Proposing an Approach to Determine the Appropriate Multi-product Preventive and Maintenance Policies Using Simulation and MCDM

Mostafa Khodayari
MSc. Student of Industrial Engineering, Urmia University of Technology (UUT), Urmia, Iran. E-mail: mostafa.khodayari72@gmail.com

Sohrab Abdollahzadeh
*Corresponding author, Assistant Prof., Dep. of Industrial Engineering, Urmia University of Technology (UUT), Urmia, Iran. E-mail: s.abdollahzadeh@uut.ac.ir

Abstract

Objective: Utilizing appropriate policies can reduce maintenance costs. In conventional methods for selecting appropriate maintenance policies in multi-product processes, only one policy is taken for the entire production line. The current research objective is to provide a multi-criteria decision-making method based on computer simulation results in order to select the best maintenance policy for each production line.

Methodology: The simulation model is made up according to the number of maintenance policies and according to the parameters of each production line. The results of the implementation of the simulation model determine the quantities of each production line maintenance criteria. Using the Network Analysis Process (ANP) and Vikor Decision-Making Technique, maintenance ranking policies and top policy are selected for each production line.

Results: The results of the research showed the effectiveness of the newly proposed method in comparison to conventional methods. Because in a multi-product manufacturing unit, the performance of the equipment varies from one production line to another, and requires separate maintenance methods; So that a given policy may be appropriate for a set of equipment at one time and not in a different period. The results are based on a case study in an Iranian food industry unit.

Conclusion: Selection of different maintenance policies for various production lines will increase the efficiency of the lines and reduce production costs.

Keywords: Preventive and maintenance policies, Simulation, MCDM, Multi-product process, Arena, Vikor.

Citation: Khodayari, M., Abdollahzadeh, S. (2018). Proposing an Approach to Determine the Appropriate Multi-product Preventive and Maintenance Policies Using Simulation and MCDM. *Industrial Management Journal,* 10(2), 279-296. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2018, Vol. 10, No.2, pp. 279-296
DOI: 10.22059/imj.2018.248555.1007365
Received: December 16, 2017; Accepted: April 21, 2018
© Faculty of Management, University of Tehran

رویکردی برای تعیین سیاست‌های مناسب نگهداری و تعمیرات چند محصولی با استفاده از شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره

مصطفی خدایاری

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: mostafa.khodayari72@gmail.com

سهراب عبداله‌زاده

* نویسنده مسئول، استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: s.abdollahzadeh@uut.ac.ir

چکیده

هدف: بهره‌مندی از سیاست‌های مناسب می‌تواند کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات (نت) را به همراه داشته باشد. در روش‌های مرسوم برای انتخاب سیاست‌های مناسب نت در فرایندهای چند محصولی، تنها یک سیاست برای کل خطوط تولید در نظر گرفته می‌شود. هدف پژوهش پیش رو، ارائه یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری به‌منظور انتخاب بهترین سیاست نت برای هر یک از خطوط تولیدی است.

روش: به تعداد سیاست‌های نت و با توجه به پارامترهای هر یک از خطوط تولیدی، مدل شبیه‌سازی ساخته می‌شود. نتایج اجرای مدل شبیه‌سازی، مقادیر هر یک از معیارهای نت خط تولید را ارائه می‌دهد. با استفاده از روش تصمیم‌گیری فرایند تحلیل شبکه (ANP) و Vikor، سیاست‌های نت رتبه‌بندی و سیاست برتر هر یک از خطوط تولیدی انتخاب می‌شود.

یافته‌ها: نتایج پژوهش، کارایی بسیار خوب روش جدید را نسبت به روش‌های مرسوم نشان داد؛ زیرا در یک واحد تولیدی چند محصولی، عملکرد تجهیزات در خطوط تولیدی مختلف با یکدیگر متفاوت است و به روش‌های نت جداگانه‌ای نیاز دارد؛ به‌طوری که ممکن است یک سیاست معین در یک دوره برای مجموعه‌ای از تجهیزات مناسب بوده و در دوره‌ای دیگر مؤثر نباشد. نتایج به‌دست آمده، بر اساس یک مطالعه موردی در یک واحد صنایع غذایی ایرانی است.

نتیجه‌گیری: انتخاب سیاست متفاوت نت برای خطوط مختلف تولیدی، کارایی خطوط را بالاتر برده و هزینه‌های تولیدی را کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: سیاست نت، شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی چند شاخصه، فرایند چند محصولی، نرم‌افزار Arena، Vikor.

استناد: خدایاری، مصطفی؛ عبداله‌زاده، سهراب (۱۳۹۷). رویکردی برای تعیین سیاست‌های مناسب نگهداری و تعمیرات چند محصولی با استفاده از شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۲)، ۲۷۹- ۲۹۶.

فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۳۹۷، دوره ۱۰، شماره ۲، صص. ۲۷۹- ۲۹۶
DOI: 10.22059/imj.2018.248555.1007365
دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

نگهداری و تعمیرات یکی از مفاهیم اساسی در سازمان‌های پیشرفته و در حال حرکت به سمت کلاس جهانی است که جایگاه ویژه‌ای در سطح مدیران، به‌ویژه مدیران ارشد و کارکنان سازمان دارد (آقایی و ناجی‌زاده، ۱۳۹۴). یکی از مسائل عمده مؤسسه‌های تولیدی، حفظ آمادگی و عملیاتی نگه‌داشتن تجهیزات، ماشین‌آلات و تأسیسات تولیدی است و اصولی‌ترین راه حل آن، استفاده از سیستم برنامه‌ریزی نت است (کاسادی و کوتان اوغلو، ۲۰۰۵). هزینه‌های نت حدود ۱۵ تا ۷۰ درصد هزینه‌های عملیاتی یک سازمان تولیدی متناسب با نوع صنعت را شامل می‌شود. بهره‌مندی از سیاست مناسب نت، کاهش هزینه‌ها را به همراه دارد (فیتوحی و نوالفتح، ۲۰۱۴). سیاست‌های متفاوتی برای نت بیان‌شده که به‌کارگیری هر سیاست بسته به نوع صنعت، از مزایا و معایبی برخوردار است (دو، ویسینی، لورات و لونگ، ۲۰۱۵). در گذشته تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی اثربخشی سیاست‌های نت انجام گرفته که هر یک با استفاده از روش خاصی به طراحی و انتخاب بهترین سیاست یا ترکیبی از انواع سیاست نت پرداخته‌اند (اسماعیلیان، لورک‌زاده و زارعیان، ۱۳۹۴).

در یک واحد تولیدی چند محصولی، عملکرد تجهیزات در خطوط تولیدی مختلف با یکدیگر متفاوت است و به روش‌های نت جداگانه‌ای نیاز دارد؛ به‌طوری که ممکن است یک سیاست معین در یک دوره برای مجموعه‌ای از تجهیزات مناسب بوده و در دوره‌ای دیگر مؤثر نباشد؛ در حالی که در تحقیقات گذشته، سیاست نت برای کل کارخانه یا خطوط تولیدی تعیین شده و به‌منظور تعیین وزن معیارها در فرایند انتخاب سیاست مناسب نت، از نظر خبرگان بهره برده شده است (لیو، ژو و کو، ۲۰۱۴).

اغلب پیدا کردن چندین خبره هزینه و زمان زیادی نیاز دارد. حتی در مواردی که صنعت از پیچیدگی زیاد یا قدمت کمتری برخوردار است، دستیابی به خبرگان به تعداد لازم بسیار مشکل خواهد بود. به همین دلیل، در پژوهش پیش رو به‌منظور افزایش دقت محاسبه مقادیر هر یک از معیارهای نت و نیز کاهش وابستگی به نظر خبرگان، رویکرد جدیدی پیشنهادشده که این مقادیر به‌جای خبرگان به‌وسیله ابزار شبیه‌سازی کامپیوتری تعیین می‌شود. روش کار به این صورت است که پس از تعیین پارامترهای مربوط به ماشین‌آلات خط تولید، با استفاده از نرم‌افزار ارنا[1] به تعداد سیاست‌های نت، مدل شبیه‌سازی ساخته و اجرا می‌شود. نتایج این شبیه‌سازی‌ها، مقادیری برای معیارهای انتخاب سیاست‌ها در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به مقایسه و ارزیابی هر یک از سیاست‌ها پرداخته و مناسب‌ترین سیاست نت برای هر خط انتخاب خواهد شد.

ساختار پژوهش پیش رو به این صورت است که در ادامه، پیشینه پژوهش در زمینه تعیین‌شده مرور می‌شود؛ سپس مدل پیشنهاد شده در زمینه مد نظر تشریح شده و الگوها و مدل‌هایی که برای حل در نظر گرفته شده‌اند، معرفی می‌شوند. بخش بعد، به ارائه نتایج به‌کارگیری رویکرد پیشنهاد شده اختصاص یافته و ضمن مقایسه با روش‌های مرسوم، به تجزیه و تحلیل کارایی آن پرداخته می‌شود. این نوشتار با جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای پژوهش به پایان می‌رسد.

---

[1] Arena

پیشینه پژوهش

در پژوهش پیش رو از مفاهیم نت، شبیه‌سازی کامپیوتری و تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه استفاده شده است. به این منظور، در ادامه مفاهیم و پیشینه مختصری از آنها که مرتبط با پژوهش هستند، آورده می‌شود.

نگهداری و تعمیرات

سازمان‌ها برای طرح‌ریزی تولید، ملزم به بررسی معیارهای اساسی مانند، برآورد میزان تولید و نیازهایی مانند دستگاه‌ها، نیروی انسانی و موارد مشابه هستند. یکی از مشکلات بزرگ برای دستیابی به این اهداف، خرابی ناگهانی دستگاه‌هاست که تأثیر خود را به‌صورت کاملاً محسوس روی تولید می‌گذارد. این علم در حال حاضر به‌صورت نظری و عملی قادر به حل درصد زیادی از این مشکل است (احمدی و گروسی مختارزاده، ۱۳۹۴). نت به مجموعه فعالیت‌هایی گفته می‌شود که به‌طور مشخص و برنامه‌ریزی‌شده و با هدف جلوگیری از خرابی ناگهانی ماشین‌آلات، تجهیزات و تأسیسات انجام می‌شود. تعمیرات هنگامی صورت می‌گیرد که ماشین یا تجهیز از کار می‌افتد، بد کار می‌کند یا به‌گونه‌ای خسارت می‌بیند که عملیات کاری آن‌ها به تأخیر می‌افتد (شی و زنگ، ۲۰۱۶). اصلی‌ترین هدف نت در یک سیستم، طولانی کردن عمر دستگاه‌ها با حداقل هزینه و بیشترین بهره‌وری است که از زمان نصب ماشین‌آلات و در طول دوره تولید تعریف می‌شود (حسینی و قدیمی، ۲۰۱۶). نت روش کارا و مؤثری برای رسیدن به آرامش خاطر از حفظ سطح رضایت‌بخش قابلیت اطمینان یک تجهیز در طول عمر مفید آن با هدف کاهش هزینه‌های عدم اطمینان است (داس، لشگری و سنگوپتا، ۲۰۰۷). سیاست‌های متنوعی در نت به‌کار می‌رود که معروف‌ترین و پرکاربردترین آنها عبارت‌اند از: تعمیرات مبتنی بر خرابی یا از کارافتادگی، نت پیشگیرانه، نت پیش‌گویانه و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (کاباله، کاسترو، پرز و لانزا، ۲۰۱۵).

معیارهای نت

معیارها عامل مقایسه و رتبه‌بندی سیاست‌های نت هستند. دسته‌بندی‌های مختلفی از معیارهای نت ارائه شده است (ونگ، چو و وو، ۲۰۰۷). تریانتافیلف و همکارانش (۱۹۹۷) معیارهای نت را در چهار گروه عمده هزینه، ارزش‌افزوده[1]، ایمنی[2] و قابلیت اجرا[3]، گروه‌بندی کرده‌اند. هریک از معیارها نیز دارای زیرمعیارهایی هستند (زعیم، ترک ایلماز، آکار، الترکی، دمیرال، ۲۰۱۲). از دیدگاه دیگر، برخی از معیارها مانند سخت‌افزار، نرم‌افزار و هزینه‌های آموزش، قابلیت اطمینان، قابلیت اطمینان تجهیزات، کمی بوده و قابل اندازه‌گیری هستند و برخی دیگر مانند ایمنی، انعطاف‌پذیری، پذیرش توسط کارگران، کیفیت محصول، کیفی هستند و با مشکلاتی در اندازه‌گیری مواجه‌اند. معیارهای کمی و کیفی در چهار طبقه اصلی اقتصادی، فنی، اجتماعی و محیطی طبقه‌بندی می‌شوند (شفیعی، ۲۰۱۵). معیارهای اصلی و زیرمعیارهای انتخاب سیاست‌های مناسب نت که بیشترین تأکید در تحقیقات گذشته بر آنها بوده، در جدول ۱ آمده است (شرافت، کریمی و داودی، ۱۳۹۶).

---

[1] Value Adding
[2] Safety
[3] Availability

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای انتخاب سیاست‌های نت

معیار	زیرمعیار	اولویت	معیار	زیرمعیار	اولویت
سود و بهره‌وری	هزینه	۱	قابلیت اطمینان	قابلیت اطمینان	۱
	سود و درآمد	۲		تعمیر پذیری	۲
	بهره‌وری	۳		توان عملیاتی	۲
قابلیت دسترسی	قابلیت دسترسی	۱		کیفیت محصول	۳
	کاهش وقفه یا عملیات بی‌وقفه و بهبود فرایند تولید	۲		تأمین تقاضا	۳
محیط زیست و ایمنی	ایمنی	۱		شدت خرابی	۴
	محیط زیست	۲		نیاز به نت	۴
	مدیریت منابع	۳			

شبیه‌سازی کامپیوتری در نت

از نظر شانون (۱۹۷۵)، شبیه‌سازی عبارت است از فرایند طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هایی با این مدل که با هدف پی بردن به رفتار سیستم یا ارزیابی خط‌مشی‌های گوناگون برای عملیات سیستم، صورت می‌گیرد. شبیه‌سازی سیستم‌های صنعتی دارای مراحل متعددی است که عبارت‌اند از: مطالعه و شناخت سیستم، تعیین سطح شبیه‌سازی، جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها، ساخت مدل پایه، صحه‌گذاری و اعتبارسنجی مدل، اجرای مدل و تحلیل نتایج و انتخاب روش (باولینگ، خاسونه، کایوکوکول و چو، ۲۰۰۴). الرقبی و تیواری (۲۰۱۵) به مطالعه بهینه‌سازی سیستم‌های نت بر مبنای شبیه‌سازی پرداختند. آنها با بررسی ۵۹ مقاله منتشرشده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، به نتایجی در خصوص به‌کارگیری تکنیک‌های شبیه‌سازی در بهینه‌سازی سیستم‌های نت رسیده‌اند که خلاصه آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. کاربرد شبیه‌سازی در بهینه‌سازی سیستم‌های نت

انواع نت	پیش‌گویانه (۲۰٪)	اصلاحی (۱۰٪)	پیشگیرانه (۷۰٪)	سایر
حوزه نت در مدل‌های شبیه‌سازی	دارایی	منابع نت	تولید پویا	–
تکنیک‌های شبیه‌سازی	با پیشامد گسسته (۶۱٪)	پیشامد گسسته با سایر تکنیک‌ها (۷٪)	سایر تکنیک‌ها (۱۴٪)	گزارش نشده (۱۹٪)
مدل‌های بهینه‌سازی	مدل‌های پیشرفته (۵۱٪)	مدل‌های کلاسیک (۱۹٪)	دستی (۲۲٪)	گزارش نشده (۸٪)
مدل‌های پیشرفته	ترکیبی (۱۷٪)	SA (۳٪)	GA (۸۰٪)	–
اهداف بهینه‌سازی	کمترین هزینه (۶۰٪)	حداکثر دسترسی (۱۶٪)	حداکثر خروجی (۱۲٪)	حداکثر سود (۱۲٪)
تک هدفه یا چندهدفه	چندهدفه (۱۵٪)	تک هدفه (۸۵٪)	–	–

تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه

در مدل‌های چند معیاره[1] که برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده به‌کار می‌روند، به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار سنجش استفاده می‌شود. این مدل‌های تصمیم‌گیری به دو گروه عمده دسته‌بندی می‌شوند: مدل‌های چندهدفه و مدل‌های چند شاخصه. مدل‌های چندهدفه به‌منظور طراحی به‌کار می‌روند و مدل‌های چند شاخصه برای انتخاب گزینه برتر استفاده می‌شوند (دزنگ و هوانگ، ۲۰۱۱).

روش تحلیل شبکه[2]، نظریه جدیدی است که فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را برای پرداختن به وابستگی در بازخورد توسعه می‌دهد و از رهیافت ابر ماتریس استفاده می‌کند. هر دو فرایند تحلیل شبکه‌ای و تحلیل سلسله‌مراتبی، اولویت‌ها را با انجام مقایسه‌های زوجی تشخیص می‌دهند، اما تفاوت‌هایی میان آن‌ها وجود دارد (ساعتی، ۲۰۰۴).

ویکور[3] یک عبارت صربستانی به‌معنای راه حل توافقی و بهینه‌سازی چند معیاره است. این روش را نخستین بار اوپریکوویچ در سال ۱۹۹۸ ارائه کرد و بعدها اوپریکوویچ و دزنگ (۲۰۰۲) آن را توسعه دادند. در سال‌های اخیر، به استفاده از روش ویکور و توسعه آن به‌عنوان یک روش حل جدید برای مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، بسیار توجه شده است. به کمک این روش می‌توان گزینه‌های مختلف را بر اساس معیارهای گوناگون رتبه‌بندی کرد (اوپریکوویچ و ژنگ، ۲۰۰۴).

پیشینه کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره با تأکید بر ANP و Vikor در جدول ۳ آمده است (دینگ و کمارالدین، ۲۰۱۵).

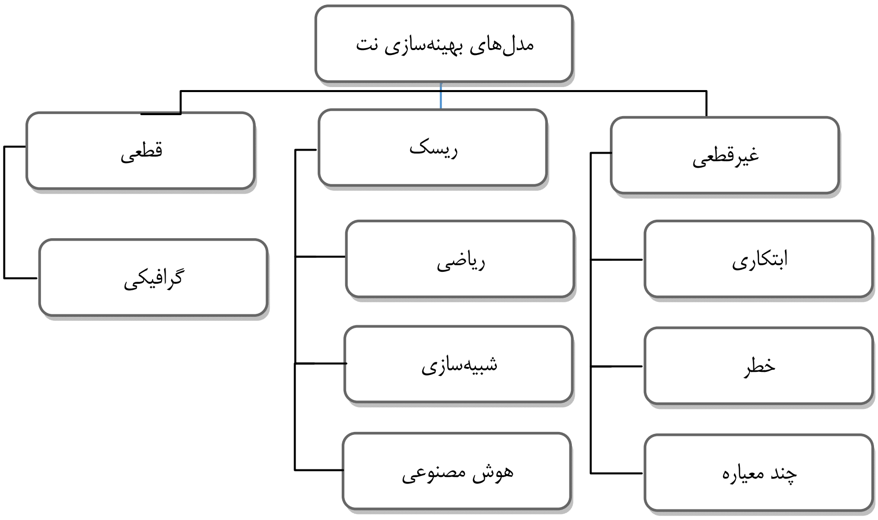
جدول ۳. پیشینه کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در نت

روش	نویسنده و سال انتشار	کاربرد
AHP	بویلاکوا و براگلیا (۲۰۰۰)	پالایشگاه نفت
	دی (۲۰۰۴)	لوله‌های انتقال نفت
	فضل‌الله پور و یوسف پور (۲۰۰۸)	محیط آموزش مجازی
	گاسنر (۲۰۱۰)	صنایع توربین‌های بادی
	راتنیاک و مارکست (۲۰۱۰)	صنایع نفت و گاز
	تان و همکاران (۲۰۱۱)	پالایشگاه نفت
TOPSIS	شیجیت و مارکست (۲۰۰۸)	صنایع نساجی
ادغام AHP توسعه‌یافته با Vikor	احمدی و همکاران (۲۰۱۰)	صنایع هواپیمایی
AHP وANP	زعیم و همکاران (۲۰۱۲)	سیستم‌های چاپ روزنامه
DEMATEL	آقایی و فضلی (۲۰۱۲)	سیستم‌های تولید خودکار
ANP فازی	کومار و میتی (۲۰۱۲)	صنایع شیمیایی
	رحیمی و همکاران (۲۰۱۴)	سیستم‌های تولید خودکار

جایگاه شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در مدل‌های بهینه‌سازی نت، در شکل ۱ به نمایش گذاشته شده است.

---

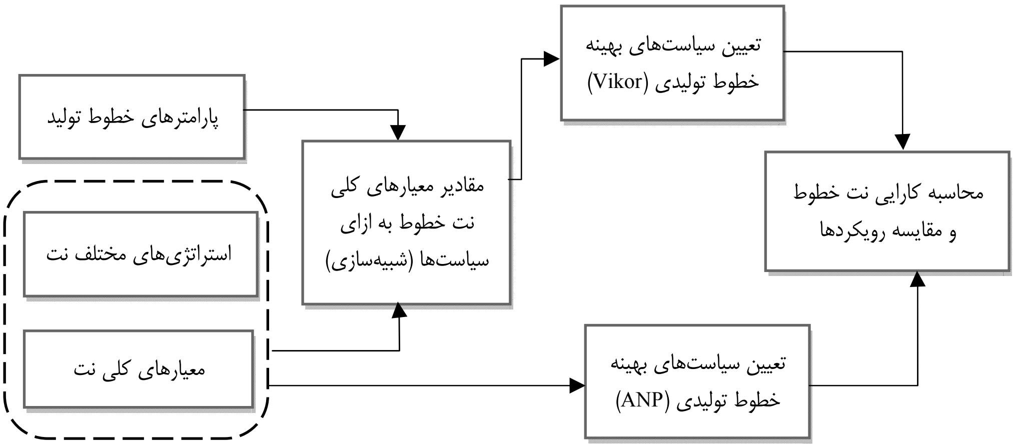
1. MCDM
2. ANP
3. Vikor


مدل‌های بهینه‌سازی نت
قطعی
ریسک
غیرقطعی
گرافیکی
ریاضی
شبیه‌سازی
هوش مصنوعی
ابتکاری
خطر
چند معیاره

شکل ۱. گروه‌بندی مدل‌های بهینه‌سازی سیاست‌های نت

روش‌شناسی پژوهش

هدف از اجرای پژوهش حاضر، انتخاب مناسب‌ترین سیاست نت برای هر یک از خطوط تولیدی در فرایند چند محصولی با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری و تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. برای دستیابی به این هدف، چهار سیاست پرکاربرد نت در نظر گرفته شده است. نه زیرمعیار از چهار دسته معیارهای اصلی که در منابع معتبر علمی آمده، برای ارزیابی سیاست‌های نت استفاده می‌شود. نرم‌افزار شبیه‌سازی ارنا نام دارد و ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره، ویکور است. برای آزمون کارایی رویکرد، پیامدهای رویکرد جدید با روش‌های مرسوم انتخاب سیاست‌های نت مقایسه شده‌اند. به این منظور یکی از کارخانه‌های ایرانی با سه خط تولیدی موردکاوی شده است. در پایان نیز، نتایج انتخاب سیاست‌های نت و پیامدهای آن از طریق رویکرد پیشنهاد شده در پژوهش حاضر با روش مرسوم ANP مقایسه خواهند شد. شکل ۲ مدل مفهومی رویکرد پیشنهاد شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.


تعیین سیاست‌های بهینه خطوط تولیدی (Vikor)
پارامترهای خطوط تولید
مقادیر معیارهای کلی نت خطوط به ازای سیاست‌ها (شبیه‌سازی)
محاسبه کارایی نت خطوط و مقایسه رویکردها
استراتژی‌های مختلف نت
معیارهای کلی نت
تعیین سیاست‌های بهینه خطوط تولیدی (ANP)

شکل ۲. مدل مفهومی رویکرد پیشنهاد شده در پژوهش حاضر

گام اول) تعیین پارامترهای خطوط، معیارها و سیاست‌های نت

سیاست‌های نت

شرح مختصر سیاست‌هایی که در پژوهش پیش رو استفاده شده‌اند، عبارت‌اند از:

- نت اصلاحی[۱]: تعمیرات مبتنی بر خرابی یا از کارافتادگی است. در این روش قبل از وقوع خرابی، هیچ‌گونه تعمیراتی صورت نمی‌پذیرد.
- نت پیش‌گیرانه[۲]: این رویکرد بر مبنای ویژگی قابلیت اطمینان طرح‌ریزی شده است. در این سیاست تلاش می‌شود پس از بررسی‌ها، جایگزینی‌ها و بازرسی‌های مجدد، برای اجزایی که خرابی بیشتری دارند، تعداد خرابی‌های ناگهانی کاهش یابد.
- نت پیش‌گویانه[۳]: مجموعه فعالیت‌هایی است که برای تعیین شرایط فنی کارکرد اجزای ماشین و اندازه‌گیری میزان فرسایش اجزا در حین بهره‌برداری انجام می‌شود و بر اساس نتایج به‌دست آمده از زمان و نوع فعالیت، نت لازم تعیین می‌شود.
- نت مبتنی بر قابلیت اطمینان[۴]: به کمک این فرایند مشخص می‌شود انجام چه فعالیت‌هایی برای نگه‌داشتن دارایی‌های فیزیکی در سطح مشخصی از کارایی (مطابق با نظر استفاده‌کنندگان از آن‌ها) و حفظ کارکرد آن‌ها ضرورت دارد.

معیارهای اصلی و زیرمعیارهای نت

معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مرتبط با آنها که در انتخاب سیاست‌های مناسب نت کاربرد بیشتری داشته‌اند، در پیشینه پژوهش و جدول ۱ معرفی شدند. در پژوهش پیش رو برای هر معیار اصلی، زیرمعیارهایی که از اولویت بیشتری برخوردار بوده و قابلیت محاسبه کمی توسط مدل شبیه‌سازی کامپیوتری را داشتند، برای ارزیابی و انتخاب سیاست‌های مناسب نت انتخاب شدند. نُه زیرمعیار که از $C_۱$ تا $C_۹$ نام‌گذاری شده‌اند، به شرح جدول ۴ معرفی شده‌اند.

جدول ٤. معیارها و زیرمعیارهای منتخب پژوهش

معیارهای اصلی	زیرمعیارها	نماد	معیارهای اصلی	زیرمعیارها	نماد
سود و بهره‌وری	هزینه	$C_۱$	قابلیت اطمینان	قابلیت اطمینان	$C_۶$
	سود و درآمد	$C_۲$		تعمیر پذیری	$C_۷$
قابلیت دسترسی	قابلیت دسترسی	$C_۳$		توان عملیاتی	$C_۸$
محیط زیست و ایمنی	ایمنی	$C_۴$		کیفیت محصول	$C_۹$
	محیطزیست	$C_۵$			

---

1. Preventive Maintenance (PM)
2. Predictive Maintenance (PDM)
3. Condition based Maintenance (CBM)
4. Reliability based Maintenance (RBM)

پارامترهای مربوط به خطوط تولید

پارامترهای مربوط به خطوط تولید، متغیرهای تعیین‌کننده مقدار معیارهای نت هستند. برای نمونه می‌توان به زمان خرابی، زمان تعمیر، هزینه تعمیر، زمان فرایند، هزینه تولید و هزینه ضایعات، اشاره کرد. این پارامترها با توجه به نوع مدل شبیه‌سازی و نیازهای اطلاعاتی نرم‌افزار تعیین می‌شوند.

مقدار این پارامترها معمولاً از سوابق کار قبلی ماشین‌ها یا کاتالوگ آنها به‌دست می‌آید، اما در مواقعی که این اطلاعات در دسترس نباشد، با کسب نظر متخصصان نت یا واحد تولیدی، تعیین می‌شود.

گام دوم) شبیه‌سازی خطوط تولید

در روش‌های مرسوم تصمیم‌گیری چند معیاره، از جمله فرایند تحلیل شبکه، وزن معیارها و ماتریس گزینه ـ معیار با توجه به نظر خبرگان و مقایسه‌های زوجی به‌دست می‌آید که گاهی ممکن است موجب وابستگی نتایج پژوهش به قضاوت و سلایق شخصی خبرگان شود. به‌منظور رفع این مشکل، در رویکرد پیشنهاد شده پژوهش حاضر، از ابزار شبیه‌سازی کامپیوتری برای استخراج مقدار معیارها به ازای هر یک از سیاست‌های نت استفاده شده است. با توجه به اینکه نتایج به‌طور مستقیم و با توجه به مدل‌سازی دقیق کامپیوتری به‌دست می‌آیند، دیگر نیازی به کسب نظر خبرگان نیست. خروجی این گام، ماتریس سیاست ـ معیار خواهد بود.

پارامترهای خطوط مختلف تولیدی با توجه به سوابق و مستندات کاری، دستورالعمل‌ها و متخصصان نت و تولید استخراج می‌شوند؛ سپس با استفاده از نرم‌افزار Arena13.5، به ازای تمام سیاست‌های نت و برای هر یک از خطوط تولیدی به شرح زیر، مدل شبیه‌سازی تهیه می‌شود:

مفروضات مدل

- مدل از چند (t) خط تولید پیوسته و هر خط از چندین ماشین تشکیل شده است.
- هر خط تولید تک‌محصولی است که برای ساخت به توالی خاصی نیاز دارد.
- عملیات تولیدی به‌صورت پیوسته و خط تولید است.
- هزینه و زمان انجام عملیات تولیدی احتمالی است.
- ظرفیت تولید هر یک از خطوط و کل کارخانه در هر دوره ثابت، معلوم و محدود است.
- مواد اولیه ورودی به سیستم نامحدود فرض شده است.
- زمان راه‌اندازی برای سیستم در نظر گرفته نشده است.
- دوره مطالعه یا زمان شبیه‌سازی ۱۸۰ روز است.
- نوار نقاله‌ها به‌عنوان انتقال‌دهنده عمل می‌کنند و نقشی در برنامه‌ریزی نت ندارند.

اندیس‌ها و پارامترهای مدل

پارامترها و اندیس‌های به‌کاررفته در مدل شبیه‌سازی کامپیوتری به شرح جدول ۵ است.

جدول ۵. پارامترها و اندیس‌های مدل

پارامترها		اندیس‌ها		
A_k	خطمشی نت	k	تعداد خطمشی	k = ۱, ۲, . . . , K
L_t	خط تولید	t	تعداد خط تولید/ محصول	t = ۱, ۲, . . . , T
M_{tp}	ماشین‌ها (عملیات)	p	تعداد ماشین در هر خط	p =۱, ۲, . . . , P
C_{tj}	نوار نقاله	j	تعداد نوار نقاله‌ها در هر خط	j =۱, ۲, . . . , J
V_i	سلول مجازی	i	تعداد سلول مجازی	i = ۱, ۲, . . . , I

مدل‌سازی و اعتبارسنجی

به‌منظور آزمون خطای ساختاری مدل، نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی با داده‌های قطعی و در ابعاد کوچک بررسی می‌شود تا صحت نتایج پیش‌بینی مدل تأیید شود. برای این منظور، تمام پارامترها و متغیرهای مدل شبیه‌سازی مورد مطالعه به‌طور موقت قطعی در نظر گرفته شده و نتایج آن برای یک مسئله در ابعاد کوچک در نرم‌افزار اکسل بازبینی و کنترل می‌شود. چنانچه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی با نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار اکسل یکسان باشند، صحت مدل ساخته‌شده تأیید می‌شود.

گام سوم) انتخاب سیاست مناسب نت به روش Vikor

به‌منظور پیشگیری از وابستگی نتایج پژوهش به سلیقه‌ها و قضاوت‌های شخصی خبرگان در رویکرد پژوهش پیش رو، اولویت‌بندی و انتخاب سیاست مناسب نت به‌کمک روش ویکور تعیین شده است (ژانگ و وی، ۲۰۱۳). به این منظور، خروجی گام دوم که ماتریس معیارـ سیاست است، ورودی روش ویکور برای رتبه‌بندی و انتخاب سیاست مناسب نت خطوط تولیدی خواهد بود.

گام چهارم) تعیین سیاست مناسب نت با روش ANP و مقایسه با رویکرد پیشنهاد شده

در این گام به‌منظور بررسی کارایی رویکرد پیشنهاد شده، نتایج به‌دست آمده از آن با روش‌های مرسوم مقایسه می‌شود. به این منظور، سیاست‌های نت خطوط تولیدی به‌کمک یکی از روش‌های چند معیاره اولویت‌بندی شده و مناسب‌ترین آنها انتخاب می‌شود. روشی که در این پژوهش انتخاب شده، فرایند تحلیل شبکه است.

طبق مراحل این روش، ابتدا عناصر (معیارهای اصلی و زیرمعیارها) تعیین شده، سپس سلسله‌مراتب کنترلی و ارتباط شبکه‌ای آنها تعیین می‌شود. در ادامه، مسئله به یک ساختار شبکه‌ای تبدیل شده و مدل‌سازی می‌شود. این دو مرحله با استفاده از روش دلفی اجرا شده است. تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت، مرحله بعدی کار است. در نهایت، سوپر ماتریس‌های اولیه، ناموزون، موزون و حدی تشکیل شده و سیاست‌های نت اولویت‌بندی می‌شوند.

در مقایسه نتایج، دو حالت کلی متصور است:

- حالت اول: نتایج رویکرد جدید با نتایج به‌دست آمده از روش‌های جاری و رایج به‌طور کامل یکسان باشند. با اینکه احتمال وقوع این حالت بسیار کم است، باز هم روش پیشنهاد شده در این پژوهش به‌دلیل اتکای کمتر به نظر خبرگان و اعمال سلیقه‌های شخصی، ارجحیت دارد.

- حالت دوم: نتایج روش پیشنهاد شده با روش‌های مرسوم متفاوت باشد. با توجه به اینکه سیاست‌های متفاوت و مناسب‌تری برای هر خط به‌کار گرفته می‌شود، نتایج رویکرد جدید دقیق‌تر، واقعی‌تر و کاراتر از روش‌های مرسوم خواهد بود. با انجام مورد کاوی در میدان عمل، این مهم به اثبات رسیده است.

یافته‌های پژوهش

رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش با استفاده از یک موردکاوی اعتبارسنجی شده است. گام‌های موردکاوی به‌طور دقیق متناسب با رویکرد برداشته شده که در ادامه تشریح می‌شوند.

مورد کاوی

مطالعه موردی روی یک واحد تولیدی فراورده‌های گوشتی و پروتئینی ایرانی، متشکل از سه خط تولید ناگت، برگر و سوسیس انجام شده است. مفروضات عبارت‌اند از: تعداد محصولات برابر ۳، تعداد خطوط تولید برابر ۳ و تعداد ماشین ۱۵دستگاه. گفتنی است که مفروضات مدل پیشنهاد شده عیناً حاکم هستند.

گام اول) تعیین پارامترهای خطوط، معیارها و سیاست‌های نت

تعیین سیاست‌های نت

سیاست‌هایی که در پژوهش به‌کار گرفته شده، عبارت‌اند از: نت اصلاحی، نت پیش‌گیرانه، نت پیش‌گویانه و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان.

تعیین معیارهای اصلی و زیرمعیارهای نت

معیارهای کلی و زیرمعیارهای نت به‌کاررفته در این مسئله خاص، مشابه و منطبق بر رویکرد پیشنهاد شده پژوهش ($C_{۱}$ تا $C_{۹}$) در جدول ۳ هستند.

تعیین پارامترهای خطوط تولید

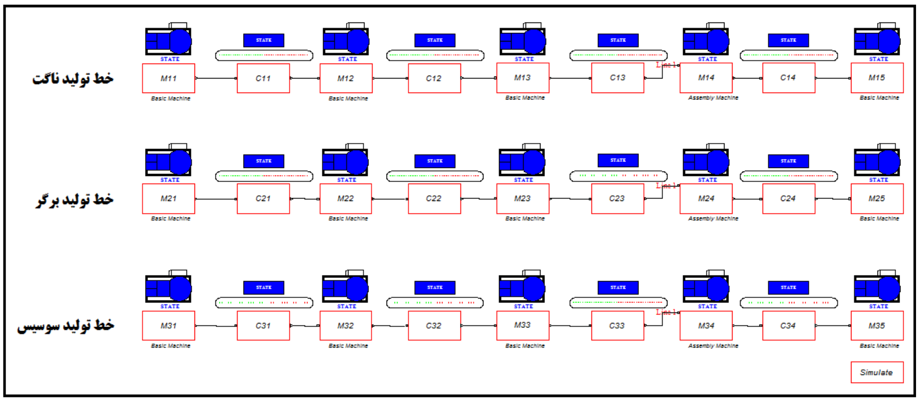
با انجام مطالعات میدانی روی خطوط تولیدی شرکت، اطلاعات گذشته و کسب نظر از متخصصان نت و تولیدی شرکت، پارامترهای خطوط تولیدی استخراج شدند. برای نمونه، شرح پارامترها برای خط ناگت به شرح جدول ۶ است.

جدول ٦. پارامترهای مربوط به خط تولید ناگت

نام ماشین	شرح فرایند	پارامترهای خط تولید ناگت					
		زمان خرابی	زمان تعمیر	هزینه تعمیر	زمان فرایند	هزینه تولید	هزینه ضایعات
$M_{۱۱}$	آماده‌سازی مواد	TRIA (۱۱۵,۱۵۰,۲۰۰)	EXPO(۱/۵)	۶۵۰۰	۵۰	۱۰	۱۰
$M_{۱۲}$	تزریق مواد	TRIA (۹۰,۱۰۰,۱۲۰)	EXPO(۲/۵)	۳۰۰۰	۲۵	۳	۳
$M_{۱۳}$	پودر پاشی	TRIA (۴۰,۱۱۵,۱۵۰)	EXPO(۱/۵)	۲۰۰۰	۳۰	۵	۵
$M_{۱۴}$	پخت و انجماد	TRIA (۱۲۰,۱۸۰,۲۴۰)	EXPO(۱/۵)	۲۸۰۰	۵۰	۳	۳
$M_{۱۵}$	بسته‌بندی	TRIA (۲۵, ۴۵, ۶۰)	EXPO(۰/۵)	۲	۴۵	۷	۷

گام دوم) شبیه‌سازی خطوط تولید به ازای تمام سیاست‌ها

مدل شبیه‌سازی کامپیوتری رویکرد جاری برای خطوط تولیدی شرکت مورد مطالعه با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای نت و تولیدی ماشین‌آلات ساخته‌شده که به‌صورت شکل ۳ است.


خط تولید ناگت
M11
C11
M12
C12
M13
C13
M14
C14
M15
خط تولید برگر
M21
C21
M22
C22
M23
C23
M24
C24
M25
خط تولید سوسیس
M31
C31
M32
C32
M33
C33
M34
C34
M35
Basic Machine
Assembly Machine
STATE
Simulate

شکل ۳. مدل کامپیوتری خط تولید فراورده‌های گوشتی

اگرچه مدل شبیه‌سازی کامپیوتری بر اساس ملاحظات، مفاهیم، مبانی نظری، پیشینه پژوهش و نیز شرایط خاص و الزامات شرکت مورد مطالعه تهیه شده است، باز هم باید اعتبارسنجی شود. به این منظور، ابتدا مدل توسط ۱۰ نفر از خبرگان نت و تولیدی همان کارخانه بازبینی شد و پس از اعمال تغییرات و اصلاحات لازم، به تأیید رسید.

همچنین، به‌منظور اطمینان کامل از عملکرد دقیق، مدل ساخته شده با مسائلی در ابعاد کوچک‌تر و با کنترل متغیرها، به‌خصوص متغیرهای تصادفی و قطعی، آزمون شد. برای این کار، مقایسه‌ای از نتایج خروجی مدل برای معیارها با خروجی برنامه در محیط اکسل به عمل آمد که نتایج حاکی از برابری خروجی مدل با حل آن در نرم‌افزار اکسل بود. در نتیجه، کلیه نهادها و ارتباطات بین آنها در مدل شبیه‌سازی ارنا به‌صورت صحیح برقرارشده و عمل می‌کنند.

نتایج اجرای مدل‌های شبیه‌سازی خطوط تولیدی برای معیارها به ازای هر یک از سیاست‌ها به‌دست آمد. مقادیر به‌دست‌آمده برای معیارهای نت در خط تولید ناگت به شرح جدول ۷ است.

جدول ۷. مقادیر معیارهای نت از شبیه‌سازی برای خط ناگت

سیاست‌ها	معیارها								
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
CM	۸۷	۷۴	۹۱	۲۷۷	۳۵	۲۸	۹۲۹۰۲	۲۷۲۷	۸۰۲
PM	۸۹	۹۴	۹۲	۳۲۳	۳۶	۳۴	۱۰۶۹۱۱	۳۶۳۸	۹۰۴
PDM	۹۵	۹۴	۹۴	۳۵۱	۳۶	۴۴	۱۴۸۶۶۹	۳۷۶۴	۹۶۲
RBM	۹۵	۹۴	۹۵	۴۶۰	۵۰	۵۹	۲۰۳۹۴۷	۴۱۵۳	۱۰۵۴

گام سوم) انتخاب سیاست مناسب با Vikor

در این بخش سیاست‌های نگهداری و تعمیرات خط ناگت بر اساس مقادیر سه شاخص سودمندی (S)، تأسف (R) و

شاخص ویکور (Q) به‌ترتیب از مقادیر کوچک به بزرگ در قالب جدول ۸ مرتب‌سازی شده‌اند. گزینه‌ای به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه مقادیر S، R و Q کمترین مقدار را داشته باشد.

جدول ۸. رتبه‌بندی سیاست‌های نت ناگت بر اساس شاخص‌های S، R و Q

بر اساس S			بر اساس R			بر اساس Q		
سیاست	مقدار	رتبه	سیاست	مقدار	رتبه	سیاست	مقدار	رتبه
RBM	۰/۳۷۱	۱	RBM	۰/۰۵۷	۱	RBM	۰/۲۴	۱
PDM	۰/۴	۲	PDM	۰/۰۵۷	۲	PDM	۰/۲۵۹	۲
CM	۰/۵۵۳	۳	CM	۰/۱۳	۳	CM	۰/۶۰۱	۳
PM	۰/۷۱۱	۴	PM	۰/۱۳	۴	PM	۰/۶۹۶	۴

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، در خط ناگت، سیاست‌های نت مبتنی بر قابلیت اطمینان، پیش‌گویانه و اصلاحی در هر سه گروه شاخص‌های سودمندی (S)، تأسف (R) و شاخص ویکور (Q)، به‌ترتیب رتبه اول تا سوم را کسب کرده‌اند. در همین خط تولید، سیاست نت پیش‌گیرانه در مقادیر شاخص‌های ویکور (Q) و تأسف (S) نسبت به سایر سیاست‌ها در جایگاه مناسبی قرار ندارد، به همین دلیل می‌توان این سیاست را به‌عنوان اولویت چهارم در نظر گرفت. به این ترتیب سیاست‌های نت مبتنی بر قابلیت اطمینان، پیش‌گویانه، اصلاحی و پیشگیرانه، به‌ترتیب در اولویت‌های اول تا چهارم خط ناگت قرار می‌گیرند. در نتیجه سیاست نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RBM) برای خط ناگت انتخاب می‌شود. به همین ترتیب، نت پیش‌گویانه (PDM) برای دو خط تولید دیگر انتخاب شدند.

گام چهارم) انتخاب سیاست مناسب نت با ANP و مقایسه با رویکرد پژوهش

در این گام ابتدا سیاست برتر نت برای کل کارخانه توسط روش ویکور انتخاب شده، سپس نتایج سیاست نت کل کارخانه با سیاست‌های نت برای خطوط تولیدی مقایسه می‌شود.

تعیین سیاست مناسب با ANP

به‌منظور رتبه‌بندی و تعیین اولویت سیاست‌های نت در هر یک از خطوط تولید، از رویکرد تحلیل فرایند شبکه‌ای استفاده شده است. پس از شناسایی معیارها و گزینه‌ها، اهمیت نسبی هر یک از آنها تعیین می‌شود. برای این کار ابتدا ماتریس مقایسه‌های زوجی بین معیارها تشکیل شد. ماتریس مقایسه‌های زوجی وابستگی داخلی بین معیارها بر اساس امتیازهای ۱ تا ۹ (۱= خیلی کم تا ۹ = خیلی زیاد) برای معیارهای افزاینده و امتیازهای ۱ تا ۹ (۱= خیلی زیاد و ۹ = خیلی کم) برای معیارهای کاهنده، به‌دست آمده است.

برای تکمیل جدول مقایسه‌های زوجی بین معیارها و استخراج وزن معیارها و همچنین ارتباط بین آنها، از ۱۰ خبره نت در بخش تولید همان کارخانه بهره برده شده است. کسب نظر از این افراد به‌صورت مجزا بوده و به روش دلفی انجام گرفته است. جدول ۹ مقایسه‌های زوجی معیارها توسط خبرگان صنعت را نشان می‌دهد.

جدول ۹. ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارها

	$C_{۱}$	$C_{۲}$	$C_{۳}$	$C_{۴}$	$C_{۵}$	$C_{۶}$	$C_{۷}$	$C_{۸}$	$C_{۹}$
$C_{۱}$	۱	۱	۲	۱/۵	۲/۵	۱/۵	۳	۲	۲/۵
$C_{۲}$	۱	۱	۲	۱/۵	۲/۵	۱/۵	۲	۲	۲/۵
$C_{۳}$	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۱	۰/۳۳	۱	۰/۶۷	۰/۶۷
$C_{۴}$	۰/۶۷	۰/۶۷	۱	۱	۲	۱	۱/۵	۱	۰/۶۷
$C_{۵}$	۰/۴	۰/۴	۱	۰/۵	۱	۰/۳۳	۱	۰/۶۷	۱
$C_{۶}$	۰/۶۷	۰/۶۷	۳	۱	۳	۱	۲	۰/۶۷	۰/۵
$C_{۷}$	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۶۷	۱	۰/۵	۱	۰/۶۷	۱
$C_{۸}$	۰/۵	۰/۵	۱/۵	۱	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱	۱/۵
$C_{۹}$	۰/۴	۰/۴	۱/۵	۱/۵	۱	۲	۱	۰/۶۷	۱

پس از تجمیع نظر خبرگان با استفاده از روش میانگین هندسی، به بررسی سازگاری پاسخ‌های تجمیع شده پرداخته می‌شود. در این مرحله، گام‌های شرح داده‌شده در بخش‌های درصد سازگاری و غیر فازی کردن، به همان صورت روی پاسخ‌های تجمیع شده تکرار خواهد شد. درصد سازگاری مجموع مقایسه‌های زوجی محاسبه شده موردکاوی، همگی کوچک‌تر از حد تعیین شده (۰/۱) و قابل قبول هستند.

حال ضرایب هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه می‌شود. در این مرحله، درجه بزرگ بودن هر یک از عناصر بر عناصر دیگر مشخص خواهد شد. پس از تعیین درجه بزرگی هر یک از عناصر بر عناصر دیگر، نوبت به محاسبه بزرگی یک S_i بر سایر S_i ها می‌رسد. بردار $W'(x)$ نشان‌دهنده وزن‌های نابهنجار تمام شاخص‌هاست.

$W'(x)$ =[۱, ۰/۹۵۵, ۰/۱۹۷, ۰/۴۹۷, ۰/۲۷۲, ۰/۶۰۳, ۰/۲۰۳, ۰/۴۸۴, ۰/۵۵۲]^{T}

حال مقدار وزن‌های بهنجار شده شاخص‌ها به‌دست می‌آید. بردار $W(x)$ نشان‌دهنده وزن‌های بهنجار شده شاخص‌های مورد کاوی است.

$W(x)$ =(۰/۱۴۶, ۰/۱۴۰, ۰/۰۲۹, ۰/۰۷۳, ۰/۰۴۰, ۰/۰۸۸, ۰/۰۳۰, ۰/۰۷۱, ۰/۰۸۱)

اکنون وابستگی میان معیارها در نظر گرفته می‌شود. تمام تصمیم‌گیران یا اعضای گروه، تأثیر تمام معیارها را با مقایسه‌های زوجی می‌آزمایند. پس از تعیین ماتریس وابستگی میان معیارها توسط خبرگان (۱۰ نفر از متخصصان نت و تولید)، بردار ویژه نرمالیزه شده مرتبط با آن محاسبه شده می‌شود. ارقام به‌دست‌آمده از این ماتریس‌ها نشان‌دهنده تأثیر نسبی معیارها بر یکدیگر است.

در مرحله بعدی فرایند تصمیم، سیاست‌های نت بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر یک از معیارها و نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی، در قالب جدول تصمیم، امتیازدهی می‌شوند. برای نمونه نتایج به‌دست آمده از خط تولید ناگت در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰. تصمیم نهایی رتبه‌بندی سیاست‌های نت برای خط ناگت

سیاست‌ها	معیارها									وزن نهایی
	$C_{۱}$	$C_{۲}$	$C_{۳}$	$C_{٤}$	$C_{٥}$	$C_{٦}$	$C_{۷}$	$C_{۸}$	$C_{۹}$	
CM	۸۷	۷۴	۹۱	۲۷۷	۳۵	۲۸	۹۲۹۰۲	۲۷۲۷	۸۰۲	۰/۱۷
PDM	۸۹	۹۴	۹۲	۴۶۰	۵۰	۵۹	۲۰۳۹۴۷	۴۱۵۳	۱۰۵۴	۰/۲۰
RBM	۹۵	۹۴	۹۴	۳۵۱	۳۶	۴۴	۱۴۸۶۶۹	۳۷۶۴	۹۶۲	۰/۲۷
PM	۹۵	۹۴	۹۵	۳۲۳	۳۶	۳۴	۱۰۶۹۱۱	۳۶۳۸	۹۰۴	۰/۳۷
وزن	۰/۰۹۰	۰/۰۸۴	۰/۰۶۵	۰/۱۲۳	۰/۰۵۳	۰/۰۶۸	۰/۰۸۲	۰/۰۶۷	۰/۰۶۵	۱

با توجه به امتیازهای تخصیص‌یافته، سیاست برتر برای خط تولید ناگت، سیاست نت پیش‌گیرانه (PM) با امتیاز نهایی ۰/۳۷ است. به روش مشابه، برای خطوط تولید برگر و سوسیس و کالباس، سیاست نت (PM) با امتیاز نهایی ۰/۳ به‌عنوان سیاست برتر معرفی شد.

مقایسه نتایج

به این منظور، پیامدهای اجرای سیاست‌های نت خطوط مختلف کارخانه موردمطالعه به روش رویکرد پیشنهاد شده در این پژوهش (متکی بر شبیه‌سازی و Vikor) و ANP (مبتنی بر نظر خبرگان) محاسبه شد. حاصل کار و مقایسه نتایج دو روش جدید و مرسوم و مزیت‌ها و بهبودهای روش جدید، در جدول ۱۱ آمده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، پس از به‌کارگیری روش جدید سیاست نت مناسب برای خط ناگت RBM و برای دو خط دیگر PDM است؛ در حالی که سیاست برتر نت به روش ANP برای هر سه خط تولیدی کارخانه PM تشخیص داده شده است.

جدول ۱۱. مقدار معیارهای نت برای سیاست برتر هر یک از خطوط تولید

پیامدهای نت	نوع معیار	خط ناگت			خط برگر			خط سوسیس و کالباس		
		روش تعیین سیاست			روش تعیین سیاست			روش تعیین سیاست		
		شبیه‌سازی	ANP	مقایسه	شبیه‌سازی	ANP	مقایسه	شبیه سازی	ANP	مقایسه
		RBM	PM		PDM	PM		PDM	PM	
$C_{۱}$	مثبت	۹۵	۹۴	+	۸۱	۶۴	+	۹۵	۸۹	+
$C_{۲}$	مثبت	۸۸	۸۸	۰	۹۵	۷۶	+	۹۴	۹۴	۰
$C_{۳}$	مثبت	۹۵	۹۵	۰	۷۵	۶۵	+	۹۵	۹۲	+
$C_{۴}$	منفی	۳۱۲	۳۹۶	+	۲۶۶	۲۸۳	+	۳۲۳	۴۶۰	+
$C_{۵}$	منفی	۷۷	۸۷	+	۳۹	۴۷	+	۳۶	۵۰	+
$C_{۶}$	منفی	۳۸	۴۴	+	۲۷	۳۲	+	۳۴	۵۹	+
$C_{۷}$	منفی	۶۶۹۱	۷۷۸۹	+	۸۷۷۵۶	۱۰۵۸۵۰	+	۱۰۶۹۱۱	۲۰۳۹۴۷	+
$C_{۸}$	مفی	۵۷۷۲	۷۳۱۵	+	۲۹۶۲	۳۴۱۰	+	۳۶۳۸	۴۱۵۳	+
$C_{۹}$	مفی	۱۲۰۴	۱۴۲۵	+	۸۸۲	۱۲۲۳	+	۹۰۴	۱۰۵۴	+

نتایج حاکی از آن است که در شاخص مثبت $C_۱$، رویکرد پیشنهاد شده در تمام خطوط کارایی بیشتری دارد. در خط برگر برای هر دو شاخص مثبت $C_۲$ و $C_۳$ کاراتر بوده و در خط تولید سوسیس فقط در شاخص $C_۳$ دارای کارایی بیشتری است. اما رویکرد جدید در خط ناگت در دو شاخص اخیر کارایی یکسانی داشته است.

در تمام شاخص‌های منفی $C_۴$ تا $C_۹$ رویکرد جدید در تمام خطوط کارایی بیشتری دارد. بدین ترتیب، کارایی رویکرد جدید در اغلب شاخص‌های مثبت و منفی در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم به اثبات رسید.

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

انتخاب سیاست نت مناسب، یک مسئله تصمیم‌گیری راهبردی است که سازمان‌های تولیدی در جهان رقابتی کنونی با آن مواجه‌اند. سیاست‌های نت پرکاربرد و مرسوم، عبارت‌اند از: اصلاحی، مبتنی بر قابلیت اطمینان، پیش‌گیرانه و پیش‌گویانه. برای انتخاب سیاست مناسب نت خطوط تولید، معیارهایی وجود دارد که مقایسه‌ها و وزن‌دهی به آنها توسط خبرگان انجام می‌شود. مطالعات نشان داده است که روش‌های رایج فقط یک سیاست نت برای کل خطوط تولیدی انتخاب و معرفی می‌کنند؛ در صورتی که ممکن است سیاست مناسب برای یک خط تولید، برای سایر خطوط تولیدی همان کارخانه مناسب نباشد. بنابراین در پژوهش جاری، به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری و تصمیم‌گیری چند معیاره، بهترین سیاست برای هر یک از خطوط تولید به‌صورت مجزا انتخاب می‌شود. روش کار به این صورت است که ابتدا با تعیین پارامترها، مدل شبیه‌سازی کامپیوتری خطوط تولید در نرم‌افزار ارنا ساخته می‌شود. از اجرای مدل شبیه‌سازی، مقدار معیارهای انتخاب سیاست نت برای خطوط تولیدی به‌دست می‌آیند، سپس طریق تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، سیاست مناسب نت هر خط تولید تعیین می‌شود.

برای اعتبارسنجی رویکرد پیشنهاد شده، کارخانه فراورده‌های گوشتی و پروتئینی با سه خط تولید ناگت، برگر و سوسیس و کالباس برای مطالعه موردی انتخاب شد و پس اجرای رویکرد پژوهش در آن شرکت، با توجه به مقادیر گروه شاخص‌های سودمندی (S)، تأسف (R) و ویکور (Q)، سیاست نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RBM) برای خط ناگت و سیاست نت پیش‌گویانه (PDM) برای دو خط تولید دیگر انتخاب شدند؛ این در حالی بود که با روش ANP، تنها سیاست پیش‌گیرانه (PM) برای هر سه خط انتخاب شد.

با مقایسه مقدار پیامدها در رویکرد جدید پیشنهاد شده و روش ANP، مشخص شد هم در معیارهای مثبت و هم در معیارهای منفی، بهبود حاصل شده است. در نتیجه، کارایی بیشتر روش جدید انتخاب سیاست مناسب نت در مقایسه با روش‌های مرسوم، تأیید شد.

برای پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می‌شود نتایج شبیه‌سازی برای معیارها به‌عنوان مقادیر ورودی به ANP در نظر گرفته شده و نتایج با روش پیشنهاد شده مقایسه شود. همچنین، به‌منظور کاهش خطای روش و نزدیک شدن به مدل‌ها و روش‌های واقعی‌تر، از Vikor و ANP فازی استفاده شود.

منابع

آقایی، رضا؛ آقایی، اصغر؛ محمدحسینی ناجی زاده، رامین (۱۳۹۴). شناسایی و رتبه‌بندی شاخصه‌ای کلیدی مؤثر بر نگهداری و تعمیرات چابک با استفاده از رویکرد دلفی فازی و دی متل فازی (مطالعه موردی: صنعت خودروسازی ایران)، *مدیریت صنعتی*، ۷(۴)، ۶۴۱- ۶۷۲.

احمدی، سید حسین؛ گروسی مختار زاده، نیما (۱۳۹۴). بررسی و اولویت‌بندی میزان حساسیت دستگاه‌ها جهت تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه با مدل مارتل و زاراس (مطالعه موردی: شرکت ماشین‌سازی تولید آتش). *مدیریت صنعتی*، ۵(۲)، ۱-۲۲.

اسماعیلیان، غلامرضا؛ لورک‌زاده، فروزان؛ زارعیان، رحمان (۱۳۹۴). ارزیابی و مقایسه اثربخشی پیاده‌سازی نت اصلاحی و نت پیشگیرانه با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مطالعه موردی: شرکت سیمکان). *مدیریت صنعتی*، ۷(۲)، ۱۸۹- ۲۱۴.

شرافت، ابوالفضل؛ کریمی، فرحناز؛ داودی، سید محمد رضا (۱۳۹۶). ارائه الگوی سیستم جامع نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش متاسنتز. *مدیریت صنعتی*، ۸(۴)، ۶۹۱- ۷۳۴.

References

Aghaee, R., Aghaee, A. & Mohammad Hosseini Najizadeh, R. (2016). Key effective factors on Agile Maintenance in vehicle industry using fuzzy Delphi method and Fuzzy DEMATEL. *Journal of Industrial Management*, 7(4), 641-672. (*in Persian*)

Ahmadi, SH. Mokhtarzadeh, N. (2014). Checking and Prioritizing the Rate of Sensitivity of Machines for Precautionary Maintenance with Martel & Zaras Method (The Case: Tolid Atash Factory). *Journal of Industrial Management*, 5(2), 1-22. (*in Persian*)

Alrabghi, A., & Tiwari, A. (2015). State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems. *Computers & Industrial Engineering*, 82, 167-182.

Bowling, S. R., Khasawneh, M. T., Kaewkuekool, S., & Cho, B. R. (2004). A Markovian approach to determining optimum process target levels for a multi-stage serial production system. *European Journal of Operational Research,* 159(3), 636-650.

Caballé, N., Castro, I., Pérez, C. & Lanza-Gutiérrez, J. M. (2015). A condition-based maintenance of a dependent degradation-threshold-shock model in a system with multiple degradation processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 134, 98-109.

Cassady, C. R. & Kutanoglu, E. (2005). Integrating preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine. *IEEE Transactions on reliability*, 54(2), 304-309.

Das, K. Lashkari, R. & Sengupta, S. (2007). Machine reliability and preventive maintenance planning for cellular manufacturing systems. *European Journal of Operational Research,* 183(1), 162-180.

Ding, S.-H. and S. Kamaruddin (2015). Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 1263-1283.

Do, P., Voisin, A., Levrat, E., & Iung, B. (2015). A proactive condition-based maintenance strategy with both perfect and imperfect maintenance actions. *Reliability Engineering & System Safety*, 133, 22-32.

Esmaeilian, GH., Lourak Zadeh, F. & zareayan, R. (2015). Evaluating and comparing the implementation effectiveness of corrective maintenance and preventive maintenance with a systems dynamic approach (Case Study: Symcan Company). *Journal of Industrial Management,* 7(2), 189-214. (*in Persian*)

Fitouhi, M.C. & Nourelfath, M. (2014). Integrating noncyclical preventive maintenance scheduling and production planning for multi-state systems. *Reliability Engineering & System Safety,* 121, 175-186.

Hosseini F. M. & Ghadimi, N. (2016). Optimal preventive maintenance policy for electric power distribution systems based on the fuzzy AHP methods. *Complexity*, 21(6), 70-88.

Liu, B., Xu, Z., Xie, M. & Kuo, W. (2014). A value-based preventive maintenance policy for multi-component system with continuously degrading components. *Reliability Engineering & System Safety*, 132, 83-89.

Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research,* 156(2), 445-455.

Saaty, T. L. (2004). Decision making-the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering,* 13(1), 1-35.

Shafiee, M. (2015). Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 378-402.

Sherafat, A., Karimi, F. & Davoodi, S. M.R. (2017). Proposing a Comprehensive Maintenance Model Using Meta-synthesis. *Journal of Industrial Management,* 9(4), 691-734. (*in Persian*)

Shi, H. & Zeng, J. (2016). Real-time prediction of remaining useful life and preventive opportunistic maintenance strategy for multi-component systems considering stochastic dependence. *Computers & Industrial Engineering,* 93, 192-204.

Tzeng, G.H. & Huang, J.J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. CRC press.

Wang, L., Chu, J., & Wu, J. (2007). Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a fuzzy Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Production Economics,* 107(1), 151-163.

Zaim, S., Turkylmaz, A., Acar, M.F., Al-turki, U., & Demirel, O.F. (2012). Maintenace Strategy Selection Using AHP and ANP Algorithms: a case study. *Journal of quality in maintenance engineering,* 18(1), 16-29.

Zhang, N., & Wei, G. (2013). Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set. *Applied Mathematical Modeling*, 37(7), 4938-4947.