

انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به منظور بهبود شاخص های ایمنی ونت

ایرج محمد فام^۱، عباس شفیع خانی^۲، علی اکبر شفیع خانی^۳

^۱استاد مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران

^۲کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، شرکت ماشین سازی نیرو محرکه، تهران، ایران

^۳کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

علی اکبر شفیع خانی

ali.shafikhani@yahoo.com

چکیده

مطالعات انجام شده نشان می دهد که ارتباط نزدیکی بین نگهداری و تعمیرات و بروز حوادث عمده وجود دارد این موضوع سبب شده تا تمایل جدیدی برای استفاده از ریسک به عنوان یک معیار برای برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات ایجاد شود. هدف اصلی این مقاله انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به منظور بهبود شاخص های ایمنی و نت است. در این تحقیق ابتدا شاخص های مربوط به ایمنی و نت تعیین و مقدار عددی آنها اندازه گیری شد. سپس به منظور ارتقاء شاخص های منتخب سیاست مناسب برای ۹ تجهیز از شرکت مربوطه با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای مشخص شد. در مرحله پایانی پس از گذشت ۶ ماه از پیاده سازی سیستم مجدداً اندازه گیری شد. نتایج نشان می دهد که بهبود در شاخص های ایمنی ونت بعد از مداخله معنی دار می باشد. اجرای چنین مدلی به دلیل توجه به هزینه و ایمنی، نگهداشت صنعتی را حتی در شرایط تحریم میسر می سازد و بخشی از مشکلات در دوره اقتصاد مقاومتی را برطرف می کند.

واژگان کلیدی: ریسک، حادثه، نگهداری و تعمیرات، فرآیند تحلیل شبکه ای فازی

مقدمه

مطالعات انجام شده نشان می دهد که ارتباط نزدیکی بین نگهداری و تعمیرات و بروز حوادث عمده وجود دارد. این موضوع سبب شد تا تمایل جدیدی برای استفاده از ریسک به عنوان یک معیار برای برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات ایجاد شود (۱). عوامل زیادی به وقوع حوادث کمک می کنند و تصمیمات دقیق یک راهکار برای جلوگیری از وقوع حوادث است. استراتژی صحیح نگهداری و تعمیرات یکی از تصمیمات مهم برای پیشگیری از وقوع حوادث بوده و می تواند باعث کاهش ریسک حوادث شود؛ بنابراین در نظر گرفتن ریسک حوادث به عنوان یک معیار برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بسیار حائز اهمیت است [۲-۴]. آنالیز و توجیه انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات یک کار حیاتی و پیچیده است زیرا تعداد زیادی از فاکتورها در این زمینه مطرح می گردند که بسیاری از آن ها ناملموس هستند. معمولاً روش انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات به هزینه سیاست نگهداری و تعمیرات به همراه باقی معیارها مثل افزایش کیفیت تولید، قطعات یدکی در دسترس و زمان نگهداری و تعمیرات بستگی دارد [۵]. انواع مختلف استراتژی نگهداری و تعمیرات در هر دو سطح سیستم و اجزا می تواند تعریف شود. به طور کلی استراتژی های نگهداری و تعمیرات که عمدتاً در صنایع مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: نگهداری و تعمیرات اصلاحی^۱ (CM)، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه^۲ (PM)، نگهداری و تعمیرات دوره ای^۳ (SM)، نگهداری و تعمیرات فرصتی^۴ (OM) است. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را می توان به عنوان نگهداری و تعمیرات بر اساس زمان^۵ (TBM) و نگهداری و تعمیرات بر مبنای شرایط^۶ (CBM) طبقه بندی کرد. نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM) زمانی که تجهیزات با شکست مواجهه شوند آغاز می گردد؛ بنابراین به عنوان نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شکست شناخته می شوند. این نوع نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات بحرانی و حساس پرهزینه است و در بعضی اوقات برای تجهیزات مستقل غیر بحرانی به کار رفته می شود. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه قبل از اینکه تجهیزات دچار شکست شوند وارد عمل می گردد [۶]. این روش معمولاً بر اساس تاریخ خرابی (شکست) و یا شرایط (وضعیت) تجهیزات عمل می کند. در صورت وجود سوابق اقدامات نگهداری و تعمیرات در فواصل دوره ای و منظم بر اساس توزیع نرخ خرابی تجهیزات برآورد می گردد به این دلیل به عنوان TBM شناخته می شود در مورد بعدی وضعیت تجهیزات تحت نظارت قرار می گیرد و اقدامات نگهداری و تعمیرات بر مبنای آن آغاز می گردد به همین دلیل این نت به عنوان CBM شناخته می شود. در بسیاری از موارد میزان خرابی علاوه بر مدت زمان سپری شده به عوامل مختلف مانند شرایط عملیاتی و محیط بستگی دارد. با توجه به اینکه رویکرد TBM مستقل از شرایط موجود عمل می کند بنابراین TBM گاهی اوقات سبب بازدیدهای غیر ضروری شده و منجر به اختلال در عملیات کاری می شود. CBM یا نت مبتنی بر موقعیت فلسفه یا رویکردی است که از شرایط عملکرد واقعی سیستم ها و تجهیزات کارخانه برای بهینه سازی عملکرد کلی کارخانه استفاده می کند. CBM بر اساس توسعه روش های تشخیص ماشین آلات ارائه شده است که در این روش زمانی که علائم شکست از طریق نظارت و یا تشخیص شناسایی می گردد اقدامات پیشگیرانه صورت می گیرد بنابراین CBM سیستم را قادر می سازد تا اقدامات مناسب در زمان مناسب برای جلوگیری از شکست به کار گرفته شود. باین حال CBM همیشه بهترین روش نگهداری و تعمیرات نیست مخصوصاً از منظر اثربخشی هزینه، به عنوان مثال هنگامی که شکست ماشین آلات یا قطعات بحرانی نباشد می توان از نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM) استفاده کرد که در آن اقدامات پس از شکست انجام گیرد. زمانی که می توان عمر ماشین آلات و قطعات را دقیقاً برآورد کرد، TBM مؤثرترین سیاست نگهداری و تعمیرات است. همین امر باعث شد که از نیمه دوم سال ۱۹۸۰ اهمیت انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات مطرح شود [۷-۹]. نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)^۷، بازرسی بر مبنای ریسک ((RBI)^۸ و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک (RBM)^۹

¹ Corrective Maintenance

² Preventive Maintenance

³ Shut Down Periodic Maintenance

⁴ Opportunistic Maintenance

⁵ Time Based Maintenance

⁶ Condition Based Maintenance

⁷ Reliability centered maintenance (RCM)

⁸ risk-based inspection (RBI)

⁹ risk-based maintenance (RBM)

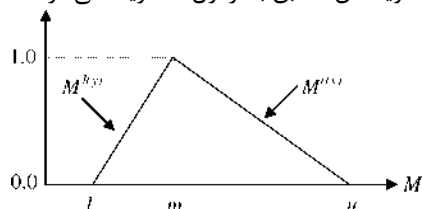
شناخته شده ترین روش ها برای این هدف هستند. نمایشان این روش ها RCM برای به حداقل رساندن هزینه های نت توسط متعادل نمودن هزینه بالای نگهداری و تعمیرات اصلاحی در مقابل هزینه های دیگر استراتژی های نت طراحی شده است. موبرای^۱ (۱۹۹۱) RCM رابه عنوان کارهایی جهت حصول اطمینان از صحت عملکرد دارایی یا تجهیز معرفی کرد [۱۰]. RBM متدی برای تشخیص ارجحیت نگهداری و تعمیرات است که با گنجاندن ریسک در خود مورد استفاده قرار می گیرد این روش هم ایمنی و هم شکست را یکپارچه می نماید. هدف اصلی این روش کاهش ریسک کلی است که ممکن است نتیجه آن شکست غیرمنتظره تأسیسات عملیاتی باشد. اجزا سیستم با ریسک بالا به جای اجزایی با ریسک پایین معمولاً باید با دوره تناوب بالا و به طور کامل بازرسی و نگهداری شوند. چارچوب RBM در دو بخش ارائه می گردد بخش اول شامل ارزیابی ریسک از یک واحد صنعتی است و پس از آن با توجه به میزان ریسک برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات انجام می گردد فرایند ارزیابی ریسک شامل ۱- شناسایی ریسک، ۲- برآورد ریسک به وسیله حاصل ضرب احتمال وقوع و یا پیامدهای آن، ۳- ارزشیابی ریسک است که در این مرحله ریسک محاسبه شده با یک مقدار استاندارد مورد مقایسه قرار می گیرد اگر ریسک محاسبه شده بیشتر از معیار پذیرش شود به منظور کاهش ریسک از روش های مناسب استفاده می شود. از آنجا که با نگهداری و تعمیرات، ریسک خرابی می تواند تا حد قابل قبولی کاهش یابد لذا ریسک می تواند یک معیار مهم برای برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات در RBM باشد [۶-۷]. هدف مطالعه ارائه الگوی برای انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای فازی^۲ (با در نظر گرفتن معیارهای هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی به منظور بهبود شاخص های ایمنی و نگهداری و تعمیرات به صورت هم زمان در یک شرکت ماشین ساز است.

مواد و روش ها:

پژوهش حاضر یک مطالعه مقطعی، توصیفی و گذشته نگر است که در محدوده سال های ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۳ در یک شرکت ماشین ساز انجام شده است.

به منظور بهبود شاخص های ایمنی و نگهداری و تعمیرات به صورت هم زمان از فرآیند تحلیل شبکه ای استفاده شد تا به کمک این ابزار بتوان بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات از بین سیاست های CM، TBM، CBM و SM را گزینش نمود. این سیاست ها بر اساس ریسک، هزینه و قابلیت دسترسی مورد ارزشیابی قرار گرفتند. مدل مذکور شبیه به مدل AHP^۳ است با این تفاوت که یک رابطه دوطرفه بین معیارها و گزینه ها و ارتباط داخلی بین معیارها وجود دارد که در مدل AHP وجود ندارد. در این مطالعه از فرایند تحلیل شبکه ای فازی (FANP) استفاده شد، این به تصمیم گیرندگان کمک کرد که عمل قضاوت را به صورت فواصل بیان کنند تا قضاوت راحت تر و دقیق تر گردد، برای این منظور از روش تجزیه و تحلیل چانگ استفاده گردید. روش های مختلفی برای FANP پیشنهاد شده است. این روش ها دارای رویکرد سیستماتیکی هستند که در مسائل فازی و ساختار تحلیل شبکه ای برای انتخاب آلترناتیو ها بکار گرفته می شود. با توجه به لزوم استفاده از مقایسات زوجی در فرایند تحلیل شبکه ای و هدف اصلی مسئله که به کارگیری تئوری فازی به منظور رفع نقص در استفاده از نظرات غیردقیق تصمیم گیرندگان در تعیین اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها می باشد، در این مطالعه از میان روش های موجود از روش چانگ استفاده گردید [۱۱ و ۱۲].

در روش چانگ بیانگر اعداد فازی مثلثی هستند. هر عدد فازی مثلثی یک نمایش خطی در چپ و راست خود دارد که تابع عضویت آن مطابق با فرمول ۱ تعریف می شود. شکل ۱ نمایش یک عدد فازی مثلثی است.



¹ Moubray

² Fuzzy. Analytical Network Process (FANP)

³ Analytic Hierarchy Process (AHP)

شکل ۱ نمایش یک عدد فازی مثلثی
 (۱)

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u. \end{cases}$$

مراحل به دست آوردن اهمیت نسبی معیارها و زیر معیارها در روش چانگ به صورت زیر است:
 ۱: ترکیب فازی \tilde{A} امین فاکتور به صورت ذیل (رابطه ۲) تعریف می شود:

$$s_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad (۲)$$

محاسبات $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$, $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$ مطابق رابطه های ۳، ۴ و ۵ تعریف می گردد.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (۴)$$

(۵)

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = (\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}).$$

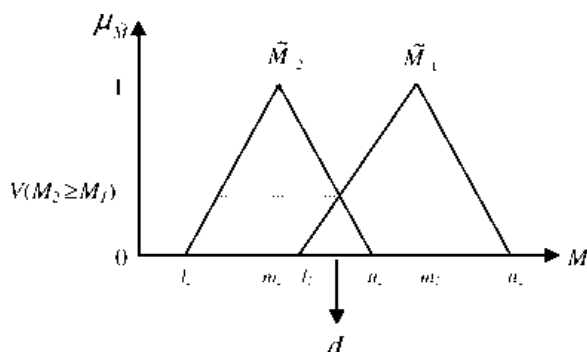
۲: محاسبه درجه امکان پذیری $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ مطابق رابطه ۶ تعریف می گردد.

$$V(M_2 \geq M_1) = SUP[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (۶)$$

و معادله آن به صورت زیر (رابطه ۷) تعریف می گردد:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (۷)$$

که در آن d عرض بلندترین نقطه تقاطع D بین μ_{M_1} و μ_{M_2} مطابق شکل ۲ است.



شکل ۲ تقاطع بین M1, M2

برای مقایسه M_1, M_2 ، نیاز به هر دو مقدار $V(M_2 \geq M_1)$ and $V(M_1 \geq M_2)$ است.

۳: درجه امکان پذیری برای یک عدد فازی محدب که بزرگتر از K عدد فازی محدب دیگر باشد مطابق با رابطه ۸ تعریف می گردد:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)]$$

$$= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

حال فرض کنیم:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_K), \quad \text{FOR } K = 1, 2, \dots, n; \quad k \neq i \quad (9)$$

بنابراین وزن بردارها از رابطه ۱۰ محاسبه می گردد.

$$W' = \min(d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad (10)$$

که در آن $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ همان N فاکتور هستند.

۴: نرمال کردن: وزن فاکتورهای نرمالیزه شده از رابطه ۱۱ محاسبه می گردد:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T, \quad (11)$$

که در آن W عدد فازی نرماله شده است [۱۲-۱۴].

الگوی انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به منظور بهبود همزمان شاخص های ایمنی و نگهداری و تعمیرات مطابق پنج گام زیر انجام شد.

گام اول: شناسایی دقیق سیستم و عناصر آن

در این گام شاخص های ایمنی و نگهداری و تعمیرات مناسب برای ارزیابی سطح اثربخشی سیستم مدیریت نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک در قبل و بعد از مداخله شناسایی شد. برای این امر از نتایج مطالعات مشابه و با در نظر داشتن شاخص های مورد استفاده در سطح کشور استفاده شد [۴].

گام دوم: ساخت مدل سلسله مراتبی ANP

در این تحقیق مدل ANP شامل سه سطح است. سطح اول الگوی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به منظور بهبود همزمان شاخص های ایمنی و نگهداری و تعمیرات است. سطح دو شامل معیارهای هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی و سطح سوم شامل گزینه های CM، TBM، CBM و SM است.

گام سوم: اهمیت نسبی فاکتورها و زیرفاکتورها با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی

مقیاس های فازی برای تعیین اهمیت نسبی وزن ها در جدول ۱ داده شده است. این مقیاس توسط Kahraman و همکاران در سال ۲۰۰۶ پیشنهاد گردید که به طور گسترده برای حل تصمیم گیری فازی استفاده می شود [۱۵].

جدول ۱: مقیاس زبانی برای بیان درجه اهمیت

برای پرسش ۳		برای پرسش های ۱ و ۲	
معکوس اعداد فازی مثلثی	مقیاس های زبانی برای رضایت	اعداد فازی مثلثی	مقیاس های زبانی برای درجه اهمیت
(۲/۷،۱/۳،۲/۵)	کاملاً ناراضی	(۱،۱،۱)	عیناً یکسان Just equal
(۲/۵،۱/۲،۲/۳)	بسیار جزئی راضی	(۱/۲،۱،۳/۲)	بسیار جزئی مهم تر Equally important (EI)
(۱/۲،۲/۳،۱)	نسبتاً راضی	(۱،۳/۲،۲)	نسبتاً مهم تر Weakly more important (WMI)
(۱/۲،۱،۳/۲)	راضی	(۳/۲،۲،۵/۲)	مهم تر Strongly more important (SMI)
(۱،۳/۲،۲)	بیشتر راضی	(۲،۵/۲،۳)	خیلی مهم تر Very strongly more important (VSMI)
(۳/۲،۲،۵/۲)	خیلی راضی	(۵/۲،۳،۷/۲)	کاملاً (بی نهایت) مهم تر Absolutely more important (AMI)
(۵/۲،۳،۷/۲)	کاملاً راضی		Absolutely satisfied

نحوه سؤال کردن ضریب اهمیت، جهت مقایسه دودویی وابستگی درونی معیاری اصلی و زیر معیارها به شرح ذیل است. پرسش ۱، کدام یک از سه معیار برای شما از اهمیت بیشتری برای انتخاب استراتژی نت برخوردار هستند و مقدار آن چقدر است؟ پرسش ۲- ۱، با توجه به ریسک، کدام یک از چهار سیاست نگهداری و تعمیرات کاهش ریسک آن بهتر است و تا چه مقدار ریسک را کاهش می دهند؟ پرسش ۲- ۲، با توجه به هزینه، کدام یک از چهار سیاست نگهداری و تعمیرات هزینه کمتر دارد و آن را بر اساس مقدار بیان کنید؟ پرسش ۲- ۳، با توجه به قابلیت دسترسی، کدام یک از چهار سیاست نگهداری و تعمیرات قابلیت دسترسی آن بیشتر بوده و آن را بر اساس مقدار بیان کنید؟ پرسش ۳- ۱، نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM) را در نظر بگیرید، با توجه به هزینه و ریسک این سیاست چقدر شما از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟ یا به عبارت دیگر آیا دسترسی پذیری ارزش ریسک و هزینه متحمل شده برای اجرای آن را دارد؟ پرسش ۳- ۲، نگهداری و تعمیرات بر اساس زمان (TBM) را در نظر بگیرید با توجه به هزینه و ریسک این سیاست چقدر شما از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟ یا به عبارت دیگر آیا دسترسی پذیری ارزش ریسک و هزینه متحمل شده برای اجرای آن را دارد؟ پرسش ۳- ۳، نگهداری و تعمیرات بر مبنای شرایط (CBM) را در نظر بگیرید با توجه به هزینه و ریسک این سیاست چقدر شما از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟ یا به عبارت دیگر آیا دسترسی پذیری ارزش ریسک و هزینه متحمل شده برای اجرای آن را دارد؟ پرسش ۳- ۴، نگهداری و تعمیرات دوره ای (SM) را در نظر بگیرید با توجه به هزینه و ریسک این سیاست چقدر شما از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟ یا به عبارت دیگر آیا دسترسی پذیری ارزش ریسک و هزینه متحمل شده برای اجرای آن را دارد؟ به منظور ارائه پاسخ خبرگان یک مقیاس مقایسه ای در اختیار آن ها قرار داده شد. برای مجموعه سؤالات ۱ و ۲ مقیاس پاسخ در ستون اول و برای مجموعه سؤالات ۳ مقیاس پاسخ در ستون دوم در جدول یک ارائه شده است.

گام چهارم: تشکیل سوپر ماتریس ناموزون، موزون و سوپر ماتریس حد

برای دستیابی به اولویت های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی در ستون های مناسب یک ماتریس وارد می شوند. در نتیجه، یک سوپر ماتریس (یک ماتریس تقسیم بندی شده) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک

سیستم را نشان می‌دهد، به دست می‌آید. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس، سوپر ماتریس از حالت ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود. در نهایت سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس تا زمانی که همگرایی (از طریق تکرار) حاصل شود، یا به عبارتی دیگر تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند که بر طبق (معادله ۱۲) محاسبه می‌شود [۱۶].

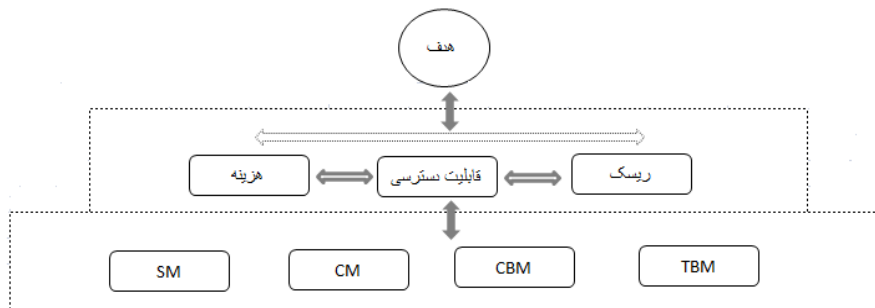
$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (12)$$

گام پنجم: ارزیابی مجدد شاخص‌ها

پس از گذشت ۶ ماه از پیاده‌سازی سیستم یادشده شاخص‌های منتخب مجدداً ارزیابی شد. لازم به ذکر است که ارزیابی شاخص‌ها بر روی ۹ مورد از بحرانی‌ترین دستگاه‌های شرکت انجام شد ملاک انتخاب دستگاه‌ها ارزش ریالی آن‌ها، اهمیت و جایگاه دستگاه در تداوم تولید و امکان جایگزینی دستگاه در صورت آسیب و روش انتخاب آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسان شرکت و بررسی اسناد مربوطه است.

یافته‌ها:

یافته‌های حاصل از اجرای مطالعه بر اساس گام‌های اجرای آن در بخش زیر ارائه می‌شود:
این مطالعه بر روی دستگاه‌های مذکور توسط ۹ نفر خبره در یک شرکت ماشین ساز انجام شد. مدل ANP در این تحقیق شامل سه سطح است سطح اول هدف است که انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات با رویکرد ایمنی است. سطح دوم شامل معیارها: هزینه، قابلیت کاهش ریسک (ایمنی) و قابلیت دسترسی است. سطح سوم شامل گزینه‌های CM, TBM, CBM, SM است که در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود یک رابطه دوطرفه بین معیارها و گزینه‌ها و همچنین ارتباط داخلی میان معیارها باهم و گزینه با یکدیگر در این مدل وجود دارد.



شکل ۳ - مدل ANP جهت انتخاب الگوی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک
در این مرحله وزن فاکتورها و زیر فاکتورها مورد محاسبه قرار گرفت. این کار از طریق ماتریس مقایسات زوجی به وسیله کمیته تصمیم‌گیری با استفاده از مقیاس‌های فازی داده شده در جدول ۱ انجام شد. ماتریس مقایسات زوجی در جداول ۲ الی ۴-۴ همراه با وزن اهمیت نسبی نشان داده شده است. ماتریس مقایسات زوجی برای هر سه معیار ریسک و هزینه و قابلیت اطمینان در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: ماتریس مقایسات زوجی معیارها و اهمیت نسبی هر عامل

معیارها	ریسک	هزینه	قابلیت دسترسی	اهمیت نسبی
ریسک	(۱،۱،۱)	(۲،۲،۵،۳)	(۰،۴،۰،۵،۰،۶۷)	۰،۳۵
هزینه	(۰،۳۳،۰،۴،۰،۵)	(۱،۱،۱)	(۰،۳۳،۰،۴،۰،۵)	۰
قابلیت دسترسی	(۱،۵،۲،۲،۵)	(۲،۲،۵،۳)	(۱،۱،۱)	۰،۶۵

در مرحله بعد با استفاده از روش تجزیه و تحلیل چانگ بردار اولویت وزنی از سه معیار تخمین زده شد. مشابه با جدول ۲، فواصل فازی و اولویت اوزان چانگ برای سیاست های نت با توجه به معیار ریسک و هزینه و قابلیت دسترسی به دست آمد. این کار برای تمامی ۹ تجهیز انجام شد به عنوان مثال جداول ۱-۳ الی ۳-۳ فواصل فازی و اولویت اوزان چانگ را برای دستگاه پانچ CNC نشان می دهد.

جدول ۱-۳: ماتریس مقایسات زوجی سیاست نگهداری و تعمیرات برم بنای سهم ریسک برای دستگاه پانچ CNC

اهمیت نسبی	SM	CBM	TBM	CM	سیاست نگهداری و تعمیرات
۰	(۰,۵,۱,۱,۵)	(۰,۳۳,۰,۴,۰,۵)	(۰,۴,۰,۵,۰,۶۷)	(۱,۱,۱)	CM
۰,۱۹	(۶۷,۰,۴,۰,۵,۰)	(۰,۵,۰,۶۷,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۵,۲,۲,۵)	TBM
۰,۵۵	(۲,۲,۵,۳)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۵,۲)	(۲,۲,۵,۳)	CBM
۰,۲۶	(۱,۱,۱)	(۰,۳۳,۰,۴,۰,۵)	(۱,۵,۲,۲,۵)	(۰,۶۷,۱,۲)	SM

جدول ۲-۳: ماتریس مقایسات زوجی سیاست نگهداری و تعمیرات بر مبنای سهم هزینه برای دستگاه پانچ CNC

اهمیت نسبی	SM	CBM	TBM	CM	سیاست نگهداری و تعمیرات
۰,۴۷	(۱,۵,۲,۲,۵)	(۱,۵,۲,۲,۵)	(۱,۱,۵,۲)	(۱,۱,۱)	CM
۰,۲۳	(۱,۱,۵,۲)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۰,۵,۰,۶۷,۱)	TBM
۰,۱۳	(۰,۵,۱,۱,۵)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۰,۴,۰,۵,۰,۶۷)	CBM
۰,۱۷	(۱,۱,۱)	(۰,۶۷,۱,۲)	(۰,۵,۰,۶۷,۱)	(۰,۴,۰,۵,۰,۶۷)	SM

جدول ۳-۳: ماتریس مقایسات زوجی سیاست نگهداری و تعمیرات بر مبنای سهم قابلیت دسترسی برای دستگاه پانچ CNC

اهمیت نسبی	SM	CBM	TBM	CM	سیاست نگهداری و تعمیرات
۰	(۱,۱,۵,۲)	(۰,۲۹,۰,۳۳,۰,۴)	(۰,۲۹,۰,۳۳,۰,۴)	(۱,۱,۱)	CM
۰,۲۹	(۰,۴,۰,۵,۰,۶۷)	(۰,۵,۰,۶۷,۱)	(۱,۱,۱)	(۲,۵,۳,۳,۵)	TBM
۰,۵۵	(۱,۵,۲,۲,۵)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۵,۲)	(۲,۵,۳,۳,۵)	CBM
۰,۱۶	(۱,۱,۱)	(۰,۴,۰,۵,۰,۶۷)	(۱,۵,۲,۲,۵)	(۰,۵,۰,۶۷,۱)	SM

در ادامه ماتریس مقایسات زوجی اثربخشی سطح دسترس پذیری هر چهار سیاست نت با توجه به کاهش ریسک و هزینه برای ۹ تجهیز مورد بررسی قرار گرفت. جداول ۱-۴ الی ۴-۴ این محاسبات را برای دستگاه پانچ CNC ارائه می دهد.

جدول ۴-۱: ماتریس مقایسات زوجی معیارهای نگهداری و تعمیرات بر مبنای CM

معیارها	ریسک	هزینه	قابلیت دسترسی	اهمیت نسبی
ریسک	(۱،۱،۱)	(۰،۵۰،۶۷،۱)	(۰،۴۰،۵۰،۶۷)	۰،۱۵
هزینه	(۱،۱،۵،۲)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۵،۲)	۰،۴۵
قابلیت دسترسی	(۱،۵،۲،۲،۵)	(۰،۶۷،۱،۰،۵)	(۱،۱،۱)	۰،۴۰

جدول ۴-۲: ماتریس مقایسات زوجی معیارهای نگهداری و تعمیرات بر مبنای TBM

معیارها	ریسک	هزینه	قابلیت دسترسی	اهمیت نسبی
ریسک	(۱،۱،۱)	(۰،۵،۱،۱،۵)	(۰،۵،۱،۱،۵)	۰،۳۳
هزینه	(۰،۶۷،۱،۲)	(۱،۱،۱)	(۰،۵،۱،۱،۵)	۰،۳۳
قابلیت دسترسی	(۰،۶۷،۱،۲)	(۱،۲،۰،۶۷)	(۱،۱،۱)	۰،۳۳

جدول ۴-۳: ماتریس مقایسات زوجی معیارهای نگهداری و تعمیرات بر مبنای CBM

معیارها	ریسک	هزینه	قابلیت اطمینان	اهمیت نسبی
ریسک	(۱،۱،۱)	(۲،۵،۳،۳،۵)	(۱،۱،۵،۲)	۰،۶۸
هزینه	(۰،۲۹،۰،۳۳،۰،۴)	(۱،۱،۱)	(۰،۴۰،۵۰،۶۷)	۰
قابلیت دسترسی	(۰،۵۰،۶۷،۱)	(۲،۲،۵،۱،۵)	(۱،۱،۱)	۰،۳۲

جدول ۴-۴: ماتریس مقایسات زوجی معیارهای نگهداری و تعمیرات بر مبنای SM

معیارها	ریسک	هزینه	قابلیت اطمینان	اهمیت نسبی
ریسک	(۱،۱،۱)	(۰،۵،۱،۱،۵)	(۰،۵،۱،۱،۵)	۰،۳۳
هزینه	(۰،۶۷،۱،۲)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۵،۲)	۰،۳۷
قابلیت دسترسی	(۰،۶۷،۱،۲)	(۱،۰،۵۰،۶۷)	(۱،۱،۱)	۰،۳۰

بردار اولویت به دست آمده توسط مراحل فوق در ستون های مناسب جهت تشکیل سوپر ماتریس قرار داده شده اند از آنجاکه ماتریس مقایسات ماهیت آن فازی است لذا مقادیر قطعی^۱ به دست آمده توسط روش چانگ در فرمی از بردار اولویت وزنی برای تشکیل سوپر ماتریس مورد استفاده قرار گرفتند. سوپر ماتریس ناموزون در جدول ۵ نشان داده شده است. سپس سوپر ماتریس نرمالیزه شد (جدول ۶) و در نهایت توسط نرم افزار متلب ((R 2012 a (7.14 0.739)) تا رسیدن به همگرایی به توان رسانیده شد تا سوپر

¹ crisp

ماتریس حد (جدول ۷) حاصل شود. این ماتریس، اولویت های تمام عناصر در خوشه را ارائه می دهد. اولویت نهایی برای معیارها و گزینه ها برای دستگاه پانچ CNC در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۵: سوپر ماتریس ناموزون

هدف	معیارها			گزینه ها				سطوح خوشه ها	
	قابلیت اطمینان	هزینه	ریسک	SM	CBM	TBM	CM		
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۴۶۹۷۶	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	CM	گزینه ها
۰,۰۰۰۰۰	۰,۲۸۹۷۰	۰,۲۲۹۸۷	۰,۱۸۷۹۶	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	TBM	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۵۵۱۶۴	۰,۱۳۴۳۴	۰,۵۵۱۹۳	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	CBM	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۱۵۸۶۶	۰,۱۶۶۰۳	۰,۲۶۰۱۱	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	SM	
۰,۳۴۷۵۰	۱,۰۰۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۲۶۱۳	۰,۶۸۲۰۸	۰,۳۳۳۳۳	۰,۱۴۶۸۶	ریسک	معیارها
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۷۲۹۱	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۳۳۳۳	۰,۴۴۷۸۳	هزینه	
۰,۶۵۲۵۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۶۸۰۰۰	۱,۰۰۰۰۰	۰,۳۰۰۹۶	۰,۳۱۷۹۲	۰,۳۳۳۳۳	۰,۴۰۵۳۰	قابلیت اطمینان	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	هدف	هدف

جدول ۶: سوپر ماتریس موزون

هدف	معیارها			گزینه ها				سطوح خوشه ها	
	قابلیت اطمینان	هزینه	ریسک	SM	CBM	TBM	CM		
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۲۳۴۸۸۰۷	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	CM	گزینه ها
۰,۰۰۰۰۰	۰,۱۴۴۸۵۱۹	۰,۱۱۴۹۳۳	۰,۰۹۳۹۷۷۸	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	TBM	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۲۷۵۸۲۰۳	۰,۰۶۷۱۷۱۷	۰,۲۷۵۹۶۶۴	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	CBM	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۷۹۳۲۷۹	۰,۰۸۳۰۱۴۶	۰,۱۳۰۰۵۵۷	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	SM	
۰,۳۴۷۵۰	۰,۵۰۰۰۰	۰,۱۶۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۲۶۱۳	۰,۶۸۲۰۸	۰,۳۳۳۳۳	۰,۱۴۶۸۶	ریسک	معیارها
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۷۲۹۱	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۳۳۳۳	۰,۴۴۷۸۳	هزینه	
۰,۶۵۲۵۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۳۴۰۰۰	۰,۵۰۰۰۰	۰,۳۰۰۹۶	۰,۳۱۷۹۲	۰,۳۳۳۳۳	۰,۴۰۵۳۰	قابلیت اطمینان	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	هدف	هدف

جدول ۷: سوپر ماتریس حد

هدف	معیارها			گزینه ها				سطوح خوشه ها	
	قابلیت اطمینان	هزینه	ریسک	SM	CBM	TBM	CM		
۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	۰,۰۱۳۸۰	CM	گزینه ها
۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	۰,۰۷۸۵۰	TBM	
۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	۰,۱۷۱۹۰	CBM	
۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	۰,۰۶۹۵۰	SM	
۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	۰,۳۲۰۰۰	ریسک	معیارها
۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	۰,۰۵۸۵۰	هزینه	
۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	۰,۲۸۷۸۰	قابلیت اطمینان	
۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰۰	هدف	هدف

جدول ۸: اولویت نهایی برای معیارها و گزینه‌ها برای دستگاه پانچ CNC

سیاست نگهداری و تعمیرات	مقدار حدی	مقدار نرمالایز شده (اولویت بندی)
CM	۰,۱۳۸۰	۰,۰۴۱۳۵
TBM	۰,۰۷۸۵۰	۰,۲۳۵۲۴
CBM	۰,۱۷۱۹۰	۰,۵۱۵۱۳
SM	۰,۰۶۹۵۰	۰,۲۰۸۲۸

به‌طور مشابه اولویت نهایی آلترناتیو‌ها برای همه ۹ تجهیز به دست آمد به‌طوری‌که نتایج در جدول ۹ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده توسط FANP گزینه‌ها با بالاترین اولویت به‌عنوان سیاست نت با در نظر گرفتن کاهش ریسک و هزینه برای تجهیزات خاص انتخاب شدند. سیاست ترجیح داده شده برای تمامی ۹ تجهیز در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹: اولویت نهایی آلترناتیو‌ها برای کلیه تجهیزات

ردیف	نام تجهیز	CM	TBM	CBM	SM
۱	پانچ CNC	۰,۰۴	۰,۲۴	۰,۵۱	۰,۲۱
۲	فرز CNC (فایفر)	۰,۲۰	۰,۲۸	۰,۳۵	۰,۱۷
۳	فرز سنتز CNC	۰,۰۸	۰,۳۵	۰,۳۷	۰,۲۰
۴	ماشین سنگ شفت و گرد	۰,۵۱	۰,۱۷	۰,۲۶	۰,۰۶
۵	ماشین تراش و فرز یونیورسال	۰,۱۰	۰,۴۵	۰,۳۹	۰,۰۶
۶	پرس هیدرولیک	۰,۱۴	۰,۳۱	۰,۳۹	۰,۱۶
۷	گیوتین	۰,۲۵	۰,۲۹	۰,۳۱	۰,۱۵
۸	بریک	۰,۰۵	۰,۳۵	۰,۴۲	۰,۱۸
۹	کوئل بر	۰,۲۲	۰,۴۸	۰,۲۵	۰,۰۵

در این مرحله برای دستگاه‌های موردنظر سیاست مناسب اتخاذ گردید و بر مبنای آن برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات برای این شرکت صورت گرفت. در گام نهایی پس از گذشت ۶ ماه از سیاست نت انتخابی برای هر تجهیز یادشده، شاخص‌های منتخب (قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، تعداد نقص‌های خطرناک) مجدداً اندازه‌گیری شد و تغییرات آن‌ها در اثر مداخلات یادشده با استفاده از آزمون آماری ویلکاکسون ارزیابی شد.

که نتایج آن در جدول ۱۰ نشان داده شده است. تحلیل آماری انجام‌شده با استفاده از آزمون ویلکاکسون نشان داد که بهبود در شاخص‌های قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، میانگین زمان بین نقایص و تعداد نقص‌های خطرناک در قبل و بعد از مداخله معنی‌دار شده است ($p \leq 0.05$).

جدول ۱۰: میزان شاخص‌ها قبل (سال ۹۱) و بعد (سال ۹۳) از پیاده‌سازی سیستم

ردیف	نام تجهیز	قابلیت اطمینان		قابلیت دسترسی		تعداد نقص خطرناک		میانگین زمان بین نقایص	
		سال ۹۱	سال ۹۳	سال ۹۱	سال ۹۳	سال ۹۱	سال ۹۳	سال ۹۱	سال ۹۳
۱	پانچ CNC	۰,۸۹	۰,۹۱	۰,۹۸۸	۰,۹۹	۱	۰	۴۱۵	۶۲۲
۲	فرز CNC (فایفر)	۰,۹	۰,۹۲	۰,۹۹۶	۰,۹۹۸	۳	۱	۵۰۲	۵۸۲
۳	فرز سنتز CNC	۰,۹۲	۰,۹۳	۰,۹۹۲	۰,۹۹۵	۱	۰	۶۲۵	۸۱۲
۴	ماشین سنگ شفت	۰,۹۴	۰,۹۵	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۱	۱	۷۸۱	۹۴۵
۵	فرز یونیورسال	۰,۸۸	۰,۹۲	۰,۹۹	۰,۹۹۸	۲	۰	۴۰۴	۷۳۲
۶	پرس هیدرولیک	۰,۹۳	۰,۹۵	۰,۹۹۶	۰,۹۹۷	۲	۱	۷۰۳	۸۵۴
۷	گیوتین	۰,۸۷	۰,۹۴	۰,۹۹۴	۰,۹۹۶	۲	۰	۳۵۲	۶۵۴
۸	بریک	۰,۸۵	۰,۹۱	۰,۹۹۳	۰,۹۹۶	۳	۱	۳۰۲	۴۳۱
۹	کوئل بر	۰,۹۴	۰,۹۵	۰,۹۹۶	۰,۹۹۹	۳	۲	۸۰۳	۸۹۷

بحث و نتیجه گیری

همان گونه که در جدول ۱۰ مشاهده شد شاخص های مشترک ایمنی و نگهداری و تعمیرات (شاخص های قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، میانگین زمان بین نقایص و تعداد نقص های خطرناک) نیز پس از استقرار سیستم نسبت به قبل از آن به طور چشمگیری بهبود یافته است. تحلیل آماری انجام شده با استفاده از آزمون ویلکاکسون نشان داد که بهبود در این شاخص ها در قبل و بعد از مداخله معنی دار شده است ($p \leq 0.05$). یکی از دلایل اصلی این امر انتخاب استراتژی مناسب برای هر تجهیز با توجه به معیارهای ریسک، قابلیت دسترسی و هزینه برای هر دستگاه بود. از آنجاکه قابلیت دسترسی مبنای کاملی برای تصمیم گیری های دقیق ارائه نمی دهد به همین دلیل جهت انتخاب بهترین سیاست برای هر تجهیز معیار ریسک نیز در محاسبات گنجانده شد این کار منجر به بهبود در شاخص های ایمنی ونت گردید. در تصمیم سازی ها معیار ریسک اثرات ناشی از اتخاذ کردن تصمیم را در یک موضوع بررسی می کند و قابلیت دسترسی یک نوع پیش بینی نسبت به آینده ارائه می دهد؛ بنابراین استفاده ترکیبی از این دو ابزار مدیریتی در فرایند تصمیم گیری در این مقاله اثرات ناشی از پیش بینی غلط از عملکرد آینده را لحاظ نمود و منجر به انتخاب بهترین سیاست شد. در میان این استراتژی ها همان طور که در جدول ۹ نشان داده شد، نت مبتنی بر شرایط (CBM) نسبت به دیگر استراتژی ها در بسیاری از موارد کارا است؛ اما در عین حال مشاهده می شود که TBM در برخی از مواقع بهترین انتخاب است. TBM زمانی به عنوان گزینه ارجح برای تجهیزات انتخاب شده است که در آن به هر دو معیار ریسک و هزینه وزن های برابر داده شود. CBM زمانی ترجیح داده می شود که ریسک یک تجهیز خیلی بالا باشد در حالی که CM زمانی ترجیح داده می شود که ریسک پایین و توجه اصلی به هزینه باشد. بردار وزنی هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی به دست آمده برای گزینه ها به وسیله ماتریس مقایسات زوجی و روش چانگ این واقعیت فوق را نشان می دهد. یافته های مطالعات حاضر توسط پژوهش های متعدد دیگر تأیید می شود برای مثال در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۴ صورت گرفت تأثیر مثبت پیاده سازی سیستم های یکپارچه ایمنی ونت در بهبود هم زمان شاخص های دو حوزه یاد شده تأیید می گردد [۴]. همچنین ماچی و همکاران نشان دادند که اجرای سیستم مدیریت نگهداری و تعمیرات می تواند به ارتقاء شاخص های ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم منتهی گردد [۱۷]. علاوه بر این مارتول و همکاران رابطه مستقیم بین بهبود شاخص های ایمنی و نت را نشان دادند [۱۸]. اجرای چنین مدلی به دلیل توجه به هزینه و ایمنی، نگهداشت صنعتی را حتی در شرایط تحریم میسر می سازد و با ارائه طریق، بخشی از مشکلات در دوره اقتصاد مقاومتی را برطرف می کند

منابع و مراجع

- [1] Mohammadfam i, Shafikhani AA, Sultanian A, Mohammadfam F. Design and Establishment of an Integrated Safety and Preventive Maintenance System for Improving Safety Indexes. Iran Occupational Health Journal. [Research]. 2014;11(1):95-101.
- [2] Arunraj NS, Maiti J. Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming. Safety Science. 2010;48(2):238-47.
- [3] Hadidi LA, Khater MA. Loss prevention in turnaround maintenance projects by selecting contractors based on safety criteria using the analytic hierarchy process (AHP). Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015;34(0):115-26.
- [4] Shafkhani A, Soltanian A. Evaluation of implementation an Integrated Safety and Preventive Maintenance System for Improving of Safety Indexes. Iranian Journal of Health, Safety and Environment. 2014;1(2):74-82
- [5] Bevilacqua M, Braglia M. The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. Reliability Engineering & System Safety. 2000;70(1):71-83
- [6] Kumar G, Maiti J. Modeling risk based maintenance using fuzzy analytic network process. Expert Systems with Applications. 2012;39(11):9946-54.
- [7] Khan FI, Haddara MM. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2003;16(6):561-73.
- [8] Al-Najjar B, Alsyof I. Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. International journal of production economics. 2003;84(1):85-100.
- [9] Yang S. A condition-based failure-prediction and processing-scheme for preventive maintenance. Reliability, IEEE Transactions on. 2003;52(3):373-83.
- [10] Carretero J, Pérez JM, García-Carballeira F, Calderón A, Fernández J, García JD, et al. Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks. Reliability Engineering & System Safety. 2003;82(3):257-73.
- [11] Güngör Z, Delice EK, Kesen SE. New product design using FDMS and FANP under fuzzy environment. Applied Soft Computing. 2011;11(4):3347-56.
- [12] Dargi A, Anjomshoae A, Galankashi MR, Memari A, Tap MBM. Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach. Procedia Computer Science. 2014;31(0):691-700.
- [13] Shafiee M. A fuzzy analytic network process model to mitigate the risks associated with offshore wind farms. Expert Systems with Applications. 2014(0).
- [14] Chang D-Y. Extent analysis and synthetic decision. Optimization techniques and applications. 1992;1(1):352.
- [15] Kahraman C, Ertay T, Büyüközkan G. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. European Journal of Operational Research. 2006;171(2):390-411.
- [16] Zebardast, Esfandiar. Application of analytic network process (ANP) in Urban and Regional Planning. Art-Architecture publication. 2011;2(41):79-90.

- [17] Macchi M, Garetti M, Centrone D, Fumagalli L, Pavirani GP. Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 2012;104:71-83.
- [18] Martorell S, Sanchez A, Munoz A, Pitarch J, Serradell V, Roldan J. The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on NPP performance and safety. *Reliability Engineering & System Safety*. 1999;65(2):85-94.