فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال یازدهم، شماره ۳۱، زمستان ۹۲
صفحات ۱۰۰ - ۸۵

ارائه الگوی مناسب جهت پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته با رویکرد مدل های تصمیم گیری و برنامه‌ریزی آرمانی فازی

علی ربانی* - حبیب زارع - فروغ بهنیا*****

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱/ ۱۸ تاریخ پذیرش : ۹۲/۱۰/۱)

چکیده

تغییر نگرش مدیران و پرسنل از تفکر قدیمی "هر گاه خراب شد تعمیر می شود" به سمت جستجو برای انتخاب مناسب ترین برنامه نت، می تواند به سود دهی واحدهای اقتصادی منجر شود.

پژوهش حاضر با تکیه بر برنامه ریزی آرمانی فازی در صدد انتخاب راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات تجهیزات کلیدی در صنایع کاغذ سازی می باشد. بر این اساس برای تعدادی از پمپ های آب، روغن و خمیر کاغذ در شرکت تولیدی کاغذ کسری به عنوان مجموعه ای از کلیدی ترین تجهیزات تولیدی شرکت، سیاست گذاری بهینه نت صورت گرفته است. 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 می شود ساختار شبکه ای 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.

کلمات کلیدی: راهبردهای نگهداری و تعمیرات، برنامه ریزی آرمانی، مدل های تصمیم گیری چند شاخصه، تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن.

---

* مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دهدشت
** استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه یزد
*** کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی از جهاد دانشگاهی یزد(نویسنده مسئول) Behnia.ie@gmail.com

مقدمه

بیان مسئله و اهمیت آن

برای موفقیت وادامه حیات سازمانها، باید روشها اصلاح شده و در روندانجام امور بهبودی حاصل گردد.سیستمهای نگهداری وتعمیرات بر بودجه و سوددهی سازمان به طور مستقیم تاثیر میگذارند، ولی عدم برنامه‌ریزی صحیح نگهداری و تعمیرات در سازمان، سبب کاهش عمر تجهیزات میگردد(طهماسبی،۱۳۸۷).

تمام مصنوعات بشری و دستگاه ها دارای عمر محدود می باشند و هر لحظه امکان خرابی و درنتیجه از کار افتادگی دستگاه یا حتیب کل سیستم وجود دارد. می دانیم که یک قابلیت اطمینان و کارکرد بهینه برای هر دستگاه وجود دارد. اگر بخواهیم این مقدار را از حدی بالاتر ببریم بایستی هزینه های بسیار زیادی متحمل شویم که در این صورت محصولات تولیدی جهت تولید به صرفه نخواهند بود. راه حل های بهتری هم وجود دارد. می توان با یک برنامه ریزی دقیق و مستمر کاری کرد که از همین امکانات موجود حداکثر بهره وری حاصل گردد به طوریکه دستگاه ها با حداکثر کارایی و قابلیت دسترسی کار کنند (هورا،۱۹۸۷). بر این اساس انتخاب یک سیاست بهینه نگهداری و تعمیرات می تواند چاره ساز واحد های صنعتی باشد تا با کاهش افت ناگهانی تجهیزات، تولید و کارایی افزایش یابد با توجه به اینکه دیگر محدودیت ها از قبیل هزینه و ساعت کاری نیروی انسانی کاهش یابد. استراتژی‌های متفاوتی برای نگهداری و تعمیرات بیان شده است که بسته به صنعت مربوطه هر کدام از مزایا ومعایبی برخوردارند.در این تحقیق به بررسی سه نوع استراتژی اصلاحی، پیشگیرانه و پیشگویانه پرداخته شده است.

صنعت کاغذ یکی از صنایع مهم کشور می باشد که به چرخه بازیافت کمک بسیاری می کند. لذا توجه به این صنعت و رونق آن می تواند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. با توجه به اینکه خط تولید این صنعت پیوسته است از کار افتادن یک واحد منجر به قطع کل تولید می گردد، بنابراین داشتن یک برنامه مناسب نگهداری و تعمیرات می‌تواند کمک بسیار زیادی در جهت عدم کاهش تولید و افزایش بهره وری باشد. بدین منظور کارخانه کاغذ کسری که از لحاظ کیفیت و کمیت تولید جایگاه بالایی را در کشور دارد برای بررسی انتخاب گردیده است. چون این صنعت از قطعات و تجهیزات متعددی تشکیل شده است لذا با توجه به نظر خبرگان و کارشناسان این صنعت و همچنین اطلاعات موجود از سابقه ی توقفات، نقاط بحرانی شناسایی شدند و در این تحقیق در اولویت برای بررسی و انتخاب بهترین راهبرد نگهداری و تعمیرات قرار می گیرند.

هدف پژوهش

هدف کلی از انجام این پژوهش این است که به مدیران، مهندسان فنی و کارشناسان نشان داده شود که با تمرکز بر روی نگهداری و تعمیرات دستگاه ها و پیاده سازی منظم آن می توان به سود دهی یک واحد صنعتی کمک نمود و محصولی با کیفیت بالاتر وارد بازار رقابتی کنونی نمود. لذا هدف ویژه تحقیق این است که برای یکی از کارخانجات کاغذ سازی راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات تعیین شود.

پیشینه تحقیق

فرامرز سپری و اسدی کیاپی (۱۳۹۱)برای اولویت بندی نمودن تجهیزات جهت تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) استفاده کردند. این روش روی یک شبکه نمونه (شبکه توزیع امور شهرستان نکاء استان مازندران) اعمال شده است.

شهانقی و جعفریان (۱۳۸۷) در مقاله ای به بررسی موضوع انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات بر مبنای ریسک در صنعت نفت پرداخته و با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک مدل تصمیم گیری ارائه داده‌اند.

ابراهیمی و همکاران(۱۳۸۹) در تحقیقی، ارزیابی و مقایسه راهبرد های نگهداری و تعمیرات در شرایط عدم قطعیت را با استفاده از شیوه‌ی تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی گروهی انجام دادند. این تحقیق در شرکت تولیدی صنعتی کارا نوین نیکو پیاده سازی شده است.

هونگزیا زی و همکاران[1](۱۳۴۳:۲۰۱۳) مطالعه‌ی سیستماتیکی با روش فرایند سلسله مراتبی فازی بر اساس برنامه‌ریزی آرمانی در جهت انتخاب راهبردهای نگهداری در ترانسفورماتورها انجام دادند.

استفانو ایریس و سرجیو کاوالری[2](۳۷:۲۰۱۳) در تحقیقی مدلی براساس فرایند سلسله مراتبی ارائه دادند که این امکان را برای مدیران نگهداری فراهم می کند تا بتوانند با ابزارهای مناسب انتخاب های مرتبط را اولویت بندی کنند. این مدل در دو واحد صنعتی تست شده است.

کونال جین و همکاران[3](۲۶۹:۲۰۱۳) در مقاله ای به دنبال انتخاب راهبرد بهینه نگهداری و نوسازی در بزرگ راه های چند خطه می باشند. آنها این کار را با مقایسه آلترناتیوهای گوناگون نگهداری و نوسازی به وسیله ابزار مدیریت و توسعه بزرگ راه (HDM-4) در بزرگ راه های چند خطه در شمال هند انجام دادند.

1. HongxioXie&at-al
2. Stefano Ierace& Sergio Cavalieri
3. Kunaljain& at-al

قاضی نظامی و همکاران[1](۲۰۱۳) در مقاله ای بر اساس رویکرد پایداری به انتخاب راهبرد نگهداری در یک واحد تولیدی می پردازند. در قدم اول با استفاده از مفهوم تحلیل عاملی عوامل اصلی در هر کدام از ارکان پایداری مشخص می شود و در قدم دوم از تکنیک ویکور فازی برای انتخاب مناسب ترین راهبرد نگهداری استفاده می شود.

بشیری و همکاران(۱۵۲:۲۰۱۱) یک رویکرد جدید برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری را با استفاده از داده های کیفی و کمی به واسطه تعامل با کارشناسان نگهداری ارائه دادند.

آرونراج و ماتی[2](۲۳۸:۲۰۱۰)ترکیبی از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی را برای انتخاب سیاست نت در واحد استخراج بنزین در یک شرکت شیمیایی به کار برده اند.

چنگ و تسائو[3](۴۰۴:۲۰۱۰)رویکردی را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای در زمینه انتخاب استراتژی بهینه نت برای ترن های حمل و نقل پیشنهاد کردند.

سانمیل[4]وهمکاران(۱:۲۰۰۹)سیاست نت بهینه را برای یک سیستم چند ماشینه بدون تاثیرپذیری از محدودیتهای منابع به دست آوردند. مطالعه موردی قسمتی از یک خط مونتاژ خودکارمی باشد.

شیجیت[5]و همکاران(۳۷۵:۲۰۰۸) از ترکیب روش های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و TOPSIS[6] برای انتخاب راهبرد نت بهینه در صنایع نساجی استفاده کردند.

نتایج حاکی از آن است که مدل های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) به خصوص روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) در تعیین راهبرد نت کاربرد فراوانی داشته است. با وجود اینکه فرایند تحلیل شبکه ای (ANP)ارتباطات درونی پیچیده‌تر بین سطوح تصمیم و نسبت‌ها را به نسب فرایند تحلیل سلسله مرتبی در نظر می‌گیرد به ندرت این شیوه در تحقیقات استفاده شده است. هم چنین با توجه به اینکه برنامه‌ریزی آرمانی از قدیمی‌ترین و پر استفاده‌ترین‌دیدگاههای موجود در الگوهای تصمیم‌گیری‌های چند معیاره می‌باشد و تلاش می‌کند تا منطق بهینه‌سازی را در برنامه‌ریزی ریاضی با خواست تصمیم‌گیرنده جهت ارضاء چندین هدف ترکیب نماید، می‌تواند در تحقیقات جایگاه بیشتری داشته باشد. وجه تمایز این تحقیق با تحقیقی که آرونراج و

1. Ghazi Nezami& et-al
2.Arunraj&Maiti
3. Cheng &Tesao
4.Saumil& et-al
5. Shyjith& et-al
6. Technique for order-preference by similarity to ideal solution

ماتی در سال ۲۰۱۰ انجام دادند این است که تحقیق حاضر در محیط فازی مورد بررسی قرار گرفته و این در حالتی است که در اغلب سیستم های تولیدی پارامتر هایی وجود دارند که ممکن است مقادیر قطعی و مشخصی نداشته باشند لذا بررسی عدم قطعیت این پارامتر ها در مدیریت این سیستم ها امری لازم و ضروری می باشد (نوری،۱۳۸۹:۱). به همین علت در این تحقیق از برنامه ریزی آرمانی فازی و فرایند تحلیل شبکه ای فازی استفاده می شود تا احتمال خطا کاهش یابد. هم چنین در این تحقیق بجای روش AHP از روش FANP استفاده گردید تا ارتباطات درونی بین سطوح تصمیم بهتر مشخص شود.

چارچوب نظری

الف) نگهداری: مجموعه فعالیت‌هایی که بطور مشخص و معمولاً بصورت برنامه‌ریزی شده و با هدف جلوگیری از خرابی ناگهانی ماشین‌آلات و تجهیزات و تأسیسات انجام می‌گیرد(شهانقی و جعفریان،۱۳۸۷).

ب) تعمیرات: شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که بر روی یک سیستم یا وسیله‌ای که دچار خرابی و یا از کارافتادگی گردیده، انجام می‌شود تا آن را به حالت آماده عملیات و قابل بهره‌برداری باز گرداند (کاظمی و کسایی،۱۳۸۰).

در تعریفی دیگر نگهداری و تعمیرات (نت) عبارت است از، انجام دادن ترکیبی از اعمال مدیریت و مهندسی به منظور نگهداشتن یک شیء و یا دوباره برقرار کردن آن در وضع قابل قبول (مرکز مطالعات و پژوهش های لجستیکی،۱۳۹۰).

نت اصلاحی: در این رویکرد فعالیتها فقط بعد از خرابی اعمال میگردد و هیچ مداخله‌ای تا قبل از زمان وقوع یک خرابی صورت نمی‌گیرد (سوآسون[1]،۲۳۷:۲۰۰۱).

نت پیشگیرانه: این رویکرد قبل از خرابی سیستم‌ها به منظور حفظ تجهیزات در شرایط خاص با فراهم نمودن بازرسی های سیستماتیک اجرا می شود (نوری فر و همکاران،۱۳۸۷).

نت پیشگویانه: در این راهبرد با پیشبینی این که چه وقت مقدار یک کمیت کنترلی از میزان آستانه و سر حد خود تجاوز خواهد کرد به اقدامات نگهداری لازم پرداخته می‌شود (کتانی،۲۲۵:۲۰۰۱).

پرسش‌ها و فرضیه‌ها

راهبرد بهینه‌ی نگهداری و تعمیرات برای پمپ های منتخب شرکت کاغذ کسری چیست؟

1. Swanson

روش تحقیق

مراحل اجرایی تحقیق حاضر، متأثر از شیوه‌های جمع آوری و تحلیل داده‌ها اعم از پرسشنامه، بررسی منابع اطلاعاتی و بانک داده‌ی نت و شیوه‌های FMEA،FANP، FDEMATEL و FGP می‌باشد.

با بررسی اطلاعات موجود در رابطه با سابقه ی توقفات ماشین آلات و تجهیزات، نظر مهندسان فنی و کارشناسان نگهداری و تعمیرات مشخص گردید پمپ های موجود در خط تولید این کارخانه بسیار دچار خرابی می گردند. لذا این تحقیق به بررسی علت خرابی این پمپ ها و پیدا کردن راهبرد نگهداری بهینه برای آنها می پردازد. در این پژوهش از مدل تلفیقی ANP و*DEMATEL* فازی استفاده می شود. به این صورت که ابتدا تأثیرات میان گزینه ها با استفاده از تکنیک DEMATELمورد سنجش قرار گرفته است و وزن‌های نهایی حاصل شده از این تکنیک با وزن‌های ارجحیت حاصل از مدل ANP تلفیق شده و درنهایت گزینه های نگهداری و تعمیرات رتبه بندی می شوند.

جامعه آماری مدیران ارشد، مدیران میانی و کارشناسان کارخانهکاغذ کسریبرخوردار از ویژگی های خبرگی معین که در بخشی از فرایند تحقیق به عنوان جامعه خبرگان نظرات آنها مورد پیمایش قرار گرفته است و هم چنین تعدادی از پمپ های آب، روغن و خمیر کاغذ کارخانه که از منظر خبرگان از تجهیزات بحرانی شرکت محسوب می‌شوند.

منابع داده و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل دو دسته می باشد. دسته اول منابع داده هایی است که از بانک های داده مربوط به سیستم نت کارخانه در قلمرو زمانی تعریف شده استخراج و به کار گرفته شده است (جدول۱).

جدول۱- موارد استفاده از اقلام اطلاعاتی مستخرج از بانک اطلاعاتی نت شرکت کسری

اقلام اطلاعاتی	هدف از استخراج و کاربرد
تعداد شکست به تفکیک نوع برای هر پمپ	تعیین پمپهای بحرانی و تعیین درجه وقوع
میانگین زمان صرف شده برای اصلاح شکست(MTTR)	برای بررسی بیشتر شکست ها
متوسط زمان بین هر شکست(MTBF)	برای بررسی بیشتر شکست ها
درجه وقوع	محاسبه شاخص RPN
هزینه های مصروفه برای راهبردهای انتخابی	در طراحی مدل ریاضی FGP
زمان های مصروفه برای راهبرد های انتخابی	در طراحی مدل ریاضی FGP

دسته دوم اطلاعات مورد استفاده در تحقیق شامل نظرات پیمایش شده از خبرگان واحد تولیدی در قلمرو مسئله می‌باشد (جدول۲).

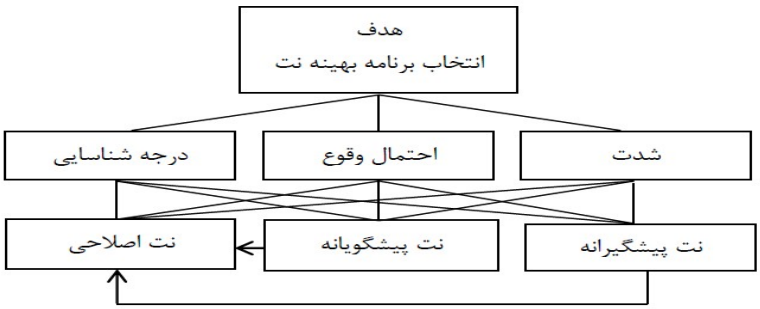
جدول۲- موارد استفاده از اقلام اطلاعاتی مستخرج از پیمایش نظرات خبرگان

هدف از پیمایش نظرات خبرگان	تعداد خبرگان پیمایش شده	شرایط انتخاب خبره
انجام مقایسات زوجی روابط بین آلترناتیوها	معاونت فنی و بهره برداری، مدیر فنی، کارشناس دفتر فنی	داشتن حداقل مدرک کارشناسی، داشتن حداقل دو سال سابقه کار در رابطه با حوزه ی نگهداری و تعمیرات، داشتن حداقل یک سال سابقه‌ی کار در صنایع کاغذسازی.
تعیین اثرات و علل شکست‌ها	سرپرست نت، کارشناس دفتر فنی، کارشناس تولید، اپراتور تجهیزات و خبرگان ردیف۱	آشنایی با عملکرد فنی تجهیزات منتخب
تعیین درجه شدت و تشخیص	همانند ردیف۱	همانند ردیف۱
انجام مقایسات زوجی ترجیحات معیارها و آلترناتیوها به یکدیگر	همانند ردیف۱	همانند ردیف۱
انتخاب آرمان های مسئله	همانند ردیف۱	همانند ردیف۱
تعیین آستانه های فازی هزینه و زمان	همانند ردیف۱	همانند ردیف۱

یافته‌های پژوهش

اولین گام در گسترش مدل روش تحلیل شبکه ای و برنامه ریزی آرمانی، تعیین معیارهای نگهداری و تعمیرات است که برای انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات به کار خواهد رفت. با بررسی ادبیات تحقیق و نظر خبرگان از تکنیک FMEAبرای تعیین شاخص ها استفاده شده است.

ساختار شبکه ای مدل به شکل زیر می باشد:



شکل۱- ساختار شبکه ای انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات

در تبیین مدل برنامه ریزی آرمانی فازی از شیوه حنان[1] استفاده شده است. در این شیوه مدل سازی فازی بر حسب جهت آرمان ها، آستانه های فازی تعریف و سپس در محدودیت ها و تابع هدف مسئله انحرافات از آستانه ها درج می گردد (قاسمی،۱۳۸۹).

تابع هدف برنامه ریزی آرمانی نیز به شکل زیر است:

$$\overline{P_1}(d_C^+) + \overline{P_2}(d_{MT}^+) + \overline{P_3}(d_{SCORE,ANP}^-) + \overline{P_4}(W_O d_O^- + W_S d_S^- + W_D d_D^-)$$

با توجه به چهار آرمان مورد نظر در تحقیق حاضر، محدودیت های فازی ذیل تعریف شده است. لازم به ذکر است در این برنامه نگهداری و تعمیرات همزمان می توان از دو یا چند روش (گزینه) استفاده نمود.

۱. کمینه کردن هزینه های نگهداری و تعمیرات.

$$1)\ (C_{CORR}x_{CORR} + C_{PREV}x_{PREV} + C_{COND}x_{COND})/A_C + n_C - p_C = T_C/A_C$$

۲. کمینه کردن ساعات تخصیص یافته به فعالیت های نگهداری و تعمیرات.

$$2)\ (MT_{CORR}x_{CORR} + MT_{PREV}x_{PREV} + MT_{COND}x_{COND})/A_{MT} + n_{MT} - p_{MT} = T_{MT}/A_{MT}$$

۳.

$$3)\ (SCORE_{ANP,CORR}x_{CORR} + SCORE_{ANP,PREV}x_{PREV} + SCORE_{ANP,COND}x_{COND})/A_{ANP} + n_{ANP} - p_{ANP} = 1/A_{ANP}$$

1. Hannan

۴. بیشینه کردن امتیازات سطح دوم، راهبردهای نگهداری و تعمیرات مبتنی بر معیار وقوع، شدت و تشخیص.

$$4)\ (SCORE_{O,CORR}x_{CORR} + SCORE_{O,PREV}x_{PREV} + SCORE_{O,COND}x_{COND})/A_O + n_O - p_O = T_{O,SCORE}/A_O$$

$$5)\ (SCORE_{S,CORR}x_{CORR} + SCORE_{S,PREV}x_{PREV} + SCORE_{S,COND}x_{COND})/A_S + n_S - p_S = T_{S,SCORE}/A_S$$

$$6)\ (SCORE_{D,CORR}x_{CORR} + SCORE_{D,PREV}x_{PREV} + SCORE_{D,COND}x_{COND})/A_D + n_D - p_D = T_{D,SCORE}/A_D$$

تعریف متغیرها و پارامترها:

$\tilde{(P_j)}$ ؛ پارامترهایی که سلسله مراتب آرمان ها را نشان می دهد.

W_K: وزن های k- امین معیار.

C_{COND} و C_{PREV} و C_{CORR}: هزینه‌ی مصروفه در سیستم نت بابت اجرای راهبرد اصلاحی/ پیشگیرانه/پیشگویانه.

T_{MT} و T_C: کل بودجه/زمان در دسترس برای نگهداری و تعمیرات.

MT_{COND} و MT_{PREV} و MT_{CORP}: زمان مصروفه در سیستم نت بابت اجرای راهبرد اصلاحی/پیشکیرانه/پیشکویانه.

$SCORE_{ANP,i}$: امتیاز به دست آمده از i امین راهبرد نگهداری و تعمیرات در تحلیل ANP: امتیاز محلی i-امین راهبرد در رابطه با k-امین معیار.

$T_{K,SCORE}$: آستانه‌ی تعریف شده برای تساوی محدودیت در رابطه با ماکزیمم کردن امتیاز محلی.

x_i: راهبرد i- ام.

Δ_C و Δ_{MT}: اختلاف آستانه ای عدد مثلثی فازی هزینه/زمان مصروفه در سیستم نت.

Δ_{ANP}: اختلاف آستانه ای عدد مثلثی فازی اوزان آلترناتیوها.

Δ_D و Δ_S و Δ_O : اختلاف آستانه ای عدد مثلثی فازی اوزان معیار قوع/شدت/تشخیص

n_C و n_{MT}: انحراف منفی از آستانه‌ی مطلوب فازی در محدودیت هزینه/زمان.

n_{ANP}: انحراف منفی از آستانه‌ی مطلوب فازی در محدودیت اوزان آلترناتیوها.

n_D و n_S و n_O: انحراف منفی از آستانه‌ی مطلوب فازی در محدودیت اوزان معیار وقوع/ شدت/تشخیص.

p_C و p_{MT}: انحراف مثبت از آستانه‌ی مطلوب فازی در محدودیت هزینه/زمان.

p_{ANP}: انحراف مثبت از آستانه‌ی مطلوب فازی در محدودیت اوزان آلترناتیوها.

p_D و p_S و p_O:انحراف مثبت از آستانه‌ی مطلوب فازی در محدودیت اوزان معیار وقوع/ شدت/تشخیص.

وزن گزینه ها و چگونگی تاثیر گذاری و تاثیرپذیری آنها با استفاده از تکنیک DEMATEL فازی و سپس اوزان معیارها در ارتباط با هدف و اوزان هر کدام از راهبرد ها در ارتباط با هر یک از معیارها با استفاده از تکنیک ANP فازی بدست آمده و در نهایت مدل برنامه ریزی آرمانی فازی تدوین و با استفاده از نرم افزار lingo11 این مدل حل شده است. نتیجه‌ی نهایی بدست آمده در نهایت بهینه ترین راهبرد در مورد هر شکست از پمپ ها می‌باشد.

جدول۳- اطلاعات مرتبط با اجرای FMEA در رابطه با پمپ های منتخب در شرکت کاغذ کسری

ردیف	نوع پمپ	نوع شکست	تعداد شکست	MTTR	MTBF	درجه وقوع	درجه شدت	درجه تشخیص	RPN
Pu1	فن پمپ	سایش پروانه	6	120	112	5	2	5	50
		سایش حلزونی پمپ	2	220	335	4	2	5	40
		خرابی بلبرینگ	6	300	112	7	6	6	252
		نشتی از گلند	24	30	28	8	7	6	336
		پارگی کوپلینگ	12	100	56	7	7	6	294
Pu2	پمپ هیدرولیک سایزپرس	خرابی کوپلینگ	18	60	37	5	2	5	50
		سایش پروانه	8	240	84	4	2	5	40
		نشتی اتصالات	27	60	25	7	6	6	252

ردیف	نوع پمپ	نوع شکست	تعداد شکست	MTTR	MTBF	درجه وقوع	درجه شدت	درجه تشخیص	RPN
Pu3	پمپ انتقال خمیر از پالپر به چست۱	سایش پروانه	4	90	168	5	2	5	50
		سایش حلزونی پمپ	1	180	670	3	2	5	30
		خرابی بلبرینگ	6	240	112	7	6	6	252
		نشتی از گلند	24	20	28	8	7	6	336
		پارگی کوپلینگ	12	60	56	7	7	6	294
		خرابی بلبرینگ	8	240	84	7	7	6	294

لازم به ذکر است در هر پمپ شکستی که بیشترین RPN را دارد مشخص شده است که مدیران و کارشناسان باید توجه بیشتری برای رفع و یا کاهش این عیوب داشته باشند.

جدول۴- نتایج تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آلترناتیوها مرتبط با پمپهای منتخب شرکت کسری

پمپ	راهبرد	نتیجه	پمپ	راهبرد	نتیجه	پمپ	راهبرد	نتیجه
pu1-1	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu2-1	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu3-3	اصلاحی	تاثیرپذیر
	پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار
	پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار
pu1-2	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu2-2	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu3-4	اصلاحی	تاثیرپذیر
	پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار
	پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار
pu1-3	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu2-3	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu3-5	اصلاحی	تاثیرپذیر
	پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار
	پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار
pu1-4	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu3-1	اصلاحی	تاثیرپذیر			
	پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار			
	پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار			
pu1-5	اصلاحی	تاثیرپذیر	pu3-2	اصلاحی	تاثیرپذیر			
	پیشگیرانه	تاثیرگذار		پیشگیرانه	تاثیرگذار			
	پیشگویانه	تاثیرگذار		پیشگویانه	تاثیرگذار			

نتایج دهنده‌ی این است که در تمامی موارد راهبرد اصلاحی یک راهبرد تأثیرپذیر و راهبردهای پیشگیرانه و پیشگویانه تأثیرگذار می باشند.

جدول۵- رتبه بندی آلترناتیوها با استفاده از تکنیک ANPمرتبط با با پمپ های منتخب

شماره پمپ/شکست	وزن های خروجی ANP			رتبه بندی راهبردها		
	اصلاحی	پیشگیرانه	پیشگویانه	اصلاحی	پیشگیرانه	پیشگویانه
pu1-1	0.3322	0.3346	0.3332	3	1	2
pu1-2	0.3322	0.3346	0.3332	3	1	2
pu1-3	0.3318	0.3334	0.3348	3	2	1
pu1-4	0.332	0.3347	0.3333	3	1	2
pu1-5	0.3318	0.335	0.3332	3	1	2
pu2-1	0.3322	0.3346	0.3332	3	1	2
pu2-2	0.3322	0.3346	0.3332	3	1	2
pu2-3	0.3322	0.3332	0.3346	3	2	1
pu3-1	0.3322	0.3346	0.3332	3	1	2
pu3-2	0.3322	0.3346	0.3332	3	1	2
pu3-3	0.3318	0.3334	0.3348	3	2	1
pu3-4	0.332	0.3347	0.3333	3	1	2
pu3-5	0.3318	0.335	0.3332	3	1	2

جدول۶- اطلاعات مربوط به هزینه و زمان راهبرد های نت

پمپ	هزینه اصلاحی (ریال)	هزینه پیشگیرانه (ریال)	هزینه پیشگویانه (ریال)	زمان اصلاحی (دقیقه)	زمان پیشگیرانه (دقیقه)	زمان پیشگویانه (دقیقه)
pu1-1	۲،۰۰۰،۰۰۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۰	۵۴۰	۱۸۰	۰
pu1-2	۷،۵۰۰،۰۰۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۰	۱۹۰	۲۵۰	۰
pu1-3	۱،۴۰۰،۰۰۰	۱۰،۰۰۰،۰۰۰	۸،۰۰۰،۰۰۰	۱۰۲۰	۳۲۰	۴۶۰
pu1-4	۴۰۰،۰۰۰	۰	۱۰۰،۰۰۰	۵۷۰	۰	۱۵۰
pu1-5	۵۵۰،۰۰۰	۰	۳۰۰،۰۰۰	۸۳۵	۰	۳۶۵
pu2-1	۶۰۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۴۵۰،۰۰۰	۷۵۵	۴۵	۲۸۰
pu2-2	۲،۰۰۰،۰۰۰	۱،۶۵۰،۰۰۰	۰	۱۷۸۰	۱۴۰	۰
pu2-3	۳۸۰،۰۰۰	۲۰۰،۰۰۰	۱۸۰،۰۰۰	۱۱۶۵	۷۰	۳۸۵
pu3-1	۱،۰۰۰،۰۰۰	۱،۳۰۰،۰۰۰	۰	۲۰۰	۱۶۰	۰
pu3-2	۰	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۰	۰	۱۸۰	۰
pu3-3	۷،۰۰۰،۰۰۰	۸،۰۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰،۰۰۰	۷۷۰	۲۸۰	۳۹۰
pu3-4	۲۰۰،۰۰۰	۰	۸۵،۰۰۰	۳۵۰	۰	۱۳۰
pu3-5	۵۰۰،۰۰۰	۰	۲۸۰،۰۰۰	۴۱۰	۰	۳۱۰

جدول۷- اطلاعات مربوط به محدودیت های هزینه و زمان راهبرد های نت

پمپ	بودجه در دسترس(ریال)	زمان در دسترس(دقیقه)	آستانه فازی هزینه(ریال)	آستانه فازی زمان(دقیقه)
pu1-1	۳،۸۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۳،۵۰۰،۰۰۰	۱۲۰۰
pu1-2	۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۱۲۰۰
pu1-3	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۲۸۸۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰
pu1-4	۱،۰۰۰،۰۰۰	۷۲۰	۸۰۰،۰۰۰	۵۰۰
pu1-5	۲،۰۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۱۰۰۰
pu2-1	۲،۰۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۱۲۰۰
pu2-2	۴،۲۰۰،۰۰۰	۲۸۸۰	۳،۸۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰
pu2-3	۱،۰۰۰،۰۰۰	۲۱۶۰	۷۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰
pu3-1	۲،۵۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۱۲۰۰
pu3-2	۳۵،۰۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۳۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۲۰۰
pu3-3	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۲۸۸۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰
pu3-4	۸۰۰،۰۰۰	۷۲۰	۶۰۰،۰۰۰	۵۰۰
pu3-5	۸۰۰،۰۰۰	۱۴۴۰	۵۰۰،۰۰۰	۱۰۰۰

جدول۸- نتایج بدست آمده از حل مدل FGP

پمپ	corr	prev	cond	راهبرد انتخابی	پمپ	corr	prev	cond	راهبرد انتخابی
pu1-1	۰	۱	۰	پیشگیرانه	pu2-3	۰	۱	۱	پیشگیرانه/ پیشگویانه
pu1-2	۰	۱	۰	پیشگیرانه	pu3-1	۰	۱	۰	پیشگیرانه
pu1-3	۰	۰	۱	پیشگویانه	pu3-2	۰	۱	۰	پیشگیرانه
pu1-4	۰	۱	۱	پیشگیرانه/ پیشگویانه	pu3-3	۰	۰	۱	پیشگویانه
pu1-5	۰	۱	۰	پیشگیرانه	pu3-4	۰	۰	۱	پیشگویانه
pu2-1	۰	۱	۱	پیشگیرانه/ پیشگویانه	pu3-5	۰	۱	۱	پیشگیرانه/ پیشگویانه
pu2-2	۰	۱	۰	پیشگیرانه					

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از آن است که راهبرد نگهداری و تعمیرات پیشگویانه و پیشگیرانه نسبت به راهبرد اصلاحی در استفاده از منابع و کاهش شکست‌ها برتری دارند. لذا این راهبردها با توانایی در پیش بینی شکست ها اطلاعات مفیدی در اختیار مدیران نگهداری قرار می دهد تا جنبه های منفی یک شکست در جهت ایمنی و هزینه محدود گردد. تعمیرات اصلاحی به سرمایه کمتری جهت تعمیرات و نگهداری تجهیزات نیاز دارد ولی هیچگاه یک پیش بینی از شکست‌های احتمالی ارائه نمی‌دهد.

پیشنهادها

شرکت کاغذ کسری برای افزایش تولید طی سال های اخیر اقدام به استفاده از سیستم نگهداری و تعمیرات نموده است هرچند توانسته است در این راه به موفقیت‌های چشمگیری دست یابد ولی برای بهینه تر شدن تولید و هم چنین افزایش کیفیت آن باید تمرکز بیشتری بر روی اقدامات پیشگیرانه تجهیزات داشته باشد لذا:

- برای جلوگیری از خرابی بلبرینگ ها، عملکرد آنها به طور منظم با دستگاه تست بلبرینگ کنترل شود.
- برای جلوگیری از عیوب سایش، آب موجود در سیستم به طور برنامه‌ریزی شده ای تعویض و در جنس تجهیزات تجدید نظر شود.
- برای چلوگیری از عیوب نشتی ها بازدید دوره ای منظم تر شود و از اجناس مرغوب تر استفاده شود.
- بازبینی و اصلاح اقدامات پیشگیرانه ی تعریف شده برای تجهیزات.
- تشکیل جلسات روزانه با کارشناسان و مدیران در مورد خرابی های اتفاق افتاده.
- تشکیل جلسات هفتگی با سرپرستان تولید و فنی در مورد توقفات ایجاد شده.
- استفاده از تجهیزات جانبی برای کنترل عملکرد ماشین آلات و تجهیزات.
- تهیه گزارشات هفتگی و ماهیانه از عملکرد تجهیزات و خرابی های آنها.
- پیدا کردن تامین کنندگان جدید برای تهیه اجناس مرغوب تر.

منابع

ابراهیمی، سید کاظم،همتی، محمد و رستمیان، مهدی.(۱۳۸۹)، انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات با استفاده از رویکرد MADM گروهی فازی،ششمین *کنفرانس نگهداری و تعمیرات ایران*.

اسد پور، حسن و خلیلیان ، صادق. (۱۳۸۴)، نظریه و کاربرد مدل برنامه ریزی خطی آرمانی فازی در بهینه سازی،*ویژه نامه بهره وری و کارافرینی* ، شماره ۸.

سپری، فرامرز واسدی کیاپی، محمد باقر.(۱۳۹۱)، استراتژی تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور به روش AHP در شبکه های توزیع،*بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق*.

شهانقی، کامران و جعفریان، مهدی. (۱۳۸۷)، مقدمه ای بر برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات،*پنجمین کنفرانس بین المللی نگهداری و تعمیرات*.

صفری، سعید، سیاح زاده، ستاره و صادقی، رویا. (۱۳۸۹)، انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات با استفاده از AHP و برنامه ریزی آرمانی، ششمین *کنفرانس نگهداری و تعمیرات*.

طهماسبی،محمد. (۱۳۸۷)،

بررسی وضعیت نگهداری و تعمیرات پرنده‌های هوا ناجا و ارائه راهکارهای بهینه، *پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد دافوس، دانشگاه علوم انتظامی*.

قاسمی ، وحید. (۱۳۸۹، *سیستم ارتباط فازی*. انتشارات جامعه شناسان.

کاظمی،سیدعباس وکسایی،مسعود. (۱۳۸۰)،*مدیریت تولید و عملیات*. چاپ سوم،موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، فصل هفدهم.

مرکز مطالعات و پژوهش های لجستیکی. (۱۳۹۰)،*گروه نگهداری و تعمیرات صنعت*.

نوری، سپهر. (۱۳۸۹)، مقایسه عملکرد تئوری محدودیت ها با برنامه ریزی خطی فازی در مسایل تولید ترکیبی فازی، *نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، شماره۲، جلد ۲۱، ص ۱۰-۱.

نوری فر، راحله،عمادی، سید میثم و نوری فر، مائده.(۱۳۸۷)، تعیین استراتژی نگهداری و تعمیرات با استفاده از آنالیز توسعه ای فازی(FEAHP)– مطالعه موردی در نیروگاه شهید سلیمی نکاء، ششمین *کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع*.

Arunraj,N.S. &Maiti,J.(2010).Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming.*Safety Science* 48. 238–247.

Bashiri,M. Badri,H.&Hejazi,T.(2011).Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method.Applied Mathematical Modelling 35.152–164.

Cheng, Y. H.&Tsao H. L. (2010). Rolling stock maintenance strategy selection, spares parts' estimation, and replacements' interval calculation. Int. J. Production Economics, 128:404–412.

Ghazi nezami, F.&Bayramyildirim M. (2013). A ustainability approach for selecting maintenance strategy,International Journal of Sustainable Engineering .Volume 6.Issue 4.

Hax, A.C.&Majluf, N.S. (1991). The Strategy Concept and Process—APragmatic Approach. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.

Hora, M. (1987).The unglamorous game of managing maintenance.Business Horizons (May–June).

Ierace, S.&Cavalieri, S.(2013).An Analytic Hierarchy Process Based Model for the Selection of Decision Categories in Maintenance Systems. Management and Production Engineering Review.Volume 4.Issue 2.Pages 37–49.

Jain, K. Singh Jain, S.& Singh Chauhan, M. (2013).Selection of optimum maintenance and rehabilitation strategy for multiline highways.International Journal for Traffic and Transport Engineering. 3(3): 269 – 278.

Kettani, O.(2001). Goal programming model: A glorious history and a promising future. Eur. J. Oper. Res. 133: 225-231.

Saumil, A.Li, L.&Jun, N. (2009). Condition-based maintenance decision-making for multiple machine systems.Journal of Manufacturing Science and Engineering. 131. 3:1-9.

Sharma,RK.& Kumar, P.(2005).FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model of Quality in maintenance Engineering.11 (4).

Shyjith, K. Ilangkumaran, M.&Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry.Journal of Quality in Maintenance Engineering, 14. 4: 375-386.

Swanson, L.(2001).Linking maintenance strategies to performance.International Journal of Production Economics 70. 237–244.

Xie, H. Shi, L.&Xu, H. (2013). Transformer Maintenance Policies Selection Based on an Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Journal of Computers.Vol 8. No 5.1343-1350.