازی را تبدیل به یک عدد قطعی می‌نماید. وظیفه غیرعصبی-فازی‌ساز مشخص کردن نقطه‌ای است که بهترین نماینده مجموعه عصبی-فازی 'B باشد. فرمول میانگین مرکزی به شرح ذیل است:

$$DeFuzzifier = \sum_{ml=1} y\text{-}1\ Wl \,/\, \sum_{ml=1} Wl$$

در این رابطه y مرکز مجموعه عصبی-فازی و wL درجه ارتفاع آن می‌باشد. بدین ترتیب برای روابط درنظر گرفته‌شده به وزن‌های موجود بین روابط به مفاهیم می‌توان دست یافت. با توجه به کاربرد مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM-DM-SD-ANN طراحی شده در این تحقیق، بعد از بررسی ساختار سیستم‌های تحقیق‌های (ستی۶۳، ۲۰۱۹) و (ازکان۶۴، ۲۰۱۹) و (وود هوس و همکاران، ۲۰۱۵) و (بنگلور۶۵، ۲۰۱۵) و مدل پنج لایه‌ای شبکه‌های عصبی مصنوعی فالکن (لی، ۱۹۹۶)، در

62 . Woodhouse & Tjernberg
63 .Seiti
64 .Ozcan
65 .Bangalore

پایان مراحل پنج‌گانه‌ای برای ارائه مدل پویای هوشمند درنظر گرفته‌شد که عبارتنداز: ۱)مدل‌سازی پویای مفاهیم حوزه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه جهت شناسایی متغیرهای ورودی و خروجی و ترسیم روابط بین آنها ۲)تعریف متغیرهای کیفی با بهره‌برداری از داده‌های آموزشی ANN و قیدهای زبانی و تخصیص اعداد و مجموعه‌های عصبی-فازی و توابع عضویت به آنها ۳) ارائه مدل پویای هوشمند PM -ANN براساس تعاریف و طراحی‌های صورت‌گرفته با بهره‌برداری از نرم‌افزار Matlab: این مرحله شامل استخراج قواعد خبرگی و ارزیابی آنها توسط خبرگان صنایع نساجی و پوشاک و ایجاد پایگاه قواعد هوشمند و همچنین طراحی موتور استنتاج دارای دسترسی به قواعد هوشمند می‌باشد. ۴) طراحی رابط کاربر و نحوه نمایش گزینه‌ها و چگونگی بهره‌برداری از مدل پویای هوشمند مبتنی بر مدل PM–ANN طراحی شده؛ ۵) انتخاب یک روش برای فازی‌زدایی جهت تبدیل اعداد و مجموعه‌های عصبی-فازی به مقدار قطعی جهت بررسی واقعی عملکرد سیستم.



نمودار۲. ساختار سیستم PM -ANFIS

در مدل تصمیم‌گیری تحقیق "ارائه مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM -ANFIS جهت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه"، ارتباط بین مؤلفه‌ها و نحوه این ارتباط را مشخص می‌سازد. یک چهارچوب نظری خوب باید دربرگیرنده کلیه مؤلفه‌های مهم مؤثر بر مسئله و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر باشد. جهت اعتبارسنجی سیستم PM -ANN، به مقایسه خروجی‌ها و پاسخ‌های "مدل پویای هوشمند مبتنی بر PM- ANN جهت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه" با میانگین نظرات

خبرگان صنایع نساجی و پوشاک حوزه موردبررسی با بهره‌برداری از ابزاری جداگانه اقدام خواهد شد. جدول ذیل، ابزار اعتبارسنجی سیستم PM-ANFIS جهت ارزیابی پاسخ‌های سیستم تحقیق را نشان می‌دهد:

جدول ۱. ابزار اعتبار سنجی سیستم PM-ANFIS

سایر تحلیل ها	متغیر خروجی PM-ANFIS	متغیرهای ورودی سیستم PM- ANFIS					شماره قاعده (Rule)
	عملکرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه	وضعیت عامل محیط کار در نت	وضعیت عامل کیفیت در نت	وضعیت عامل استراتژی در نت	وضعیت عامل فناوری در نت	وضعیت عامل کارکنان در نت	

روش تحقیق "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه" کلیه مراحل نظام‌مند گردآوری داده‌ها، طبقه‌بندی و تجزیه‌وتحلیل منطقی آنها برای رسیدن به هدف تحقیق را دربر می‌گیرد. درحقیقت فضای برنامه‌نویسی "MATLAB"، یک محیط نرم‌افزاری برای انجام محاسبات عددی و یک زبان برنامه‌نویسی نسل چهارم است. درواقع از مزایای محاسبات هوش مصنوعی در تحقیق حاضر، این است که با یک نگاشت، فضای ورودی‌ها را به فضای خروجی‌ها مرتبط می‌نماید و اصول ابتدایی برای انجام این کار، یک سری از عبارات اگر- آنگاه است که از آنها به‌عنوان قانون نیز یاد می‌شود. در این سیستم ترتیب قوانین اصلاً مهم نیست و این خود قوانین‌اند که به تنهایی مهم هستند زیرا همگی آنها به متغیرها اشاره دارند و متغیرها را توصیف می‌نمایند. بخش سیستم‌های عصبی-فازی نرم‌افزار Matlab، از قسمت‌های ذیل تشکیل شده‌است:

Input: در این قسمت ورودی‌های سیستم مشخص می‌گردد. Inference Engine در این قسمت قوانین نوشته می‌شود.

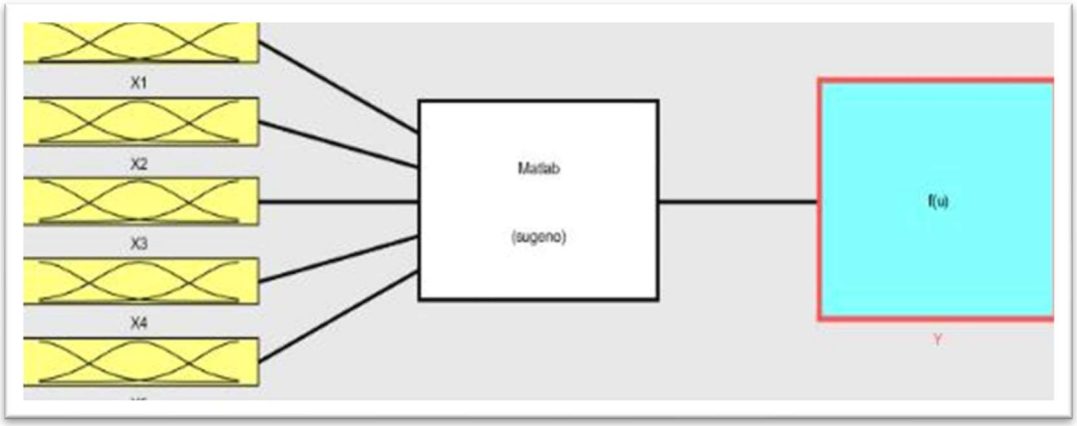
Output: در این قسمت خروجی‌های سیستم تعیین می‌گردد که برای تحقیق "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه" مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴) طراحی سیستم هوشمند PM- ANFIS

سیستم هوشمند PM-ANFIS، اطلاعات ورودی یک مدل پویای هوشمند به‌صورت مجموعه‌های فازی یا اعداد فازی می‌باشد. یکی از معروف‌ترین و کاربردی‌ترین پردازش‌های نادقیق در سیستم‌های هوش مصنوعی، بهره‌برداری از پایگاه قوانین فازی است. هدف اصلی این تحقیق ارائه و توسعه یک فرآیند گام به گام مدل‌سازی کمی برای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه است. در پایگاه قوانین فازی هر قانون با ساختار "اگر-آنگاه" تعریف می‌گردد. با توجه به کاربرد مدل پویای هوشمند طراحی شده در این رساله، مراحل پنج‌گانه زیر برای طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه درنظر گرفته‌شد که عبارتنداز:

مرحله اول: "مدل‌سازی پویا جهت کشف و شناسایی متغیرهای ورودی و خروجی سیستم" که در این مرحله به دنبال بررسی و مقایسه ویژگی‌های متفاوت مدل‌های نامزد شده برای کامپونت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک- کارخانجات نساجی بروجرد هستند که هوش مصنوعی به‌عنوان مدل مناسب برای این تحقیق برگزیده

می‌گردد. بعد از نهایی‌شدن مدل اولیه سیستم هوشمند تحقیق، اقدام به تعریف متغیرهای ورودی و خروجی سیستم هوشمند گردید. متغیرهای ورودی سیستم هوشمند PM-ANFIS عبارتنداز: "عامل کارکنان در نت (X1)؛ عامل فناوری در نت (X2)؛ عامل استراتژی در نت (X3)؛ عامل کیفیت در نت (X4)؛ عامل محیط کار در نت (X5)". متغیر خروجی سیستم مذکور عبارت است از: "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک- مطالعه موردی کارخانجات نساجی بروجرد (Y)". با توجه با مدل اولیه تحقیق و نیز اعمال داده‌ها و نظرات خبرگان جهت ارزیابی آن مدل؛ می‌توان متغیرهای ورودی و خروجی سیستم هوشمند را به شرح شکل ذیل نشان داد:



شکل ۱: مدل متغیرهای ورودی سیستم هوشمند PM –ANFIS

مرحله دوم: تعریف متغیرهای کیفی با بهره‌برداری از قیدهای زبانی ۶۶ و تخصیص اعداد و مجموعه‌های فازی و توابع عضویت و انتخاب نوع جهش به آنها: جدول و شکل متغیرهای زبانی، مقادیر فازی داده‌های آموزشی هوش مصنوعی و نیز توابع عضویت و انتخاب نوع جهش اعداد مثلثی و ذوزنقه‌ای مرتبط با متغیرهای ورودی و خروجی سیستم هوشمند درون طیف‌های سه‌تایی برای متغیرهای ورودی و پنج‌تایی برای متغیر خروجی.

جدول ۲. متغیرهای زبانی مرتبط با متغیرهای ورودی سیستم هوشمند PM -ANFIS

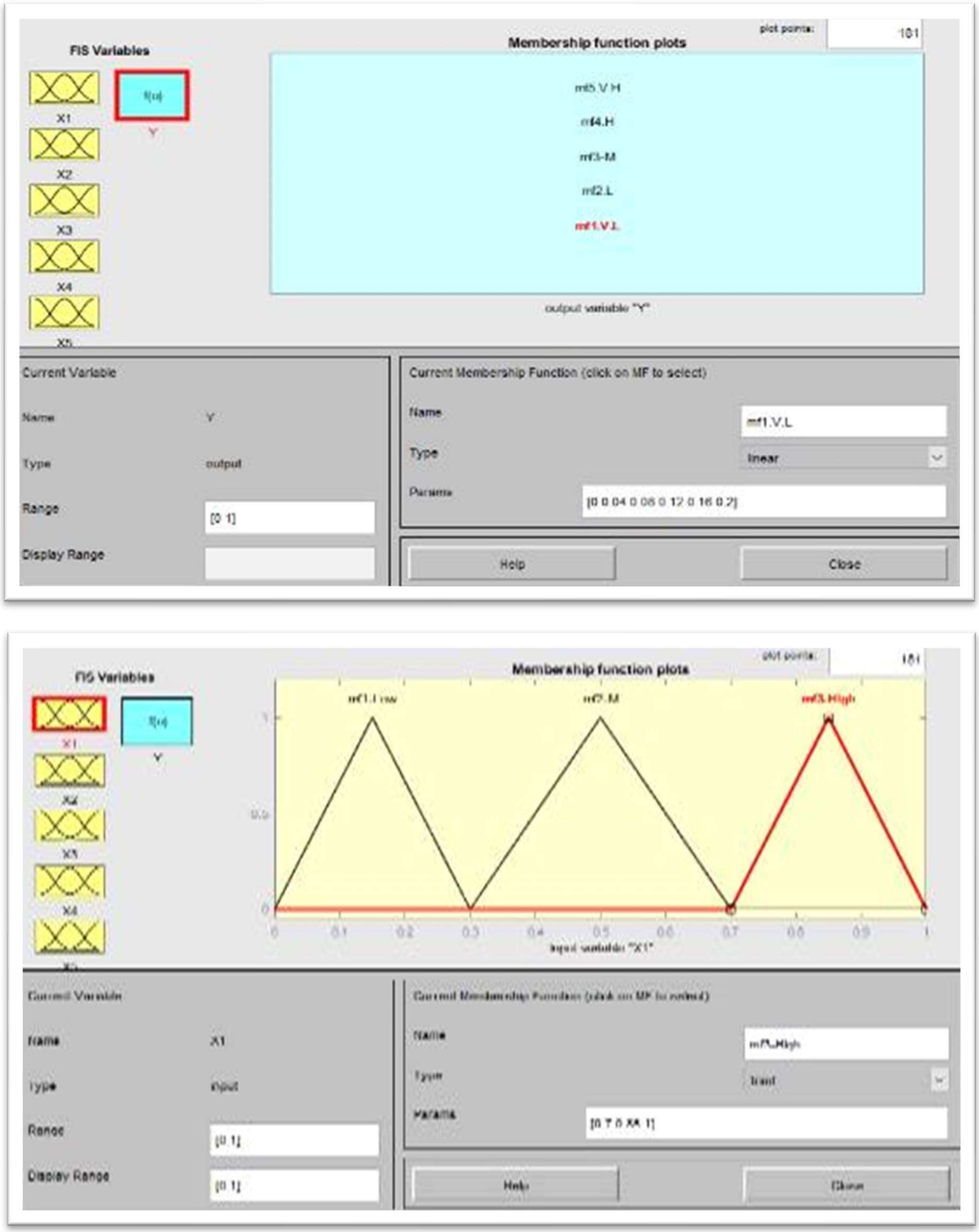
متغیر زبانی	معادل انگلیسی	توابع عضویت و انتخاب نوع جهش اعداد مثلثی		
کم	LOW	0	0.15	0.30
متوسط (معمولی)	MEDIUM	0.30	0.50	0.70
زیاد	HIGH	0.70	0.85	100

66. Linguistic Constraints

جدول ۳. داده‌های آموزشی هوش مصنوعی سیستم هوشمند PM -ANFIS

داده های آموزش هوش مصنوعی سیستم **PM.ANFIS**

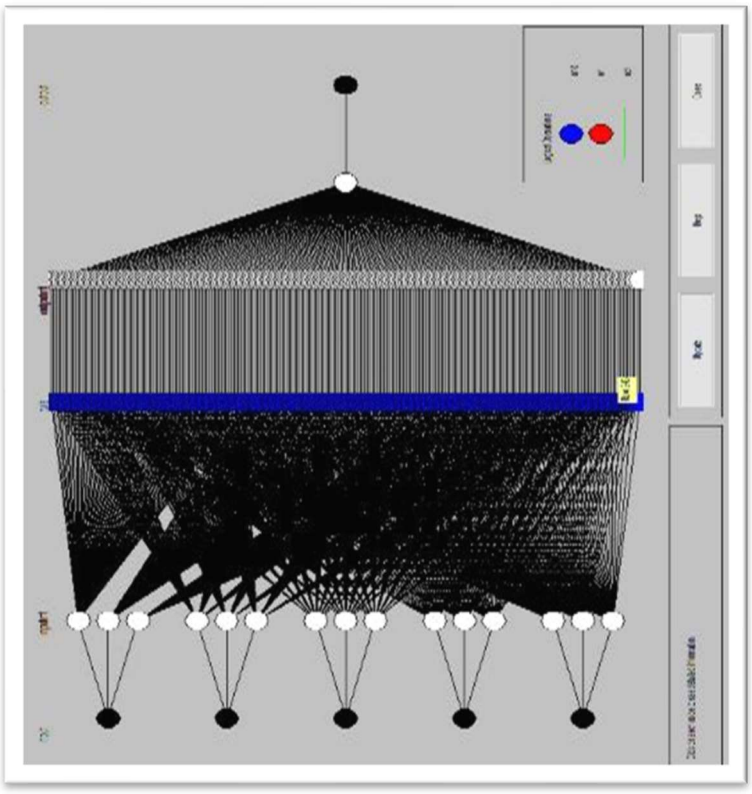
X1	X2	X3	X4	X5	Y
0	0	0	0	0	0
0 0.025	0 0.025	0 0.025	0 0.025	0 0.025	0.05
0.025 0.05	0.025 0.05	0.025 0.05	0.025 0.05	0.025 0.05	0.10
0.050 0.075	0.050 0.075	0.050 0.075	0.050 0.075	0.050 0.075	0.15
0.075 0.10	0.075 0.10	0.075 0.10	0.075 0.10	0.075 0.10	0.20
0.10 0.15	0.10 0.15	0.10 0.15	0.10 0.15	0.10 0.15	0.25
0.15 0.25	0.15 0.25	0.15 0.25	0.15 0.25	0.15 0.25	0.30
0.25 0.30	0.25 0.30	0.25 0.30	0.25 0.30	0.25 0.30	0.35
0.30 0.35	0.30 0.35	0.30 0.35	0.30 0.35	0.30 0.35	0.40
0.35 0.40	0.35 0.40	0.35 0.40	0.35 0.40	0.35 0.40	0.45
0.40 0.45	0.40 0.45	0.40 0.45	0.40 0.45	0.40 0.45	0.50
0.45 0.50	0.45 0.50	0.45 0.50	0.45 0.50	0.45 0.50	0.55
0.50 0.55	0.50 0.55	0.50 0.55	0.50 0.55	0.50 0.55	0.60
0.55 0.60	0.55 0.60	0.55 0.60	0.55 0.60	0.55 0.60	0.65
0.60 0.65	0.60 0.65	0.60 0.65	0.60 0.65	0.60 0.65	0.70
0.65 0.70	0.65 0.70	0.65 0.70	0.65 0.70	0.65 0.70	0.75
0.70 0.75	0.70 0.75	0.70 0.75	0.70 0.75	0.70 0.75	0.80
0.75 0.80	0.75 0.80	0.75 0.80	0.75 0.80	0.75 0.80	0.85
0.80 0.85	0.80 0.85	0.80 0.85	0.80 0.85	0.80 0.85	0.90
0.85 0.90	0.85 0.90	0.85 0.90	0.85 0.90	0.85 0.90	0.925
0.90 0.95	0.90 0.95	0.90 0.95	0.90 0.95	0.90 0.95	0.950
0.95 1	0.95 1	0.95 1	0.95 1	0.95 1	0.975
1	1	1	1	1	1



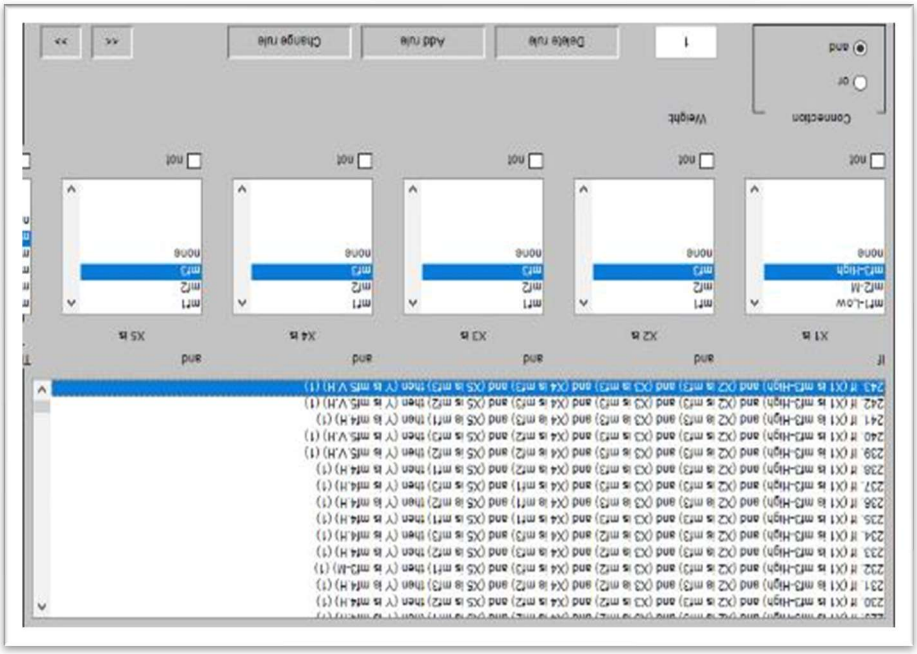
شکل۲. افرازبندی و انتخاب نوع جهش متغیر ورودی هوش مصنوعی- مقادیر فازی مرتبط با متغیرهای زبانی (توابع عضویت و انتخاب نوع جهش اعداد مثلثی و ذوزنقه ای)

مرحله سوم: ساخت‌دهی به روابط و وابستگی‌های میان کامپونت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنایع نساجی و

پوشاک -کارخانجات نساجی بروجرد: طراحی پایگاه تولیدمثل دانش مبتنی بر هوش مصنوعی مدل پویای هوشمند در مرحله فرآیند ساخت پایگاه تولیدمثل دانش : به دیتاست و خبرگان حوزه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنایع نساجی و پوشاک -کارخانجات نساجی بروجرد مربوطه هست، ارائه می‌گردد. در این راستا سعی شده‌است از دیتاست و خبرگان فعال در حوزه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنایع نساجی و پوشاک -کارخانجات نساجی بروجرد و همچنین دانشجویان دکتری که بطور تخصصی در این حوزه‌ها مطالعه و تحقیق می‌نمایند، بهره‌برداری شود. این مرحله شامل استخراج قواعد خبرگی و ارزیابی آنها توسط دیتاست و خبرگان و ایجاد پایگاه قواعد هوشمند می‌باشد. پایگاه قواعد هوشمند مجموعه‌ای از قواعد "اگر- آنگاه" است که قلب سیستم هوشمند PM -ANFIS محسوب می‌گردد؛ زیرا سایر اجزا مدل پویای هوشمند برای پیاده‌سازی این قواعد به شکل مؤثر و کارا بهره‌برداری می‌گردند.در اینجا احتمال وقوع حالت‌های مختلف بین متغیرهای اصلی سیستم هوشمند یکسان در نظر گرفته شده‌است. نقطه‌ی آغازین ساخت یک پایگاه تولیدمثل دانشی مبتنی بر قواعد در یک مدل پویای هوشمند؛ به دست آوردن مجموعه‌ای از "قواعد اگر- آنگاه فازی" از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می‌باشد؛ مرحله‌ی بعدی؛ ترکیب این قواعد در یک سیستم واحد است. سایر قواعد پایگاه تولیدمثل دانش مبتنی بر هوش مصنوعی این سیستم هوشمند نیز به این ترتیب تولید شدند. در نهایت تعداد قواعد هوشمند ماژول "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد" سیستم هوشمند PM -ANFIS به علت وجود ۵ متغیر اصلی که هر کدام ۳ حالت دارند؛ برابر با ۲۴۳ است. شکل مربوط به پایگاه‌های قواعد هوشمند ماژول سیستم هوشمند PM-ANFIS به شرح ذیل است:

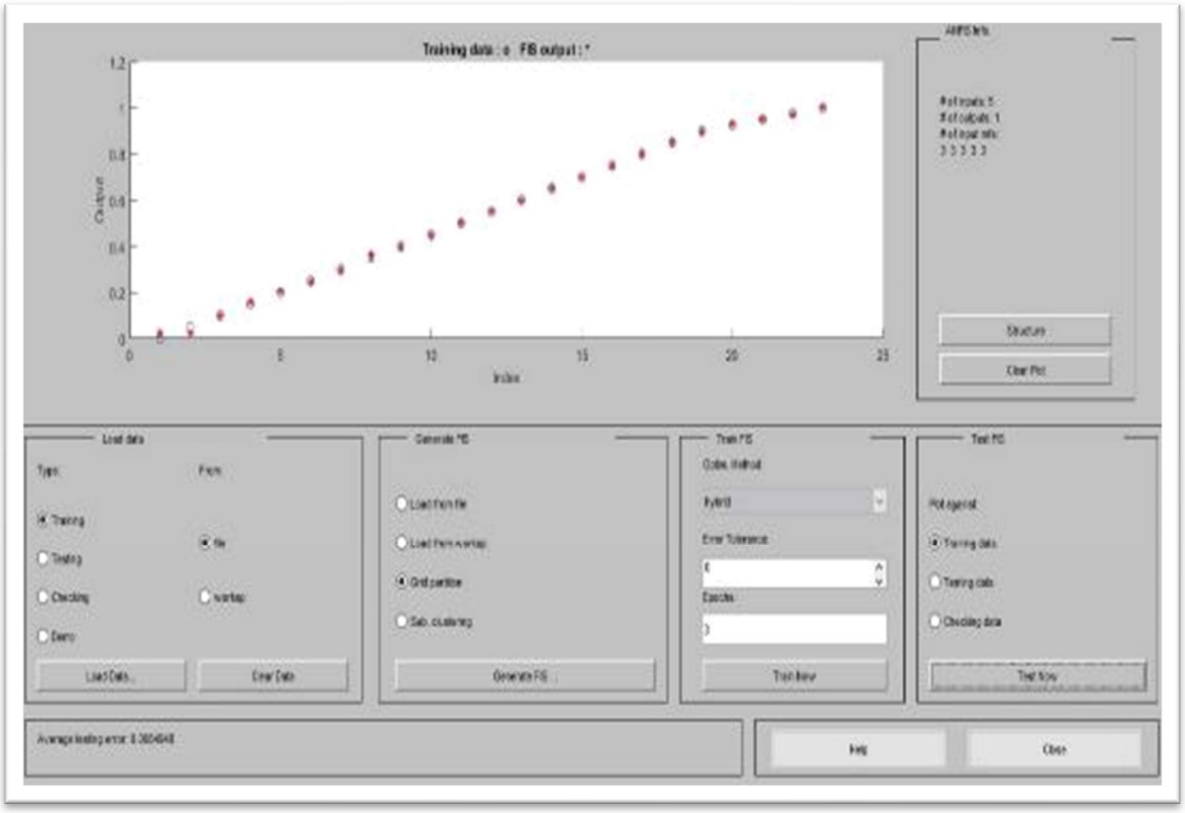


شکل ۳. نحوه تولید خودکار قواعد درون پایگاه تولید مثل دانش مبتنی بر هوش مصنوعی



شکل ٤. نحوه تولید قواعد هوشمند درون پایگاه تولید مثل دانش سیستم هوشمند PM –ANFIS

مرحله چهارم طراحی موتور استنتاج سیستم هوشمند PM-ANFIS : در این مرحله روش wtavar برای فازی‌زدایی تبدیل اعداد و مجموعه‌های فازی به مقدار قطعی جهت بررسی واقعی عملکرد سیستم انتخاب شده‌است. شکل ذیل، موتور استنتاج سیستم هوشمند PM-ANFIS را به نمایش می گذارد.



شکل۵. موتور استنتاج سیستم هوشمند PM -ANFIS

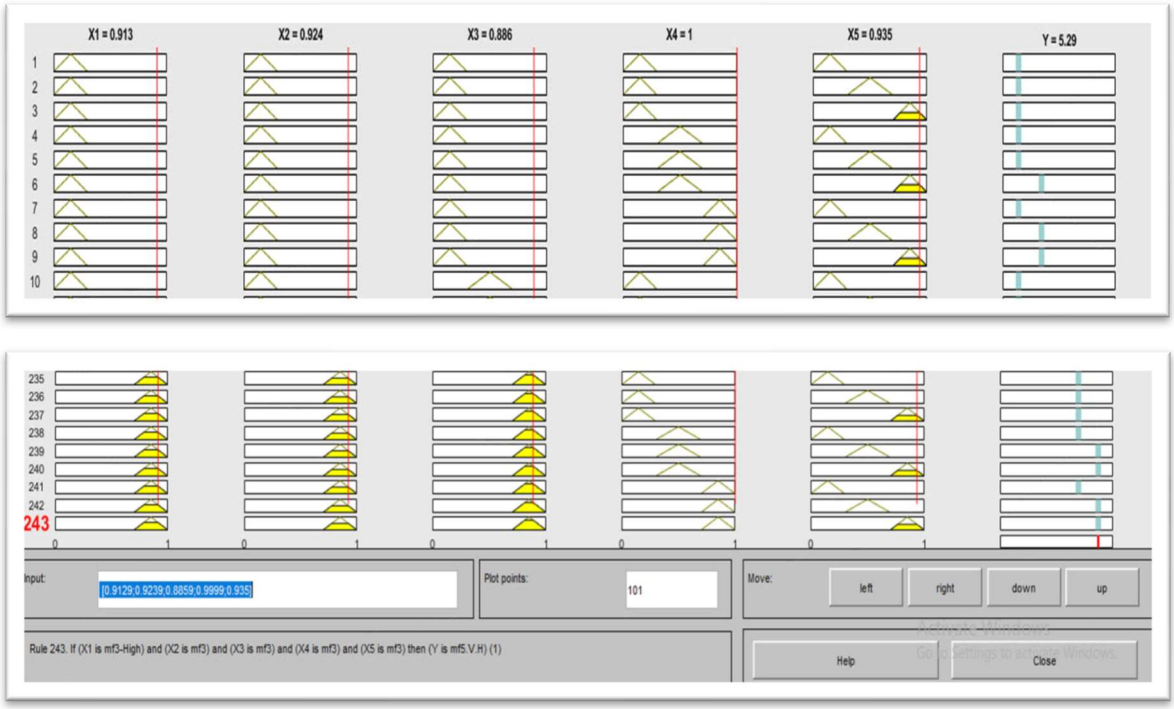
با بهره‌برداری از نرم‌افزار MATLAB می‌توان به استنتاج مبتنی بر قواعد موجود در پایگاه تولید مثل دانش مبتنی بر هوش مصنوعی سیستم هوشمند PM- DM-SD-ANFIS پرداخت. میانگین خطای داده‌های آزمون؛ در موتور استنتاج سیستم هوشمندPM- ANFIS جهت " نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه"؛ برابر با ۰/۰۰۸۵ (کمتر از ۱ درصد) محاسبه شده‌است که دقت بسیار بالای محاسبات شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی تحقیق را نشان می‌دهد. درواقع مهمترین علت بهره‌برداری از موتور استنتاج سوگنو (بجای ممدانی) این است که در موتور استنتاج ممدانی قسمت انتخاب نوع استلزام و سبک تجمیع قواعد هوشمند (جهت گردآوری قواعد هوشمند برای استنتاج و نتیجه‌گیری) ثابت نیست. برای انتخاب نوع استلزام در نرم‌افزار MATLAB از Min بهره‌برداری می‌گردد زیرا عملگر Prod مجموعه فازی خروجی را کوتاه و ناقص می‌نماید. غیرفازی‌ساز موجود در سیستم هوشمند PM-ANFIS؛ خروجی فازی را تبدیل به یک عدد قطعی می‌نماید. در قسمت غیرفازی‌ساز نرم‌افزار MATLAB از روش Wtaver بهره‌برداری می‌گردد زیرا این غیرفازی‌ساز به کاهش پیچیدگی مسئله و نیز زمان کمتر برای محاسبات کمک می‌نماید. در اینجا به علت متصل‌شدن قواعد هوشمند سیستم با بهره‌برداری از عملگر "And"؛ در نرم‌افزار MATLAB سبک تجمیع قواعد هوشمند "Max" را انتخاب می‌نماییم. در این صورت مجموع دقیق‌تر هر مجموعه خروجی قواعد درنظر گرفته‌می‌شوند نه بخشی از آنها. از آنجاییکه روش فازی‌زدایی Wtaver تناظری بین یک عدد فازی و یک عدد قطعی یا مجموعه‌ای از اعداد قطعی ایجاد می‌نماید. اغلب برخی از اعداد فازی غیریکسان، به یک عدد قطعی تبدیل می‌گردند. در این حالت حجم خیلی کمی از اطلاعات از دست

داده می‌شود ولی سبب ایجاد نقصان در نتیجه‌گیری‌های نهایی نمی‌گردد مخصوصا در مسائل تصمیم‌گیری‌های تخصصی، مسائل پیش‌بینی و غیره. در این خصوص ضروری است روش فازی‌زدایی Wtaver مورد بهره‌برداری قرار گیرد تا اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری را حفظ نماید. بدین ترتیب برای روابط درنظر گرفته‌شده به‌وزن‌های موجود بین روابط و مفاهیم می‌توان دست یافت. در طراحی موتور استنتاج سیستم هوشمند PM-ANFIS روش wtaver برای فازی‌زدایی و تبدیل اعداد و مجموعه‌های فازی به مقدار قطعی و بررسی واقعی عملکرد سیستم انتخاب شده‌است. غیرفازی‌ساز موجود در سیستم هوشمند PM-ANFIS، خروجی فازی را تبدیل به یک عدد قطعی می‌نماید. در قسمت غیرفازی‌ساز نرم‌افزار MATLAB از روش wtaver بهره‌برداری می‌گردد زیرا این غیرفازی‌ساز به کاهش پیچیدگی مسئله و نیز زمان کمتر برای محاسبات کمک می‌نماید.

مرحله پنجم: شرح چگونگی بهره‌برداری از سیستم هوشمند طراحی‌شده و تحلیل خروجی‌ها در فاز نهایی مدل ارائه شده، در این مرحله صورت می‌گیرد. این مرحله به‌طور عملی در نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد پیاده‌سازی خواهد شد و به‌وسیله متخصصان و خبرگان سازمان‌های مرتبط، مورد ارزیابی و بازبینی و اصلاح قرار خواهد گرفت. در نهایت نتایج حاصل از این تحقیق، به دنبال ارائه یک مدل نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک علی‌الخصوص به کارخانجات نساجی بروجرد به‌عنوان محل اجرای طرح، می‌باشد. جهت تحلیل هوشمند متغیر خروجی سیستم "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد" می‌توان به تحلیل خروجی‌های سیستم هوشمند PM- ANFIS به‌صورت زبانی و عددی (دقیق) پرداخت. جدول و شکل ذیل؛ به تحلیل رفتار آمیزش متغیرهای ورودی و خروجی ماژول سیستم هوشمند PM -ANFIS می‌پردازد.

جدول ٤. محاسبه وزن نهایی ورودی سامانه هوشمند

متغیر های مدل	ضریب پویای موزون		وزن نهایی ورودی سامانه هوشمند
عامل کارکنان در نت	0.744	محاسبه وزنی نسبی)تقسیم بر (0.815	0.9129
عامل فنآوری در نت	0.753		0.9239
عامل استراتژی در نت	0.722		0.8859
عامل کیفیت در نت	0.815		1.000
عامل محیط کار در نت	0.762		0.9350



شکل ٦. تحلیل هوشمند متغیر خروجی در PM -ANFIS براساس وضعیت اهمیتی (پس از اجرای تحقیق) به‌صورت عددی و زبانی براساس پنج متغیر ورودی

در اینجا با بهره‌برداری از خروجی‌های سیستم هوشمند PM -ANFIS می‌توان وضعیت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد در صنعت نساجی و پوشاک را براساس متغیرهایی چون متغیر "عامل فناوری در نت"؛ متغیر"عامل کارکنان در نت"؛ متغیر "عامل محیط کار در نت"؛ متغیر "عامل کیفیت در نت" و متغیر "عامل استراتژی در نت" مورد تحلیل قرار داد.

اگر (If)؛

وضعیت "عامل کارکنان در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۱۲۹ ؛ وضعیت "عامل فناوری در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۲۳۹ ؛ وضعیت "عامل استراتژی در نت" نسبتاً خوب (کران پایین تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۸۸۵۹ وضعیت "عامل کیفیت در نت" کاملاً خوب (بالاترین تابع عضویت) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۹۹۹ ؛ وضعیت "عامل محیط کار در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۳۵۰ باشد،

آنگاه (Then)،

وضعیت متغیر خروجی تحقیق یعنی "عملکرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (Y)" در پنجمین سطح خود یعنی خیلی خوب (MF5=V.H) قرار دارد و برابر با ۰/۸۸۲(۸۸٪ بهینگی تابع هدف براساس نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد) است. در حقیقت؛ برای تحلیل هوشمند متغیر خروجی در PM -ANFIS براساس وضعیت اهمیتی (پس از اجرای تحقیق) به‌صورت عددی و زبانی براساس پنج متغیر ورودی؛ کامپوننت "عامل کارکنان در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۴۴و دارای وزن هوشمند ۰/۹۱۲۹ : کامپوننت "عامل فناوری در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۵۳ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۲۳۹ : کامپوننت "عامل استراتژی در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۲۲ و دارای وزن هوشمند ۰/۸۸۵۹ کامپوننت "عامل کیفیت در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۸۱۵ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۹۹۹: کامپوننت "عامل محیط کار در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۶۲ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۳۵۰ با دستور [۰/۹۱۲۹;۰/۹۲۳۹;۰/۸۸۵۹;۰/۹۹۹۹;۰/۹۳۵] بهره‌برداری شده‌است که خروجی آن ۵/۲۹ درون یک طیف شش‌تایی می‌باشد؛ یعنی وضعیت اهمیتی (پس از اجرای تحقیق) نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه؛ در وضعیت خیلی خوب (MF5=V.H) قرار دارد و برابر با ۰/۸۸۲(۸۸٪ بهینگی تابع هدف براساس نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد) است. تابع هدف بهینه تحقیق به شرح ذیل است:]=۰/۹۱۲۹Y+۰/۹۲۳۹X1+۰/۸۸۵۹X2+۰/۹۹۹X3+۰/۹۳۵X4=[۰/۸۸۲X5 بنابراین مدیران صنایع نساجی و پوشاک؛ بایستی به وضعیت عملکردی (قبل از اجرای تحقیق) متغیرهای مدل تحقیق یعنی: عامل کارکنان در نت با کد A شامل: a) عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه پیشگیرانه (رشته سازمانی) با هدف حداکثرسازی در دسترس بودن تجهیزات، a2) عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه برنامه‌ریزی‌شده (پیش کار طرح) باهدف برنامه‌ریزی و پیش‌بینی قبل از خرابی تجهیزات: a3) عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه واکنشی (پاسخ به وقایع) با هدف رفع عیب پس از خرابی تجهیزات): a3 عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه واکنشی (پاسخ به وقایع) با هدف رفع عیب پس از خرابی تجهیزات).

عامل فناوری در نت با کد B شامل: b1 ارتقای عملکرد فناوری عملیات تولید براساس سنسورهای تجهیزات جهت سنجش میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات، b2 ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سابقه نگهداری و تعمیرات جهت تشخیص موارد غیر عادی و تحلیل ریسک: b3) ارتقای عملکرد فناوری عملیات تولید براساس سوابق بازرسی‌های فنی جهت تشخیص عیوب پیشرفته در مدیریت زنجیره تامین.

عامل استراتژی در نت با کد C شامل:c1) عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده: c2) مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی؛ c3) بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی؛

عامل کیفیت در نت با کد D شامل: d1) سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان شکست (MTTF)؛ d2) سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان تعمیر (RTTF)؛

عامل محیط کار در نت با کد E شامل: e1) بهبود در عملیات تولید محیط کار از طریق هوشمندسازی تصمیم‌گیری در نت پیشگیرانه،e2) نوآوری در عملیات تولید محیط کار از طریق بکارگیری دانش ایجادشده در نت پیشگیرانه؛ سازمان تمرکز داشته باشند.

در اینجا جهت ارزیابی و اعتبارسنجی فرآیند مدل‌سازی هوش مصنوعی برای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مورد مطالعه؛ بعد از طراحی سیستم هوشمند تحقیق؛ خروجی‌ها و جواب‌های سیستم هوشمند این تحقیق در یک ابزار گردآوری اطلاعات جداگانه، با نظرات ۱۸ نفر از دیتاست و خبرگان مذکور مقایسه شدند: فرض صفر (H0): بین میانگین نظرات خبرگان با خروجی‌های "سیستم هوشمند PM- -ANFIS " تفاوت معناداری وجود دارد. فرض مقابل (H1): بین میانگین نظرات خبرگان و خروجی‌های "سیستم هوشمند PM -ANFIS " تفاوت معناداری وجود ندارد.

با توجه به اطلاعات توصیفی موجود؛ می‌توان به مقایسه خروجی‌های سیستم هوشمند این تحقیق یعنی: PM--ANFIS با میانگین نظرات خبرگان پرداخت. از آنجاییکه دیتاست و نظرات خبرگان براساس توابع عضویت و انتخاب نوع جهش متغیر خروجی (دارای MF =5) بیان شده‌اند لذا جهت آزمودن فرض بالا می‌توان از درصد اختلاف بین خروجی‌های سیستم هوشمند این تحقیق یعنی PM -ANFIS با میانگین نظرات خبرگان به شرح ذیل استفاده نمود.

جدول ۵. اطلاعات مربوط به مقایسه خروجی‌های "سیستم هوشمند PM-ANFIS " با میانگین نظرات خبرگان

قواعد سیستم هوشمند	خروجی های سیستم هوشمند	میانگین پاسخ خبرگان و دیتاست	نسبت اختلاف	تفاوت نهایی
Rule3	1	1.22	0.22÷4=0.055	
Rule45	3	2.72	0.28÷4=0.0675	
Rule79	3	2.78	0.22÷4=0.055	
Rule86	2	1.67	0.33÷4=0.0825	
Rule103	2	1.67	0.33÷4=0.0825	0.06475
Rule140	3	2.78	0.22÷4=0.055	
Rule157	3	3	0÷4=0	
Rule219	2	1.94	0.06÷4=0.015	
Rule224	2	1.39	0.061÷4=0.01525	
Rule235	2	1.78	0.33÷4=0.0825	

همانطورکه مشاهده می‌گردد اختلاف نهایی بین خروجی‌های سیستم هوشمند این تحقیق یعنی: PM -ANFIS و میانگین نظرات خبرگان معنی‌دار نبوده و برابر با ۰/۰۶۴۷۵ (۶۵ هزارم (کمتر از 7 درصد)) است. از آنجاییکه علت کافی برای پذیرش فرض صفر وجود ندارد لذا فرض مقابل پذیرفته می‌گردد یعنی بین میانگین نظرات خبرگان و خروجی‌های "سیستم هوشمند PM-ANFIS " تفاوت معناداری وجود ندارد. سایر نتیجه‌گیری‌ها در فصل آخر یعنی فصل پنجم ارائه خواهد شد.

نتیجه‌گیری تحقیق براساس محاسبات بهینه‌سازی مبتنی بر تکنیک شبکه‌های عصبی (ANN) با استفاده از محیط هوش مصنوعی MatLab بدین شرح است که :جهت تحلیل هوشمند متغیر خروجی سیستم " نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد" می‌توان به تحلیل خروجی‌های سیستم هوشمند PM-ANFIS به‌صورت عددی (دقیق) و زبانی؛ پرداخت. در اینجا؛ با بهره‌برداری از خروجی‌های سیستم هوشمند PM -ANFIS می‌توان وضعیت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد در صنایع نساجی و پوشاک" را بر اساس متغیرهایی چون متغیر "عامل کارکنان در نت"؛ متغیر "عامل فناوری در نت"؛ متغیر "عامل استراتژی در نت"؛ متغیر "عامل کیفیت در نت" و متغیر "عامل محیط کار در نت" مورد تحلیل قرار داد.

اگر (If)؛

وضعیت "عامل کارکنان در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۱۲۹؛ وضعیت "عامل فناوری در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۲۳۹؛ وضعیت "عامل استراتژی در نت" نسبتاً خوب (کران پایین تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۸۸۵۹؛ وضعیت "عامل کیفیت در نت" کاملاً خوب (بالاترین تابع عضویت) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۹۹۹ و وضعیت "عامل محیط کار در نت" خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۳۵۰؛ باشد.

آنگاه (Then)؛

وضعیت متغیر خروجی تحقیق یعنی "عملکرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (Y)" در پنجمین سطح خود یعنی خیلی خوب (MF5=V.H) قرار دارد و برابر با ۰/۸۸۲ (۸۸٪ بهینگی تابع هدف براساس نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد) است. درحقیقت برای تحلیل هوشمند متغیر خروجی در PM -ANFIS براساس وضعیت اهمیتی (پس از اجرای تحقیق) به‌صورت عددی و زبانی براساس پنج متغیر ورودی؛ از کامپونت "عامل کارکنان در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۴۴ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۱۲۹؛ کامپونت "عامل فناوری در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۵۳ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۲۳۹؛ کامپونت "عامل استراتژی در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۲۲ و دارای وزن هوشمند ۰/۸۸۵۹؛ کامپونت "عامل کیفیت در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۸۱۵ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۹۹۹؛ کامپونت "عامل محیط کار در نت"؛ با ضریب پویای موزون برابر با ۰/۷۶۲ و دارای وزن هوشمند ۰/۹۳۵۰؛ با دستور [۰/۹۱۲۹;۰/۹۲۳۹;۰/۸۸۵۹;۰/۹۹۹۹;۰/۹۳۵] بهره‌برداری شده‌است که خروجی آن ۵/۲۹ درون یک طیف شش‌تایی می‌باشد؛ یعنی وضعیت اهمیتی (پس از اجرای تحقیق) نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه؛ در وضعیت خیلی خوب (MF5=V.H) قرار دارد و برابر با ۰/۸۸۲ (۸۸٪ بهینگی تابع هدف براساس نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد) است. تابع هدف بهینه تحقیق به شرح ذیل است.

$$Y=[۰/۹۱۲۹X1+۰/۹۲۳۹X2+۰/۸۸۵۹X3+۰/۹۹۹X4+۰/۹۳۵X5]=۰/۸۸۲$$

نوآوری تحقیق در قالب جدول زیر ارائه شده‌است.

جدول ٦. پیشنهادات تحقیق

عنوان تحقیق	منبع	نگهداري و تعميرات	نت پيش گيرانه	عامل كاركنان در نت	عامل فناوري در نت	عامل استراتژي در نت	عامل محيط كار در نت	عامل محيط كار در نت	عمليات توليد	صنايع نساجي و پوشاك	متدولوژي شبكه هاي عصبي	منطق فازي	سيستم خبره	محيط دايناميك Venasim	محيط هوش مصنوعي Matlab	مطالعه موردي: كارخانه هاي نساجي بروجرد
تحقیق حاضر		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A new model based on Artificial Bee Colony algorithm for preventive maintenance with replacement scheduling in continuous production lines	Ozcan & Simsir. 2019	*	*	-	-	-	*	*	*	-	-	-	-	-	*	-
Integrated control policy of production and preventive maintenance for a deteriorating manufacturing system	Seiti ,et al. 2019	*	*	-	-	*	-	-	*	-	-	*	-	-	*	-
Quantitative analysis of a conceptual system dynamics maintenance performance model using multi-objective optimization	Linnéusson, et al. 2018	*	-	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	*	-	-
Integrated control policy of production and preventive maintenance for a deteriorating manufacturing system	Kang & Subramaniam. 2018	*	*	-	*	-	*	*	*	-	-	-	-	-	*	-
Simulation-based optimisation of maintenance systems: Industrial case studies	Alrabghi , et al. 2017	*	-	-	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-

مقایسه یافته هاي تحقيق (نوآوري هاي پژوهشي)

جدول xx مقایسه یافته های مرتبط‌ترین تحقیق های موجود در ادبیات نظری با یافته های تحقیق حاضر

درحقیقت، مهمترین و کلیدی‌ترین پیشنهاد تحقیق حاضر برای طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه این است که با بهبود وضعیت عملکردی "عامل کارکنان در نت" دربرگیرنده شاخص‌هایی ازقبیل: عملکرد استراتژیک کارکنا در دامنه پیشگیرانه (رشته سازمانی) با هدف حداکثرسازی در دسترس بودن تجهیزات، عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه برنامه‌ریزی‌شده (پیش کار طرح) با هدف برنامه‌ریزی و پیش‌بینی قبل از خرابی تجهیزات و عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه واکنشی (پاسخ به وقایع) با هدف رفع عیب پس از خرابی تجهیزات) می‌توان به بهبود متغیرهای مدل پویا اقدام نمود زیرا پروژه تعمیر و بازسازی ماشین چاپ روتاری اشتورک نساجی بروجرد، از مهمترین نمونه‌های پیشنهادات پژوهشی است. دستگاه چاپ روتاری اشتورک به‌عنوان یکی از مهمترین ماشین‌های تولیدی شرکت در سال ۱۳۸۲ شمسی نصب و در اواخر این سال شروع بکار نمود. سال‌های ۷۲ الی ۸۰ این دستگاه به‌صورت یک شیفت یا دو شیفت مشغول به فعالیت بوده و اولین تعمیر ماشین در سال ۱۳۹۴ به‌صورت تعویض بلنکت صورت می گیرد و در ادامه در اوایل سال ۱۴۰۰ به علت ایجاد مشکلاتی در این دستگاه ضمن توقف ۸ روزه مجدداً بلنکت تعویض و تعمیرات جزئی بر روی ماشین صورت گرفته و پس از آن به مدت ۳ ماه در شیفت شب که ماشین متوقف بوده تعمیراتی بر روی ماشین انجام شده‌است. پس از آن ماشین چاپ به‌صورت ۳ شیفت کار خود را ادامه داده‌است. با بهبود وضعیت عملکردی "عامل فناوری در نت" دربرگیرنده شاخص‌هایی از قبیل: ارتقای عملکرد فناوری عملیات تولید براساس سنسورهای تجهیزات جهت سنجش میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات، ارتقای عملکرد فناوری عملیات تولید براساس سابقه نگهداری و تعمیرات جهت تشخیص موارد غیرعادی و تحلیل ریسک و ارتقای عملکرد فناوری عملیات تولید براساس سوابق بازرسی‌های فنی جهت تشخیص عیوب پیشرفته در مدیریت زنجیره تامین؛ می‌توان به بهبود متغیرهای مدل پویا، اقدام نمود

زیرا در سال ۹۵ خرابی‌ها بر روی ماشین چاپ روتاری اشتورک افزایش پیدا کرد بصورتیکه واحد فنی مجبور شد برای ادامه کار دستگاه، مکانیزم‌های مختلف را در دستگاه غیرفعال نماید که نتیجه آن افت راندمان و افزایش ضایعات در این ماشین بود. بنا بر مسائل گفته‌شده و روشن‌شدن زنگ خطر در این بخش، مدیریت مجموعه جهت بازسازی کامل ماشین اقداماتی را شروع نمود که نتیجه آن به علت بالابودن هزینه‌های بازسازی خرید ماشین چاپ جدید بوده‌است که اقدامی ماندگار در شرکت می‌باشد. ولیکن به علت سیاست‌های افزایش تولید مجدداً در سال ۱۳۹۹ بازسازی ماشین چاپ در اولویت کارها قرار گرفت ولیکن به علت محدودیت‌هایی مانند مشکل تهیه قطعات خارجی و فشار تولید کار مشمول زمان گردید تا اینکه در تیر ۱۴۰۰ بناچار با توجه به افت شدید راندمان ماشین و بحران‌های پیش آمده در کشور مدیریت مجموعه و تیم فنی مجبور به اتخاذ یک تصمیم بزرگ شدند، بدون اتکاء به قطعات خارجی و تنها با تکیه به دانش فنی داخلی بازسازی ماشین آغاز شد.

با بهبود وضعیت عملکردی "عامل استراتژی در نت" دربرگیرنده شاخص‌های از قبیل: عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده، مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی، و بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی؛ می‌توان به بهبود متغیرهای مدل پویا، اقدام نمود زیرا قیمت مواد اولیه صنعت پوشاک و نساجی در آذرماه ۱۳۹۸ سه تا پنج برابر شد، با افزایش نرخ ارز، قیمت مواد اولیه مورد نیاز صنایع پوشاک و نساجی سه تا پنج برابر افزایش یافته و در عین حال اگر قبلاً می‌شد خرید مدت‌دار انجام گردد، حالا باید مواد اولیه صنعت پوشاک و نساجی، کاملاً نقدی خریداری گردد. این اتفاق باعث افزایش قیمت تمام شده تولیدات داخلی شده‌است. در حال حاضر قاچاق پوشاک به کشور صورت می‌گیرد و تولیدکنندگان داخلی باید با کالاهای قاچاق رقابت کنند. مواد اولیه مورد نیاز صنعت پوشاک از جمله نخ پلی‌استر و الیاف پلی‌استر عمدتاً وارداتی است که با افزایش نرخ ارز، صنایع پتروشیمی نیز قیمت این مواد را برای کارخانجات افزایش داده‌اند. این افزایش قیمت حتی در مورد نخ و الیاف پلی‌استر که صادرات زیادی دارند نیز اتفاق افتاده است.

با بهبود وضعیت عملکردی "عامل کیفیت در نت " دربرگیرنده شاخص‌های از قبیل: سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان شکست (MTTF) و سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان تعمیر (RTTF)؛ می‌توان به بهبود متغیرهای مدل پویا، اقدام نمود زیرا آزمایشگاه مجهز رنگرزی و چاپ شامل انواع دستگاه‌های آزمایش پارچه خام و تکمیل شده از معروف‌ترین کمپانی‌های دنیا مانند دیتا کالر سوئیس می‌باشد. واحد مهندسی صنعتی و تحقق توسعه کارخانجات از فعال‌ترین و به‌روزترین بخش‌های مجموعه بوده و توانسته ضمن ارائه اطلاعات دقیق و به‌روز به مدیریت دستاوردهای مثبت و مهمی را در بخش‌های مختلف به دنبال داشته باشد.

با بهبود وضعیت عملکردی "عامل محیط کار در نت" دربرگیرنده شاخص‌های ازقبیل: بهبود در عملیات تولید محیط کار از طریق هوشمندسازی تصمیم‌گیری در نت پیشگیرانه و نوآوری در عملیات تولید محیط کار از طریق به‌کارگیری دانش ایجادشده در نت پیشگیرانه؛ می‌توان به بهبود متغیرهای مدل پویا، اقدام نمود زیرا برنامه راهبردی وزارت صنعت، معدن و تجارت در دولت مردمی؛ طرز نگاه مقامات بلندپایه صنعتی و اقتصادی به صنایع کشور است، که صنعت نساجی و

پوشاک در آن، در رده سوم قرار دارد. دستیابی به جایگاه سوم صنعت نساجی در منطقه و رسیدن به رتبه پنجاهم جهان با تکیه بر رقابت‌پذیری، نوسازی و سرمایه‌گذاری همراه با توسعه فناوری و ارتقای بهره‌وری عوامل تولید را می‌توان از اهداف پیش‌بینی شده در افق ۱۴۰۴ برای این صنعت دانست. راهبردهای توسعه صنعت نساجی و پوشاک در این سند ۱۱ برنامه راهبردی برای این بخش توصیه شده که در این زمینه بهبود فضای کسب‌وکار و رقابت‌پذیرکردن صنعت نساجی و پوشاک، تنوع‌بخشی و توسعه صادرات منسوجات و پوشاک با ارزش‌افزوده بیشتر مبتنی‌بر مزیت‌های رقابتی و تقویت و تکمیل خوشه‌های صنعتی منسجم و توانمند درنظر گرفته شده‌است. نتایج تحقیق حاضر می‌توان به ارتقای عملکرد مدیر کل دفتر صنایع نساجی و پوشاک کمک نماید:

پیگیری و اجرای طرح‌های بازسازی و نوسازی صنایع تحت پوشش و ارائه راهکارها، پیشنهادات و دستورالعمل‌های مربوطه، ارائه پیشنهادات لازم جهت ایجاد زمینه‌های مساعد برای توسعه فعالیت‌های تحقیقاتی و کاربردی همراه با انجام بررسی‌ها و مطالعات لازم در جهت بالا بردن توان رقابتی تولید در صنایع تحت پوشش.، مشارکت با موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مراجع مربوطه جهت تدوین یا بازنگری استانداردهای موردنیاز (به لحاظ کیفی، زیست محیطی و مدیریتی)، مشارکت در انجام مطالعه و بررسی‌های لازم به‌منظور استفاده بهینه از منابع انرژی و کاهش ضایعات و ارائه راهکارهای تخصصی به واحدها جهت بازیابی ضایعات، مشارکت و همکاری با انجمن‌ها و تشکل‌های صنعتی جهت تدوین طرح بازسازی و نوسازی صنایع (در چارچوب طرح کلی بازسازی و نوسازی صنایع کشور) و پیگیری جهت تصویب و اجرای آنها، پشتیبانی استراتژیک و راهنمایی‌های فنی صاحبان صنایع به سمت بکارگیری صنایع مرتبط، نظارت بر روند توسعه صنایع مرتبط کشور به‌منظور تحقق سیاست‌ها و برنامه‌ها و اهداف دوربرد دستیابی به صنایع پیشرفته، تهیه و پیشنهاد لوایح رفع تنگناها و اصلاح قوانین بازدارنده برای توانمندسازی صنایع مرتبط کشور، انجام مطالعه و بررسی‌های لازم جهت تنظیم و پیشنهاد راهکارهای انتقال و جذب و ارتقای بهره‌وری صنایع مرتبط، افزایش کیفیت و استاندارد محصولات و فرآیندها و رقابتی‌نمودن تولیدات، جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی صنایع پیشرفته و ارتقای سطح مدیریت صنایع مذکور، ظرفیت سالیانه تولید کارخانجات نساجی بروجرد، ۲۰ میلیون متر انواع پارچه‌های لباسی, پیراهنی, ملحفه‌ای, پرده‌ای و رومبلی پنبه‌ای و الیاف مصنوعی است. مجموعه امکانات فوق الذکر و دانش فنی و تجربه کارکنان به همراه بهترین مواد اولیه برای تولید محصولات مطابق با استانداردهای جهانی فراهم شده‌است. در حال حاضر محصولات نساجی بروجرد عمدتا به ایتالیا صادر می‌شود و در آینده نزدیک با اجرای طرح دوخت لباس علاوه بر پارچه، لباس نیز صادر خواهد شد. امروزه بدون شک نساجی بروجرد یکی از برجسته‌ترین شرکت‌ها در صنعت نساجی به شمار می‌آید و برای تمام دست اندرکاران این صنعت آشنا و محصولات آن در ایران و اروپا از شهرت برخوردار است. درحقیقت، یکی از اصلی‌ترین پیشنهاد تحقیق حاضر برای مدیران کارخانجات نساجی بروجرد این است که با بهره‌گیری از نتایج تحقیق برای تصمیم‌گیری هوشمند مبتنی بر نوآوری جهت کاهش ضایعات در نگهداری و تعمیرات از طریق تصمیم‌گیری هوشمند درمورد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات با بهره‌برداری از شاخص‌های سلامت تجهیزات، تصمیم‌گیری هوشمند درمورد پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده تجهیزات و تصمیم‌گیری هوشمند درمورد احتمال خرابی و قابلیت اطمینان تجهیزات، اقدام نمایند؛ زیرا ماشین‌آلات و دستگاه‌های کارخانه‌های نساجی بروجرد عبارتنداز:

جدول ۷. لیست تجهیزات کارخانه نساجی شهرستان بروجرد

ماشینهای خط تولید ریسندگی **حلاجی ریتر ساخت کشور سوئیس** **کاردینگ ریتر ساخت کشور سوئیس** **کشش ریتر ساخت کشور سوئیس** **شانه ریتر ساخت کشور سوئیس** **اپن اند ریتر ساخت کشور سوئیس**	ماشینهای خط تولید بافندگی چله پیچ مستقیم بنینگر ساخت کشور المان چله پیچهای بخشی بنینگر و وندویل ساخت کشورهای آلمان و بلژیک آهار زن ساخت کشور آلمان بوبین پیچ ساخت کشور لهستان ساخت کشور سوییس **PU7100** سولزر
ماشينهاي رنگرزي **رنگرزي توموزول بابكوك ساخت كشور آلمان** **چاپ روتاري اشتورك ساخت كشور هلند** **استيمر اشتورك ساخت كشور هلند** **شستشوي بابكوك ساخت كشور آلمان** **آهار گيري اشتهوف ساخت كشور آلمان** **سفيد گري كوسترز ساخت كشور آلمان** **امرايزينگ سوكر مولر ساخت كشور آلمان** **دكاتايزينگ منشنر ساخت كشور آلمان**	**ماشینهای خط تولید آزمایشگاه مجهز کنترل کیفیت و تست فیزیکی** **حلاجی کاردینک. کشش، شانه و فلایر ریتر ساخت کشور سوییس** **رینگ و)تمام تاب(زینسر ساخت کشور آلمان** **اتوکنر اشلا فهورث ساخت کشور آلمان** **دولا تابی زاوررآلما ساخت کشور آلمان** **فیکسه بخار ولکر ساخت کشور آلمان**

با توجه به مطالب مذکور، مهمترین توصیه‌ها و پیشنهادات برای تحقیق‌های بعدی را می‌توان این چنین بیان نمود: الف) بهره‌برداری از سایر تکنیک‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی و مهمترین و مرتبط‌ترین الگوریتم‌های موجود در حوزه هوش مصنوعی، به‌منظور افزایش غنای محتوایی سیستم مذکور و نیز بهبود فرآیند استنتاج فازی آن برای طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه؛ ب) بهره‌برداری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) فازی، به‌منظور رتبه‌بندی شبکه‌ای روابط بین مدل نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه. ج) بکارگیری متدولوژی آنتولوژی (Ontology) فازی، جهت مدل‌سازی جامع نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه.

منابع

الف) منابع فارسی

امیری، فرزاد؛ حدیث فیضی کمره؛ منا خامه‌ای و الهام نظری، ۱۳۹۶، نقش مدیریت اطلاعات (IM) و سیستم مدیریت منابع(ERP)در مدیریت دانش استراتژیک و تصمیم‌گیری، دومین همایش ملی مدیریت مهندسی، آستانه اشرفیه، مؤسسه آموزش عالی مهرآستان گیلان

حیدریانی زاده، ابوذر و سیدمحمود زنجیر چی، ۱۳۹۶، ارتقای اثربخشی جامع ماشین‌آلات با بهره‌برداری از نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مورد مطالعه: دستگاه‌های منتخب پرس شرکت یزد پیچ، اولین کنگره بین‌المللی علوم مهندسی ۲۰۱۷، شیراز، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی

رحیمی، مختار و مهرداد نیکبخت، ۱۳۹۷، شناسایی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر بهروری و کاهش هزینه سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در شرکت انتقال گاز منطقه۲ اصفهان، ششمین همایش ملی تازه یافته‌ها در مدیریت و مهندسی صنایع با تاکید بر کارآفرینی در صنایع، تهران، دانشگاه پیام نور

قاصدی، ملیکا، ۱۳۹۷، مدیریت اثربخش تغییر: لازمه اجرای موفق استراتژی‌های بنگاه تولیدی، همایش ملی الگوهای نوین در مدیریت و بنگاه تولیدی با رویکرد حمایت از کارآفرینان ملی، تهران، مؤسسه آموزش عالی نگاره

ب) منابع لاتین

Alsyouf, I. 2009. Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. International Journal of Production Economics, 121 (1), 212-223. doi: https://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.005

Arnetz, J. E., Zhdanova, L., & Arnetz, B. B. (2016). Patient involvement: a new source of stress in health care work? Health communication, 31(12), 1566-1572.

Bangalore, P., & Tjernberg, L. B. 2015. An artificial neural network approach for early fault detection of gearbox bearings. IEEE Transactions on Smart Grid, 6 (2), 980-987.

Bell, M. A. 2015. Methods for enhancing system dynamics modeling: state-space models, data-driven structural validation & discrete event simulation. (PhD), Lancaster University.

Brailsford, S., Desai, S. M., & Viana, J. 2010. Towards the holygrail: Combining System dynamics and discrete-event simulation in healthcare. Paper presented at the Proceedings of the Winter Simulation Conference

Droguett, E. L., Jacinto, C. M. C., Garcia, P. A. A., & Moura, M. 2006. Availability assessment of onshore oil fields. Paper presented at the Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2006, ESREL 2006 – Safety and Reliability for Managing Risk.

Eti, M.C. & Ogaji, Stephen & Probert, S.D.. (2006). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. Applied Energy. 83. 1235-1248.

Garcia, Kyounghyun, Minh Chau Nguyen, and Heesun Won. 2015. "Web-based collaborative big data analytics on big data as a service platform." 17th International Conference on Advanced Communication Technology

Kauppi, K, Longoni, A. 2016. Managing country disruption risks and improving operational performance: risk management along integrated supply chains, International Journal of Int.J. Production Economics, vol. 182, PP.484-495.

Kováč, J., Stejskal, T., & Valenčík, Š. (2013). Virtual Reality in the Maintenance of Machinery and Equipment. Applied Mechanics and Materials, 282, 269–273.

Laks, Paul & Wim J. C. Verhagen. 2018. Identification of optimal preventive maintenance decisions for composite components. Transportation Research Procedia, Volume 29, 2018, Pages 202-212

Liyanage, J. and Kumar, U. (2003), "Towards a value-based view on operations and maintenance performance management", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 9 No. 4, pp. 333-350.

Sgarbossa, Fabio, 2018. Impacts of Weibull parameters estimation on preventive maintenance cost. IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 11, 2018, Pages 508-513

S. K. Yang, "A condition-based failure-prediction and processing-scheme for preventive maintenance," in IEEE Transactions on Reliability, vol. 52, no. 3, pp. 373-383, Sept. 2003.

Song, Jian, et al. 2018. Dynamic Simulation of the Group Behavior under Fire Accidents Based on System Dynamics. Procedia Engineering, Volume 211, 2018, Pages 635-643

Trejo, d. and Reinschmidt, k. \Justifying materials selection for reinforced concrete structures: Part I – Sensitivity analysis", Journal of Bridge Engineering, 12(1), pp. 31-37 (2005).

Wan, Shan & Li, Dongbo & Gao, James & Roy, Rajkumar & He, Fei. (2018). A collaborative machine tool maintenance planning system based on content management technologies. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 94. 1639-1653. 10.1007/s00170-016-9829-0.

Woodhouse P., & Tjernberg, L. B. 2015. An artificial neural network approach for early fault detection of gearbox bearings. IEEE Transactions on Smart Grid, 6 (2), 980-987.

Xue, Chaogai &Yawen Xu. 2017. Influence Factor Analysis of Enterprise IT Innovation Capacity Based on System Dynamics. Procedia Engineering, Volume 174, 2017, Pages 232-239