



## Selection of Optimum Maintenance Policy Using the Fuzzy AHP Model

Seyed Abbas Safavi<sup>\*1</sup>, Omid Motamedi<sup>2</sup>, Javad Gholami<sup>3</sup>, Mohamad Esmail Golrokhi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.sc in Industrial engineering, Industrial and systems engineering department, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> PHD Candidate in Industrial and systems engineering, Industrial and systems engineering department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<sup>3</sup> PHD Candidate in energy conversion, mechanical engineering department, Iran University of Science & technology, Tehran, Iran.

<sup>4</sup> M.sc in Industrial engineering, Industrial and systems engineering department, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Received:2019/04/29 Accepted:2019/09/09

### Abstract:

By progress of technology and increment of investment in equipment, the importance and complexity of maintenance management has increased so that organizations tend to pay for the establishment of a comprehensive maintenance management system instead of paying for the costs of stopping and repairing the machine. Therefore, in this article, we will determine the optimal policy for establishment of maintenance management system. By identifying various types of accidental, corrective, adaptive and preventive maintenance and defining two scenarios of outsourcing and implementation by the organization. Review the strengths and weaknesses of each of them in 15 criteria have been developed. Then, by using a fuzzy logic, based on the results of the completed questionnaires and the application of the fuzzy AHP model, the simultaneous implementation of preventive, corrective and accidental maintenance systems by the personnel inside the organization has been identified as the optimal model.

**Keywords:** Maintenance, AHP, Fuzzy Logic.

---

\* Corresponding author mail: [Nasir.safavi@gmail.com](mailto:Nasir.safavi@gmail.com)

## انتخاب سیاست بهینه سیستم نگهداری تعمیرات با استفاده از مدل AHP فازی

سید عباس صفوی<sup>۱\*</sup>، امید معتمدی<sup>۲</sup>، جواد غلامی<sup>۲</sup>، محمد اسماعیل گلرخی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه صنایع، دانشگاه امام حسین(ع)، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری مهندسی صنایع و سیستم ها، گروه صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مهندسی تبدیل انرژی، گروه مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.  
<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه صنایع، دانشگاه امام حسین(ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸

### چکیده:

با پیشرفت تکنولوژی و افزایش سرمایه‌گذاری‌ها بر روی ماشین‌آلات، اهمیت و پیچیدگی مدیریت افزایش یافته است به گونه‌ای که سازمان‌ها تمایل به پرداخت هزینه در راستای استقرار نظام جامع نگهداری تعمیرات به جای پرداخت هزینه‌های ناشی از توقف و خرابی ماشین‌آلات را دارند لذا در این مقاله به بررسی و تعیین سیاست بهینه جهت استقرار نظام مدیریت نگهداری تعمیرات پرداخته شده است و با شناسایی انواع مدل‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی و تعریف دو سناریو برون‌سپاری و اجرا توسط سازمان مربوطه به بررسی نقاط قوت و ضعف هر یک از آن‌ها در ۱۵ معیار پرداخته شده است، سپس با به کارگیری منطق فازی پرسشنامه‌ای در این خصوص تدوین شده است که بر اساس نتایج حاصل پرسشنامه‌های تکمیل شده و به کارگیری مدل AHP فازی، پیاده‌سازی هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی به صورت برون‌سپاری به عنوان مدل بهینه شناسایی شده است.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، AHP، منطق فازی

\* نویسنده مسئول: Nasir.safavi@gmail.com





## ۱- مقدمه:

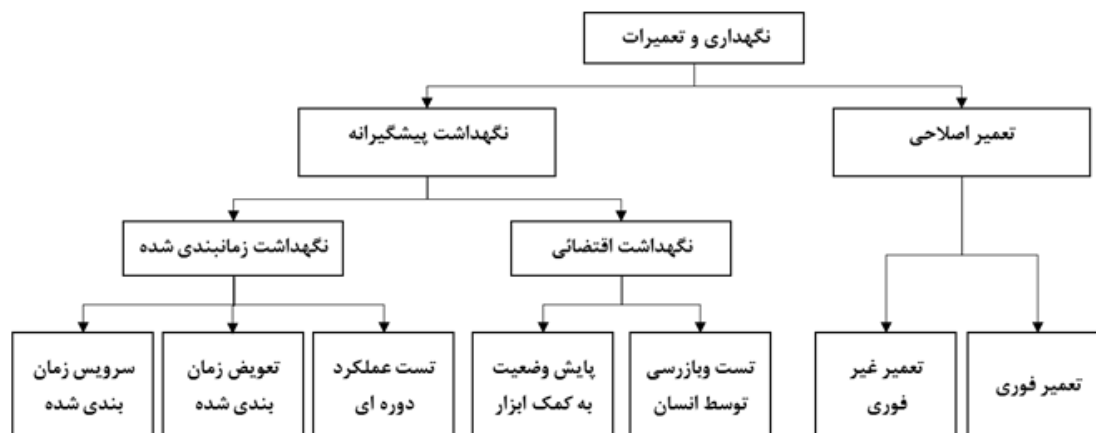
افزایش میزان سرمایه‌گذاری روی ماشین‌آلات و اتوماسیون صنعتی از یک سو و افزایش ارزش اقتصادی و مالی آن‌ها از سوی دیگر منجر به توجه بیشتر به راهکارهایی جهت افزایش طول عمر مفید تجهیزات تولیدی و طولانی کردن طول عمر اقتصادی آن‌ها شده است. از طرف دیگر رقابت شدید اقتصادی و فناوری پیچیده، اهمیت این موضوع را دوچندان نموده است، لذا داشتن سیستم یکپارچه جهت دستگاه‌ها امری ضروری می‌باشد. [۱]

به‌کارگیری سیستم خاص یک سازمان، می‌تواند نقش بسیار زیادی را در کاهش قیمت تمام شده محصول نهایی ایفا نماید، اما این تأثیرات تنها محدود به هزینه نبوده و در سرعت ارائه محصول در کل زنجیره تأمین، کیفیت محصول، قابلیت اطمینان، چابکی سازمان و عواملی از این دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت، لذا بخش جدایی ناپذیر تولید است که می‌تواند اولویت‌های رقابتی یک سازمان را تحت تأثیر قرار دهد و عدم برنامه‌ریزی دقیق آن باعث بروز مشکلاتی از جمله کاهش عمر مفید تجهیزات به علت عدم انجام تعمیرات به موقع، افزایش حجم خرابی‌ها در سطوح مختلف سازمان و ایجاد صف انتظار در مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی، کاهش قابلیت اطمینان تجهیزات و ضریب ایمنی آن‌ها، هدر رفتن منابع و از دست دادن فرصت‌ها و ... می‌شود. [۲]

به مجموعه برنامه‌ها و اقدامات به منظور نگهداشتن تجهیزات در سطح قابل قبول از نظر عملیاتی و یا بازگرداندن تجهیزات معیوب به چرخه استفاده و بهره‌برداری (نگهداری و تعمیرات)، اطلاق می‌شود و نتیجه مورد انتظار از این اقدامات ایجاد آمادگی، حفظ قابلیت عملیات، تداوم و استمرار عملیاتی و تجهیزات برای شرایط تعریف شده خواهد بود. [۳]

بر اساس استاندارد ۱۴۲۲۴ ویرایش ۱۶، نگهداری و تعمیرات به دو بخش نگهداشت پیشگیرانه<sup>۱</sup> و تعمیر اصلاحی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شود که تعمیر اصلاحی بر دو نوع تعمیر فوری و تعمیر غیر فوری می‌باشد که در آن تعمیر فوری شامل کلیه فعالیت‌های اضطراری جهت برطرف کردن عواملی که منجر به توقف تولید (بعد از خرابی) شده است می‌باشد در حالی که فعالیت‌های مربوط به تعمیر غیر فوری از ضرورت کمتری برخوردار هستند.

از طرف دیگر نگهداشت پیشگیرانه خود بر دو حالت نگهداشت زمان‌بندی شده<sup>۴</sup> و نگهداشت اقتضائی<sup>۵</sup> می‌باشد که هر دو قبل از وقوع خرابی انجام می‌شوند. (شکل ۱ بیانگر انواع مدل‌های نگهداری و تعمیرات می‌باشد)



شکل ۱: انواع سیستم‌های نگهداری و تعمیرات.

<sup>1</sup> ISO 14224:2016

<sup>2</sup> Preventive Maintenance

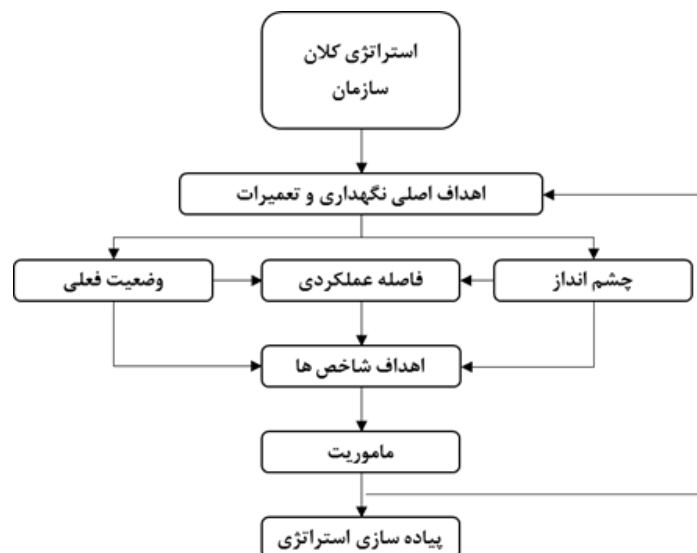
<sup>3</sup> Corrective Maintenance

<sup>4</sup> Periodic Maintenance

<sup>5</sup> Condition Based Maintenance



فرایند مدیریت نگهداری و تعمیرات را میتوان به دو بخش تعریف استراتژی و پیاده‌سازی استراتژی تقسیم کرد. قسمت اول یعنی تعریف استراتژی، به تعریف اهداف نگهداری و تعمیرات به عنوان ورودی نیاز دارد. این اهداف مستقیماً از برنامه و طرح کسب‌وکار استخراج می‌شوند. (شکل ۲ بیانگر مدل استراتژی است) [۵]



شکل ۲: مدل استراتژی نگهداری و تعمیرات.

موفقیت نگهداری و تعمیرات در سازمان در گرو اجرای درست همین بخش از فرایند مدیریت نگهداری و تعمیرات است. هم‌چنین این قسمت میزان اثربخشی پیاده‌سازی طرح‌های نگهداری و تعمیرات، جدول‌های زمان‌بندی، کنترل‌ها و پیشرفت‌ها را مشخص می‌کند. توانایی دستیابی به یک استراتژی مؤثر در نگهداری و تعمیرات، نشانگر قابلیت سازمان در پیش‌بینی نیازمندی‌های متناسب با الزامات تولید می‌باشد. این مسئله امکان کاهش هزینه‌های غیرمستقیم را فراهم می‌آورد. هزینه‌های غیرمستقیم، هزینه‌های مرتبط با ضایعات تولید و درنهایت هزینه‌های عدم رضایت مشتری می‌باشند. اثربخشی بر این موضوع تأکید دارد که یک دپارتمان با عملکرد مشخص تا چه حد توانسته اهداف از پیش تعیین شده را برآورد نماید. این مفهوم اغلب به کیفیت خدمات ارائه شده از دیدگاه مشتری اشاره دارد. در مورد نگهداری و تعمیرات، اثربخشی می‌تواند نشانگر رضایت کلی سازمان از ظرفیت و دارایی‌هایش، یا کاهش ایجاد شده در هزینه‌های کلی سازمان به دلیل در دسترس بودن ظرفیت در مواقع لزوم باشد؛ بنابراین مفهوم اثربخشی بر انجام درست فرایند و تأمین نتایج مورد انتظار تأکید دارد. [۶]

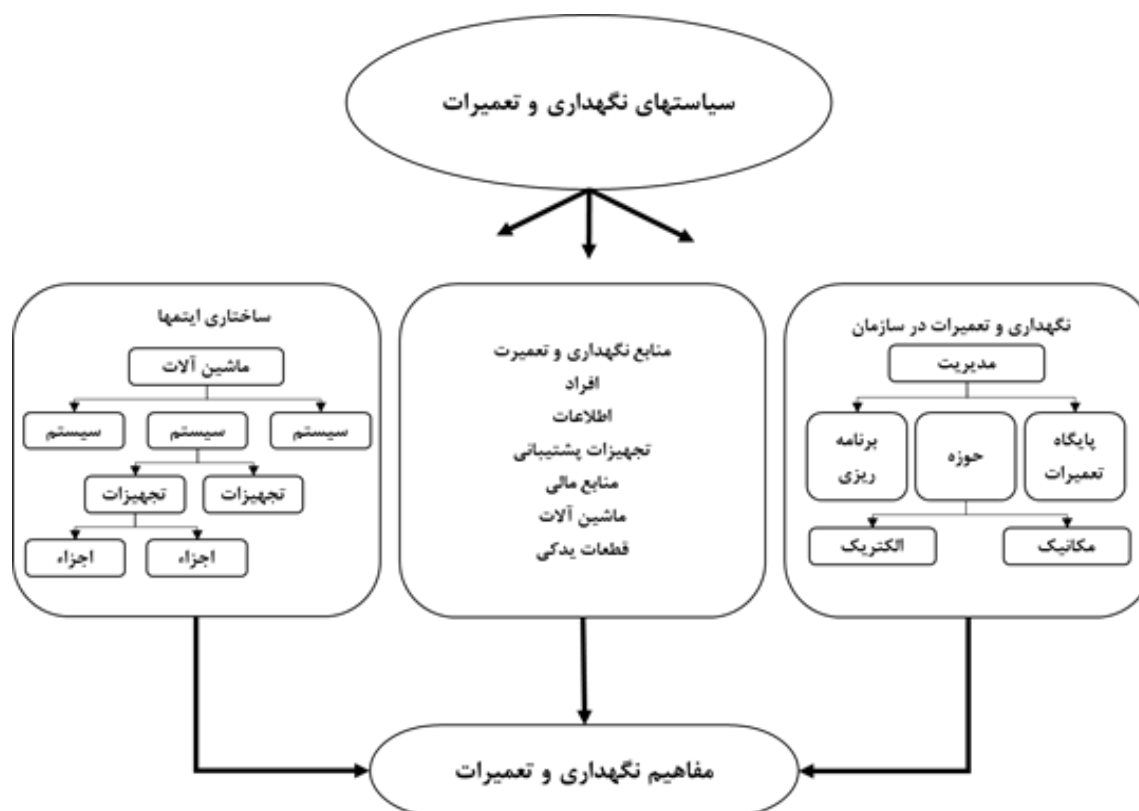
قسمت دوم فرایند مدیریت نگهداری و تعمیرات (پیاده‌سازی استراتژی انتخاب شده) از اهمیت بالایی برخوردار است. توانایی سازمان در پیاده‌سازی مدیریت نگهداری و تعمیرات (به عنوان مثال توانایی برای تضمین سطوح مهارت مناسب، تدارک صحیح کارها، ابزارهای مناسب و برآورد سازی جداول زمان‌بندی) امکان کاهش هزینه‌های مستقیم (نیروی انسانی و سایر منابع مورد نیاز نگهداری و تعمیرات) را فراهم می‌کند. در این قسمت از فرآیند ما با مفهوم کارایی یا کارآمدی مدیریت سر و کار داریم که می‌تواند از اهمیت کمتری برخوردار باشد. کارایی به مفهوم انجام عمل یا تولید با کمترین ضایعات، هزینه و تلاش بیهوده است. این مفهوم به مقایسه کمیت خدمات ارائه شده با منابع مصرف شده می‌پردازد؛ بنابراین کارایی را می‌توان به عنوان فراهم‌سازی نگهداری و تعمیرات مشابه یا بهتر در ازای هزینه یکسان در نظر گرفت. [۷]

در هر صورت جالب است که بیشتر تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدیریت نگهداری و تعمیرات به بهبود و اصلاح بخش پیاده‌سازی این فرایند (برنامه‌ریزی، زمان‌بندی، کنترل و اصلاح) پرداخته‌اند و تلاش کمتری برای مطالعه فرایند





دستیابی به یک استراتژی اثربخش در نگهداری و تعمیرات صورت گرفته است. به همین خاطر در سازمان‌های نگهداری و تعمیرات به صورت مکرر با "انجام درست یک کار اساساً نادرست" مواجه می‌شویم. در بخش‌های بعدی توجه خاصی به این مطلب صورت گرفته است. با پیروی از مدل عمومی مدیریت نگهداری و تعمیرات، شکل ۳ نحوه شکل‌گیری و مبنای فلسفه نگهداری و تعمیرات را در سازمان نشان می‌دهد. [۸]



شکل ۳: نحوه شکل‌گیری و مبنای فلسفه نگهداری و تعمیرات.

از این رو در این مطالعه با به کارگیری مدل AHP فازی اقدام به تعیین سیاست بهینه نگهداری تعمیرات شده است.

## ۲- بدنه اصلی

مدل پیشنهادی شامل مدل AHP به صورت فازی می‌باشد که در این بخش بعد از معرفی روش AHP و منطق فازی به توضیح مدل پرداخته شده است و در ادامه نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل ارائه شده است.

### ۱-۲ مدل AHP

تاکنون روش‌های متعددی در مدیریت برای تصمیم‌گیری چند معیاره طرح شده‌اند که هر یک از آن‌ها دارای معایبی از جهت زمان، هزینه و جمود فکری بوده‌اند که از این بین روش AHP بر پایه مفاهیم ریاضی و با قابلیت تلفیق معیارهای کمی و کیفی جهت مقایسه گزینه‌های متعدد به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری شناخته شده است. [۹] این روش در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس کار این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است به گونه‌ای که



تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم (شامل عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی) مقایسات زوجی میان تمامی گزینه‌ها به ازای هر معیار را انجام می‌دهد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌سازد و در نهایت منطق AHP به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید. [۱۰]

در این روش با در نظر گرفتن  $n$  گزینه و  $m$  معیار؛ ابتدا ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مختلف از معادلت مختلف مطابق با معادله ذیل ساخته می‌شود.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & & & p_{2m} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن همواره رابطه ذیل برقرار است.

$$P_{ik} = \frac{1}{P_{ki}} \quad \forall i, k = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۲}$$

سپس با نرمال سازی ماتریس  $P$ ، ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده حاصل می‌شود که درایه  $ki$  آن از روش ذیل محاسبه می‌شود.

$$P'_{ki} = \frac{P_{ki}}{\sum_{z=1}^m P_{zi}} \quad \text{رابطه ۳}$$

در نهایت وزن هر یک از معیارها از میانگین‌گیری اعداد مقابل ردیف آن معیار مطابق با معادله ذیل حاصل می‌شود.

$$W_i = \frac{\sum_{z=1}^m P'_{zi}}{m} \quad \text{رابطه ۴}$$

در ادامه به ازای هر معیار، یکبار ماتریس مقایسات زوجی جهت مقایسه گزینه‌های مختلف در آن معیار تشکیل داده می‌شود که برای  $i$  امین معیار به صورت ذیل می‌باشد.

$$a^i = \begin{bmatrix} a_{11}^i & a_{12}^i & \dots & a_{1n}^i \\ a_{21}^i & & & a_{2n}^i \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1}^i & a_{n2}^i & \dots & a_{nn}^i \end{bmatrix} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه ۵}$$





که در آن همواره رابطه ذیل برقرار است.

$$a_{jk}^i = \frac{1}{a_{kj}^i} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m, \forall j, k = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۶}$$

در این مرحله با نرمال سازی ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها در معیار  $i$  ام و نمایش آن به صورت  $a^i$ ، میزان برتری  $j$  امین گزینه در  $i$  امین معیار از معادله ذیل حاصل می‌شود. [۱۰]

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{kj}^i}{n} \quad \text{رابطه ۷}$$

و در نهایت میزان مطلوبیت  $j$  امین گزینه از معادله ذیل حاصل می‌شود و گزینه با بیشترین مطلوبیت به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود.

$$U_j = \sum_{i=1}^m W_i R_{ij} \quad \text{رابطه ۸}$$

در پیاده سازی الگوریتم AHP همواره سخت ترین قسمت، تعریف ماتریس مقایسات زوجی می‌باشد که در آن افراد خبره می‌بایست میزان اختلاف گزینه‌های مختلف را با اعداد ۱ تا ۹ اعلام نمایند که این امر منجر به خطا می‌شود، لذا در این مطالعه از واژگان کیفی جهت اعلام نظر افراد خبره استفاده شده است که با استفاده از منطق فازی این واژگان کیفی به اعداد فازی تبدیل شده است که در ادامه به توضیح آن پرداخته شده است.

## ۲-۲ منطق فازی

منطق فازی توسط پروفسور لطفی زاده، استاد ایرانی الاصل دانشگاه برکلی، در سال ۱۹۶۵ در مقاله ای به نام مجموعه‌های فازی معرفی گردید. در این مقاله مجموعه‌های فازی به عنوان حدود و مرزهای غیردقیق معرفی شده بود. در سال ۱۹۷۴ پروفسور لطفی زاده عبارت منطق فازی را معرفی کرد. منطق فازی یک تئوری چند ارزشی بود که در آن به جای عبارتهای آری، خیر یا درست، غلط که در مجموعه‌های معمولی به کار می‌رود، می‌توان از مقادیر بینابینی مانند کم، متوسط، زیاد و... استفاده کرد. ناتوانی روشهای تصمیمگیری معمولی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت، راه را برای استفاده از روشهای تصمیم گیری فازی باز میکند. [۱۱] یکی از نواقص روش AHP، ناتوانی آن در لحاظ کردن عدم قطعیت ارجحیت و قضاوتها در ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها می‌باشد. این نقص روش AHP با استفاده از منطق فازی در روش AHP فازی برطرف شده است و به جای در نظر گرفتن یک عدد صریح در مقایسه‌ی زوجی، محدوده‌ای از مقادیر برای لحاظ کردن عدم قطعیت در نظرات تصمیم‌گیرندگان لحاظ می‌شود. در این روش تصمیم‌گیرندگان می‌توانند مقادیری که میزان اطمینان آن‌ها را منعکس می‌کنند انتخاب کنند. [۱۲]

لذا در این حالت به جای استفاده از اعداد ۱ تا ۹ از واژگان کیفی استفاده شده است و به هر واژه یک عدد فازی مثلثی مطابق با جدول ذیل نسبت داده شده است.



جدول ۱: عبارات کلامی استفاده شده در مدل.

کد	عبارت کلامی	اعداد فازی مثلثی
۱	ترجیح برابر	(۱, ۱, ۱)
۲	ترجیح کم تا متوسط	(۱, ۱, ۵, ۱, ۵)
۳	ترجیح متوسط	(۱, ۲, ۲)
۴	ترجیح متوسط تا زیاد	(۳, ۳, ۵, ۴)
۵	ترجیح زیاد	(۳, ۴, ۴, ۵)
۶	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	(۳, ۴, ۵, ۵)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(۵, ۵, ۵, ۶)
۸	ترجیح خیلی زیاد تا کاملاً زیاد	(۵, ۶, ۷)
۹	ترجیح کاملاً زیاد	(۵, ۷, ۹)

که در آن اعداد فازی مثلثی از معادله ذیل پیروی می کنند.

$$M_{(l,m,u)} \rightarrow \mu_f(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ \frac{u-x}{u-m} & m < x < u \\ 0 & OW \end{cases} \quad \text{رابطه ۹}$$

با در نظر گرفتن اعداد فازی مثلثی (M)، نرمال سازی ماتریس ها از معادله ذیل صورت می پذیرد.

$$P'_{ij} = \sum_{k=1}^m M_{kj}^i \otimes \left[ \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m M_{kj}^i \right]^{-1} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

و به دنبال آن محاسبه وزن ها و میزان برتری هر گزینه در هر معیار از طریق جمع فازی محاسبه می شود و در نهایت میزان مطلوبیت هر یک از گزینه ها با استفاده از عملیات ضرب ماتریسی محاسبه می شود که در نهایت برای هر یک از گزینه ها به صورت دو عدد فازی  $M_1$  و  $M_2$  می باشد که میزان بزرگی هر یک از معادله ذیل حاصل می شود. [۱۳]







$$\forall M_2 \geq M_1 = \mu_{M_1}(d) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & Ow \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

### ۳- پیاده‌سازی مدل

به‌منظور پیاده‌سازی مدل ابتدا باید گزینه‌ها و معیارهای انتخاب سیستم نگهداری تعمیرات مدنظر را تعیین نمود، در این راستا مطابق با مطالعات صورت گرفته و مطابق با شکل ۱ می‌توان سه حالت تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی را به‌عنوان مدل‌های نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته، از این رو سه گزینه ۱- انجام فقط تعمیر اصلاحی، ۲- انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی و نگهداشت زمان‌بندی شده و ۳- انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی، پیش رو می‌باشد که به‌منظور انجام هر یک دو سناریو انجام توسط واحدهای داخلی یا برون‌سپاری پیش رو می‌باشد. از این رو در مسئله تعیین استراتژی با ۶ گزینه مواجه هستیم.

جدول ۲: گزینه‌های پیش رو در مسئله انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات.

گزینه	کد
انجام فقط تعمیر اصلاحی توسط پرسنل داخلی	$A_1$
انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی و نگهداشت زمان‌بندی شده توسط پرسنل داخلی	$A_2$
انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی توسط پرسنل داخلی	$A_3$
انجام فقط تعمیر اصلاحی از طریق برون‌سپاری	$A_4$
انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی و نگهداشت زمان‌بندی شده از طریق برون‌سپاری	$A_5$
انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی از طریق برون‌سپاری	$A_6$

از سوی دیگر در مرور ادبیات معیارهای متفاوتی برای انتخاب بهترین استراتژی انتخاب شده است که در چهار گروه هزینه، ریسک و ایمنی، بهره‌وری و مدیریت دانش تقسیم می‌شوند و به شرح ذیل می‌باشند.

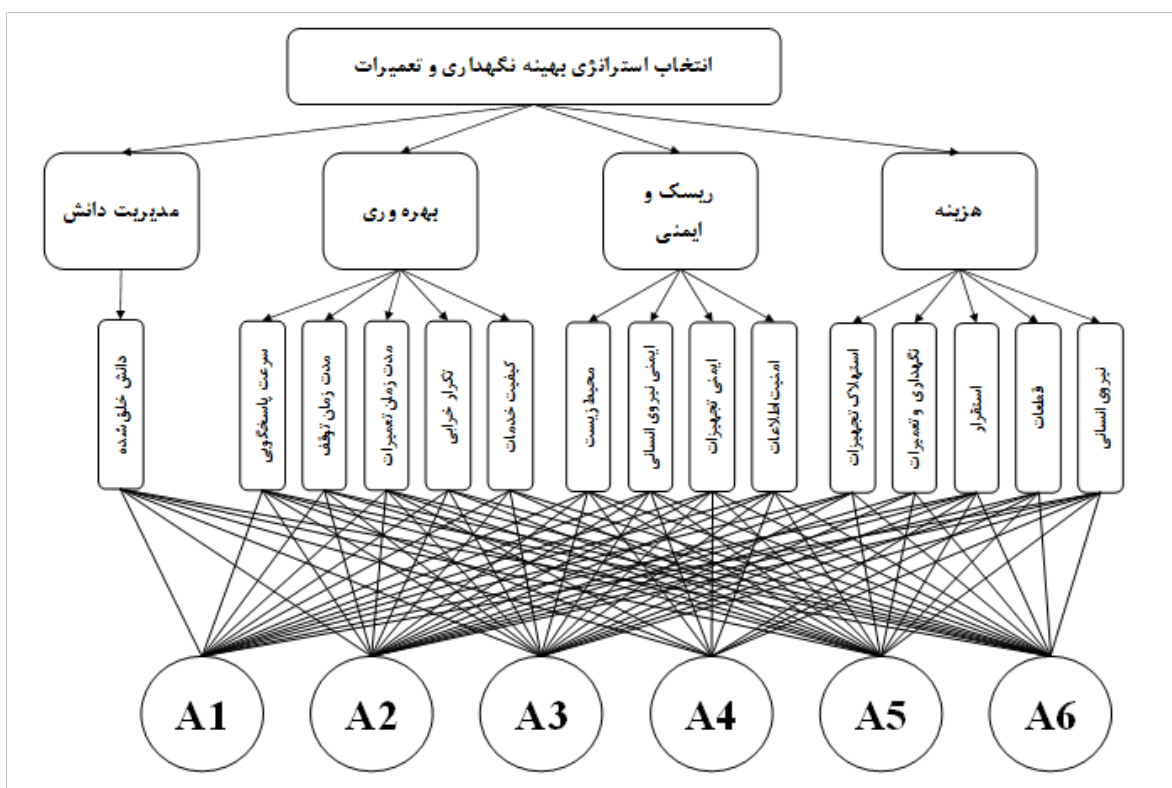
جدول ۳: معیارهای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات.

کد	گروه	معیار
$C_{11}$	هزینه	هزینه نیروی انسانی
$C_{12}$	هزینه	هزینه قطعات
$C_{13}$	هزینه	هزینه استقرار سیستم و نرم‌افزار مرتبط



کد	گروه	معیار
$C_{14}$	هزینه	سایر هزینه‌های نگهداری و تعمیرات
$C_{15}$	هزینه	استهلاک تجهیزات
$C_{21}$	ریسک و ایمنی	امنیت اطلاعات
$C_{22}$	ریسک و ایمنی	ایمنی تجهیزات
$C_{23}$	ریسک و ایمنی	ایمنی نیروی انسانی
$C_{24}$	ریسک و ایمنی	محیط زیست
$C_{31}$	بهره‌وری	کیفیت خدمات
$C_{32}$	بهره‌وری	تکرار خرابی
$C_{33}$	بهره‌وری	زمان تعمیرات و راه‌اندازی تجهیزات
$C_{34}$	بهره‌وری	مدت زمان توقف تجهیزات
$C_{35}$	بهره‌وری	سرعت پاسخگویی به درخواست‌ها
$C_{41}$	مدیریت دانش	دانش خلق شده

از این‌رو ساختار سلسله مراتبی مسئله به صورت شکل ذیل می‌باشد.



شکل ۴: ساختار سلسله مراتبی معیارها و گزینه‌ها.





در این مرحله با توزیع پرسشنامه میان ۴۲ نفره خبره دانشگاهی، مقایسات زوجی معیارهای مختلف در کنار یکدیگر و گزینه‌ها به ازای هر یک از معیارها به صورت فازی جمع‌آوری شده است که میانگین مقادیر فازی به‌عنوان نتیجه مقایسات زوجی در نظر گرفته شده است؛ که بر اساس نتایج حاصل از نظرسنجی صورت گرفته معیارهای تصمیم‌گیری به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: هزینه استقرار سیستم و نرم‌افزار مرتبط، ایمنی نیروی انسانی، تکرار خرابی، سرعت پاسخگویی به درخواست‌ها، امنیت اطلاعات، هزینه قطعات، مدت زمان توقف تجهیزات، هزینه نیروی انسانی، کیفیت خدمات، سایر هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، دانش خلق شده، زمان تعمیرات و راه‌اندازی تجهیزات، استهلاک تجهیزات، ایمنی تجهیزات، محیط‌زیست. جدول میزان ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در هر یک از معیارها مطابق با جدول ذیل می‌باشد.

جدول ۴: ضریب برتری هر گزینه در هر معیار.

$A_6$	$A_5$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	
۰,۲۲	۰,۲۰	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۳	$C_{11}$
۰,۲۷	۰,۱۴	۰,۰۵	۰,۳۰	۰,۱۶	۰,۰۸	$C_{12}$
۰,۲۳	۰,۲۰	۰,۱۸	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۱۸	$C_{13}$
۰,۳۵	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۱۰	$C_{14}$
۰,۱۰	۰,۲۱	۰,۱۵	۰,۲۳	۰,۱۸	۰,۱۳	$C_{15}$
۰,۰۸	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۲۰	۰,۲۴	۰,۲۴	$C_{21}$
۰,۱۹	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۲۷	۰,۱۶	۰,۱۴	$C_{22}$
۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۱۷	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۱۱	$C_{23}$
۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۱۹	۰,۲۹	۰,۱۳	۰,۱۹	$C_{24}$
۰,۳۲	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۲۸	۰,۱۶	۰,۰۵	$C_{31}$
۰,۲۴	۰,۲۱	۰,۱۱	۰,۲۹	۰,۱۳	۰,۰۳	$C_{32}$
۰,۳۸	۰,۱۵	۰,۱۰	۰,۲۳	۰,۱۳	۰,۰۳	$C_{33}$
۰,۲۴	۰,۲۰	۰,۱۳	۰,۲۰	۰,۱۳	۰,۱۱	$C_{34}$
۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۲۳	۰,۲۳	۰,۲۳	$C_{35}$
۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۰۹	۰,۳۲	۰,۱۷	۰,۱۳	$C_{41}$

در نهایت امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها مطابق با جدول ذیل می‌باشد.



جدول ۵: اولویت‌بندی مدل‌های نگهداری و تعمیرات.

$A_6$	$A_5$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	امتیاز نهایی
۰,۲۰۹	۰,۱۵۹	۰,۱۳۰	۰,۲۰۸	۰,۱۶۲	۰,۱۳۳	

لذا سناریو پیاده‌سازی هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی به صورت برون‌سپاری به‌عنوان بهترین الگوی نگهداری و تعمیرات و بعد از آن سناریو پیاده‌سازی هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی توسط پرسنل داخلی سازمان با اختلاف بسیار ناچیز جهت نگهداری و تعمیرات شناسایی شده‌اند.

#### ۴- نتیجه‌گیری:

میزان افزایش سرمایه‌گذاری بر روی ماشین‌آلات صنعتی و اتوماسیون از یکسو و افزایش ارزش مالی و اقتصادی آن‌ها از سوی دیگر منجر به آن شد که مدیران و صاحبان صنایع به فکر راهکارهایی منطقی بیفتند که قادر به پیشینه‌سازی طول عمر مفید تجهیزات تولیدی و طولانی کردن چرخه عمر اقتصادی آن‌ها باشد، لذا عمدتاً به‌جای پرداخت هزینه‌های گزاف ناشی از توقف و خرابی تجهیزات ترجیح می‌دهند نظام جامع نگهداری تعمیرات را در سازمان خود مستقر سازند. هدف از نگهداری و تعمیرات توانمندسازی اجزاء موردنظر با هدف حفظ و یا بازگرداندن توانایی آن جزء است تا به درستی کار کند و مفهوم نگهداری و تعمیرات تنها یک راه‌حل عملیاتی صحیح را ارائه نمی‌کند و استقرار نظام جامع آن وابسته به استراتژی و سیاست‌های کلان سازمان می‌باشد. در این مقاله به‌منظور سیاست‌گذاری بهینه نگهداری تعمیرات، ۶ گزینه مختلف به همراه ۱۵ معیار ارزیابی تعیین شده است که با به‌کارگیری منطق فازی به همراه مدل AHP به بررسی هر یک از گزینه‌ها پرداخته شده است که مطابق با نتایج به دست آمده، اجرای هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی به صورت برون‌سپاری به‌عنوان مدل بهینه شناسایی شده است.

#### ۵- مراجع

- [1]. You M-Y, Liu F, Wang W, Meng G. Statistically planned and individually improved predictive maintenance management for continuously monitored degrading systems. *Reliability, IEEE Transactions on*. 2010;59(4):744-53.
- [2]. Pinjala SK, Pintelon L, Verecke A. An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. *International Journal of Production Economics*. 2006;104(1):214-29.
- [3]. Márquez AC. *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*. 2 ed: Springer; 2007.
- [4]. Wireman T. *Benchmarking best practices in maintenance management*: Industrial Press Inc; 2004.
- [5]. Márquez AC. *The Maintenance Management Framework*. 3: 3; 2007.
- [6]. Reiman T, Oedewald P. Assessing the maintenance unit of a nuclear power plant – identifying the cultural conceptions concerning the maintenance work and the maintenance organization.





Safety Science. 2006;44(9):821-50.

[7].Singh R, Gohil AM, Shah DB, Desai S. Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering*. 2013;51(0):592-9.

[8].IEC60300. Dependability management: Maintenance and maintenance support IEC 60300-3-14: International Electrotechnical Commission; 2004. p. 50.

[9].Benmoussa K, Laaziri M, Khouilji S, Kerkeb ML, Yamami AE. AHP-based Approach for Evaluating Ergonomic Criteria. *Procedia Manufacturing*. 2019;32:856-63.

[10].Gnanavelbabu A, Arunagiri P. Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm. *Materials Today: Proceedings*. 2018;5(5, Part 2):13406-12.

[11].Sirisawat P, Kiatcharoenpol T. Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering*. 2018;117:303-18.

[12].Ly PTM, Lai W-H, Hsu C-W, Shih F-Y. Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*. 2018;136:1-13.

[13].Acar C, Beskese A, Temur GT. Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018;43(39):18059-76.