فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال پانزدهم/ شماره ۵۱ / بهار ۱۳۹۹

ارائه یک روش جدید جهت انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر مبنای فرآیند تحلیل شبکهای فازی و برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی فازی

علی محتشمی (نویسنده مسئول)
دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
Email: Mohtashami07@gmail.com
ایمان زهره ئی
کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، موسسه غیرانتفاعی بینالود، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۲۹ * تاریخ پذیرش ۹۸/۰۹/۱۶

چکیده
سیستم‌های نگهداری و تعمیرات در دستیابی به اهداف سازمان نقش حیاتی دارند. اصلی‌ترین هدف این سیستم‌ها، بهینه سازی توانایی ماشین‌آلات به منظور حداکثر نمودن تولید و کاهش فرسایش و خرابی آنها است. بر این اساس، یکی از دغدغه‌های اساسی مدیران در شرکت‌ها انتخاب استراتژی مناسب نت تجهیزات و ماشین‌آلات می‌باشد. این پژوهش، روشی جدید برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر مبنای تحلیل شبکه‌ای فازی و برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی فازی را ارائه می‌نماید. روش محاسبه وزن‌های فازی مولفه‌ها با روش تحلیل شبکه‌ای فازی توضیح داده شده است و سپس با قطعی نمودن وزن‌های بدست آمده و با نوشتن آرمان‌ها و تابع هدف و با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی فازی استراتژی‌های نت اولویت‌بندی می‌گردند. در نهایت در قالب مطالعه موردی، استراتژی بهینه نت برای چهار دستگاه منتخب در شرکت صنایع پودر شیر مشهد از بین استراتژی‌های پیشگیرانه، مبتنی بر قابلیت اطمینان، مبتنی بر شرایط، مبتنی بر زمان، اصلاحی و طراحی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این خصوص شش معیار و سی زیر معیار با مطالعه ادبیات پیشین احصا گردیدند و پرسش‌نامه مقایسات زوجی بین ده نفر از خبرگان توزیع و نظرات آنها تجمیع و از آنها میانگین هندسی گرفته می‌شود و با رویکرد تحلیل شبکه‌ای فازی وزن مولفه‌ها محاسبه می‌گردد. از آنجاکه وزن معیارها از روش تحلیل شبکه‌ای فازی بدست آمده است، پس امتیاز کلی مساله با حل مساله چند انتخابی آرمانی فازی بدست می‌آید. پژوهش حاضر می‌تواند دیدی جامع به تصمیم‌سازان خصوصا مدیران نت ارائه و به آنها در انتخاب استراتژی بهینه نت کمک نماید.

کلمات کلیدی: استراتژی نگهداری و تعمیرات، ANP فازی، MCGP فازی، نگهداری و تعمیرات.

۱-مقدمه

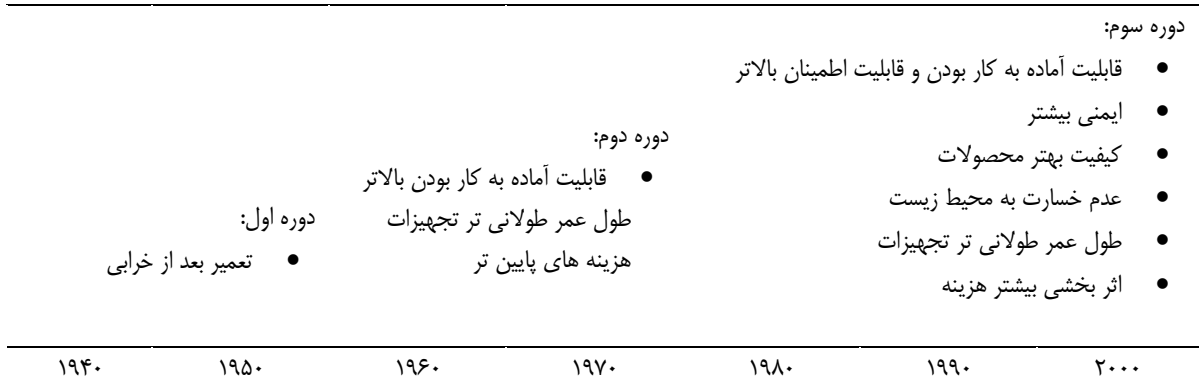
نگهداری و تعمیرات (نت) اغلب به عنوان مجموعه فعالیت‌هایی گفته می‌شود تا قابلیت اعتماد و یا کارکرد صحیح یک تجهیز را تضمین نمایند. از دیدگاه بسیاری از مردم نت فعالیتی است که در یک سازمان انجام می شود تا قابلیت کارکرد سازمان را برای انجام وظیفه محوله تضمین نماید و یا در هنگام خرابی هر دستگاه و یا تجهیز آن را تعمیر نماید و یا تجهیزاتی که مشغول به کار و تولید هستند را در وضعیت عملیاتی نگه دارند و در نهایت هر تجهیزی را به شرایط عملکرد اولیه خود باز گرداند(Safaei & Jardine, 2018). نگهداری و تعمیرات دو مفهوم مهم و دو مقوله اساسی می باشد که تحقق و عمل به آنها موجب ماندگاری و فعالیت مستمر خطوط تولیدی و نهایتا کاهش هزینه ها را موجب خواهد شد. با پیچیده‌تر شدن آنچه انسان برای رفع نیازهای روزمره و روزافزون خود به کار می‌گیرد، استفاده بهینه و نیز اقتصادی بودن این وسایل و امکانات بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (Hosseini, 1997). ضروریت طراحی و استقرار سیستم های نگهداری و تعمیرات در کارخانجات، یکی از مسائل مبرم و حیاتی امروز صنایع کشور است. حفظ سرمایه های کشور از یک سو و ارزبری بالای خرید ماشین آلات و تجهیزات از سوی دیگر، استفاده عقلایی و برنامه‌ریزی شده و نگهداری و تعمیرات به موقع ماشین آلات و تجهیزات را الزامی می‌سازد (Martinod, et al., 2018). استراتژی‌های متفاوتی برای نگهداری و تعمیرات بیان شده است که از جمله آنها می توان به نت پیش‌گویانه، اصلاحی، مبتنی بر زمان و مبتنی بر شرایط اشاره کرد که بسته به ماهیت هر صنعت، هر یک از مزایا و معایبی برخوردار هستند. همچنین متغیرهای بسیاری از قبیل ارزش افزوده، هزینه، ایمنی، امکان سنجی و غیره در انتخاب یک استراتژی نگهداری و تعمیرات موثرند (Safaei & Jardine, 2018). بخش نگهداری و تعمیرات یکی از مهم ترین بخش های یک واحد تولیدی است که نقش بسزایی در رسیدن سازمان به اهدافش را دارد اما متاسفانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است و عدم توجه به این بخش می تواند ضربات جبران ناپذیری به یک واحد تولیدی وارد نماید. امروزه با اوج گیری پیشرفت سریع فناوری و گسترش خودکار سازی صنایع و افزایش تعداد ماشین آلات، حجم سرمایه گذاری در ماشین آلات و دارائی های فیزیکی رشد افزونی داشته است. یکی از هزینه های اصلی برای این کارخانجات هزینه نگهداری و تعمیرات است که از ۱۵ الی ۷۰ هزینه های تولید را بر حسب نوع صنعت به خود اختصاص می‌دهد(Faddoul, Raphael, & Chateauneuf, 2018). در حال حاضر تعمیر و نگهداری به عنوان نقش کلیدی در کاهش هزینه ها، به حداقل رساندن خرابی تجهیزات، افزایش کیفیت و بهره وری، و همچنین ارائه تجهیزات قابل اطمینان، ایفا می‌کند. بنابراین، به دنبال رسیدگی به نت و انتخاب اصولی آن، اهداف سازمانی به تدریج به دست می‌آید (Garbatov, Sisci, & Ventura, 2018). بخش نگهداری و تعمیرات یکی از مهم‌ترین بخش های یک واحد تولیدی است که نقش بسزایی در رسیدن سازمان به اهدافش را دارد اما متاسفانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است و عدم توجه به این بخش می تواند ضربات جبران ناپذیری به یک واحد تولیدی وارد نماید. امروزه با اوج گیری پیشرفت سریع فناوری و گسترش خودکار سازی صنایع و افزایش تعداد ماشین آلات، حجم سرمایه گذاری در ماشین آلات و دارائی های فیزیکی رشد افزونی داشته است. یکی از هزینه های اصلی برای این کارخانجات هزینه نگهداری و تعمیرات است که از ۱۵ الی ۷۰ هزینه های تولید را بر حسب نوع صنعت به خود اختصاص می دهد (Bevilacqua & Braglia, 2000). در این پژوهش با استفاده از برنامه ریزی آرمانی چندانتخابی فازی و تحلیل شبکه ای فازی اقدام به رتبه بندی استراتژی های نگهداری و تعمیرات در کارخانه صنایع پودر شیر مشهد شده است.

۲- روش شناسی پژوهش

همگام با توسعه روزافزون در صنایع مختلف و با توجه به اهمیت نگهداری و تعمیرات در سلامت و دوام یک سازمان صنعتی، تولیدی و یا حتی خدماتی و با عنایت بر تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم غیرقابل انکار نگهداری و تعمیرات بر دوام و پابرجایی صنایع و سودآوری آنها، علم نگهداری و تعمیرات(نت) جهت برآورده نمودن انتظارات صاحبان صنایع و مصرف کنندگان ابداع گردید و هم اکنون بصورت گسترده مورد استفاده قرار میگیرد. استراتژی فعلی دنیای پیشرفته صنعتی بر پایه تولید و نت با عیوب

صفر[1]، از کار افتادگی صفر[2] و حوادث صفر[3] می‌باشد. در ابتدای این فصل با مفاهیم و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات شروع کرده و پس از مرور پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت گرفته، معیارها و زیر معیارهای مورد استفاده در پژوهش نیز ارزیابی می‌گردند. نگهداری و تعمیرات به معنای محافظت از دستگاههای فیزیکی موجود در کارخانه ها می باشد. استراتژی نگهداری و تعمیرات اثر بخش این اطمینان را می دهد که در مقابل هزینه های بالای انجام شده، حداکثر طول عمر، از تاسیسات، ابزارآلات، تجهیزات و امکانات تولیدی بدست آید. این روش (نت)، فرآیندهای قدیمی و از رده خارج شده پیشین را که شروع عملیات را از لحظه خرابی و از کار افتادن تجهیزات می دانستند، مدیریت می کند.

در این بخش به بررسی پیشینه نظری می‌پردازیم. دوره های تکامل سیستم نگهداری و تعمیرات که شامل سه دوره کلی می‌باشد مورد بررسی می‌گیرد. به موازات فزونی یافتن انتظارات از نگهداری و تعمیرات جهت انطباق با این انتظارات و برآورده نمودن آنها تکنیک های نت نیز بهبود یافت. از تعمیر بعد از خرابی به تعمیرات برنامه ریزی شده و استفاده از سیستم های برنامه ریزی و کنترل و تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن در پایان سال ۲۰۰۰ ارتقاء پیدا نمود که در شکل شماره (۱) بطور خلاصه به سیر تحولات آن اشاره شده است(Jafari & Faramarzi, 2016).



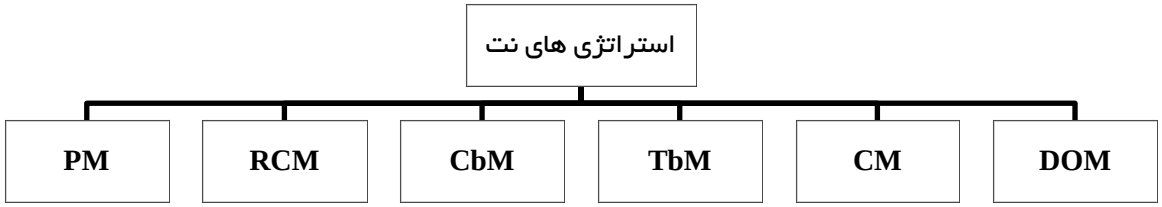
شکل شماره (۱): سیر تحولات در تکنیک های نگهداری و تعمیرات

استراتژی های نگهداری و تعمیرات را می توان مجموعه‌ای از فرایندها شامل شناسایی، جست و جو و اجرای بسیاری از فعالیت های تعمیراتی، تعویض یا بازرسی و تصمیم گیری دانست (Al-Najjar & Alsyouf, 2003). انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات یک اقدام حیاتی در سیستم‌های تولیدی می باشد زیرا بر عملکرد و بازده تجهیزات شرکت ها موثر است (Hemmati, Rahiminezhad, Imani, & Farughi, 2018). استراتژی‌های متفاوتی برای نگهداری و تعمیرات بیان شده که بکار گیری هر استراتژی بسته به نوع صنعت، از مزایا و معایبی بر خوردار است(Do, Voisin, Levrat, & Iung, 2015). در استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[4] (PM) نگهداری از تجهیزات بصورت دوره‌ای جهت کار بدون وقفه تجهیزات صورت می‌گیرد (Özcan, Ünlüsoy, & Eren, 2017). این استراتژی روشی سیستماتیک برای انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات بر پایه زمان است (Eti, Ogaji, & Probert, 2006). روشی است که قبل از خرابی، به منظور حفظ تجهیزات در شرایط مشخص شده با ارائه بازرسی های سیستماتیک، تشخیص و پیشگیری از خرابی‌های ابتدایی انجام می‌شود (Bashiri, Badri, & Hejazi, 2011). مبتنی بر ویژگی‌های پایایی اجزاست و به کاهش احتمال خرابی‌های بالقوه و عواقب اقتصادی از طریق انجام اقدامات نگهداری و تعمیرات در زمان از پیش تعیین شده مربوط می‌شود (Al-Najjar & Alsyouf, 2003).

[1]. Zero Defects
[2]. Zero Breakdowns
[3]. Zero Incident
[4]. Preventive Maintenance

نت پیشگیرانه به منظور نگه‌داشتن تجهیزات در یک شرایط خاص با فراهم کردن کنترل‌های سازمان یافته، شناخت و اجتناب از خرابی بالقوه انجام می‌شود (Almeida & Bohoris, 1995). در استراتژی نگهداری و تعمیرات اصلاحی[۵] (CM) نگهداری و تعمیرات تا زمانی که خرابی رخ ندهد اتفاق نمی افتد (Özcan, Ünlüsoy, & Eren, 2017). نت اصلاحی استراتژی اصلی نگهداری و تعمیرات موجود در صنعت است (Wang, Chu, & Wu, 2007). افزایش رقابت جهانی و حاشیه سود کم، مدیران نت را مجبور می کند که استراتژی های نت مناسب تر و موثرتر را بدست آورند (Pariazar, Zaeri, & Shahrabi, 2007). نگهداری و تعمیرات اصلاحی را به نت از کارافتادگی هم می شناسند که قدیمی ترین استراتژی در صنعت است (Waeyenbergh & Pintelon, 2004) و برای سازمان های با حاشیه سود بالا مناسب است (Kumar, Dinesh, & Pradeep, 2005). نگهداری و تعمیرات مبتنی بر زمان[۶] (TbM) که از جمله روش‌های سنتی نت می باشد همچنین به عنوان نگهداری و تعمیرات دوره‌ای نیز شناخته می‌شود، در نت مبتنی بر زمان، تصمیمات نگهداری و تعمیرات (به عنوان مثال، نگهداری زمانی یا دوره‌ای) بر اساس آنالیز زمان شکست می باشد. به معنای دیگر، سن (زمان مورد انتظار)، T، بعضی از تجهیزات بر مبنای داده‌های زمان شکست یا داده‌های استفاده شده می باشد (Ahmad & Kamaruddin, 2012). نگهداری و تعمیرات بر مبنای وضعیت[۷] (CbM)، این روش در سال ۱۹۷۵ به منظور حداکثر سازی اثربخشی سیستم نگهداری و تعیمرات پیشگیرانه معرفی گردید. در این روش، با انجام پایشهای منظم از پارامترهای مربوط به عملکرد و وضعیت ماشین آلات[۸] مانند ارتعاش، فشار، درجه حرارت و روغن و غیره تلاش می شود که خرابی های در شرف وقوع را پیش بینی کرده و اقدامات تعمیراتی لازم را صورت دهند (Ahmad & Kamaruddin, 2012). قلب نگهداری مبتنی بر وضعیت، فرآیند پایش وضعیت است.

در شکل شماره (۲) بطور خلاصه استراتژیهای مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.



شکل شماره (۲): استراتژی های نت مورد استفاده در پژوهش

در این بخش پیشینه تجربی پژوهش به طور اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرد. آقایی و فضلی (۱۳۹۱) در مقاله خود از روش ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه ایی و دیمتل برای انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات (مورد مطالعه صنعت خودروهای خودکار) استفاده نمودند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش دلفی و ادبیات تحقیق معیارهای مناسب بر ارزیابی استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات طبقه بندی، از روش دیمتل برای تعیین جهت رابطه میان معیارها، با استفاده از نظرات خبرگان سیستم نگهداری و تعمیرات و از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای وزن دهی به معیارها و تعیین استراتژی برتر استفاده شده است. در ادامه روش ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای و دیمتل تشریح شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رویکرد مناسب با توجه به روش ترکیبی، رویکرد نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه می‌باشد. ربانی، زارع و بهنیا (۱۳۹۲) با رویکرد مدل های تصمیم گیری و برنامه ریزی آرمانی فازی الگویی جهت پیاده سازی سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته ارائه دادند. در این پژوهش آنها تلاش نمودند با تکیه بر برنامه ریزی آرمانی فازی در صدد انتخاب راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات تجهیزات کلیدی در صنایع کاغذ سازی باشند. بر این اساس برای تعدادی از پمپ های آب، روغن و خمیر

5. Corrective Maintenance
6. Time based Maintenance
7. Condition-based Maintenance
8. Condition Monitoring

کاغذ در شرکت تولیدی کاغذ کسری به عنوان مجموعه ای از کلیدی ترین تجهیزات تولیدی شرکت، سیاست گذاری بهینه نت صورت گرفت. برای هر حالتی از شکست پمپ ها با توجه به معیارهایی که از تکنیک تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن(FMEA) که عبارتند از درجه وقوع، درجه شدت و درجه تشخیص در نظر گرفته شد، ساختار شبکه ای آن به کمک تکنیک فرایند تحلیل شبکه ای ترسیم و بعد از تعیین اوزان، از طریق حل مدل برنامه ریزی آرمانی استراتژی بهینه برای هر شکست تعیین می شود. نتایج حاکی از آن است که راهبرد نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه و پیش‌گیرانه نسبت به راهبرد اصلاحی در استفاده از منابع و کاهش شکست ها برتری دارند. لذا این راهبردها اطلاعات مفیدی در اختیار مدیران نگهداری قرار می دهد تا جنبه های منفی یک شکست محدود گردد. فردوس مکان، وسیلی و قندهای (۱۳۹۲) در پژوهشی با ارایه مدلی از تلفیق مدیریت ریسک و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی به انتخاب استراتژی نت پرداختند. درتحلیل فرایند سلسله مراتبی فازی معیارهای قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، قابلیت تعمیرپذیری و از استراتژی‌های نت، اضطراری نت مبتنی برشرایط و نت پیشگیرانه استفاده شد که بعد از انجام محاسبات لازم برای ریسک های بامحدوده مطلوب استراتژی نت اضطراری و برای ریسک های با محدوده‌های قابل تحمل ناخوشایند و حیاتی نت پیشگیرانه انتخاب گردید. شفیعی و همکاران (۱۳۹۴) پژوهشی را با بکارگیری رویکرد ترکیبی TOPSIS,AHP و FA برای انتخاب و رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در پالایشگاه نفت شهرری صورت دادند. آنها در پژوهش مورد نظر با مرور ادبیات و نظر کارشناسان و متخصصان نگهداری و تعمیرات چهار استراتژی CM, FM, RCM و PDM و همچنین چهار معیار اصلی ایمنی، هزینه، قابلیت اجرا و ارزش افزوده را انتخاب نمودند. آنها در ادامه نیز با مرور مقالات و نظر متخصصان نت همه زیر معیارهای ممکن برای هر یک از معیارهای اصلی را شناسایی نمودند. دوازده زیر معیار برای معیار هزینه، نه زیر معیار برای برای ارزش افزوده، هفت زیر معیار برای معیار اصلی ایمنی و نه زیر معیار برای معیار قابلیت اجرا در نظر گرفته شدند. همچنین تجهیزات با استفاده از شاخص اهمیت (CI) به سه گروه "تجهیزات با اهمیت کم، متوسط و زیاد" تقسیم شدند. در نهایت با روش های AHP و TOPSIS برای این سه گروه تجهیزات استراتژی های نت پیشنهاد شدند. در هر دو روش AHP, TOPSIS در گروه۱ استراتژی CM و در گروه ۲ استراتژی PDM و در گروه ۳ استراتژی PDM به عنوان بالاترین اولویت برای پیاده‌سازی انتخاب شدند. بهزاد بانکیان تبریزی (۲۰۱۲) پژوهشی در خصوص برنامه ریزی آرمانی فازی چند انتخابی[9] صورت داد. در این پژوهش بررسی گردید که برنامه ریزی آرمانی به عنوان یک تکنیک مشهور بطور گسترده ایی برای حل مسائل تصمیم گیری چند هدفه مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال، در برخی موارد عملی ممکن است شرایطی وجود داشته باشد که تصمیم گیرنده علاقمند در تنظیم سطوح امیدوارانه چندگانه برای اهدافی باشد که ممکن است بصورت دقیق توضیح داده نشده باشند. در این پژوهش، فرمول جدیدی از برنامه ریزی آرمانی فازی چند انتخابی ارائه گردید. رویکرد ارائه شده نه تنها کاربرد برنامه ریزی آرمانی را در دنیای واقعی بهبود می دهد بلکه دیدگاه مفیدی را درباره کلاس جدید مسائل فراهم می کند. کومار و همکاران (۲۰۱۲) مدل سازی نت بر پایه ریسک با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی را مورد بررسی قرار دادند. مسئله انتخاب استراتژی نت یک مسئله تصمیم گیری چند معیاره می‌باشد. این پژوهش جهت کار با متغیرهای فازی از فرایند توسعه چانگ استفاده نمود و گزینه‌های انتخاب استراتژی نت با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی مشخص شد. این پژوهش در یک واحد شیمیایی انجام شده است و سیاست مناسب نت برای سیزده تجهیز این واحد مشخص گردید. نتایج بدست آمده با نتایج پژوهش ارون راج و همکاران که در سال ۲۰۱۰ انجام شده بود مقایسه گردیده است. نتایج تا حدوی یکسان است اما آنجائیکه هم هزینه و هم ریسک بطور یکسان مورد توجه می باشند، سیاست نت بر مبنای زمان (TBM) ارجح می باشد. پورجواد و همکاران (۲۰۱۴) آنالیز استراتژی نگهداری و تعمیرات با استفاده از تحلیل شبکه‌ای فازی با توجه به معیارهای قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و قابلیت تعمیرپذیری را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به اثرات تعاملی بین معیارها، گزینه‌ها و وابستگی بین معیارها، فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای مقایسه مناسب شناخته شد. علاوه بر این، در بعضی موارد، به دلیل ابهام و عدم قطعیت در قضاوت تصمیم گیرنده، مقایسه زوجی قطعی در تحلیل

[9]. Fuzzy Multi-Choice Goal Programming (FMCGP)

شبکه‌ای نامناسب و غیر دقیق می‌باشد و تصمیم درست تصمیم گیرنده را به تصویر نمی‌کشد. بنابراین، منطق فازی در مقایسات زوجی به جهت جبران این کمبود در تحلیل شبکه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. این پژوهش در شرکت معدن چادرملو جهت ارزیابی استراتژی نگهداری و تعمیرات یک گروه از تجهیزات صورت گرفت. با در نظر گرفتن سه معیار ذکر شده و ارزیابی استراتژی های DOM[۱۰], TPM, EM, CBM, TBM در نهایت استراتژی مبتنی بر وضعیت به عنوان مناسب‌ترین استراتژی انتخاب گردید. ویشنو و رجیکومار (۲۰۱۶) مطالعه موردی را در خصوص انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان در کارخانجات تولیدی صورت دادند. نگهداری و تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان یک استراتژی تکامل یافته است که همه مزایای استراتژی‌های سنتی را در خود جای داده است. بطور دقیق‌تر، RCM بر اساس نمره پارامترهای اهمیت و قابلیت اطمینان مناسب ترین و متناسب ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات را انتخاب می نماید. پیاده سازی RCM نیاز به جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده های خرابی و نگهداری به منظور مشخص کردن شرایط کنونی تجهیزات دارد. این مسئله نیاز به یک تیم متخصص از تیم‌های نگهداری و تعمیرات و تولید دارد. آنها از روش AHP استفاده نمودند و نتیجه این پژوهش نشان داد که نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه جهت تجهیزات دارای اهمیت بسیار بالا مناسب‌تر از نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده است و نگهداری و تعمیرات بر مبنای توقف جهت سایر تجهیزات کافی است. اورن و همکاران (۲۰۱۷) با روش ترکیبی برنامه‌ریزی آرمانی و سلسله مراتبی و با استفاده روش تاپسیس مطالعه‌ای را به منظور انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات در نیروگاه‌های برق–آبی صورت دادند. از آنجائیکه نیروگاه‌های برق–آبی از هزاران تجهیز با خصوصیات متفاوت تشکیل شده‌اند، ۹ تجهیز که دارای اثر مشابه و اهمیت بیشتری برای نیروگاه‌های برق هستند توسط روش تاپسیس و با ۹ معیار وزن‌دهی شده توسط روش سلسله مراتبی برای سطح وسیعی از نیروگاههای برق در ترکیه انتخاب شدند. در مدل سلسله مراتبی ارائه شده، سه معیار شدت، تشخیص و رخداد جهت هدف نهایی که بدست آوردن ترکیبی از مناسب‌ترین استراتژی‌های نت برای هر تجهیز می باشد مورد استفاده قرار گرفت و گزینه‌ها شامل نت پیشگیرانه، نت اصلاحی، نت پیش‌بینانه و نت بازنگر بودند. برای هر تجهیز، از طریق مدل ارائه شده برنامه ریزی آرمانی که وزن‌های معیارها و اولویت های گزینه‌ها محاسبه شده با AHP را استفاده می‌کند و واقعیت های نیروگاه‌های برق را نشان می‌دهند، ترکیبی از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات انتخاب شدند. در نهایت، بهبود ۷۷ درصد توقفات در تجهیزاتی که انتخاب شدند و مدل بر روی آنها مورد استفاده قرار گرفت نسبت به زمانی که مدل مورد استفاده قرار نمی‌گرفت حاصل شد. تویت و چو (۲۰۱۸) انتخاب استراتژی مناسب را جهت بهینه سازی هزینه نگهداری سیستم‌های بادی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها شاخص‌های زیادی را مورد بررسی قرار دادند مانند قابلیت اطمینان سیستم، شرایط آب و هوایی، زمان انجام فعالیت نگهداری، هزینه، نرخ خرابی، هزینه برق در بازار و غیره. نتیجه این پژوهش نشان داد که برنامه‌ریزی انفرادی و گروهی نگهداری و تعمیرات می تواند ۲/۳۳ و ۴/۵۶ درصد در کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات موثر باشد.

در این بخش از مقاله مدل فرآیند تحقیق که شامل گام‌هایی می باشد که مراحل انجام تحقیق حاضر را نشان می‌دهد در شکل شماره (۳) آورده شده است.

[۱۰]. نگهداری و تعمیرات طراحی (DOM): هدف از آن حداقل سازی اثر خطاء و در حقیقت حذف علت تعمیرات بوسیله طراحی مجدد سیستم در صورت نیاز می‌باشد.

شکل شماره (۳): مدل فرآیند تحقیق

تجهیزات این پژوهش شامل موارد ذیل می باشند:

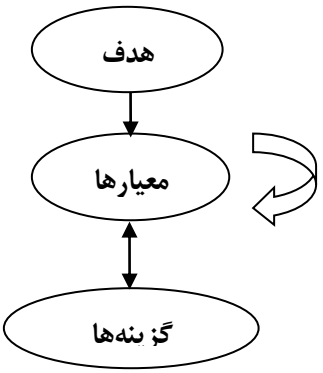
۱. هموژنایزر
۲. اورکپر

۳. سپراتور

۴. سیمر

الف) فرآیند تحلیل شبکه‌ای

در فرآیند تحلیل سلسله مراتب(Saaty, 1994) ، مسئله در قالب سلسله مراتبی مدل شده است. بنابراین، اجزاء AHP که هدف، معیارها و گزینه ها می باشند دارای رابطه از بالا به پایین هستند. مدل AHP بر مبنای این فرضیه استوار است که مسئله تصمیم گیری را می توان در قالب خطی بالا به پایین و در فرم سلسله مراتبی مدل سازی نمود. در مدل سلسله مراتبی گره سطح بالا به گره سطح پایین وابسته نیست و عناصر موجود در یک گره (در سطح یکسان در یک سلسله مراتبی) نیز مستقل از یکدیگر هستند. این شبکه یک طرفه قادر به ترسیم روابط پیچیده و بازخوردهای موجود در سیستم نیست. برای رهایی از این محدودیت، مسئله موجود با استفاده از برنامه‌ریزی تحلیل شبکه‌ای ساعتی مدل سازی می‌شود(Saaty, 1994). این مسئله تعمیمی از AHP می‌باشد که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها در فرم خوشه‌هایی هستند و کلیه روابط بین خوشه‌ها و عناصر در یک خوشه مورد توجه می باشد .



شکل شماره(۴): خوشه‌ها و ارتباطات در مدل ANP

ب) برنامه‌ریزی آرمانی فازی چند انتخابی

برنامه ریزی آرمانی یکی از پرکاربردترین و معروف‌ترین تکنیک های تصمیم گیری می باشد که در سال ۱۹۶۱ توسط چارنس و کوپر معرفی شده است. فلسفه جذاب و کاربرد زیاد برنامه ریزی آرمانی در حل مسائل تصمیم گیری دنیای واقعی با ساختار چند هدفه این روش را بسیار سودمند و متداول نموده است. این مسئله موجب توسعه بیشتر برنامه ریزی آرمانی در حل مسائل متفاوت تصمیم گیری گردیده است. برنامه ریزی آرمانی به دو دسته قطعی و فازی تقسیم‌بندی می‌شود. بیشتر پژوهش‌ها در برنامه ریزی آرمانی با تکنیک قطعی می باشد. دسته دوم شامل مدلهای برنامه ریزی آرمانی توسعه یافته برای تصمیم گیری در محیط فازی می‌باشد. مدل‌های ارائه شده در این دسته از نظریه مجموعه فازی به عنوان یک ابزار مدل سازی برای حل مسائل عدم قطعیت دنیای واقعی استفاده می‌کند. عدم قطعیت مسائل تصمیم گیری ممکن است به دلیل استفاده از متغیرهای زبانی، اولویت ها یا وزن‌های مبهم، عدم قطعیت منابع، ضرایب تکنولوژیکی و غیره وجود داشته باشد.

ج) فرمول برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی

برای اولین بار در ادبیات برنامه ریزی آرمانی چانگ برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی را ارائه نمود که به تصمیم گیرنده این اجازه را میدهد تا سطوح آرمانی چند انتخابی[11] را برای هر آرمان انتخاب نماید. با این حال در بعضی موارد این سطوح آرمانی می توانند نامشخص و فازی باشند. بطور عمومی یک مسئله برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی بصورت ذیل فرمول می شود:

$$Min \sum_{i=1}^{n} w_i |f_i(X) - \tilde{g}_{i1} \; or \; \tilde{g}_{i2} \; or \; \dots or \; \tilde{g}_{im}|$$

[11]. Multi-Choice Aspiration Level (MCAL)

$$s.t\ X \in F\ (F \text{ is a feasible set}),$$ رابطه ۱)

جائیکه $w_i\ , i = 1, \dots, n$ اهمیت نسبی توابع هدف هستند و فرض می‌شود که سطوح آرمانی $\tilde{g}_{ik}, k = 1, \dots, m$ اعداد فازی مثلثی با تابع عضویت $\mu_{ik}, k = 1, \dots, m$ می‌باشند. به منظور حل مسئله ذکر شده بالا، رویکرد زیمرمان برای انتقال ربطه شماره (۱) به مسئله برنامه ریزی معمولی مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور شفاف نمودن مسئله برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی، اجازه دهید تا مسائل تصمیم گیری شکل شماره شکل شماره و شکل شماره را در نظر بگیریم. به این ترتیب، فرض می کنیم که $G_k(x)$ تابع هدف kام می باشد.

A	B	C
$\tilde{g}_1$	$\tilde{g}_2$	$\tilde{g}_3$

شکل شماره (۵): مثالی از برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی (یک سطح آرمانی فازی برای هر هدف نهایی)

A		B		C	
$\tilde{g}_1$	$\tilde{g}_4$	$\tilde{g}_2$	$\tilde{g}_5$	$\tilde{g}_3$	$\tilde{g}_6$

شکل شماره (۶): مثالی از برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی (دو سطح آرمانی فازی برای هر هدف نهایی)

A		B		C	
$\tilde{g}_1$	$\tilde{g}_4$	$\tilde{g}_2$	$\tilde{g}_5$	$\tilde{g}_3$	$\tilde{g}_6$
$\tilde{g}_7$		$\tilde{g}_8$		$\tilde{g}_9$	

شکل شماره (۷) : مثالی از برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی (چند سطح آرمانی فازی برای هر هدف نهایی)

مورد اول، تنها یک سطح آرمانی برای هر هدف نهایی را فرض می کنیم. برای مثال، در شکل شماره سه سطح آرمانی فازی $\tilde{g}_1$ ، $\tilde{g}_2$ و $\tilde{g}_3$ متناظر با اهداف نهایی A ، B و C می‌باشند. این مورد بصورت ذیل مدل شده است:

$$Maximize\ \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$$
$$\text{s.t.} \quad \mu_1 \le 1 - \frac{G_1(x) - \tilde{g}_1}{d_1^-},$$
$$\mu_1 \le 1 - \frac{\tilde{g}_1 - G_1(x)}{d_1^+},$$
$$\mu_2 \le 1 - \frac{G_2(x) - \tilde{g}_2}{d_2^-},$$
$$\mu_2 \le 1 - \frac{\tilde{g}_2 - G_2(x)}{d_2^+},$$
$$\mu_3 \le 1 - \frac{G_3(x) - \tilde{g}_3}{d_3^-},$$
$$\mu_3 \le 1 - \frac{\tilde{g}_3 - G_3(x)}{d_3^+},$$
$$\mu_1, \mu_2, \mu_3 \ge 0,$$
$$X \in F\ (F\ is\ a\ feasible\ set)$$ رابطه ۲)

جائیکه d_i^+ و d_i^- حداکثر انحراف مجاز مثبت و منفی از $\tilde{g}_i$ می باشد.

مورد دوم، دو سطح آرمانی فازی برای هر آرمان فرض می کنیم. این موردی از برنامه ریزی آرمانی فازی با انتخاب این یا آن می‌باشد. مقصود در هدف A این است تا سطح آرمانی فازی مطلوب از $\tilde{g}_1$ یا $\tilde{g}_4$ انتخاب گردد، در حالیکه مقصود در هدف B این است تا سطح آرمانی فازی مطلوب از $\tilde{g}_2$ یا $\tilde{g}_5$ انتخاب گردد، و همچنین مقصود در هدف C این است که یک سطح آرمانی مطلوب را از $\tilde{g}_3$ یا $\tilde{g}_6$ انتخاب نمایید(شکل شماره را ملاحظه نمایید). بر اساس مدل چانگ، شش متغیر دودویی اضافه بایستی مطابق با توضیحات ذیل اضافه گردد.

$$Maximize\ \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$$
$$\text{s.t.} \quad \mu_1 \le 1 - \left[\frac{G_1(x) - \tilde{g}_1}{d_{11}^-} Z_1 Z_2 + \frac{G_1(x) - \tilde{g}_4}{d_{14}^-} Z_1 (1 - Z_2) + \frac{G_1(x) - \tilde{g}_7}{d_{17}^-} Z_2 (1 - Z_1)\right],$$

$$\mu_1 \le 1 - \left[\frac{\tilde{g}_1 - G_1(x)}{d_{11}^+} Z_1 Z_2 + \frac{\tilde{g}_4 - G_1(x)}{d_{14}^+} Z_1(1-Z_2) + \frac{\tilde{g}_7 - G_1(x)}{d_{17}^+} Z_2(1-Z_1)\right],$$
$$\mu_2 \le 1 - \left[\frac{G_2(x) - \tilde{g}_2}{d_{22}^-} Z_3 Z_4 + \frac{G_2(x) - \tilde{g}_5}{d_{25}^-} Z_3(1-Z_4) + \frac{G_2(x) - \tilde{g}_8}{d_{28}^-} Z_4(1-Z_3)\right],$$
$$\mu_2 \le 1 - \left[\frac{\tilde{g}_2 - G_2(x)}{d_{22}^+} Z_3 Z_4 + \frac{\tilde{g}_5 - G_2(x)}{d_{25}^+} Z_3(1-Z_4) + \frac{\tilde{g}_8 - G_2(x)}{d_{28}^+} Z_4(1-Z_3)\right],$$
$$\mu_3 \le 1 - \left[\frac{G_3(x) - \tilde{g}_3}{d_{33}^-} Z_5 Z_6 + \frac{G_3(x) - \tilde{g}_6}{d_{36}^-} Z_5(1-Z_6) + \frac{G_3(x) - \tilde{g}_9}{d_{39}^-} Z_6(1-Z_5)\right],$$
$$\mu_3 \le 1 - \left[\frac{\tilde{g}_3 - G_3(x)}{d_{33}^+} Z_5 Z_6 + \frac{\tilde{g}_6 - G_3(x)}{d_{36}^+} Z_5(1-Z_6) + \frac{\tilde{g}_9 - G_3(x)}{d_{39}^+} Z_6(1-Z_5)\right],$$
$$Z_1 + Z_2 \le 1,$$
$$Z_3 + Z_4 \le 1,$$
$$Z_5 + Z_6 \le 1,$$
$$0 \le \mu_1, \mu_2, \mu_3 \le 1,$$
$$X \in F\ (F\ is\ a\ feasible\ set)$$

رابطه ۳)

جائیکه Z_1، Z_2، Z_3، Z_4، Z_5 و Z_6 متغیرهای دودویی هستند وd_{ij}^+ (i:1,2,3,J:1,2,3) و d_{ij}^- به ترتیب حداکثر انحراف مثبت و منفی مجاز از jامین سطح آرمانی در iامین هدف می باشد.

مطابق با مدل چانگ، شرایط درجه دوم Z_1Z_2، Z_3Z_4 و Z_5Z_6 مطابق با ذیل می توانند به فرم خطی تبدیل شوند.

$$x = z_i z_j,$$

رابطه ۴) $$\left(z_i + z_j - 2\right) + 1 \le x \le \left(2 - z_i - z_j\right) + 1,$$

رابطه ۵) $$x \le z_i,$$

رابطه ۶) $$x \le z_j,$$

رابطه ۷) $$x \ge 0,$$

نامعادله های بالا بصورت ذیل می توانند کنترل گردند:

از رابطه ۴) $$if\ z_i = z_j = 1\ then\ x = 1$$

از رابطه های ۵و۶و۷) $$if\ z_i z_j = 0\ then\ x = 0$$

$G_k(x)$ تابع هدف kام را معرفی می کند. همانطور که قبلا بیان شده است، تابع عضویت خطی μ_i برای هدف فازی iام می‌تواند بصورت ذیل تعریف گردد:

رابطه ۸)
$$\mu_i = \begin{cases} 0 & if\ G_i(x) \ge \tilde{g}_{ij} + d_{ij2}, \\ 1 - \sum_{j=1}^{m} \dfrac{G_i(x) - \tilde{g}_{ij}}{d_{ij}^-} S_{ij}(B) & if\ \tilde{g}_{ij} \le G_i(x) \le \tilde{g}_{ij} + d_{ij2}, \\ 1 & if\ G_i(x) = \tilde{g}_{ij}, \\ 1 - \sum_{j=1}^{m} \dfrac{\tilde{g}_{ij} - G_i(x)}{d_{ij}^+} S_{ij}(B) & if\ \tilde{g}_{ij} - d_{ij1} \le G_i(x) \le \tilde{g}_{ij}, \\ 1 & otherwise \end{cases}$$

جائیکه S_{ij}(B) یک تابع اعداد سریالی دودویی می باشد که اطمینان می دهد تنها یک سطح آرمانی در هر هدف بایستی انتخاب گردد؛ d_{ij}^+ و d_{ij}^- به ترتیب حداکثر انحراف مثبت و منفی مجاز از سطح آرمانی Jام در هدف iام می باشد. پس فرمول برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی فازی را می توان بصورت ذیل بیان نمود:

$$Maximize\ f(\mu) = \sum_{i=1}^{n} w_i \mu_i$$

$$s.t.\ \ \mu_i \le 1 - \sum_{j=1}^{m} \frac{G_i(x) - \tilde{g}_{ij}}{d_{ij}^-} S_{ij}(B), \qquad i=1,2,\ldots,n$$

$$\mu_i \le 1 - \sum_{j=1}^{m} \frac{\tilde{g}_{ij} - G_i(x)}{d_{ij}^{+}} S_{ij}(B), \qquad i=1,2,\ldots,n$$

$$X \in F \ (F \ is \ a \ feasible \ set),$$

$$\mu_i \ge 0, \qquad i=1,2,\ldots,n$$

رابطه ۹)

یافته های تحقیق به شرح زیر می باشد:

الف) تعیین وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای فازی

براساس سوپرماتریس، مراحل محاسبه وزن مؤلفه‌ها عبارتند از:

مرحله اول: جهت تجمیع نظرات خبرگان، از مقایسات زوجی پاسخ‌دهندگان میانگین هندسی گرفته می شود. برای راحتی کار زیرمعیارهای احصا شده را در جدول زیر جمع آوری و کدبندی می گردد:

جدول شماره (۱): کدبندی معیارها و زیرمعیارهای مساله

معیار	زیرمعیار	کد
هزینه	هزینه سخت افزار	A1
	هزینه نرم افزار	A2
	اموزش کارکنان	A3
	هزینه تعمیر	A4
	حقوق و دستمزد	A5
ارزش افزوده	کیفیت خدمات	D1
	کیفیت تولیدات	D2
	بازدهی تجهیزات	D3
	بازدهی کارکنان	D4
	ذخیره موجودی	D5
ریسک	شدت	B1
	احتمال وقوع	B2
	احتمال تشخیص	B3
قابلیت اطمینان	قابلیت اطمینان	E1
	دسترسی	E2
	قابلیت تعمیرپذیری	E3
	قابلیت نگهداری	E4
	ایمنی تجهیزات	E5
	صدمات کارکنان	E6
	اثرات محیطی	E7
زمان	زمان	F1
	رخداد	F2
	کشف	F3
امکان پذیری	نیروی انسانی	C1
	امکانات	C2
	تکنولوژی	C3
	پذیرش از سوی کارکنان	C4
	پذیرش از سوی مدیران	C5
	پذیرش از سوی سهامداران	C6
	عملی بودن از لحاظ تکنیکی	C7

در اولین فاز این پژوهش معیارها با مطالعه ادبیات پیشین احصا گردید که در جدول شماره (۱) در بخش قبلی آمده است. پس از آن بر اساس داده های استخراج شده از ادبیات تحقیق، لازم است وزن معیارها بدست آید. بر اساس متدولوژی تحقیق این کار با استفاده از روش ANP فازی انجام می پذیرد.

به منظور دستیابی به هدف تحقیق پرسشنامه‌های مقایسات زوجی طراحی و بین خبرگان توزیع شد. با توجه به رویکرد فازی در این پژوهش، از عبارات کلامی و اعداد فازی مندرج در جدول شماره (۲) استفاده گردید.

جدول شماره (۲): طیف فازی و عبارت کلامی متناظر

کد	عبارت کلامی	عدد فازی
۱	ترجیح برابر	(۱، ۱، ۱)
۲	ترجیح کم تا متوسط	(۱/۵، ۱/۵، ۱)
۳	ترجیح متوسط	(۲، ۲، ۱)
۴	ترجیح متوسط تا زیاد	(۴، ۳/۵، ۳)
۵	ترجیح زیاد	(۴/۵، ۴، ۳)
۶	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	(۵، ۴/۵، ۳)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(۶، ۵/۵، ۵)
۸	ترجیح خیلی زیاد تا کاملا زیاد	(۷، ۶، ۵)
۹	ترجیح کاملا زیاد	(۹، ۷، ۵)

در این قسمت جداول مقایسات زوجی انجام شده و بر اساس روش اصلاح شده سمی و همکارانش که در سال ۲۰۰۹ بیان گردید وزن مؤلفه‌ها بدست آورده شده و بر اساس آن اولویت‌بندی می‌شوند.

مرحله دوم: محاسبه بردار ویژه: برای محاسبه بردار ویژه هر یک از جداول مقایسات زوجی تجمیع شده، طبق رابطه زیر از روش لگاریتمی حداقل مجذورات، استفاده می‌شود:

$$W_k^s = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^s\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^m\right)^{1/n}} \quad , s \in \{l, m, u\}$$ رابطه ۱۰)

مرحله سوم: تشکیل ماتریس‌های بردار ویژه (w_j)؛ این ماتریس‌ها شامل بردارهای ویژه‌ای هستند که از مقایسات زوجیِ مرحله دوم به‌دست آمده‌اند.

مرحله چهارم: محاسبه اوزان نهایی سطوح؛ برای محاسبه وزن نهایی مؤلفه‌های هر سطح (w_i^*) می‌بایست حاصلضرب ماتریس بردار ویژه روابط درونی در بردار ویژه همان سطح را در وزن نهایی سطح بالاتر ضرب کنیم.

$$W_i^* = W_{ii} \times W_{i(i-1)} \times W_{i-1}^*$$ رابطه ۱۱)

در صورتیکه برای یک سطح ماتریس w_{ii} وجود نداشت، لازم است یک ماتریس یکه هم درجه جایگزین آن گردد. به عبارت دیگر می‌بایست از فرمول زیر استفاده نمایید.

$$W_i^* = I \times W_{i(i-1)} \times W_{i-1}^*$$ رابطه ۱۲)

جداول و نمودارهای زیر اوزان نهایی را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۳): ماتریس اوزان نهایی معیار ها نسبت به هدف

مولفه	وزن فازی نهایی	وزن قطعی نهایی مولفه‌ها
ریسک	(۰/۲۹۶، ۰/۲۴۴، ۰/۱۹۵)	۰/۲۴۴

هزینه	(۰/۱۰۵ ،۰/۱۴۱ ،۰/۱۷۱)	۰/۱۴
ارزش افزوده	(۰/۲۶۶ ،۰/۳۴۵ ،۰/۴۲۸)	۰/۳۴۶
قابلیت اطمینان	(۰/۰۹۲ ،۰/۱۱۷ ،۰/۱۴۶)	۰/۱۱۸
زمان	(۰/۰۷۸ ،۰/۰۹۹ ،۰/۱۲۵)	۰/۱
قابلیت اجرا	(۰/۰۴۵ ،۰/۰۵۴ ،۰/۰۷۳)	۰/۰۵۶

جدول شماره (۴): ماتریس اوزان نهایی زیر معیار ها نسبت به هدف

مولفه	وزن فازی نهایی	وزن قطعی نهایی مولفه
A1	(۰/۰۴۷ ،۰/۰۷۵ ،۰/۱۱۲)	۰/۰۷۷
A2	(۰/۰۱۵ ،۰/۰۲۱ ،۰/۰۳)	۰/۰۲۲
A3	(۰/۰۴۶ ،۰/۰۶۷ ،۰/۰۹۲)	۰/۰۶۸
A4	(۰/۰۲۲ ،۰/۰۳۱ ،۰/۰۴۵)	۰/۰۳۲
A5	(۰/۰۳۳ ،۰/۰۵ ،۰/۰۶۸)	۰/۰۵
B1	(۰/۰۵۷ ،۰/۰۸۶ ،۰/۱۱۷)	۰/۰۸۶
B2	(۰/۰۱۷ ،۰/۰۲۶ ،۰/۰۳۵)	۰/۰۲۶
B3	(۰/۰۱۹ ،۰/۰۲۹ ،۰/۰۴)	۰/۰۲۹
C1	(۰/۰۶۲ ،۰/۰۹۴ ،۰/۱۳۶)	۰/۰۹۶
C2	(۰/۰۲۶ ،۰/۰۳۶ ،۰/۰۶۲)	۰/۰۳۷
C3	(۰/۰۲۶ ،۰/۰۳۸ ،۰/۰۵۸)	۰/۰۳۹
C4	(۰/۰۲۵ ،۰/۰۴ ،۰/۰۵۷)	۰/۰۴۱
C5	(۰/۰۴۱ ،۰/۰۶۵ ،۰/۰۹۳)	۰/۰۶۶
C6	(۰/۰۲ ،۰/۰۳۲ ،۰/۰۴۵)	۰/۰۳۲
C7	(۰/۰۲۸ ،۰/۰۴ ،۰/۰۵۴)	۰/۰۴۱
D1	(۰/۰۲۱ ،۰/۰۳۳ ،۰/۰۴۷)	۰/۰۳۳
D2	(۰/۰۱۳ ،۰/۰۲ ،۰/۰۳)	۰/۰۲
D3	(۰/۰۱۴ ،۰/۰۱۹ ،۰/۰۳۱)	۰/۰۲
D4	(۰/۰۱۴ ،۰/۰۲۲ ،۰/۰۳۳)	۰/۰۲۳
D5	(۰/۰۱۴ ،۰/۰۲۴ ،۰/۰۳۴)	۰/۰۲۴
E1	(۰/۰۰۷ ،۰/۰۱ ،۰/۰۱۵)	۰/۰۱
E2	(۰/۰۰۵ ،۰/۰۰۷ ،۰/۰۱۲)	۰/۰۰۷
E3	(۰/۰۰۷ ،۰/۰۱۱ ،۰/۰۱۵)	۰/۰۱۱
E4	(۰/۰۱۸ ،۰/۰۲۹ ،۰/۰۴۳)	۰/۰۲۹
E5	(۰/۰۱ ،۰/۰۱۶ ،۰/۰۲۳)	۰/۰۱۶
E6	(۰/۰۰۶ ،۰/۰۰۹ ،۰/۰۱۴)	۰/۰۰۹
E7	(۰/۰۱۱ ،۰/۰۱۷ ،۰/۰۲۵)	۰/۰۱۷
F1	(۰/۰۲۳ ،۰/۰۳۲ ،۰/۰۵۱)	۰/۰۳۴
F2	(۰/۰۰۳ ،۰/۰۰۴ ،۰/۰۰۶)	۰/۰۰۴
F3	(۰/۰۱۲ ،۰/۰۱۷ ،۰/۰۲۷)	۰/۰۱۸

ب) وزن معیارها برای هر دستگاه

ابتدا وزن هر معیار را برای هر کدام از معیارها با استفاده از روش تحلیل شبکه ای فازی محاسبه کرده و سپس امتیاز هر دستگاه را با توجه به نظر خبرگان احصا و در وزن بدست آمده روش تحلیل شبکه ای فازی ضرب می گردد. جدول شماره (۵) نشان می‌دهد که معیار ریسک وزن بیشتری را دارد:

جدول شماره (۵): وزن معیارها برای هر تجهیز

	ریسک	زمان	قابلیت اطمینان	ارزش افزوده و کارایی	هزینه	قابلیت اجرا
هموژنایزر	۰/۲۹۰	۰/۲۹۰	۰/۲۸۰	۰/۲۶۰	۰/۲۱۰	۰/۱۷
اورکپر	۰/۴۰۰	۰/۲۸۰	۰/۱۲۰	۰/۲۱۰	۰/۳۲۰	۰/۳۷
سپراتور	۰/۱۱۰	۰/۱۷۰	۰/۴۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۲۰	۰/۱۸
سیمر	۰/۲۰۰	۰/۲۶۰	۰/۲۰۰	۰/۳۳۰	۰/۳۵۰	۰/۲۸
وزن	۰/۲۴۰	۰/۱	۰/۱۲	۰/۳۴۶	۰/۱۴	۰/۰۶

حال برای به دست آوردن وزن هر تجهیز، وزن هر معیار در سطرهای ماتریس فوق ضرب می‌شود. بعنوان مثال برای وزن هموژنایزر داریم:

۰/۲۴۰×۰/۲۹۰+۰/۱×۰/۲۹۰+۰/۱۲×۰/۲۸۰+۰/۳۴۶×۰/۲۶۰+۰/۱۴×۰/۲۱۰+۰/۰۶×۰/۱۷۰=۰/۲۶۱۷۶

سایر اوزان برای تجهیزات نیز به طور مشابه محاسبه می گردد که نتایج آن در جدول ذیل آورده شده است.

جدول شماره (۶): اوزان محاسبه شده تجهیزات منتخب

هموژنایزر	اورکپر	سپراتور	سیمر
۰/۲۶۱۷۶	۰/۲۷۸۰۶	۰/۱۸۸۲۰	۰/۲۷۷۹۸

حال در فاز نهایی پژوهش برای رتبه بندی نهایی از طریق برنامه ریزی آرمانی مساله حل می گردد.

ج) برنامه ریزی آرمانی چندانتخابی فازی

در مدل آرمانی پژوهش حاضر سه آرمان مدنظر قرار گرفته شده است :

۱- بیشینه سازی امتیازهای نهایی نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات

$$S_{FANP,PM}X_{MTBF,PM} + S_{FANP,PM}X_{FANP,RCM} + S_{FANP,RCM}X_{FANP,PM} + S_{FANP,CBM}X_{FANP,CBM} + S_{FANP,TBM}X_{FANP,TBM} + S_{FANP,CM}X_{FANP,CM} + S_{FANP,DOM}X_{FANP,DOM} + d^-_{FANP} + d^+_{FANP} = T_{FANP}$$ رابطه ۱۳)

۲- کمینه سازی زمان اختصاص یافته برای نگهداری و تعمیرات تجهیزات(MTTR)

$$S_{MTTR,PM}X_{MTTR,PM} + S_{MTTR,PM}X_{MTTR,RCM} + S_{MTTR,RCM}X_{MTTR,PM} + S_{MTTR,CBM}X_{MTTR,CBM} + S_{MTTR,TBM}X_{MTTR,TBM} + S_{MTTR,CM}X_{MTTR,CM} + S_{MTTR,DOM}X_{MTTR,DOM} + d^-_{MTTR} + d^+_{MTTR} = T_{MTTR}$$ رابطه ۱۴)

Error! No text
(1-st

۳- بیشینه سازی متوسط زمان خرابی تجهیزات(MTBF)

$$S_{MTBF,PM}X_{MTBF,PM} + S_{MTBF,PM}X_{MTBF,RCM} + S_{MTBF,RCM}X_{MTBF,PM} + S_{MTBF,CBM}X_{MTBF,CBM} + S_{MTBF,TBM}X_{MTBF,TBM} + S_{MTBF,CM}X_{MTBF,CM} + S_{MTBF,DOM}X_{MTBF,DOM} + d^-_{MTBF} + d^+_{MTBF} = T_{MTBF}$$ رابطه ۱۴)

همچنین تابع هدف مساله به صورت زیر می باشد:

$$\min Z = \sum_k P_k(w_k d_k^-, w_k d_{lk}^+) + \sum_j P_j(d_j^-, d_j^+)$$

$$Maximize\ f(\mu) = \sum_{i=1}^{n} w_i \mu_i$$

$$Mazimize\ Z = w_1 P_1(d_{FANP}^{-}) + w_2 P_2(d_{MTTR}^{+}) + w_3 P_3(d_{MTBF}^{-}) \quad \text{رابطه ۱۵)}$$

تعریف متغیرها و پارامترها:

$S_{\mathrm{FANP},i}$ امتیاز بدست آمده از iامین استراتژی نت در FANP

$S_{\mathrm{MTBF},i}$ امتیاز بدست آمده از iامین استراتژی نت در MTBF

$S_{\mathrm{MTTR},i}$ امتیاز بدست آمده از iامین استراتژی نت در MTTR

X_i استراتژی iام

W_i وزن k امین معیار

T_i کل بودجه/ زمان در دسترس برای نت

وزن معیارها که از روش تحلیل شبکه ای فازی بدست آمد پس امتیاز کلی مساله با حل مساله چندانتخابی فازی آرمانی با استفاده از نرم افزار لینگو ده حل می گردد. داریم :

جدول شماره (۷): امتیاز کلی هر تجهیز برای انواع نت در مساله

	DOM	CM	TBM	CBM	RCM	PM
هموژنایزر	۰/۰۳۸۰۸	۰/۱۱۷۶	۰/۳۵۹۸۴	۰/۱۳۲۱۶	۰/۱۱۶	۰/۲۷۸۴
اورکپر	۰/۰۸۲۸۸	۰/۱۷۹۲	۰/۲۶۰۶۴	۰/۰۵۶۶۴	۰/۱۴۲	۰/۲۸۴
سپراتور	۰/۰۴۰۳۲	۰/۱۱۷۲	۰/۲۵۶۸	۰/۱۸۸۸	۰/۲۸۸	۰/۱۰۵۶
سیمر	۰/۰۶۲۷۲	۰/۱۹۶	۰/۱۵۶۷۲	۰/۰۹۴۴	۰/۳۰۴	۰/۱۹۲

پس مشخص گردید برای دستگاه هموژنایزر نت منتخب، TBM می باشد و برای دستگاه اورکپر PM ، برای دستگاه‌های سپراتور و سیمر نیز RCM می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

انتخاب سیاست های نگهداری و تعمیرات یک رویکرد تصمیم گیری چند معیاره است. معیارهایی که اغلب در نظر گرفته می‌شود، هزینه و قابلیت اطمینان و امکان پذیری و ارزش افزوده هستند. به کارگیری سیستم نگهداری و تعمیراتِ خاصِ 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 تامین، کیفیت محصول، قابلیت اطمینان، چابکی سازمان و عواملی از این دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت که هر یک از آن‌ها محلی از تامل خواهد بود .از این رو می‌توان به نقش مهم و تأثیر گذار استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات بر روی کسب و کار یک بنگاه اقتصادی پی برد. در صورتی که تمامی فعالیت‌ها و عملیات نگهداری در قالب یک سیستم تعریف شود، موجب فعالیت و کار بی وقفه ماشین آلات و دستگاه در سیستم با کمترین هزینه مصرفی و تعمیراتی است. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، در مجموع، بخش عمده‌ای از هزینه‌های تولید را در بر می‌گیرد. به همین منظور انتخاب نوع استراتژی مناسب برای افزایش بهره وری و طول عمر دستگاه ها ضروری است. نگهداری و تعمیرات یک روش مدیریت ریسک است که برای به حداکثر رساندن تولید و به حداقل رساندن تلفات و ضایعات استفاده می شود. انتخاب یک استراتژی نگهداری موفق نیاز به دانش خوبی در مورد رفتار شکست دستگاه و شیوه های مدیریت تعمیر و نگهداری دارد. در این پژوهش از طریق عوامل موثر بر عملکرد و عمر مفید تجهیزات در صنعت تولید پودر شیر در مشهد و روش های کمی تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه ریزی چند انتخابی فازی اقدام به رتبه بندی استراتژی نت در چهار دستگاه مهم در این شرکت

نمود و همچنین استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات برای هر دستگاه مورد بررسی قرار گرفت به این صورت که جهت دستگاه هموژنایزر استراتژی نگهداری مبتنی بر زمان (TBM)، جهت دستگاه اورکپر استراتژی نگهداری پیشگیرانه (PM) و جهت دستگاه‌های سپراتور و سیمر استراتژی نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) دارای بالاترین اولویت می باشد در حالی که این استراتژی جهت دو دستگاه دیگر دارای اولویت پایین‌تری می‌باشد. همچنین با توجه به مقادیر اوزان بدست آمده برای هر معیار مشخص است که معیار ارزش افزوده بیشترین اهمیت را دارد و پس از آنها معیارهای ریسک، هزینه، قابلیت اطمینان، زمان و در نهایت امکان‌پذیری در رتبه‌های بعدی وزن معیارهای انتخاب استراتژی نت قرار دارند.

در این بخش پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آینده توصیه می‌شود:

۱- استفاده از تکنیک های کمی تصمیم گیری خاکستری و مدل برنامه ریزی آرمانی برای مساله انتخاب استژاتژی مناسب نگهداری و تعمیرات صنایع دیگر و مقایسه نتایج آن با هم

۲- سنجش تاثیر انتخاب هر استراتژی نت بر عملکرد زنجیره تامین سبز در صنعت تولید پودر شیر با استفاده از تحلیل پوششی داده ها و تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره فازی

۳- ارائه مدلی برای یکپارچه سازی برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات و تعیین نقطه سفارش قطعات یدکی لازم برای دستگاه ها با برنامه ریزی آرمانی

۴- ارائه مدلی برای برنامه ریزی و زمان بندی تعمیرات تجهیزات با الگوریتم های فراابتکاری

۴- منابع

1. Aghaei, M., and Fazli, S. (2012). "Applying the DEMATEL and ANP Combined Approach to Selecting Proper Maintenance Strategy (Case Study: Automotive Industry)". *Journal of Industrial Management Prespective*, *2*(6), 89-107.
2. Ahmad, R., and Kamaruddin, S. (2012). "An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application." *Computers & Industrial Engineering* 63(1): 135-149.
3. Al-Najjar, B. and Alsyouf, I. (2003). "Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making." *International Journal of Production Economics* 84(1): 85-100.
4. Bankian-Tabrizi, B., Shahanaghi, K., and Saeed Jabalameli, M. (2012). "Fuzzy multi-choice goal programming." *Applied Mathematical Modelling* 36(4): 1415-1420.
5. Bashiri, M., Badri, H., and Hejazi, T. H. (2011). "Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method." *Applied Mathematical Modelling* 35(1): 152-164.
6. Bevilacqua M, and Braglia M. (2000). "The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection." *Reliability Engineering & System Safety* 70(1):71-83.
7. Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., and Kong, S. (2005). "Implementation of total productive maintenance: A case study." *International Journal of Production Economics* 95(1): 71-94.
8. Chang, C.-T. (2007). "Multi-choice goal programming." *Omega* 35(4): 389-396.
9. Charnes, A., and Cooper, W. W. (1961). *Management models and industrial applications of linear programming*.
10. Chung, S.-H., H.I. Lee, A., and Pearn, W. L. (2005). "*Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator.*" (96).
11. Dağdeviren, M., Yüksel, İ., & Kurt, M. (2008). "A fuzzy analytic network process (ANP) model to identify faulty behavior risk (FBR) in work system." *Safety Science* 46(5): 771-783.
12. Dargi, A., Anjomshoae, A., Galankashi, M. R., Memari, A., and Tap, M. B. M. (2014). "Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach." Procedia Computer Science 31: 691-700.

13. de Almeida, A. T., & Bohoris, G. A. (1995). Decision theory in maintenance decision making. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *1*(1), 39-45.
14. Do, P., Voisin, A., Levrat, E., & Iung, B. (2015). A proactive condition-based maintenance strategy with both perfect and imperfect maintenance actions. *Reliability Engineering System Safety*, 133, 22-32.
15. Ebeling, C. E. (1997). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. New York: Waveland Press.
16. Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., and Probert, S. D. (2006). "Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture." *Applied Energy* 83(11): 1235-1248.
17. Faddoul, R., Raphael, W., & Chateauneuf, A. (2018). Maintenance optimization of series systems subject to reliability constraints. Reliability Engineering & System Safety, 180, 179–188. doi:10.1016/j.ress.2018.07.016
18. Feyzi, A., & Sadeh, E. (2017). "Prioritizing Technological Performance of Iran's Automotive Companies using PANDA-FANP-FVIKOR Approach." *Scientific Journal Management System 12*(41): 29-46.
19. Garbatov, Y., Sisci, F., & Ventura, M. (2018). Risk-based framework for ship and structural design accounting for maintenance planning. Ocean Engineering, 166, 12–25. doi:10.1016/j.oceaneng.2018.07.058
20. Gogus, O., and Boucher, T. O. (1997). "A consistency test for rational weights in multi-criterion decision analysis with fuzzy pairwise comparisons." *Fuzzy Sets and Systems 86*(2): 129-138.
21. Hemmati, N., Rahiminezhad Galankashi, M., Imani, D. M., & Farughi, H. (2018). "Maintenance policy selection: a fuzzy-ANP approach". *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(7), 1253-1268.
22. Hosseini, S. (1997). *Systematic Maintenance Planning and Introduction to TPM*. Tehran: Industrial Management Institute.
23. Jafari, M., & Faramarzi, M. (2016). Reliability Centered Maintenance. *Cement Technology*, *100*, 123-131.
24. Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2016). "SWOT analysis for Planned Maintenance strategy-a case study." *IFAC-PapersOnLine* 49(12): 674-679.
25. Kahraman, C., Ruan, D., & Doğan, I. (2003). "Fuzzy group decision-making for facility location selection." *Information Sciences* 157: 135-153.
26. Klutke, G.-A., Kiessler, P. C., and Wortman, M. A. (2003). "A Critical Look at the Bathtub Curve." *IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY* 52(1): 125-129.
27. Kumar, G., and Maiti, J. (2012). "Modeling risk-based maintenance using fuzzy analytic network process." *Expert Systems with Applications* 39(11): 9946-9954.
28. Kumar, S. R., Dinesh, K., and Pradeep, K. (2005). "FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model." *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 11(4): 359-374.
29. Lee, J., Ni, J., Djurdjanovic, D., Qiu, H., and Liao, H. (2006). "Intelligent prognostics tools and e-maintenance." *Computers in Industry 57*(6): 476-489.
30. Liao, C.-N. (2009). "Formulating the multi-segment goal programming." *Computers & Industrial Engineering*, *56*(1): 138-141.
31. Makan, M. F., Vasili, M., & Ghandehari, M. (2013). Selecting a risk-based proper maintenance strategy using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *2nd National Conference on Industrial Engineering*.

32. Martinod, R. M., Bistorin, O., Castañeda, L. F., & Rezg, N. (2018). Maintenance policy optimisation for multi-component systems considering degradation of components and imperfect maintenance actions. Computers & Industrial Engineering, 124, 100–112.
33. Meade, L. M., & Presley, A. (2002). "R&D project selection using the analytic network process." *IEEE transactions on engineering management* 49(1): 59-66.
34. Mikhailov, L., & Singh, M. G. (2003). "Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 33(1): 33-41.
35. Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*: Industrial Press Inc.
36. Nikabadi, M. S., Khanaposhtani, H. F., Eftekhari, H., & Sadabadi, A. A. (2016). Using hybrid approach FA, AHP and TOPSIS for selecting and ranking the appropriate maintenance strategies. *Industrial Management Studies*, *13*(39), 35-62.
37. Orumie, U. C., and Ebong, D. (2014). "A glorious literature on linear goal programming algorithms." *American Journal of Operations Research* 4(02): 59.
38. Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., and Eren, T. (2017). "A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78: 1410-1423.
39. Pariazar, M., Zaeri, M. S., & Shahrabi, J. (2007). *Selection of optimum maintenance strategies with factor analysis and analytic hierarchy process*. Paper presented at the Iran Data Mining Conference .
40. Partovi, F. Y. (2001). "An analytic model to quantify strategic service vision." International Journal of Service Industry Management 12(5): 476-499.
41. Pham, H., and Wang, H. (1996). "Imperfect maintenance." *European Journal of Operational Research* 94(3): 425-438.
42. Pourjavad, E., and Shirouyehzad, H. (2014). "Analysing maintenance strategies by FANP considering RAM criteria." *Int. J. Logistics Systems and Management* 18(3): 302-321.
43. Rabbani, A., Zare, H., and Behnia, F. (2014). "Providing a proper model for the implementation of maintenance system in the continuous production lines considering decision making models and fuzzy goal programming". *Industrial Management Studies*, 11(31), 85-100.
44. Rouyendegh, B. D., and Saputro, T. E. (2014). "Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 116: 3957-3970.
45. Safaei, N., and Jardine, A. K. S. (2018). Aircraft routing with generalized maintenance constraints. Omega, 80, 111–122.
46. Shafiee Nick Abadi, M., Farajpour Khanaposhtani, H., Eftekhari, H., and Sadadadi, A. (2016). "Using hybrid approach FA, AHP and TOPSIS for selecting and ranking the appropriate maintenance strategies". *Industrial Management Studies*, 13(39), 35-62.
47. Semih, Önüt, Selin Soner Kara and Elif Is_ik. (2009). "Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company", International Journal of Expert Systems with Applications 36, 3887–3895.
48. Shin, J.-H., and Jun, H.-B. (2015). "On condition-based maintenance policy." *Journal of Computational Design and Engineering* 2(2): 119-127.
49. Shyjith, K., Ilangkumaran, M., and Kumanan, S. (2008). "Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry." *Quality in Maintenance Engineering* 14(4): 375-386.
50. Siew-Hong, D., and Kamaruddin, S. (2012). Selection of Optimal Maintenance Policy by Using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method. presented at the 2012. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Istanbul Turkey: 435-443.

51. Sullivan, G. P., Pugh, R., Melendez, A. P., and Hunt, W. (2004). *O&M Best Practices-A Guide to Achieving Operational Efficiency (Release 2.0)*. U.S: Pacific Northwest National Laboratory
52. Swanson, L. (2001). "Linking maintenance strategies to performance." *International Journal of Production Economics* 70(3): 237-244.
53. Vishnu, C. R., and Regikumar, V. (2016). "Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study." *Procedia Technology* 25: 1080-1087.
54. Waeyenbergh, G., and Pintelon, L. (2004). "Maintenance concept development: A case study." *International Journal of Production Economics* 89(3): 395-405.
55. Wang, L., Chu, J., and Wu, J. (2007). "Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process." *International Journal of Production Economics* 107(1): 151-163.
56. Wey, W.-M., and Wu, K.-Y. (2007). "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation." *Mathematical and Computer Modelling* 46(7): 985-1000.
57. Wu, W.-W., and Lee, Y.-T. (2007). "Selecting knowledge management strategies by using the analytic network process." *Expert Systems with Applications* 32(3): 841-847.
58. Yam, R., Tse, P., Li, L., & Tu, P. (2001). "Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 17*(5): 383-391.
59. Yen, J., & Langari, R. (1999). *Fuzzy logic: intelligence, control, and information* (1): Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
60. Yurdakul, M. (2003). "Measuring long-term performance of a manufacturing firm using the Analytic Network Process (ANP) approach." *International Journal of Production Research* 41(11): 2501-2529.
61. Zimmermann, H. J. (1978). "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions." *Fuzzy Sets and Systems* 1(1): 45-55.

A Novel Method for Selecting Optimum Maintenance Strategy Using Fuzzy Analytic Network Process and Fuzzy Multi-Choice Programming Approach

Ali Mohtashami (Corresponding author)
Associate Professor, Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Email: mohtashami07@gmail.com
Iman Zohreie
MSc in industrial management, Binaloud institute of higher education, Mashhad, Iran
Email: izohreie@gmail.com

Abstract
Maintenance systems are critical to achieving the goals of the organization. The main purpose of these systems is to optimize machinery's ability to maximize production and reduce its erosion and malfunction. Accordingly, one of the main concerns of managers in companies is selecting the appropriate strategy for maintenance of equipment and machinery. This research presents novel method for selecting optimal maintenance strategy based on Fuzzy Analytical Network Process and Fuzzy Multi-Choice Goal Programming. The method of calculating the fuzzy weights of elements is explained by FANP method and then by de-fuzzy obtained weights and writing the ideals and the objective function and applying the FMCGP approach maintenance strategies will be prioritized. Finally, in the form of a case study, the optimal maintenance strategy among Preventive Maintenance, Reliability base maintenance, Condition base maintenance, Time base maintenance, corrective maintenance and Design-out maintenance for the four selected machines in Mashhad Milk Powder Company is considered. In this regard, by literature review six criteria and thirty sub-criteria has been taken and paired comparison questionnaire was distributed among the ten experts and their views were aggregated and geometric mean was taken from them, and by the FANP approach, the weight of the elements is calculated. Since the weight of the criteria is obtained from FANP method, then the general score of the problem is obtained by solving FMCGP. The present research can provide a comprehensive view of decision makers, especially maintenance managers, and assist them in selecting optimal maintenance strategy.

Keywords: Maintenance Strategy, Fuzzy ANP, Fuzzy MCGP, Maintenance.