

الگوی جامع ارزیابی سیاست های نگهداری و تعمیرات بر پایه اعداد فازی بازه ای

محمد علی گرجی، ** محمد باقر جمالی *

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۸ نوع مقاله: پژوهشی

چکیده نگهداری و تعمیرات در سازمان ها روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می کند. با رشد روز افزون اهمیت نگهداری از تجهیزات، سیاست های مختلفی برای پیاده سازی نگهداری و تعمیرات به وجود آمده است. سازمان ها به دنبال انتخاب بهترین سیاست نگهداری و تعمیرات برای خود هستند تا ضمن کاهش هزینه های خرابی، هزینه های اجرای سیاست نیز بهینه شود. در نتیجه، معیارهای متعدد برای انتخاب سیاست بهینه نگهداری و تعمیرات دخیل هستند. امتیازدهی به معیارها اغلب به صورت عدد قطعی امکان پذیر نیست در نتیجه، نیاز به استفاده از منطق فازی احساس می شود. در این پژوهش، روشی برای ارزیابی سیاست های نگهداری و تعمیرات با رویکرد فازی ارائه شده است. در گام اول، برای وزندهی به معیار از تکنیک دیمتل فازی استفاده شده است. سپس برای رتبه بندی گزینه ها روش تحلیل گروهی خاکستری بر پایه اعداد فازی بازه ای به کار رفته است. در پایان، برای فهم بهتر روش، یک

مطالعه موردی صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: اعداد فازی بازه ای، نگهداری و تعمیرات، ارزیابی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

** دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه صنعتی اصفهان (نویسنده مسئول مکاتبات) m.gorji@in.iut.ac.ir

* دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

مجله مهندسی سیستم و بهره وری، سال اول، شماره ۲، بهار ۱۴۰۱، ص ۵۱ - ۷۴

مقدمه

نگهداری و تعمیرات از جمله مفاهیم بنیادی در سازمان‌ها بوده و جایگاه آن در حال حرکت و رو به رشد است و رتبه ویژه‌ای در سطح مدیران و کارکنان سازمان دارد (آقایی و همکاران، ۲۰۱۵). هزینه‌های نت بین ۱۵ تا ۷۰ درصد هزینه‌های عملیاتی یک سازمان را بسته به نوع صنعت شامل می‌شود (خدایاری و عبدالله‌زاده، ۲۰۱۸). با اعمال سیاست‌های نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های خرابی نسبت به زمانی که سیاست خاصی بر نگهداری و تعمیرات حاکم نبود و تعمیرات بعد از خرابی صورت می‌گرفت، کاهش چشمگیری یافت (فتوحی و نورالفتح، ۲۰۱۴). سیاست‌های متفاوتی تاکنون برای نت ارائه شده است. اجرای هر یک از این سیاست‌ها برای سازمان مزایا و معایب خود را دارند. پژوهش‌های متعددی برای بررسی تأثیرات هر یک از سیاست‌ها و راهبردهای نت بر سازمان انجام شده است (لم و یاه، ۱۹۹۴).

انتخاب بهترین سیاست و راهبرد نگهداری و تعمیرات برای سازمان‌ها حائز اهمیت است. پژوهش‌هایی برای انتخاب بهترین سیاست نگهداری و تعمیرات صورت گرفته است. بسیاری از محققان برای ارزیابی از متخصصان نت نظرخواهی کردند که نتایج نظرخواهی به صورت بیانی بوده و به صورت کمی ارائه نشده است. همچنین عدم قطعیت در نظرات وجود دارد. در نتیجه، نیاز به منطق فازی برای تحلیل سیاست‌های نگهداری و تعمیرات احساس می‌شود. سؤالات پژوهشی که در این راستا مطرح می‌شود، به صورت زیر است:

الف) مهم‌ترین معیارهای ارزیابی سیاست‌های نگهداری و تعمیرات از دیدگاه متخصصان چیست؟

ب) بهترین سیاست نت برای سازمان با توجه به نظرات متخصصان چیست؟

پژوهش حاضر قصد دارد با ارائه رویکردی چند مرحله‌ای و با استفاده از اعداد فازی بازه‌ای به ارزیابی و انتخاب بهترین سیاست نگهداری و تعمیرات بپردازد. ساختار پژوهش به این صورت است که در بخش دوم به مرور ادبیات موضوع پرداخته می‌شود. در بخش سوم، متدولوژی پیشنهادی ارائه شده و مدل‌ها و الگوهایی که برای حل در نظر گرفته شده‌اند، معرفی می‌شوند. در بخش چهارم، با ارائه یک مطالعه موردی، نتایج کاربرد رویکرد پیشنهادی مطرح می‌شود. در ادامه، به تحلیل نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود. در پایان، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای پژوهشی ارائه می‌شود.

پیشینه پژوهش

وظایف نگهداری و تعمیرات را می‌توان حول سه محور اساسی پیشگیری از بروز خرابی، رفع خرابی در اسرع وقت و جلوگیری از تکرار خرابی دانست (سیدحسینی، ۱۳۸۴). نگهداری و تعمیرات دارای

اهمیت زیادی در سودآوری شرکت‌ها و تاثیرگذار در عملکرد کلی سازمان‌هاست (پاز و لیگ^۱، ۱۹۹۴). سیاست‌های مختلفی برای نگهداری و تعمیرات استفاده می‌شود. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه^۲ (PM) (ژائو و همکاران، ۲۰۱۰)، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط^۳ (CBM) (جاردین و همکاران، ۲۰۰۶)، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان^۴ (RCM)، نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر^۵ (TPM) و نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر ناب (Lean TPM)، را می‌توان مشهورترین سیاست‌های نت دانست. پژوهش‌های متعددی به ارزیابی سیاست‌های نگهداری و تعمیرات پرداخته است. اسماعیلیان و همکاران نحوه تأثیر و تأثر سیستم نت و سایر بخش‌ها را برای یک شرکت تولیدکننده سیم و کابل مدل‌سازی و اثر تغییر رویکرد فعلی شرکت در قبال سیستم نت را از نت اصلاحی به سمت نت پیشگیرانه بررسی کردند (اسماعیلیان و همکاران، ۲۰۱۵). براگلیا و بویلاکوا با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پنج سیاست نگهداری و تعمیرات را مقایسه و برای بررسی بهتر نتایج از تحلیل حساسیت استفاده کردند (براگلیا و بویلاکوا، ۲۰۰۰). وانگ و همکاران راهبردهای مختلف نگهداری و تعمیرات شامل نت اصلاحی، نت پیشگیرانه مبتنی بر زمان، نت مبتنی بر شرایط و نت پیش بینی شده را برای پیاده‌سازی در نیروگاه برق با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد مقایسه قرار دادند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷). تریان و همکاران استفاده از فرایند سلسله مراتب تحلیلی را با توجه به چهار معیار نگهداری و تعمیرات پیشنهاد دادند: هزینه، تعمیر پذیری، قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی (تریانتافیلو و همکاران، ۱۹۹۷).

روش دیمتل ابتدا از سوی مرکز تحقیقات ژنو معرفی شد و سپس پژوهش‌های متعددی به استفاده از روش دیمتل برای تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته است. با استفاده از این تکنیک سازمان علاوه بر وزن‌دهی به معیارها، روابط بین معیارها را مشخص می‌کند. مزایای این روش باعث شد تا آن در حوزه‌های مختلفی چون: انتخاب راهبردهای مدیریت دانش (ژو، ۲۰۰۸)، شناسایی شایستگی‌های مورد نیاز برای ارتقای صلاحیت مدیران (ژو، ۲۰۰۷)، توسعه معیارهای انتخاب تأمین‌کننده (چانگ، ۲۰۱۸) و دیگر موضوعات استفاده شود. ژنگ با ارائه یک مدل علت و معلولی بر مبنای روشی ترکیبی از دیمتل فازی و تحلیل خاکستری، به رتبه‌بندی کیفیت خدمات املاک پرداخت (تسنگ، ۲۰۰۹). ژنگ و لین با استفاده از دیمتل فازی به رتبه‌بندی راه‌حل‌های دفع زباله‌های شهری پرداخته‌اند (تسنگ و لین، ۲۰۰۹). همچنین وانگ و همکاران با ارائه یک مدل ترکیبی از دیمتل

1. Paz and leigh
2. Preventive Maintenance
3. Condition Based Maintenance
4. Reliability-centered maintenance
5. Total Productive Maintenance
6. Geneva research center

فازی و تحلیل خاکستری روش‌های دفع زباله‌های جامد شهری را رتبه‌بندی کردند (وانگ، ۲۰۱۸). در زمینه نگهداری و تعمیرات نیز این روش تاکنون کاربردهایی داشته است. وژانوویچ و همکاران به ارزیابی شاخص‌های مدیریت تعمیر و نگهداری ناوگان حمل و نقل با استفاده از دیمتل و ANP پرداختند و سپس با روش ارائه شده تاثیر مدیران را بر اثربخشی و کارایی مدیریت تعمیر و نگهداری در شرکت‌ها مورد مطالعه قرار دادند (وژانوویچ، ۲۰۱۲). آقای و همکاران شاخص‌های کلیدی مؤثر بر نگهداری و تعمیرات چابک را با استفاده از رویکرد دلفی فازی و دیمتل فازی شناسایی و رتبه‌بندی کردند (آقای و همکاران، ۲۰۱۶). در این پژوهش، برای اولین بار از روشی ترکیبی دیمتل فازی و تحلیل خاکستری فازی برای ارزیابی سیاست‌های نگهداری و تعمیرات استفاده شده است. همچنین استفاده از اعداد فازی بازه‌ای و مجموعه فازی بازه‌ای برای ارزیابی و مقایسه سیاست‌های نگهداری و تعمیرات سابقه نداشته است. تحلیل تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم معیارهای نگهداری و تعمیرات مزیت استفاده از دیمتل فازی برای ارزیابی نگهداری و تعمیرات می‌باشد. همچنین استفاده از اعداد فازی بازه‌ای باعث می‌شود، تصمیم‌گیرندگان با استفاده از متغیرهای بیانی به راحتی نظرات خود را بیان کنند.

روش کار

روش پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی سیاست‌های نگهداری و تعمیرات مطابق شکل ۱: شمای کلی از روش پیشنهادی ترکیبی دیمتل فازی و تحلیل خاکستری فازی بازه‌ای
 شکل ۱: شمای کلی از روش پیشنهادی ترکیبی دیمتل فازی و تحلیل خاکستری فازی بازه‌ای

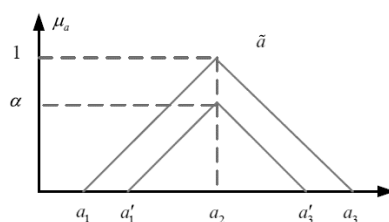
شکل ۱ شامل دو گام اساسی می‌شود. در مرحله اول، با نظر متخصصان شناسایی و وزندهی معیارها صورت می‌پذیرد و در مرحله دوم، با توجه به معیارها گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. روش پیشنهادی برای وزندهی معیارها از دیمتل فازی و برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از تحلیل خاکستری فازی استفاده می‌کند. هر دو مرحله از اعداد فازی بازه‌ای استفاده می‌شود؛ بنابراین، ابتدا اعداد فازی بازه‌ای معرفی شد سپس روش دیمتل فازی بر پایه اعداد فازی بازه‌ای و در پایان این قسمت، روش تحلیل خاکستری فازی بر پایه اعداد فازی بازه‌ای معرفی می‌شود.

مجموعه فازی بازه‌ای

مجموعه فازی بازه‌ای^۱ روی بازه‌ی $(-\infty, +\infty)$ به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} A &= \{(x, [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)])\} \\ \mu_A^L(x), \mu_A^U(x) &: X \rightarrow [0, 1] \quad \forall x \in X \quad \mu_A^L(x) \leq \mu_A^U(x) \\ \bar{\mu}_A(x) &= [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)] \\ A &= \{(x, \bar{\mu}_A(x))\}, x \in (-\infty, +\infty) \end{aligned} \quad (1)$$

که $\mu_A^L(x)$ و $\mu_A^U(x)$ به ترتیب حد پایین و حد بالای درجه عضویت هستند. فرض کنید $\tilde{a} = [(a_1, a'_1), a_2, (a'_3, a_3)]$ همان طور که در شکل ۲ نشان داده شد و $\tilde{b} = [(b_1, b'_1), b_2, (b'_3, b_3)]$ دو عدد فازی بازه‌ای و v یک عدد قطعی باشد، اعمال جبری به صورت زیر است:



شکل ۲: عدد فازی بازه‌ای

۱. ضرب عدد قطعی در فازی بازه‌ای

$$v. \tilde{a} = [(va_1, va'_1), va_2, (va'_3, va_3)] \quad (2)$$

۲. جمع دو عدد فازی

$$\begin{aligned} \tilde{a} + \tilde{b} &= [(a_1, a'_1), a_2, (a'_3, a_3)] + [(b_1, b'_1), b_2, (b'_3, b_3)] \\ &= [(a_1 + b_1, a'_1 + b'_1), a_2 + b_2, (a'_3 + b'_3, a_3 + b_3)] \end{aligned} \quad (3)$$

۳. تفاضل و ضرب و تقسیم

$$\begin{aligned}\tilde{a} - \tilde{b} &= [(a_1, a'_1), a_2, (a'_3, a_3)] - [(b_1, b'_1), b_2, (b'_3, b_3)] \\ &= [(a_1 - b_1, a'_1 - b'_1), a_2 - b_2, (a'_3 - b'_3, a_3 - b_3)]\end{aligned}\quad (۴)$$

$$\begin{aligned}\tilde{a} \times \tilde{b} &= [(a_1, a'_1), a_2, (a'_3, a_3)] \times [(b_1, b'_1), b_2, (b'_3, b_3)] \\ &= [(a_1 \times b_1, a'_1 \times b'_1), a_2 \times b_2, (a'_3 \times b'_3, a_3 \times b_3)]\end{aligned}\quad (۵)$$

$$\begin{aligned}\tilde{a} \div \tilde{b} &= [(a_1, a'_1), a_2, (a'_3, a_3)] \div [(b_1, b'_1), b_2, (b'_3, b_3)] \\ &= [(a_1 \div b_1, a'_1 \div b'_1), a_2 \div b_2, (a'_3 \div b'_3, a_3 \div b_3)]\end{aligned}\quad (۶)$$

۴. معکوس و توان رسانی

$$\tilde{a}^{-1} = \left[\left(\frac{1}{a_3}, \frac{1}{a'_3} \right), \frac{1}{a_2}, \left(\frac{1}{a'_1}, \frac{1}{a_1} \right) \right]\quad (۷)$$

$$\tilde{a}^n = [((a_1)^n, (a'_1)^n), a_2^n, ((a'_3)^n, (a_3)^n)]\quad (۸)$$

۵. غیر فازی کردن دو عدد فازی بازه ای برای مقایسه

$$h(\tilde{a}) = \frac{[(a_1 + a'_1) + 2a_2 + (a'_3 + a_3)]}{6}\quad (۹)$$

$$h(\tilde{a}) > h(\tilde{b}) \leftrightarrow \tilde{a} > \tilde{b}\quad (۱۰)$$

روش دیمتل برای وزن دهی به معیارها

تکنیک روش دیمتل فازی بازه‌ای، وزن دهی به معیارها را برای ارزیابی سناریوها انجام می‌دهد و از روش سنتی آن گرفته شده است. روش سنتی می‌تواند وابستگی‌های متقابل و تعاملات بین معیارها را در بر گیرد. گام‌های روش دیمتل به صورت زیر است:

۱. ایجاد ماتریس تحت تأثیر مستقیم (DIM^1) با استفاده از متغیرهای زبانی

۲. محاسبه ماتریس تأثیرات مستقیم وزنی

۳. نرمال سازی ماتریس تأثیرات مستقیم وزندار

۴. محاسبه ماتریس تأثیرات کل (TRM^2)

۵. محاسبه اهمیت نسبی معیارها

گام ۱. ایجاد ماتریس تأثیرات مستقیم (DIM) با استفاده از متغیرهای زبانی

-
1. Direct relation matrix
 2. Total relation matrix

هدف این گام محاسبه میزان تأثیر یک معیار با معیار دیگر با استفاده از متغیرهای بیانی نشان داده شده در جدول ۱ است. همچنین متغیرهای بیانی قابل تبدیل به اعداد فازی بازه‌ای هستند. از تصمیم‌گیران درخواست می‌شود تا نظر خود در باره میزان تأثیر یک معیار بر معیار دیگر را با متغیرهای بیانی ارائه دهند. سپس این متغیرهای بیانی به اعداد فازی بازه‌ای با استفاده از جدول ۱ تبدیل می‌شوند.

جدول ۱: متغیرهای بیانی و عدد فازی مرتبط هریک

متغیر بیانی	اختصار	عدد فازی بازه‌ای
بدون تأثیر	N	$[(0,0); 0; (0,0)]$
تأثیر بسیار کم	VL	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$
تأثیر کم	L	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$
تأثیر متوسط	M	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$
تأثیر زیاد	H	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$
تأثیر بسیار زیاد	VH	$[(5,5/5); 6; (6/5,7)]$

فرض شود H تصمیم‌گیر و n معیار وجود دارد. میزان تأثیر i امین معیار روی j امین معیار از دیدگاه تصمیم‌گیر k ام با x_{ij}^{-k} نمایش داده می‌شود و x_{ij}^{-k} یک عدد فازی بازه‌ای است. نتیجه حاصله از k امین تصمیم‌گیر همان طور که در روابط (۱) و (۲) نشان داده شده یک ماتریس $n \times n$ است.

$$\tilde{X}^k = \begin{bmatrix} (0,0); 0; (0,0) & \cdots & \tilde{x}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1}^k & \cdots & (0,0); 0; (0,0) \end{bmatrix}, k = 1, 2, \dots, H \quad (11)$$

$$\tilde{x}_{ij}^k = [(x_{ij,k}^1, x_{ij,k}'^1); x_{ij,k}^2; (x_{ij,k}'^3, x_{ij,k}^3)] \quad (12)$$

x^{-k} نشان‌دهنده ماتریس تأثیرات مستقیم (DIM) تصمیم‌گیر k است.

گام ۲. محاسبه ماتریس تحت تأثیر مستقیم وزنی

ماتریس تحت تأثیر مستقیم وزنی که به اسم "ماتریس تأثیرات مستقیم اولیه" هم شناخته می‌شود، با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} (0,0); 0; (0,0) & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \cdots & (0,0); 0; (0,0) \end{bmatrix} \quad (13)$$

همچنین لازم به ذکر است که تعداد H تصمیم گیر وجود دارد که نظرات متفاوت خود را دادند. در نتیجه، ماتریس وزنی باید با توجه به اهمیت نقش تصمیم گیران محاسبه شود. با توجه به قانون ضرب عدد قطعی در عدد فازی مولفه های ماتریس $\tilde{A}$ را می توان محاسبه کرد. این نکته قابل ذکر است، در صورتی که اهمیت نقش افراد تصمیم گیر یکسان در نظر گرفته شود، رابطه (۱) به جای رابطه (۱) استفاده می شود.

$$\tilde{a}_{ij} = \sum_{k=1}^H \tilde{w}_k \tilde{x}_{ij}^k = \sum_{k=1}^H \tilde{w}_k [(x_{ij,k}^1, x_{ij,k}'^1); x_{ij,k}^2; (x_{ij,k}'^3, x_{ij,k}^3)] \quad (14)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{k=1}^H [(\lambda_k^1 x_{ij,k}^1, \lambda_k'^1 x_{ij,k}'^1); \lambda_k^2 x_{ij,k}^2; (\lambda_k'^3 x_{ij,k}'^3, \lambda_k^3 x_{ij,k}^3)] \\ \tilde{a}_{ij} &= \sum_{k=1}^H \frac{1}{H} \tilde{x}_{ij}^k = \sum_{k=1}^H \frac{1}{H} [(x_{ij,k}^1, x_{ij,k}'^1); x_{ij,k}^2; (x_{ij,k}'^3, x_{ij,k}^3)] \\ &= \sum_{k=1}^H [(\frac{1}{H} x_{ij,k}^1, \frac{1}{H} x_{ij,k}'^1); \frac{1}{H} x_{ij,k}^2; (\frac{1}{H} x_{ij,k}'^3, \frac{1}{H} x_{ij,k}^3)] \end{aligned} \quad (15)$$

که $\tilde{\lambda}_k = [(\lambda_k^1, \lambda_k'^1); \lambda_k^2; (\lambda_k'^3, \lambda_k^3)]$ وزن نفر k ام است. در این گام برای دستیابی به اهمیت نسبی تصمیم گیران، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بر پایه اعداد فازی بازه ای استفاده می شود. این روش شامل سه گام است:

زیر گام ۱. ماتریس مقایسات با استفاده از متغیرهای بیانی محاسبه می شود. تصمیم گیران با متغیر بیانی موجود در جدول ۲ ماتریس مقایسات زوجی را تشکیل می دهند. لازم به ذکر است معکوس هر یک از متغیرهای بیانی نیز هم به صورت بیانی و به صورت عدد فازی با توجه به رابطه ۷ قابل محاسبه است.

زیر گام ۲. محاسبه ماتریس مقایسات زوجی با اعداد فازی بازه ای ($IVFN^1$). در این گام متغیرهای بیانی به اعداد فازی بازه ای تبدیل می شوند. سپس ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از رابطه (۱) به دست می آید:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \cdots & \tilde{m}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{m}_{n1} & \cdots & \tilde{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \cdots & \tilde{m}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\tilde{m}_{1n}} & \cdots & \tilde{1} \end{bmatrix} \quad (16)$$

که $\tilde{m}_{ij} = [(m_{ij}^1, m_{ij}'^1); m_{ij}^2; (m_{ij}'^3, m_{ij}^3)]$ نشان‌دهنده اهمیت نسبی فرد i نسبت به فرد j است.

زیر گام ۳. محاسبه وزن فازی. وزن فازی بازه‌ای هر فرد با استفاده از میانگین هندسی که در روابط (۱) و (۱) موجود است، به دست می‌آید:

$$\tilde{r}_j = (\tilde{m}_{j1} \times \tilde{m}_{j2} \times \dots \times \tilde{m}_{jn})^{1/n}$$

$$= \left[\left(\left(\prod_{k=1}^n m_{jk}^1 \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{k=1}^n m_{jk}'^1 \right)^{\frac{1}{n}} \right), \left(\prod_{k=1}^n m_{jk}^2 \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\left(\prod_{k=1}^n m_{jk}'^3 \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{k=1}^n m_{jk}^3 \right)^{\frac{1}{n}} \right) \right] \quad (17)$$

$$\tilde{\lambda}_k = \tilde{r}_k \times (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1}$$

$$= \left[\left(\frac{r_k^1}{\sum_{j=1}^n r_j^3}, \frac{r_k'^1}{\sum_{j=1}^n r_j'^3} \right), \left(\frac{r_k^2}{\sum_{j=1}^n r_j^2} \right), \left(\frac{r_k'^3}{\sum_{j=1}^n r_j'^1}, \frac{r_k^3}{\sum_{j=1}^n r_j^1} \right) \right] \quad (18)$$

که $\tilde{r}_j$ نشان‌دهنده میانگین هندسی با توجه به نفر j ام و $\tilde{\lambda}$ نشان‌دهنده اهمیت نسبی (وزن) نفر K ام است.

جدول ۲: متغیرهای بیانی اهمیت نسبی تصمیم‌گیران و عدد فازی بازه‌ای مربوط آنها

متغیر بیانی	اختصار	عدد فازی بازه‌ای
اهمیت یکسان	E	$[(1,1); 1; (1,1)]$
ارجحیت بسیار کم	W	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$
ارجحیت کم	L	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$
ارجحیت متوسط	M	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$
ارجحیت زیاد	H	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$
ارجحیت کامل	S	$[(5,5/5); 6; (6/5,7)]$

گام ۳. نرمال-سازی. ماتریس تأثیرات مستقیم اولیه وزنی با استفاده از رابطه (۱) تا (۱) نرمال‌سازی شده و ماتریس تأثیرات اولیه وزنی نرمال شده D^1 به دست می‌آید:

$$s = \max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}^3) \quad (19)$$

$$\tilde{D} = [\tilde{d}_{ij}]_{n \times n} = [(d_{ij}^1, d_{ij}'^1); d_{ij}^2; (d_{ij}'^3, d_{ij}^3)]_{n \times n} \quad (20)$$

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{1}{s} \times \tilde{a}_{ij} = \left[\left(\frac{a_{ij}^1}{s}, \frac{a_{ij}'^1}{s} \right); \frac{a_{ij}^2}{s}; \left(\frac{a_{ij}'^3}{s}, \frac{a_{ij}^3}{s} \right) \right] \quad (21)$$

که S نشان دهنده بزرگترین مقدار در طول هر سطر است.

گام ۴. محاسبه ماتریس ارتباط کل (TRM)

ماتریس TRM با محاسبه جمع تأثیرات مستقیم که در D نمایش داده شده و همه تأثیرات غیر مستقیم که با توسعه D به توان‌های متفاوت به دست می‌آید. با افزایش توان ماتریس، تأثیر غیر مستقیم معیارها به طور دنباله‌دار کاهش می‌یابد و در $\tilde{D}_\infty$ به صفر نزدیک می‌شوند که همگرایی راه‌حل‌ها را برای معکوس ماتریکس تضمین می‌کند. سپس TRM با رابطه (۱) و (۲) به دست می‌آید:

$$\tilde{T} = [\tilde{t}_{ij}]_{n \times n} = \tilde{D}^1 + \tilde{D}^2 + \dots + \tilde{D}^h \quad h \rightarrow \infty \quad \tilde{D}^h = 0_{n \times n} \quad (22)$$

$$\tilde{t}_{ij} = [(t_{ij}^1, t_{ij}'^1); t_{ij}^2; (t_{ij}'^3, t_{ij}^3)]_{n \times n} \quad (23)$$

مولفه‌های $\tilde{t}_{ij}$ با روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود:

$$D_1 = \{d_{ij}^1\}_{n \times n} \quad (24)$$

$$T^1 = \{t_{ij}^1\}_{n \times n} = D^1(I - D^1)^{-1} \quad (25)$$

که T نمایش ماتریس TRM و I ماتریس واحد است.

تأثیر کل شامل مستقیم و غیر مستقیم بوجود آمده از i از رابطه (۲۶) بدست می‌آید:

$$\tilde{r}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} = [(r_{ij}^1, r_{ij}'^1); r_{ij}^2; (r_{ij}'^3, r_{ij}^3)]_{n \times n} \quad (26)$$

تأثیر کلی که روی معیار j از بوجود می‌آید نیز از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\tilde{c}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{t}_{ij} = [(c_{ij}^1, c_{ij}'^1); c_{ij}^2; (c_{ij}'^3, c_{ij}^3)]_{n \times n} \quad (27)$$

بنابراین، جمع r و c نشان دهنده اثرات کلی با توجه به عامل i ام است و نشان دهنده اهمیت

نسبی عامل i در سیستم پیچیده است. همچنین تفاضل r و c نشان دهنده تأثیر خالص i امین

معیار در سیستم پیچیده است. این مقادیر با روابط (۱) و (۲) بدست می‌آید. همچنین در نهایت عدد

فازی به دست آمده با استفاده از روابط (۱) و (۲) غیر فازی می‌شود.

$$\tilde{r}_i + \tilde{c}_j = [(r_i^1 + c_j^1, r_i'^1 + c_j'^1); r_i^2 + c_j^2; (r_i'^3 + c_j'^3, r_i^3 + c_j^3)] \quad (28)$$

$$\tilde{r}_i - \tilde{c}_j = [(r_i^1 - c_j^3, r_i'^1 - c_j'^3); r_i^2 - c_j^2; (r_i'^3 - c_j'^1, r_i^3 - c_j^1)] \quad (29)$$

$$r_i + c_j = \frac{(r_i^1 + c_j^1, r_i'^1 + c_j'^1) + 2(r_i^2 + c_j^2) + (r_i'^3 + c_j'^3, r_i^3 + c_j^3)}{6} \quad (30)$$

$$r_i - c_j = \frac{(r_i^1 - c_j^3, r_i'^1 - c_j'^3) + 2(r_i^2 - c_j^2) + (r_i'^3 - c_j'^1, r_i^3 - c_j^1)}{6} \quad (31)$$

گام ۵. محاسبه اهمیت نسبی معیارها (فاکتورها)

بعد از محاسبه مقادیر اشتراک (I+C, I-C) با توجه به همه معیارها، می‌توانند در نمودار ارتباط علت و معلول ترسیم شوند. در مورد اهمیت نسبی معیارها و وزن‌های نرمال شده که نشان‌دهنده وزن معیارها است، از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\bar{w}_j = \sqrt{(r_i + c_j)^2 + (r_i - c_j)^2} \quad (32)$$

$$w_j = \frac{\bar{w}_j}{\sum_{j=1}^n \bar{w}_j} \quad (33)$$

تجزیه و تحلیل رابطه‌ای گروهی خاکستری با استفاده از اعداد فازی بازه‌ای

برای شرح روش m تعداد گزینه‌ها و n تعداد معیارها در نظر گرفته می‌شود. روش تحلیل خاکستری فازی بازه‌ای چند نفره (گروهی) در ۷ گام انجام می‌شود:

گام ۱. محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری فازی بازه‌ای برای هر فرد

هر یک از k تصمیم‌گیر با استفاده از متغیرهای بیانی شکل ۳ اقدام به امتیازدهی به هر یک از گزینه‌ها در معیارهای مورد نظر می‌کند. سپس کارایی گزینه‌ها در هر معیار به صورت اعداد فازی بازه‌ای درآمده و امکان ارزیابی دارد.

نتیجه نظرات فرد k ام با روابط (۱) و (۲) نشان داده می‌شود:

$$\tilde{D}^k = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11}^k & \dots & \tilde{v}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{n1}^k & \dots & \tilde{v}_{nn}^k \end{bmatrix}, k = 1, 2, \dots, H \quad (34)$$

$$\tilde{v}_{ij,k} = [(v_{ij,k}^1, v_{ij,k}'^1); v_{ij,k}^2; (v_{ij,k}'^3, v_{ij,k}^3)] \quad (35)$$

در رابطه (۱)، $\tilde{v}_{ij,k}$ یک عدد فازی بازه‌ای است که کارایی آئین گزینه در معیار j ام از دیدگاه فرد k ام را نمایش می‌دهد.

جدول ۳: متغیرهای بیانی و اعداد فازی بازه‌ای مربوطه برای امتیازدهی به گزینه‌ها

متغیر بیانی	اختصار	عدد فازی بازه‌ای
-------------	--------	------------------

متغیر بیانی	اختصار	عدد فازی بازه‌ای
بسیار ضعیف	VP	$[(0,0); 0; (1,1/5)]$
ضعیف	P	$[(0,0/5); 1; (2/5,3/5)]$
نسبتاً ضعیف	MP	$[(0,1/5); 3; (4/5,5/5)]$
متوسط	F	$[(2/5,3/5); 5; (6/5,7/5)]$
نسبتاً قوی	MG	$[(4/5,5/5); 7; (8,9/5)]$
قوی	G	$[(5/5,7/5); 9; (9/5,10)]$
بسیار قوی	VG	$[(8/5,9/5); 10; (10,10)]$

گام ۲. محاسبه ماتریس تصمیم ادغام نظرات تصمیم‌گیرندگان.

ماتریس تصمیم ادغام نظرات تصمیم‌گیرندگان با استفاده از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \cdots & \tilde{v}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \cdots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \sum_{k=1}^H \tilde{\lambda}_k \tilde{v}_{ij}^k = [\sum_{k=1}^H (v_{ij,k}^1 \lambda_k^1, v_{ij,k}^1 \lambda_k^1); v_{ij,k}^2 \lambda_k^2; (v_{ij,k}^3 \lambda_k^3, v_{ij,k}^3 \lambda_k^3)] \quad (37)$$

که $\tilde{v}_{ij}$ کارایی گزینه i ام در معیار j ام در ماتریس ادغامی است. همچنین λ نشان‌دهنده وزن جایگاه فرد تصمیم‌گیر k ام در فرایند تصمیم‌گیری است.

گام ۳. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم ادغامی. بعد از گام‌های قبلی همه معیارهای ارزیابی با استفاده از روابط (۱) و (۲) به فرم مثبت در آمده و نرمال می‌شوند. همان‌گونه که در روابط نشان داده شده R ماتریس ادغامی نرمال شده فازی بازه‌ای را نشان می‌دهد:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \cdots & \tilde{r}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \cdots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{v_{ij}^1}{\max_i \{v_{ij}^3\}}, \frac{v_{ij}^1}{\max_i \{v_{ij}^3\}} \right); \frac{v_{ij}^2}{\max_i \{v_{ij}^3\}}; \left(\frac{v_{ij}^3}{\max_i \{v_{ij}^3\}}, \frac{v_{ij}^3}{\max_i \{v_{ij}^3\}} \right) \right] \quad (39)$$

گام ۴. محاسبه سری‌های مرجع. سری‌های مرجع با رابطه (۴۰) محاسبه می‌شوند. از سری‌های مرجع برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در گام‌های بعدی استفاده می‌شود.

$$\tilde{r}_j^0 = [(r_{0j}^1, r_{0j}^1); r_{0j}^2; (r_{0j}^3, r_{0j}^3)] = [(1,1), 1, (1,1)] (j = 1, 2, \dots, n) \quad (40)$$

گام ۵. محاسبه فاصله بین هر گزینه تا سری‌های مرجع. فاصله هر گزینه با سری مرجع در هر معیار از روابط (۴۱) تا (۴۲) به دست می‌آید:

$$\delta_{ij}^L = \sqrt{\frac{1}{3}[(r_{ij}^{1'} - 1)^2 + (r_{ij}^2 - 1)^2 + (r_{ij}^3 - 1)^2]} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (41)$$

$$\delta_{ij}^U = \sqrt{\frac{1}{3}[(r_{ij}^1 - 1)^2 + (r_{ij}^2 - 1)^2 + (r_{ij}^3 - 1)^2]} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (42)$$

$$\delta_{ij} = [\delta_{ij}^L, \delta_{ij}^U]$$

که δ_{ij} نشان‌دهنده فاصله بین گزینه i تا سری مرجع در معیار j است. گام ۶. محاسبه ضریب ارتباطی خاکستری. ضریب ارتباطی خاکستری با روابط (۴۳) تا (۴۵) به دست می‌آید:

$$\xi_{ij}^L = \frac{\delta_{ij}^L + \xi \max_i \max_j \delta_{ij}^L}{\min_i \min_j \delta_{ij}^L + \xi \max_i \max_j \delta_{ij}^L} \quad (43)$$

$$\xi_{ij}^U = \frac{\delta_{ij}^U + \xi \max_i \max_j \delta_{ij}^U}{\min_i \min_j \delta_{ij}^U + \xi \max_i \max_j \delta_{ij}^U} \quad (44)$$

$$\xi_{ij} = [\xi_{ij}^L, \xi_{ij}^U] \quad (45)$$

که ξ_{ij} نشان‌دهنده ضریب ارتباطی خاکستری گزینه i در معیار j است و ξ معمولاً مقداری حدود ۰/۵ دارد. واضح هست که مقدار بیشتر این ضریب نشان‌دهنده فاصله بیشتر گزینه تا سری زمانی در آن معیار است.

گام ۷. محاسبه درجه ارتباط خاکستری گزینه‌ها. درجه ارتباط خاکستری گزینه‌ها با رابطه (۴۶) محاسبه می‌شود:

$$d_i = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij} = \left[\sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij}^L, \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij}^U \right] = [d_i^L, d_i^U] \quad (46)$$

در این رابطه d_i نشان‌دهنده درجه ارتباط خاکستری گزینه i ام است و d_i^U و d_i^L کران بالا و پایین d_i هستند. هرچه ارزش درجه ارتباطی خاکستری بیشتر باشد، گزینه ضعیف‌تر خواهد بود و هر چه کمتر گزینه بهتر.

همچنین برای دو گزینه i و t امکان $d_i \geq d_t$ برابر است با :

$$p(d_i \geq d_t) = \frac{\max\{0, d_i^U - d_t^L\} - \max\{0, d_t^U - d_i^L\}}{d_i^U - d_i^L + d_t^U - d_t^L} \quad (47)$$

گزینه‌ها با استفاده از درجه ارتباط خاکستری می‌تواند با قواعد زیر رتبه‌بندی شود:

الف) در صورتی که $p(d_i \geq d_t) > 0.5$ می‌توان نتیجه گرفت گزینه i ام نسبت به گزینه t ام جایگاه پایین‌تری دارد.

ب) در صورتی که $p(d_i \geq d_t) = 0.5$ می‌توان نتیجه گرفت گزینه i ام نسبت به گزینه t ام تفاوتی ندارند.

ج) در صورتی که $p(d_i \geq d_t) < 0.5$ می‌توان نتیجه گرفت گزینه i ام نسبت به گزینه t ام جایگاه بهتری دارد.

مطالعه موردی

برای فهم بهتر موضوع این تکنیک در بخش نگهداری و تعمیرات شرکت نیلبافت صنعت سپاهان پیاده‌سازی شد. سه گزینه‌ی مورد بررسی (سیاست‌های نگهداری و تعمیرات) با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته شامل سیاست نت پیشگیرانه، اصلاحی و پیش‌گویانه است.

نت اصلاحی^۱: تعمیرات مبتنی بر خرابی و یا از کارافتادگی را نت اصلاحی می‌نامند. در این سیاست نت، قبل از وقوع خرابی یا از کارافتادگی هیچ فعالیتی صورت نمی‌گیرد.

نت پیشگیرانه^۲: این سیاست بر مبنای ویژگی قابلیت اطمینان طراحی شده و در آن سعی بر این است که پس از بررسی و بازرسی‌ها و اعمال جایگزینی‌ها، تعداد خرابی‌ها برای اجزایی که خرابی بیشتری دارند کاهش یابد.

نت مبتنی بر قابلیت اطمینان^۳: در سیاست نت مبتنی بر قابلیت اطمینان فعالیت‌هایی که برای حفظ دارایی‌های فیزیکی و حفظ کارکرد آنها ضرورت دارد، مشخص می‌شود.

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

تصمیم‌گیران برای انتخاب بهترین سیاست نگهداری و تعمیرات در گروه صنعتی نیلبافت سپاهان شامل سه گروه اصلی می‌شوند: مدیر اجرایی کارخانه، سرپرست مدیریت فنی و گروه منتخب از کارکنان بخش نگهداری و تعمیرات.

معیارهای تصمیم‌گیری: بر مبنای مرور ادبیات صورت گرفته و نظر متخصصان حوزه نگهداری و تعمیرات، ۵ معیار اصلی برای انتخاب سیاست بهینه نگهداری و تعمیرات شامل: هزینه و درآمد، قابلیت دسترسی، ایمنی و محیط زیست، قابلیت اطمینان، و تعمیرپذیری در نظر گرفته شد. قابل ذکر است در ادامه گزینه‌ها با علائم A_1 تا A_3 تصمیم‌گیران با علائم DM_1 تا DM_3 و معیارها با علائم C_1 تا C_5 نام‌گذاری شده‌اند.

برای پیاده‌سازی روش و انتخاب بهترین سیاست، گام‌های زیر به ترتیب صورت گرفت: در ابتدا از هر گروه تصمیم‌گیرندگان درخواست شد تا با متغیرهای بیانی میزان تأثیر یک معیار بر معیار دیگر را بیان کنند. نتایج نظرات تصمیم‌گیران در جدول ۴ قابل مشاهده است. سپس متغیرهای بیانی، بر مبنای

جدول به اعداد فازی بازه‌ای تبدیل شد که نتایج آن در جدول پیوست ۱ قرار دارد.

جدول ۴: ماتریس تأثیرات مستقیم حاصل از نظرات تصمیم‌گیرندگان

معیارها					گروه‌های تصمیم‌گیر
M	L	M	M	N	گروه تصمیم‌گیر اول DM_1
M	L	M	M	N	هزینه و درآمد C_1
M	VL	N	N	N	قابلیت دسترسی C_2
L	L	N	VL	N	ایمنی و محیط زیست C_3
M	N	M	H	N	قابلیت اطمینان C_4
N	L	VL	H	VL	تعمیرپذیری C_5
C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	گروه تصمیم‌گیر دوم DM_2
M	M	L	H	N	هزینه و درآمد C_1
M	VL	N	N	N	قابلیت دسترسی C_2
L	L	N	VL	VL	ایمنی و محیط زیست C_3
M	N	M	H	L	قابلیت اطمینان C_4
N	L	VL	H	VL	تعمیرپذیری C_5
C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	گروه تصمیم‌گیر سوم DM_3
M	H	L	M	N	هزینه و درآمد C_1
L	L	N	VL	N	قابلیت دسترسی C_2

L	VL	N	VL	VL	ایمنی و محیط زیست C ₃
M	N	H	M	L	قابلیت اطمینان C ₄
N	VL	L	M	VL	تعمیرپذیری C ₅

در گام دوم از روش دیمتل برای دستیابی به ماتریس تأثیرات مستقیم وزن دار، وزن نقش سه گروه تصمیم گیر که اهمیت نسبی آنها را نشان می دهد، باید محاسبه شود. در اینجا با توجه به نزدیکی نظرات گروه های تصمیم گیر و نقش حائز اهمیت هر یک در فرایند نگهداری و تعمیرات، وزن سه گروه یکسان در نظر گرفته شد. سپس با توجه به رابطه ۱۵ ماتریس تأثیرات مستقیم وزن دار محاسبه شد و نتیجه آن در جدول پیوست ۲ قرار دارد.

در مرحله سوم دیمتل ماتریس تأثیرات مستقیم وزن دار با استفاده از رابطه ۱۹ تا ۲۱ نرمال سازی شد. ماتریس نرمال شده در جدول پیوست ۳ قرار دارد. با توجه به روابط ۲۲ تا ۲۵ ماتریس تأثیرات کل به دست می آید. این ماتریس در جدول پیوست ۴ قرار دارد. سپس تأثیرات کل ایجاد شده شامل: تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم (I_i) و تأثیرات کل اخذ شده توسط هر یک از معیارها (C_i) محاسبه می شود. نتایج محاسبات در جدول پیوست ۵ قرار دارد. سپس با استفاده از روابط بیان شده در روش $I_i + C_i$ و $I_i - C_i$ محاسبه شده و در نهایت، وزن هر یک از معیارها به دست آمد. مقادیر اوزان معیارها در جدول ۶ قرار دارد. از اوزان به دست آمده در رتبه بندی به وسیله تحلیل رابطه خاکستری استفاده می شود.

جدول ۵: نتایج محاسبه وزن معیارها

C5	C4	C3	C2	C1	
۱۹/۵	۲۲/۲۸	۱۰/۸۹	۲۳/۹۱	۱۴/۷۳	$ri+ci$
-۰/۰۴	۱۰/۵	-۴/۵۵	-۱۸/۷۵	۱۱/۸۲	$ri-ci$
۰/۱۸۵	۰/۲۳۴	۰/۱۱۲	۰/۲۸۹	۰/۱۸۰	وزن

برای انجام تحلیل رابطه خاکستری، ابتدا ماتریس تصمیم هر سه گروه با توجه به نظرات گروه ها ایجاد شد که نتایج آن در جدول ۷ قرار دارد. سپس متغیرهای بیانی بر مبنای جدول ۳ به شکل اعداد فازی بازه ای درآمده و با استفاده از روابط ۳۷ و ۳۸ نظرات گروه ها با هم ادغام شده و ماتریس تصمیم ادغامی فازی بازه ای به دست می آید (جدول پیوست ۶). سپس ماتریس تصمیم با روابط ۳۹ و ۴۰ نرمال سازی شده و در جدول پیوست ۷ قرار دارد.

جدول ۶: ماتریس تصمیم با استفاده از متغیرهای بیانی

A ₃	A ₂	A ₁	گروه تصمیم گیر اول DM ₁
G	G	F	هزینه و درآمد C ₁

A_3	A_2	A_1	گروه تصمیم‌گیر اول DM_1
G	F	F	قابلیت دسترسی C_2
VG	G	G	ایمنی و محیط زیست C_3
MP	F	MP	قابلیت اطمینان C_4
G	VG	F	تعمیرپذیری C_5
A_3	A_2	A_1	گروه تصمیم‌گیر دوم DM_2
G	F	MP	هزینه و درآمد C_1
F	F	F	قابلیت دسترسی C_2
VG	MG	G	ایمنی و محیط زیست C_3
MP	F	P	قابلیت اطمینان C_4
G	G	F	تعمیرپذیری C_5
A_3	A_2	A_1	گروه تصمیم‌گیر سوم DM_3
G	G	F	هزینه و درآمد C_1
G	F	F	قابلیت دسترسی C_2
VG	G	G	ایمنی و محیط زیست C_3
MG	F	MP	قابلیت اطمینان C_4
F	MG	F	تعمیرپذیری C_5

با توجه به روابط ۴۱ تا ۴۳ فاصله هر یک از گزینه‌ها تا سری مرجع اندازه‌گیری شده و نتیجه آن در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷: فاصله هر گزینه تا سری مرجع

A_3	A_2	A_1	
$[(0/1554) (0/2677)]$	$[(0/2635) (0/3556)]$	$[(0/5582) (0/6295)]$	C_1
$[(0/2112) (0/3115)]$	$[(0/4552) (0/5228)]$	$[(0/4552) (0/5228)]$	C_2
$[(0/288) (0/866)]$	$[(0/2068) (0/3007)]$	$[(0/1554) (0/2677)]$	C_3
$[(0/4371) (0/5409)]$	$[(0/3631) (0/4371)]$	$[(0/6618) (0/7557)]$	C_4
$[(0/2531) (0/3469)]$	$[(0/1531) (0/2292)]$	$[(0/4874) (0/5515)]$	C_5

با توجه به روابط ۴۳ تا ۴۵ ضریب رابطه خاکستری محاسبه می‌شود و با قرار دادن $\xi = 0.5$ درجه رابطه خاکستری برای هر گزینه نیز با رابطه ۴۶ به دست می‌آید. ضریب رابطه خاکستری و درجه ارتباط خاکستری برای گزینه‌ها در جدول ۸ قابل مشاهده است:

جدول ۸: ضریب ارتباط خاکستری و درجه ارتباط خاکستری گزینه‌ها

	A_1	A_2	A_3
C_1	[(۲/۳۰۱۵) (۲/۴۷۶۸)]	[(۱/۵۷۶۸) (۱/۸۰۳۳)]	[(۱/۳۱۱۲) (۱/۵۸۷۱)]
C_2	[(۲/۰۴۸۳) (۲/۲۱۴۴)]	[(۲/۰۴۸۳) (۲/۲۱۴۴)]	[(۱/۴۴۸۳) (۱/۶۹۵۰)]
C_3	[(۱/۳۱۱۲) (۱/۵۸۷۱)]	[(۱/۴۳۷۵) (۱/۶۶۸۴)]	[(۱) (۱/۱۴۱۹)]
C_4	[(۲/۵۵۶۱) (۲/۷۸۷۰)]	[(۱/۸۲۱۷) (۲/۰۰۳۷)]	[(۲/۰۰۳۷) (۲/۲۵۹۰)]
C_5	[(۲/۱۲۷۳) (۲/۲۸۵۰)]	[(۱/۳۰۵۵) (۱/۴۹۲۷)]	[(۱/۵۵۱۲) (۱/۷۸۱۹)]
درجه ارتباط خاکستری	[(۲/۱۴۴۶) (۲/۳۳۸۳)]	[(۱/۷۰۴۴) (۱/۸۹۶۲)]	[(۱/۵۲۲۵) (۱/۷۶۱۸)]

توجه شود که هر چه درجه خاکستری در گزینه‌ای بیشتر باشد آن گزینه ارجحیت کمتری دارد. بزرگ‌ترین درجه رابطه خاکستری مربوط به گزینه A_1 است. سپس گزینه A_2 قرار دارد و کوچک‌ترین ضریب ارتباط خاکستری هم مربوط به گزینه A_3 است. در نهایت، امکان برتری گزینه‌ها نسبت به یکدیگر با رابطه ۴۷ محاسبه می‌شود که نتایج در جدول قرار دارد:

جدول ۹: ماتریس امکان گزینه‌ها

	A_1	A_2	A_3
A_1	۰/۵	۱	۱
A_2	۰	۰/۵	۰/۸۶۶۸
A_3	۰	۰/۱۳۳۱	۰/۵

در نتیجه، سیاست نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان مناسب‌ترین گزینه برای گروه صنعتی نیلبافت سپاهان است. سیاست نت پیشگیرانه در رتبه دوم و سیاست نت اصلاحی در رتبه سوم قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده با مطالعات پیشین در زمینه نگهداری و تعمیرات نیز مطابقت دارد. گرچه به در ظاهر به نظر می‌رسد انجام سیاست نت اصلاحی برای سازمان نسبت به سیاست‌های دیگر کم هزینه‌تر بوده ولی مدیران و متخصصان از این موضوع آگاه هستند که در دارا مدت و با خرابی دستگاه، هزینه‌ای به مراتب بالاتر نسبت به نت پیشگیرانه و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر سازمان تحمیل خواهد شد.

نتیجه‌گیری

انتخاب بهترین سیاست نگهداری و تعمیرات برای هر سازمان امری لازم به شمار می‌رود. در این پژوهش، سعی شد تا با استفاده از روشی ترکیبی از دیمتل و تحلیل خاکستری بر پایه اعداد فازی بازه‌ای، سیاست‌های نگهداری و تعمیرات ارزیابی شود. با استفاده از روش ارائه‌شده می‌توان سیاست‌های نگهداری و تعمیرات را به تصمیم‌گیری گروهی و با استفاده از متغیرهای بیانی ارزیابی و در صورت وجود چند گزینه، آنها را رتبه‌بندی کرد. پس از شرح متدولوژی ارائه‌شده با استفاده از روش سه سیاست: نت اصلاحی، نت پیشگیرانه و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در یک گروه صنعتی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. با توجه به نظرات متخصصان نت مبتنی بر قابلیت اطمینان به عنوان گزینه برتر در این گروه صنعتی انتخاب شد. هر چند سعی شد تا بهترین روش برای ارزیابی ارائه شود اما می‌توان مواردی را در مطالعات آتی مورد بررسی قرار داد. به طور مثال، وزن‌دهی از درون سازمان به تصمیم‌گیران دارای نواقصی خواهد بود و نحوه ارزیابی و وزن‌دهی به گروه تصمیم‌گیران باید با توجیحات بیشتری انجام گیرد. همچنین با توجه به شناسایی تأثیرات معیارها بر روی یکدیگر در این پژوهش می‌توان نحوه اثرگذاری معیارها بر روی یکدیگر را با دیدگاه سیستمی تحلیل و بررسی کرد.



منابع

- Aghaee, R., A. Aghaee, and R. Mohammad Hoseini Najizadeh, *Key effective factors on Agile Maintenance in vehicle industry using fuzzy Delphi method and Fuzzy DEMATEL*. Industrial Management Journal, 2015. 7(4): p. 641-672.
- khodayari, M. and S. Abdollahzadeh, *Proposing an Approach to Determine the Appropriate Multi-product Preventive and Maintenance Policies Using Simulation and MCDM*. Industrial Management Journal, 2018. 10(2): p. 279-296.
- Fitouhi, M.-C. and M. Nourelfath, *Integrating noncyclical preventive maintenance scheduling and production planning for multi-state systems*. Reliability Engineering & System Safety, 2014. 121: p. 175-186.
- Lam, C.T. and R. Yeh, *Optimal maintenance-policies for deteriorating systems under various maintenance strategies*. IEEE Transactions on reliability, 1994. 43(3): p. 423-430.
- sayed hosseini, S.M, *Systematic planning of maintenance and repair system in industries and services*. Industrial Management Organization Publications. Third edition.1384(in persian)
- Paz, N.M. and W. Leigh, *Maintenance scheduling: issues, results and research needs*. International Journal of Operations & Production Management, 1994. 14(8): p. 47-69.
- Zhao, Z., et al., *Predictive maintenance policy based on process data*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2010. 103(2): p. 137-143.
- Jardine, A.K., D. Lin, and D. Banjevic, *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*. Mechanical systems and signal processing, 2006. 20(7): p. 1483-1510.
- Esmailian, G., F. Lourak zadeh, and R. Zareayan, *Evaluating and comparing the implementation effectiveness of corrective maintenance and preventive maintenance with a systems dynamic approach (case study: Symcan company)*. Industrial Management Journal, 2015. 7(2): p. 189-214.
- Bevilacqua, M. and M. Braglia, *The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection*. Reliability Engineering & System Safety, 2000. 70(1): p. 71-83.
- Wang, L., J. Chu, and J. Wu, *Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process*. International journal of production economics, 2007. 107(1): p. 151-163.
- Triantaphyllou, E., et al., *Determining the most important criteria in maintenance decision making*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 1997. 3(1): p. 16-28.
- Wu, W.-W., *Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach*. Expert Systems with Applications, 2008. 35(3): p. 828-835.

- Wu, W.-W. and Y.-T. Lee, *Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method*. Expert systems with applications, 2007. 32(2): p. 499-507.
- Chang, B., C.-W. Chang, and C.-H. Wu, *Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria*. Expert systems with Applications, 2011. 38(3): p. 1850-1858.
- Tseng, M.-L., A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach. Expert systems with applications, 2009. 36(4): p. 7738-7748.
- Tseng, M.-L. and Y.H. Lin, Application of fuzzy DEMATEL to develop a cause and effect model of municipal solid waste management in Metro Manila. Environmental monitoring and assessment, 2009. 158(1-4): p. 519.
- Wang, Z., et al., Waste-to-energy, municipal solid waste treatment, and best available technology: comprehensive evaluation by an interval-valued fuzzy multi-criteria decision making method. Journal of Cleaner Production, 2018. 172: p. 887-899.
- Vujanović, D., et al., Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. Expert Systems with Applications, 2012. 39(12): p. 10552-10563.
- AGHAEE, R., A. AGHAEE, and H.N.R. MOHAMMAD, Key effective factors on Agile Maintenance in vehicle industry using fuzzy Delphi method and Fuzzy DEMATEL. 2016.



پیوست

جدول پیوست ۱: ماتریس اعداد فازی بازه‌ای تأثیرات مستقیم معیارها بر یکدیگر

C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	DM_1
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_1
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_2
$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_3
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_4
$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	C_5
C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	DM_2
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_1
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_2
$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	C_3
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	C_4
$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	C_5
C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	DM_3
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_1
$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	C_2
$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	C_3
$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(4,4/5); 5; (5/5,6)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	C_4
$[(0,0); 0; (0,0)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	$[(2,2/5); 3; (3/5,4)]$	$[(3,3/5); 4; (4/5,5)]$	$[(1,1/5); 2; (2/5,3)]$	C_5

جدول پیوست ۲: ماتریس تاثیرات مستقیم وزن‌دار

	C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	
C ₁	[(۳,۳/۵); ۴ ; (۴/۵,۵)]	[(۳,۳/۵); ۴ ; (۴/۵,۵)]	[(۲/۳,۲/۸); ۳/۳ ; (۳/۸,۴/۳)]	[(۳/۳,۳/۸); ۴/۳ ; (۴/۸,۵/۳)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	
C ₂	[(۲/۷,۳/۲); ۳/۷ ; (۴/۲,۴/۷)]	[(۱/۳,۱/۸); ۲/۳ ; (۲/۸,۳/۳)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	
C ₃	[(۲,۲/۵); ۳ ; (۳/۵,۴)]	[(۱/۷,۲/۲); ۲/۷ ; (۳/۲,۳/۷)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۱,۱/۵); ۲ ; (۲/۵,۳)]	[(۰/۷,۱/۲); ۱/۷ ; (۲/۲,۲/۷)]	
C ₄	[(۳,۳/۵); ۴ ; (۴/۵,۵)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۳/۳,۳/۸); ۴/۳ ; (۴/۸,۵/۳)]	[(۳/۷,۴/۲); ۴/۷ ; (۵/۲,۵/۷)]	[(۱/۳,۱/۸); ۲/۳; (۲/۸,۳/۳)]	
C ₅	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۱/۷,۲/۲); ۲/۷ ; (۳/۲,۳/۷)]	[(۱/۳,۱/۸); ۲/۳; (۲/۸,۳/۳)]	[(۳/۷,۴/۲); ۴/۷ ; (۵/۲,۵/۷)]	[(۱,۱/۵); ۲ ; (۲/۵,۳)]	

جدول پیوست ۳: ماتریس تاثیرات مستقیم وزن‌دار نرمال سازی شده

	C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	
C ₁	[(۰/۵,۰/۶); ۰/۷ ; (۰/۸,۰/۹)]	[(۰/۵,۰/۶); ۰/۷ ; (۰/۸,۰/۹)]	[(۰/۴,۰/۵); ۰/۶ ; (۰/۷,۰/۸)]	[(۰/۶,۰/۷); ۰/۸ ; (۰/۹,۰/۹)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	
C ₂	[(۰/۵,۰/۶); ۰/۷ ; (۰/۸,۰/۹)]	[(۰/۲,۰/۳); ۰/۴ ; (۰/۵,۰/۶)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	
C ₃	[(۰/۴,۰/۴); ۰/۵ ; (۰/۶,۰/۷)]	[(۰/۳,۰/۴); ۰/۵ ; (۰/۶,۰/۶)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰/۲,۰/۳); ۰/۴ ; (۰/۴,۰/۵)]	[(۰/۱,۰/۲); ۰/۲ ; (۰/۳,۰/۴)]	
C ₄	[(۰/۵,۰/۶); ۰/۷ ; (۰/۸,۰/۹)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰/۶,۰/۷); ۰/۸ ; (۰/۹,۰/۹)]	[(۰/۶,۰/۷); ۰/۸ ; (۰/۹,۰/۹)]	[(۰/۲,۰/۳); ۰/۳ ; (۰/۴,۰/۵)]	
C ₅	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰/۳,۰/۴); ۰/۵ ; (۰/۶,۰/۶)]	[(۰/۲,۰/۳); ۰/۴ ; (۰/۵,۰/۶)]	[(۰/۶,۰/۷); ۰/۸ ; (۰/۹,۰/۹)]	[(۰/۲,۰/۳); ۰/۳ ; (۰/۴,۰/۵)]	

جدول پیوست ۴: ماتریس تاثیرات کل

	C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	
C ₁	[(۱/۱,۱/۶); ۲/۴ ; (۳/۹,۷/۵)]	[(۱/۱,۱/۶); ۲/۴ ; (۳/۹,۷/۵)]	[(۰/۷,۱); ۱/۴ ; (۲/۱,۳/۲)]	[(۱/۴,۲/۱); ۳/۲ ; (۵/۸,۱/۶)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	
C ₂	[(۰/۹,۱/۳); ۱/۸ ; (۲/۸,۴/۷)]	[(۰/۳,۰/۵); ۰/۷ ; (۱,۱/۴)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	
C ₃	[(۰/۵,۰/۸); ۱/۱ ; (۱/۶,۲/۴)]	[(۰/۴,۰/۶); ۰/۹ ; (۱/۳,۱/۸)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰/۲,۰/۴); ۰/۵ ; (۰/۸,۱)]	[(۰/۱,۰/۲); ۰/۳ ; (۰/۴,۰/۵)]	
C ₄	[(۱/۱,۱/۶); ۲/۴ ; (۳/۹,۷/۵)]	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۱/۴,۲/۱); ۳/۲ ; (۵/۸,۱/۶)]	[(۱/۸,۲/۸); ۴/۷ ; (۱۰,۲۰)]	[(۰/۳,۰/۴); ۰/۵ ; (۰/۷,۰/۹)]	
C ₅	[(۰,۰); ۰ ; (۰,۰)]	[(۰/۴,۰/۶); ۰/۹ ; (۱/۳,۱/۸)]	[(۰/۳,۰/۵); ۰/۷ ; (۱,۱/۴)]	[(۱/۸,۲/۸); ۴/۷ ; (۱۰,۲۰)]	[(۰/۲,۰/۴); ۰/۵ ; (۰/۸,۱/۱)]	

جدول پیوست ۵: تاثیرگذاری کل و تاثیر پذیری کل برای هر معیار

C_j	R_i	
$[(0/7, 1); 1/4; (1/9, 2/6)]$	$[(4/4, 6/3); 9/5; (1/6, 3/4)]$	C_1
$[(5/4, 8/1); 1/3; (2/7, 5/7)]$	$[(1/3, 1/8); 2/7; (4/6, 3/3)]$	C_2
$[(2/4, 3/6); 5/4; (8/9, 2/1)]$	$[(1/3, 2); 2/9; (4/1, 5/9)]$	C_3
$[(2/3, 3/3); 4/9; (7/4, 1/3)]$	$[(4/7, 6/9); 1/1; (2/1, 4/4)]$	C_4
$[(3/7, 5/3); 7/8; (1/2, 2/2)]$	$[(2/8, 3/7); 6/8; (1/3, 2/4)]$	C_5

جدول پیوست ۶: ماتریس تصمیم فازی ادغامی از گروه‌ها

A_3	A_2	A_1	
$[(5/5, 7/5); 9; (9/5, 1/0)]$	$[(4/5, 6/17); 7/67; (8/5, 9/17)]$	$[(1/67, 2/83); 4/33; (5/83, 6/83)]$	C_1
$[(4/5, 6/17); 7/67; (8/5, 9/17)]$	$[(2/5, 3/5); 5; (6/5, 7/5)]$	$[(2/5, 3/5); 5; (6/5, 7/5)]$	C_2
$[(8/5, 9/5); 1/0; (1/0, 1/0)]$	$[(5/17, 6/83); 8/33; (9/83, 9/83)]$	$[(5/5, 7/5); 9; (9/5, 1/0)]$	C_3
$[(1/5, 2/83); 4/33; (5/67, 6/83)]$	$[(2/5, 3/5); 5; (6/5, 7/5)]$	$[(0, 1/17); 2/33; (3/83, 4/83)]$	C_4
$[(4/5, 6/17); 7/67; (8/5, 9/17)]$	$[(6/17, 7/5); 8/67; (9/17, 9/83)]$	$[(2/5, 3/5); 5; (6/5, 7/5)]$	C_5

جدول پیوست ۷: ماتریس تصمیم فازی ادغامی نرمال شده

A_3	A_2	A_1	
$[(0/55, 0/75); 0/9; (0/95, 1)]$	$[(0/45, 0/62); 0/77; (0/85, 0/92)]$	$[(0/17, 0/28); 0/43; (0/58, 0/68)]$	C_1
$[(0/49, 0/67); 0/84; (0/93, 1)]$	$[(0/27, 0/38); 0/55; (0/71, 0/82)]$	$[(0/27, 0/38); 0/55; (0/71, 0/82)]$	C_2
$[(0/85, 0/95); 1; (1, 1)]$	$[(0/52, 0/68); 0/83; (0/9, 0/98)]$	$[(0/55, 0/75); 0/9; (0/95, 1)]$	C_3
$[(0/2, 0/38); 0/58; (0/76, 0/91)]$	$[(0/33, 0/47); 0/67; (0/87, 1)]$	$[(0, 0/16); 0/31; (0/51, 0/64)]$	C_4
$[(0/46, 0/63); 0/78; (0/86, 0/93)]$	$[(0/63, 0/76); 0/88; (0/93, 1)]$	$[(0/25, 0/36); 0/51; (0/66, 0/76)]$	C_5