مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲
پاییز و زمستان ۱۳۹۲
ص. ۲۲-۱

# بررسی و اولویت‌بندی میزان حساسیت دستگاه‌ها جهت تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه با مدل مارتل و زاراس (مطالعهٔ موردی: شرکت ماشین‌سازی تولید آتش)

سید حسین احمدی[۱]، نیما گروسی مختارزاده[۲]

**چکیده:** فرایند نگهداری و تعمیرات، یکی از حیاتی‌ترن فرایندهای سازمان است که وظیفهٔ اصلی آن نگهداری و حفظ ماشین‌آلات در شرایط مطلوب یا بازگرداندن آنها از شرایط نامطلوب به مطلوب است. خرابی ماشین‌آلات، منجر به از دست رفتن زمان در دسترس تجهیزات و افزایش هزینه‌های سازمان می‌شود، بنابراین همواره بهبود عملکرد ماشین‌آلات و درنتیجه بهبود فرایند نت، مورد توجه متخصصان بوده است. هدف این مقاله پاسخ به این پرسش است که بر اساس شاخص‌های انتخاب‌شده، کدام دستگاه بیشتر از دستگاه‌های دیگر نیاز به نت پیشگیرانه دارد. افزایش میزان عمر تجهیزات، افزایش رضایتمندی مشتریان و کاهش دیرکرد صورت‌گرفته به‌سبب خرابی‌های دستگاه‌ها، از دلایل انجام این پژوهش است. در این مقاله نخست به شناسایی شاخص‌های مهم در بحث نگهداری و تعمیرات کارخانه با توجه به سوابق دستگاه‌های موجود در سال ۹۱ به‌مدت دوازده‌ماه پرداخته شده است و سپس به‌کمک یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با نام مدل مارتل و زاراس، به اولویت‌بندی و شناسایی حیاتی‌ترین دستگاه موجود در کارخانه پرداخته و راه‌کارهایی برای نگهداری این دستگاه در بالاترین سطح کیفی خود ارائه شده است.

***واژه‌های کلیدی: تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، روش‌های غیرجبرانی، شاخص‌های حساسیت، مدل مارتل و زاراس.***

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، ایران
۲. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، ایران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۰**
**تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۰۶**
**نویسندهٔ مسئول مقاله: سید حسین احمدی**
**E-mail: Hosein.ahmadi@ut.ac.ir**

Archive of SID
www.SID.ir

## مقدمه

علم نگهداری و تعمیرات (نت)[۱]، در حال حاضر بستری مساعد برای رسیدن به بهبود کیفی و در پی آن، بهبود سود را فراهم آورده است. این علم که بهتر است نام آن را روشی کاربردی برای رسیدن به بهبود در وضعیت غیر نظام‌مند صنعت حال حاضر گذارد، درعمل دارای پایه و اساس نظری بسیار کاربردی است.

از دیرباز بشر برای طرح‌ریزی تولید، ملزم به بررسی معیارهای اساسی مانند، برآورد میزان تولید و برآورد نیازمندی‌هایی مانند دستگاه‌ها، نیروی انسانی و... بوده است، اما یکی از مشکلات بزرگی که راه را بر تحقق این اهداف ناهموار می‌ساخته، بحث خرابی‌های ناگهانی دستگاه‌ها بوده که تأثیر خود را به‌صورت کاملاً محسوس روی تولید داشته است. این علم در حال حاضر به‌صورت نظری و عملی قادر به حل درصد زیادی از این مشکل است؛ البته باید یادآوری شود که این کاربرد، تنها بخش کوچکی از علم وسیع نگهداری و تعمیرات است.

علت انجام این پژوهش، به تعویق انداختن توقف بیش‌ازحد و هزینه‌بر خط تولید کارخانه بوده است؛ زیرا حدود ۲۵ درصد سفارش‌های شرکت به‌دلیل نبود سیستم نگهداری و تعمیرات مناسب و توقف‌های درازمدت و ناگهانی، گاهی منجر به تعطیلی چندروزهٔ کارخانه‌شده و در بعضی مواقع نیز مشتریان خود را از دست داده است. هدف این پژوهش، پاسخ به این پرسش است که بر اساس شاخص‌های انتخاب‌شده، کدام دستگاه بیشتر از دستگاه‌های دیگر نیاز به تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه دارد. تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از فرم‌های تعمیرات و شناسنامه‌های کارکردی تجهیزات و دستگاه‌ها، نشان می‌دهد افزایش بهره‌وری کارخانه، وابسته به کاهش میزان خرابی‌های قابل پیش‌بینی تجهیزات است. افزایش میزان عمر تجهیزات و افزایش رضایتمندی مشتریان با کاهش تأخیرهای صورت‌گرفته به‌سبب خرابی‌های دستگاه‌ها، از دلایل انجام این پژوهش است. در این پژوهش تلاش شده است تا شاخص‌های حساس‌بودن دستگاه آزمون شود و حساس‌ترین دستگاه برای تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه انتخاب شود و بر اساس میزان حساسیت و معیارهای مهم خرابی دستگاه‌ها، اولویت‌بندی‌ای برای ماشین‌آلات این کارخانه ارائه شود تا با این کار، دستگاه‌های حساس‌تر بیشتر مد نظر مدیریت کارخانه قرار گرفته و تمرکز واحد نت نیز بر این ماشین‌آلات واقع شود. با توجه به اهمیت موضوع نگهداری و تعمیرات که در مطالب بالا بیان شد، رتبه‌بندی ماشین‌آلات نیازمند بررسی موشکافانه است و این بررسی باید بر اساس مدلی باشد که برتری تمامی ماشین‌آلات را برای همهٔ معیارها بسنجد. از

---

۱. مخفف دو واژهٔ نگهداری و تعمیرات است.

Archive of SID

www.SID.ir

آنجاکه در مدل مارتل و زاراس تمامی ماشین‌آلات بر اساس همهٔ معیارها جداگانه بررسی و مقایسه می‌شوند (مدل غیر جبرانی) و درنهایت بر اساس کل معیارها رتبه‌بندی انجام می‌گیرد، این مدل روش مناسبی برای رتبه‌بندی انتخاب شد که در نتایج نهایی پروژه نیز صحت این مطلب به اثبات رسید. برتری این مدل نسبت به‌روش‌های جبرانی، مانند تاپسیس و ELECTERE و... در بررسی تمامی گزینه‌ها بر اساس همهٔ معیارها است. برتری دیگر اینکه معمولاً در مدل‌های مذکور از یک ماتریس تصمیم استفاده می‌شود و در بیشتر موارد خطاهایی نیز دارد، اما در این مدل، رتبه‌بندی بر اساس مقایسهٔ گزینه‌ها با توجه به نظر خبرگان انجام می‌شود که افزایش تعداد خبرگان می‌تواند در افزایش دقت مؤثر باشد. به همین دلیل برای افزایش دقت کار و افزایش قابلیت اعتماد نتایج، در این پژوهش از نظر ده نفر خبره استفاده شده است؛ در حالی‌که بر اساس مدل مارتل و زاراس، نظر هفت خبره نیز، قابل اعتماد است.

## پیشینهٔ پژوهش

از دیرباز بشر با به‌کارگیری ابزار تولید، سعی داشته میزان بهره‌گیری خود از منابع موجود را تا حد ممکن افزایش دهد و همواره خواسته است تا به آسان‌ترین نحو، ابزار تولید را به‌کار گیرد. به همین دلیل، از دیرباز اهمیت تعمیر و نگهداری صحیح ابزار تولید برای بشر مطرح بوده است؛ به‌طوری که در فرهنگ رشدیافتهٔ صنعتی، موضوع تعمیر و نگهداری از مقولهٔ به‌کارگیری ابزار تولید فراتر رفته و مواردی چون طراحی ماشین‌های تولیدی، تکنولوژی تولید، سهولت انجام تعمیر و نگهداری، کاهش هزینه‌ها، افزایش قابلیت اطمینان، تروتکنولوژی و... را دربرگرفته است (نمین، ۱۳۸۷). از سویی، در سال‌های اخیر روند شتابندهٔ توسعهٔ دانش و فناوری‌های در دست بشر و از سویی، دست‌یابی به زمینه‌های نوین علوم و تکنولوژی، منجر به طراحی، ساخت و تولید سیستم‌ها و تجهیزات پیچیده و حساس مهندسی شده است. این سامانه‌های پیشرفته، بیشتر در صنایع بسیار حساسی چون، صنایع وابسته به خودرو، صنایع هوایی، دفاعی و مانند آنها کاربرد دارند. از آنجایی که نقص در عملکرد چنین سیستم‌هایی، ممکن است منجر به بروز خسارات شدید و جبران‌ناپذیر جانی و مالی شود، حصول اطمینان از عملکرد درست آنها در بازه‌های زمانی مورد نظر، از ملزومات اصلی در طراحی و ساخت سیستم‌ها است. نظر به اهمیت موضوع یادشده، در سال‌های اخیر، طراحان معیارهای طراحی جدیدی را تدوین و در محصولات خود در نظر گرفته‌اند که یکی از مهم‌ترین آنها، قابلیت اطمینان (پایایی) است (مجذوبی، ۱۳۸۷). همان‌طور که می‌دانید قابلیت اطمینان، احتمال عملکرد صحیح یک سیستم تا زمان مشخص و در شرایط کاری معین است. با توجه به تعریف، باید زمان و شرایط کاری مشخص شده باشد. اهمیت

Archive of SID

www.SID.ir

قابلیت اطمینان آنچنان زیاد است که در زمینهٔ بهینه‌سازی و بهبود آن، مدل‌ها (بلزونس، مارتینز ـ پوئرتاس و رویز، ۲۰۱۱؛ بنکامارا، تربچه و تلمکانی، ۲۰۱۱؛ ربهی، گوئدری، حاسیس و بوحدی، ۲۰۱۱؛ توکلی‌مقدم، سفری و ساسانی، ۲۰۰۸) و روش‌های حل متعددی پیشنهاد شده است. ازجمله آنها می‌توان از ضریب لاگرانژ (میرسا، ۱۹۷۲)، رویکردهای ابتکاری و فرا ابتکاری (رامیرز ـ مارکوئزوکویت، ۲۰۰۴؛ چن، ۲۰۰۶؛ سجادی و سلطانی، ۲۰۰۹؛ تیان، لویتین و ژوو، ۲۰۰۹)، برنامه‌ریزی عدد صحیح (شارما و میرسا، ۱۹۹۰؛ کویت و لیو، ۲۰۰۰)، الگوریتم‌های ژنتیک (جن و یون، ۲۰۰۶؛ کی و شو ـ پینگ، ۲۰۰۹؛ تیان، ژوو و هوانگ، ۲۰۰۸؛ کویت و اسمیت، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶)، الگوریتم مورچگان (احمدی‌زار و سلطان‌پناه، ۲۰۱۱؛ شارما، آگاروال و سن، ۲۰۱۱؛ ناهاس و نورالفتح، ۲۰۰۵)، الگوریتم زنبور عسل (یه و هاسیه، ۲۰۱۱) و شبکه‌های عصبی (سونگ و چو، ۲۰۰۰؛ نورالفتح و ناهاس، ۲۰۰۳) را نام برد. حال آنکه برای استفاده از کلیهٔ مدل‌ها و روش‌های حل بیان‌شده، نیاز به آمار و اطلاعات اولیه برای ورودی‌های مسئله وجود دارد.

در این مطالعهٔ موردی، به کاربردهای عملی مباحث نت پرداخته شده است که نتایج حاصل از آن، می‌توانند به‌منزلهٔ شاخص‌های ورودی مسائل و مدل‌های بهینه‌سازی، مورد استفاده قرار گیرند (محمدی، ۱۳۸۳).

با افزایش رقابت در بازار و نیاز به تولید محصولات با کیفیت بالاتر، تحویل فوری و قسمت‌های رقابتی، نیاز به داشتن سیستم‌های اتوماسیون ترکیبی، یکپارچه و منعطف بیشتر شده است. از سوی دیگر اثربخشی سیستم کاری، نه‌تنها وابسته به تنظیمات پروژه است، بلکه به تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات نیز بستگی دارد.

در محیط‌های ساخت و تولید، نگهداری ماشین‌آلات را در دسته فعالیت‌های مورد نیاز برای بازیابی ماشین‌آلات و سالم نگه‌داشتن آن برای انجام عملیات مورد نیاز می‌دانند (پینتلون و گلدر، ۱۹۹۲). دو نوع فعالیت نگهداری از ماشین‌آلات وجود دارد: اصلاحی و پیشگیرانه. نگهداری اصلاحی پس از اینکه دستگاه از کار افتاد انجام می‌گیرد، در صورتی که نگهداری پیشگیرانه برای حفظ دستگاه قبل از خرابی و از کار افتادن دستگاه انجام می‌شود. فعالیت‌های نگهداری پیشگیرانه شامل، روغن‌کاری، تمیزکاری، تنظیم، تغییر ابزار، جایگزینی ماشین‌آلات و بازرسی هستند. برای اینکه نیازی به فعالیت‌های اصلاحی نباشد، باید فعالیت‌های پیشگیرانه به‌درستی انجام گیرد و قابلیت اطمینان دستگاه را بالا برد. فعالیت‌های اصلاحی از فعالیت‌های پیشگیرانه هزینهٔ بیشتری دارد، پس بهتر است از فعالیت‌های پیشگیرانه استفاده کرد (باتون و عزیزاوغلو، ۲۰۰۹) حتی فعالیت‌های اصلاحی از نظر زمانی نیز وقت بیشتری نسبت به فعالیت‌های پیشگیرانه لازم دارد (ناکاگاوا، ۲۰۰۵). نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه عبارتست از: یک روش نظام‌مند

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی‌شده، برای انجام کارهای نگهداری مورد نیاز، براساس برنامهٔ تنظیمی با هدف جلوگیری از فرسایش غیرعادی اجزای ماشین و کاهش توقف‌های اضطراری ماشین‌آلات.

## روش تصمیم‌گیری چند معیاره

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1]، ازجمله مسائلی هستند که در مهندسی صنایع، زمینه‌های نظری و گسترده‌ای دارند (تریانتافیلو و ایوانز، ۱۹۹۹). برخی از این پژوهش‌ها از اعداد و اطلاعات فازی استفاده می‌کنند (چیادامرونگ، ۱۹۹۹؛ چو، ۲۰۰۹؛ هوانگ، چیو، یه و چانگ، ۲۰۰۹؛ سارکر و کوادوس، ۲۰۰۲؛ واسانت، ۲۰۰۶؛ وانگ و الهاگ، ۲۰۰۷؛ یامان و بالیبک، ۱۹۹۹) برخی دیگر از متغیرهای احتمالی استفاده کردند (مارتل و زاراس، ۱۹۹۵؛ نواک، ۲۰۰۴–الف و ب، ۲۰۰۷، ۲۰۰۶؛ نواک و همکاران، ۲۰۰۲ ؛ زاراس، ۱۹۹۹؛ زاویسزا و ترزپیوت، ۲۰۰۲). در زمینهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز مقاله‌های زیادی در حوزه‌های مختلف، ازجمله بهره‌وری نیروی انسانی، مهندسی ارزش، مدیریت ریسک، رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و... نگاشته شده‌اند. در زمینهٔ بهره‌وری نیروی انسانی، طواری و همکارانش با کمک روش‌های تاپسیس، SAW و ELECTRE، به رتبه‌بندی و شناسایی مهم‌ترین عوامل نیروی انسانی در صنعت پوشاک شهر یزد پرداخته‌اند و درنهایت نتایج را با روش‌های رتبه‌بندی ادغامی یکسان کردند (طواری، سوخکیان و میرنژاد، ۱۳۸۷). همچنین در زمینهٔ مدیریت ریسک صیادی، حیاتی و منجزی (۱۳۹۰) با کمک روش‌های تاپسیس، LA و SAW، به رتبه‌بندی ریسک‌های ساخت تونل سد سیمره در شهرستان ایلام پرداخته‌اند. در پژوهش دیگری مهرگان و دهقان نیری (۱۳۸۸) به رتبه‌بندی تعدادی از دانشکده‌های برتر مدیریت استان تهران بر اساس قوت‌های استخراج‌شده از کارت امتیازی متوازن آنها با روش جبرانی تاپسیس پرداخته‌اند. عالم تبریز و منیری (۱۳۹۰) برنامهٔ کار مهندسی ارزش را با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی تلفیق کرده‌اند. در این تلفیق، به‌منظور تعیین وزن معیارهای ارزیابی پیشنهادهای حاصل از مرحلهٔ خلاقیت، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (AHP)[2] و برای تعیین اولویت گزینه‌ها از روش تاپسیس فازی استفاده شده است. روش فوق در طرح تأسیسات مکانیکی پروژهٔ برج موج شهرک مسکونی صدف، یکی از پروژه‌های در دست احداث بخش تعاونی در کشور، به‌کار گرفته شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، در تمامی پژوهش‌های گذشته از روش‌ها جبرانی استفاده شده

1. Multiple Criteria Decision Making (MCDM)
2. Analytical Hierarchy Process

Archive of SID

www.SID.ir

است، اما در این پژوهش به‌کمک یکی از مدل‌های احتمالی غیر جبرانی (مدل مارتل و زاراس)، به رتبه‌بندی ماشین‌آلات نگهداری و تعمیرات کارخانه پرداخته شده است.

پژوهش‌های زیادی در زمینهٔ استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب راهبردهای نگهداری و تعمیرات انجام گرفته است، ازجمله شرما و همکارانش که به‌کمک روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به ارزیابی محبوب‌ترین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در محیط فازی پرداختند (شرما، کومار و کومار، ۲۰۰۵). النجار و السیوف (۲۰۰۳) در مقاله‌ای با عنوان «انتخاب کارآمدترین رویکرد نگهداری و تعمیرات با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی» براساس سیزده شاخص (بارگذاری، رطوبت، نحوهٔ عمل، کیفیت مواد و...)، به ارزیابی روش‌های نگهداری و تعمیرات و رتبه‌بندی این روش‌ها با مدل مجموع وزین ساده (SAW) پرداختند. بشیری، بدری و حجازی (۲۰۱۱) با کمک نظر خبرگان نگهداری و تعمیرات و مدل‌سازی ریاضی، به رتبه‌بندی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری بر اساس شاخص‌های هزینه، متوسط زمان بین خرابی و چهار معیار سود پرداختند. وانگ و همکارانش روشی برای ارزیابی استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات، بر اساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی ارائه دادند (وانگ، چو و وو، ۲۰۰۷). بویلاسکوا و بارگلیا (۲۰۰۰)، از روش AHP و تحلیل حساسیت، برای انتخاب استراتژی نگهداری در یک پالایشگاه نفت ایتالیایی استفاده کردند.

با توجه به مطالب بیان‌شده و مرور ادبیات پژوهش در زمینهٔ نگهداری و تعمیرات و تصمیم‌گیری چندمعیاره، لازم به یادآوری است که رتبه‌بندی ماشین‌آلاتِ نیازمند نگهداری و تعمیرات، مقولهٔ جدیدی است و در این زمینه پژوهش چندانی یافت نمی‌شود و بیشتر کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در نگهداری و تعمیرات، برای انتخاب استراتژی مناسب است. نوآوری پژوهش پیش رو، در استفاده از تلفیق این دو مقوله برای رتبه‌بندی دستگاه‌های نیازمند نت پیشگیرانه است که برای نخستین‌بار انجام می‌گیرد.

## مدل مارتل و زاراس

ژان مارک مارتل و کاژیمیژ زاراس در سال ۱۹۹۷ مدلی را به نام تنظیمات و مدل‌سازی با استفاده از احتمال و تسلط احتمالی، در مقاله‌ای با همین نام معرفی کردند. این مدل که در گروه مدل‌های غیر جبرانی قرار دارد، در سال‌های اخیر مورد استقبال قرار گرفته و مقاله‌هایی با کمک این مدل نوشته شده‌اند که علاقه‌مندان به آنها ارجاع داده می‌شوند (کاژمیر زاراس، ۲۰۰۱؛ زانگ، فان و لیو، ۲۰۱۰)، البته در ایران در موارد اندکی و آن هم فقط بخش‌هایی از این روش مورد استفاده قرار گرفته است.

Archive of SID

www.SID.ir

## مراحل مدل مارتل و زاراس

### مرحلهٔ اول

در گام اول این مدل، نخست به بررسی تسلط گزینه‌ها پرداخته می‌شود؛ به این صورت که مطابق تعریف ۱، تابع تجمعی نظر خبرگان در مورد گزینهٔ یک با گزینهٔ دو مقایسه می‌شود، چنانچه در کل بازهٔ مذکور مقدار تابع تجمعی گزینهٔ یک از دو کمتر باشد، گزینهٔ یک نسبت به دو تسلط دارد و برای یک نسبت به دو، FSD [1] قرار داده می‌شود و چنانچه این رابطه برقرار نباشد، به مرحلهٔ دو رفته و ارتباط SSD [2] مطابق تعریف دو بررسی می‌شود؛ به این صورت که اگر انتگرال گزینهٔ یک نسبت به دو در تمام بازه کمتر باشد، گزینهٔ یک نسبت به دو تسلط مرحلهٔ دو (SSD) دارد و چنانچه با یکدیگر تقاطع داشته باشند، به‌سراغ تسلط مرحلهٔ سوم یا TSD [3] مطابق تعریف ۳ می‌رویم. لازم به یادآوری است که اگر گزینهٔ یک نسبت به دو، FSD داشته باشد، حتماً SSD و TSD نیز دارد، اما عکس این مطلب صادق نیست. بررسی مربوط به FSD و SSD و TSD، برای تمامی جفت گزینه‌ها انجام می‌گیرد. هدف از بررسی SD شناسایی برتری آماری هر یک از گزینه‌ها نسبت به تمامی گزینه‌های دیگر است، به این صورت که اگر گزینهٔ یک نسبت به دو یکی از سه نوع SD را داشته باشد، حتماً از نظر آماری از گزینهٔ دو برتر است، اما نوع SDها در مرحلهٔ دوم، نوع برتری (اولویت) گزینهٔ یک نسبت به گزینهٔ دو یا برعکس را مشخص می‌کند.

تعریف ۱:

Fik FSDk Fjk اگر و تنها اگر Fik ≠ Fjk, و Fik (xk) ≤ Fjk (xk) برای تمام xk ∈ [ck, dk] در [ck, dk]

تعریف ۲:

Fik SSDk Fjk اگر و تنها اگر Fik ≠ Fjk, و ∫Fik (xk) ≤ ∫ Fjk (xk) برای تمام xk ∈[ck,dk].

تعریف ۳:

Fik TSDk Fjk اگر و تنها اگر Fik ≠ Fjk, و ∫∫Fik (xk) ≤ ∫∫Fjk (xk) برای تمام xk ∈ [ck, dk] و μ(Fik) ≥ μ( Fjk )

### مرحلهٔ دوم

در ادامه، بر اساس تعاریف زیر به بررسی ارتباط بین گزینه‌ها پرداخته می‌شود، به این صورت که P اولویت بزرگ یا اصلی است و Q اولویت ضعیف و R نیز در صورتی که هیچ یک از دو مورد

1. First Stochastic Dominance
2. Second Stochastic Dominance
3. Third Stochastic Dominance

Archive of SID

www.SID.ir

مذکور نباشد، استفاده می‌شود. در مورد گزینه‌ها نیز می‌توان به این صورت عمل کرد که مطابق تعریف ۴، اگر هنگامی‌که گزینهٔ یک و دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند، گزینهٔ دو نسبت به گزینهٔ یک تسلط (هر یک از سه نوع تسلط FSD یا SSD یا TSD) نداشته باشد و احتمال تعریف چهار نیز برای $\beta$ بین ۰/۵ تا ۱ و $\alpha$ بین صفر تا یک (یادآوری می‌شود که برای محاسبهٔ این احتمال، در محیط برنامه‌نویسی Visual Studio با مقادیر آلفا و بتا در محدودهٔ مذکور و بررسی کل بازهٔ بتا بین ۰/۵ تا ۱ و آلفا بین صفر تا ۱ جداول مربوطه تکمیل شده است) برقرار باشد، P قرار داده می‌شود و چنانچه گزینهٔ یک نسبت به دو تسلط داشته باشد و احتمال تعریف ۵ نیز برقرار باشد، عبارت Q قرار داده می‌شود و چنانچه هیچ یک صدق نکند، R در جدول گذاشته می‌شود. در این مرحله نیز با توجه به نوع برتری آماری هر یک از گزینه‌ها، اولویت آنها مشخص می‌شود. برای نمونه زمانی که برتری گزینهٔ یک نسبت به دو به‌صورت FSD باشد، به‌احتمال بالایی اولویت گزینهٔ یک نسبت به گزینهٔ دو از نوع P است؛ زیرا در تمام بازهٔ مورد بررسی، گزینهٔ یک بر گزینهٔ دو تسلط یا برتری داشته است و به همین صورت دیگر SD ها.

تعریف ۴:

aik Pk ajk اگر $\exists\, x_k^{\alpha} \in X_{ik}$ به طوری که $Pr(X_{jk} < x_k^{\alpha}) > \beta / (1 - \alpha)$ و $\neg$ Fjk SDk Fik زمانی که

$\beta \in [0/5 ; 1/0]$, $\alpha \in [0 ; 1/0)$ و $x_k^{\alpha} = \sup\{ x_k / Pr(Xik < xk) \le \alpha\}$

تعریف ۵:

aik Qk ajk اگر $\forall\, x_k^{\alpha} \in Xik$ به‌طوری که $Pr(Xjk < x_k^{\alpha}) \le \beta / (1 - \alpha)$ و Fik SDk Fjk

aik Rk ajk در دیگر مواقع.

## مرحلهٔ سوم

در گام سوم به محاسبهٔ اولویت کلی گزینه‌ها پرداخته می‌شود، بدین صورت که در مقایسهٔ گزینهٔ یک با دو، اگر گزینهٔ دو نسبت به یک تسلط (هر یک از سه نوع تسلط FSD یا SSD یا TSD) داشته باشد و مجموع وزنی معیارهایی که در آن گزینهٔ یک نسبت به دو، در جدول مرحلهٔ دوم عبارت P یا $Q^+$ دارد، بیشتر یا مساوی وزن معیارهایی باشد که گزینهٔ دو نسبت به یک عبارت $Q^-$ را دارد، در جدول مرحلهٔ ۴ عبارت بیشتر قرار می‌گیرد و در غیر این صورت نماد (~) قرار داده خواهد شد.

ai $>$ aj اگر $\neg$ ajk Pk aik و اگر k برای تمام ها $w^{P+} + w^{Q+} \ge w^{Q-}$

ai ~ aj در دیگر مواقع

Archive of SID

www.SID.ir

که در رابطهٔ بالا؛ $w^{P+}$:جمع وزن‌ها برای تمام ak‌ها کـه aik Pk ajk؛ $w^{Q+}$ : جمـع وزن‌هـا برای تمام ak‌ها که aik Qk ajk و $w^{Q-}$: جمع وزن‌ها برای تمام ak‌ها که ajk Qk aik هستند.

تفاوت $Q^+$ و $Q^-$ در این است که اگر گزینهٔ یک نسبت به دو، در یکی از شاخص‌ها Q داشـته باشد و در یک شاخص دیگر گزینهٔ دو نسبت به یک Q داشته باشد، در مقایسهٔ دو گزینـه بـرای انتخاب علامت < یا ~ زمانی که گزینهٔ یک را با گزینهٔ دو مقایسـه مـی‌کنـیم، در شاخصـی کـه گزینهٔ یک نسبت به دو Q داشت، وزن آن شاخص بـه‌عنـوان $Q^+$ و در شاخصـی کـه گزینـهٔ دو نسبت به یک Q داشت، وزن شاخص دوم $Q^-$ قرار داده می‌شود. هدف از انجام ایـن بخـش نیـز تعیین تعداد علامت‌های بزرگتر یا ~ برای رتبه‌بندی نهایی در مرحلهٔ چهارم است.

### مرحلهٔ چهارم

برای یافتن بهترین گزینه یا زیرمجموعه که شامل اولویت اصلی در جواب نهایی است، به‌صورت زیر عمل می‌شود، در واقع گزینهٔ اصلی دارای خصوصیت‌های زیر است:

۱. هر عنصر در هسته قرار می‌گیرد، چنانچه حداقل با یک عنصـر در هسـته تـرجیح داده شود.

۲. هر عنصر در هسته به هر عنصر دیگر در هسته ترجیح داده شود.

حال با توجه به روابط < یا ~ به‌دست‌آمده از جدول مرحلهٔ سوم برای گزینه‌ها، هرچـه تعـداد نمادهای < بیشتر باشد، گزینه رتبهٔ بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد و در صورتی که بین دو گزینه تعداد نمادهای < مساوی شود، تعداد ~ بررسی می‌شود تا رتبه‌بندی نهایی انجام گیـرد. در این مدل گاهی برخی گزینه‌ها که دارای تعداد < برابر هستند، در یک طبقه قرار مـی‌گیرنـد کـه این گزینه‌ها، گزینه‌های هم‌طبقه نامیده می‌شـوند. هـدف از انجـام ایـن مرحلـه نیـز، شناسـایی اولویت‌بندی نهایی و گزینه‌های هم‌طبقه است (مارتل و زاراس، ۱۹۹۷).

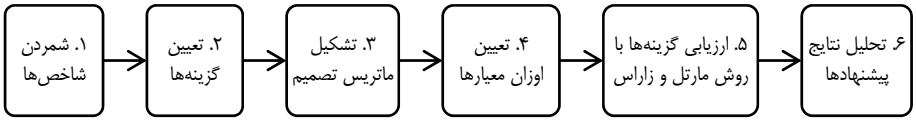
## روش‌شناسی پژوهش

راه منطقی که در راستای اعمال سیستم نگهداری و تعمیرات مناسب پیشنهاد می‌شود، این اسـت که بر اساس سوابق خرابی‌های گذشتهٔ دستگاه‌ها، فهرستی با عنوان «دستگاه‌های دارای اولویـت نت» از ماشین‌آلاتی که بیشترین زمان توقف و هزینه‌های تعمیراتی و دیگـر معیارهـای مـؤثر در توقف‌ها را دارند، انتخاب و سیستم نت پیشگیرانه به‌طور کاملاً دقیق در مورد آنها اعمـال شـود و به‌تدریج با اعمال این سیستم، این دستگاه‌ها از فهرست تدوین‌شده خـارج و دسـتگاه‌هـای دیگـر جای آنها را می‌گیرند و به همین ترتیـب کـل دسـتگاه‌هـا تحـت پوشـش قـرار داده مـی‌شـوند. پیاده‌سازی این سیستم، نیازمند روشی مناسب برای تصمیم‌گیری در مورد انتخـاب دسـتگاه‌هـای

Archive of SID

www.SID.ir

دارای اولویت است که در این پژوهش برای حل این مشکل از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است.




**شکل ۱. مراحل انجام پژوهش**

## یافته‌های پژوهش (مطالعهٔ موردی)

هدف از این پژوهش تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست آمده از فرم‌های تعمیرات و شناسنامه‌های کارکردی تجهیزات و دستگاه‌های مورد نظر و سوابق سال ۹۱ است. افزایش بهره‌وری کارخانه موجب کاهش میزان خرابی‌های قابل پیش‌بینی تجهیزات می‌شود. افزایش میزان عمر تجهیزات، یکی از دلایل انجام این پژوهش است. افزایش رضایتمندی مشتریان با کاهش تأخیرات صورت‌گرفته به‌سبب خرابی‌های دستگاه‌ها، یکی دیگر از این دلایل است. هدف پژوهش حاضر پاسخ به این پرسش است که بر اساس شاخص‌های انتخاب‌شده، کدام دستگاه بیشتر از دستگاه‌های دیگر نیاز به تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه دارد.

در مرحلهٔ نخست با توجه به سوابق دستگاه‌های موجود در سال ۹۱ (به‌مدت دوازده ماه) و دانش ذهنی مدیران (خبرگان)، به شناسایی شاخص‌های مهم در این شرکت پرداخته شده است. مهم‌ترین شاخص‌ها که پژوهش حاضر از آنها استفاده کرده است، عبارتند از: شاخص‌های کل کارکرد بدون خرابی (برحسب ساعت)، زمان تعمیر پیش‌بینی‌شده و واقعی، تعداد دفعات استفاده از تعمیرکار، زمان توقف در تولید و هزینه.

پرسش‌نامه شامل شش بخش است که پنج بخش برای هر یک از معیارها و بخش ششم برای محاسبهٔ وزن معیارها است و هر بخش دارای شش سطر (اسامی ماشین‌آلات نیازمند نت) و ده ستون (نشان‌دهندهٔ اهمیت هر یک از این ماشین‌آلات بر اساس شاخص مورد نظر) است. این پرسش‌نامه‌ها به‌کمک تیمی متشکل از پنج مدیر عملیاتی، مدیر عامل و چهار نفر کارشناس نگهداری و تعمیرات تکمیل شد. نمونه‌گیری از خبرگان، نمونه‌گیری غیر تصادفی و در دسترس بوده است (تعداد این افراد بر اساس مدل مارتل و زاراس هفت نفر بود که در این پژوهش به‌منظور بالا بردن قابلیت اعتماد، شمار خبرگان به ده نفر افزایش یافت). اوزان استخراج‌شده از

Archive of SID

www.SID.ir

روش میانگین‌گیری حسابی و بی‌مقیاس‌سازی درجه‌یک بخش ششم پرسش‌نامه، محاسبه شد (جدول ۱).

**جدول ۱. وزن معیارها**

| ردیف | معیار | وزن |
|---|---|---|
| ۱ | هزینه | ۰/۲۷ |
| ۲ | زمان توقف در تولید | ۰/۱۸ |
| ۳ | زمان تعمیر پیش‌بینی شده و واقعی | ۰/۱۵ |
| ۴ | تعداد دفعات استفاده از تعمیرکار | ۰/۱۷ |
| ۵ | کل کارکرد بدون خرابی | ۰/۲۳ |

## مرحلهٔ اول

در ادامه بر اساس مدل مارتل و زاراس به بررسی تسلط گزینه‌ها برای هر یک از معیارها پرداخته شده است. برای نمونه فرز کوچک نسبت به چهار ماشین دیگر با توجه به معیار هزینه (جدول ۲) برتری آماری نوع اول (FSD) دارد و فقط نسبت به ارهٔ نواری هیچ یک از سه نوع برتری را ندارد که با مراجع به جدول ۷ که اولویت گزینه‌ها را برحسب همین معیار (هزینه) مقایسه می‌کند، اولویت فرز کوچک نسبت به چهار ماشین مورد بحث، به‌صورت P تعیین شده است. به همین صورت ارتباط آماری و اولویت‌بندی هر یک از گزینه‌ها با توجه به هر یک از معیارها در جداول ۲ تا ۶ آورده شده است. لازم به توضیح است که در جداول ۲ تا ۱۲ منظور از اعداد ۱ تا ۶، ماشین‌هایی هستند که در ستون اول سمت چپ جداول نام آنها آورده شده است و برای کاهش حجم مقاله از نوشتن مجدد نام آنها خودداری شده است.

**جدول ۲. جدول تسلط برای معیار هزینه**

| هزینه = X۱ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | FSD | - | - | FSD | - |
| کمپرسور | - | | - | - | - | - |
| فرز کوچک | FSD | FSD | | ? | FSD | FSD |
| ارّهٔ نواری | FSD | FSD | ? | | FSD | FSD |
| ارهٔ دیسکی | - | FSD | - | - | | - |
| سنگ تخت | FSD | FSD | - | - | FSD | |

Archive of SID

www.SID.ir

گفتنی است، چنانچه در هیچ یک از سه مورد تسلط وجود نداشته باشد یـا تسـلط در مراحـل مختلف جابه‌جا شود، از علامت سؤال استفاده می‌شود.

**جدول ۳. جدول تسلط برای معیار زمان توقف در تولید**

| زمان توقف = X۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | FSD | FSD | - | - | FSD |
| کمپرسور | - | | - | - | FSD | FSD |
| فرز کوچک | - | FSD | | - | FSD | FSD |
| ارهٔ نواری | SSD | SSD | SSD | | FSD | FSD |
| ارهٔ دیسکی | SSD | - | - | - | | FSD |
| سنگ تخت | - | - | - | - | - | |

**جدول ٤. جدول تسلط برای معیار زمان تعمیر**

| زمان تعمیر = X۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | FSD | - | - | - | FSD |
| کمپرسور | - | | - | - | - | FSD |
| فرز کوچک | FSD | FSD | | - | FSD | FSD |
| ارّهٔ نواری | FSD | FSD | FSD | | FSD | FSD |
| ارهٔ دیسکی | FSD | FSD | - | - | | FSD |
| سنگ تخت | - | FSD | - | - | - | |

**جدول ٥. جدول تسلط برای معیار دفعات تعمیر**

| دفعات تعمیر = X٤ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | FSD | FSD | - | - | - |
| کمپرسور | - | | - | - | - | FSD |
| فرز کوچک | - | FSD | | - | FSD | FSD |
| ارهٔ نواری | FSD | FSD | FSD | - | FSD | FSD |
| ارهٔ دیسکی | SSD | FSD | - | - | | FSD |
| سنگ تخت | - | - | - | - | SSD | |

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ٦.جدول تسلط برای معیار کل کارکرد**

| کل کارکرد = X٥ | ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | FSD | - | - | FSD | - |
| کمپرسور | - | | - | - | FSD | - |
| فرز کوچک | FSD | FSD | - | FSD | FSD | - |
| ارهٔ نواری | FSD | TSD | - | | FSD | - |
| ارهٔ دیسکی | - | - | - | - | | - |
| سنگ تخت | FSD | FSD | FSD | FSD | FSD | |

## مرحلهٔ دوم

مرحلهٔ دوم که در آن P اولویت بزرگ یا اصلی است و Q اولویت ضعیف و R نیز، در صورتی کـه هیچ یک از دو مورد مذکور نباشد، برای شش ماشین بر اساس پـنج معیـار در جـداول ۱۰ تـا ۱۱ آورده شده است.

**جدول ۷. اولویت برای معیار هزینه**

| هزینه = X١ | ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | P | | | P | |
| کمپرسور | | | | | | |
| فرز کوچک | P | P | | Q | P | P |
| ارهٔ نواری | R | R | | | R | R |
| ارهٔ دیسکی | | P | | | | |
| سنگ تخت | P | P | | | P | |

**جدول ۸. جدول اولویت برای معیار زمان توقف**

| زمان توقف = X٢ | ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | | P | P | | | P |
| کمپرسور | | | | Q | Q | P |
| فرز کوچک | | P | | Q | Q | P |
| ارهٔ نواری | Q | | | | | P |
| ارهٔ دیسکی | Q | | | Q | | P |
| سنگ تخت | | | | | | |

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۹. جدول اولویت برای معیار زمان تعمیر**

| زمان تعمیر = X۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | ■ | P | | | | P |
| کمپرسور | | ■ | | | | |
| فرز کوچک | P | P | ■ | | P | P |
| ارهٔ نواری | P | P | P | ■ | P | P |
| ارهٔ دیسکی | P | P | | | ■ | P |
| سنگ تخت | | P | | | | ■ |

**جدول ۱۰. جدول اولویت برای معیار دفعات تعمیر**

| دفعات تعمیر = X٤ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | ■ | P | P | | Q | Q |
| کمپرسور | | ■ | | | | Q |
| فرز کوچک | | P | ■ | | P | |
| ارهٔ نواری | P | P | P | ■ | P | P |
| ارهٔ دیسکی | | P | | | ■ | |
| سنگ تخت | | | Q | | Q | ■ |

**جدول ۱۱. جدول اولویت برای معیار کل کارکرد**

| کل کارکرد = X۵ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | ■ | P | | | P | |
| کمپرسور | | ■ | | | P | |
| فرز کوچک | P | P | ■ | Q | P | Q |
| ارهٔ نواری | P | P | | ■ | P | Q |
| ارهٔ دیسکی | | | | | ■ | |
| سنگ تخت | | R | | | R | ■ |

**مرحلهٔ سوم**

در گام سوم به محاسبهٔ اولویت کلی گزینه‌ها پرداخته شده است، به این صورت کـه جمـع وزنـی معیارهایی که گزینهٔ یک بر دو اولویت دارد (اولویت اصلی P یا اولویت ضعیف Q)، اگـر بیشـتر از جمع وزنی معیارهایی باشد که در آنها گزینهٔ دو بر یک اولویت دارد، برای گزینهٔ یک نسبت به دو علامت $<$ در نظر گرفته می‌شود و اگر این جمع وزنی برابر باشد، علامت $\sim$ قرار داده می‌شود که نتایج بررسی شش گزینه، مطابق جدول ۱۲ است.

Archive of SID

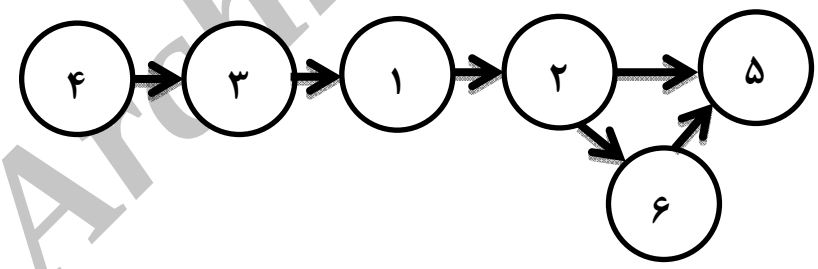
www.SID.ir

**جدول ۱۲. جدول اولویت کلی**

| | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراش بزرگ | ~ | > | ~ | | ~ | ~ |
| کمپرسور | | ~ | | ~ | ~ | ~ |
| فرز کوچک | ~ | > | ~ | | > | > |
| ارهٔ نواری | > | > | ~ | ~ | > | > |
| ارهٔ دیسکی | | | | | ~ | |
| سنگ تخت | | | | | | ~ |

## مرحلهٔ چهارم

در این مرحله مطابق شکل ۲، گراف نهایی پاسخ مسئله رسم شده است با توجه به تعاریف مرحلهٔ چهارم مدل، از آنجایی که عنصر ۴ (گزینهٔ ۴) بر عنصر ۳ ترجیح داده می‌شود، در هسته قرار می‌گیرد و به همین ترتیب عنصر ۳ بر ۱ ترجیح دارد و عنصر ۱ بر ۲ و ۲ بر ۵. بنابراین پنج عنصر در هسته قرار می‌گیرند، اما عنصر ۶ که بر هیچ یک از عناصر دیگر ترجیح ندارد، در هسته قرار نمی‌گیرد.




**شکل ۲. گراف نهایی**

همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌کنید، گزینهٔ ۵ و ۶ در یک طبقه قرار دارند و نسبت به یکدیگر برتری ندارند، بنابراین رتبه‌بندی نهایی مطابق جدول ۱۳ است.

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۱۳. جدول رتبه‌بندی نهایی**

| ردیف | نام ماشین | رتبه‌بندی نهایی |
|---|---|---|
| ۱ | تراش بزرگ | ۳ |
| ۲ | کمپرسور | ۴ |
| ۳ | فرز کوچک | ۲ |
| ۴ | ارهٔ نواری | ۱ |
| ۵ | ارهٔ دیسکی | ۵ |
| ۶ | سنگ تخت | ۵ |

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در شرکت ماشین‌سازی تولید آتش، به‌دلیل سفارشی‌بودن محصولات و وابستگی شدید تکنولوژی و فرایند ساخت به دستگاه‌ها، لزوم کارایی دستگاه‌ها به‌شدت احساس می‌شود. بر این اساس، داشتن دستگاه‌ها و تجهیزات سالم که هنگام نیاز بتوان از آنها بهرهٔ کافی برد، بسیار مهم است. برای اینکه دستگاه‌های مورد نیاز همیشه صحیح و سالم باشند، باید اقدامات و اَعمالی برای پیشگیری از خرابی آنها انجام گیرد. از آنجایی که امکانات محدود است و نمی‌توان برای تمام دستگاه‌ها و تجهیزات به یک اندازه و از یک منبع مشخص هزینه کرد، باید تجهیزات را از نظر حساسیت و مهم‌بودن درجه‌بندی و رتبه‌بندی کرد و پس از آن، تصمیم‌های لازم را برای اقدامات و اعمال پیشگیرانه انجام داد. اهمیت موضوع به‌قدری زیاد است که در صورت توقف تجهیزات در حین فرایند تولید، لطمه‌های بسیار جبران‌ناپذیری به شرکت وارد خواهد شد.

بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از فرم‌های طبقه‌بندی‌شدهٔ تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها و تجهیزات و شناسنامه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات و با استفاده از شاخص‌های مشخص‌شده از طریق نظر خبرگان و تجزیه‌وتحلیل انجام‌شدهٔ مدل مارتل و رازاس، دستگاه‌ها اولویت‌بندی‌شده و حساس‌ترین دستگاه‌ها که ماشین ارهٔ نواری و ماشین فرز کوچک هستند، شناسایی شدند بنابراین شرکت بایستی درصدد اجرای نت پیشگیرانهٔ بهتر و قوی‌تری برای این دو دستگاه باشد، تا از خوابیدن ناگهانی خط تولید جلوگیری‌شده و نیاز به تعمیرات در شرکت کاهش یابد تا جایی که به صفر برسد و با تکرار پروسهٔ فهرست نیازمند نت، ضایعات سازمان به حداقل رسیده و تولیدات کیفیت بالاتری پیدا کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

بیان این نکته ضروری است که در دو ماه ابتدای سال ۹۲، نتایج پژوهش در کارخانهٔ تولید آتش بررسی شد و به کاهش ۶۰ درصدی توقفات خط تولید منجر شد.

اما در آخر یادآوری می‌شود که هدف کلی از انجام این پروژه، بهبود وضعیت کلان نگهداری و تعمیرات و استفاده از یک مدل جدید برای تصمیم‌گیری چند معیاره بوده است و مقصود نهایی از این پروژه، رساندن کارخانه به استانداردهای مناسب در سطح بین‌المللی و کاهش هزینه‌های ناشی از عدم وجود سیستم نت مناسب بوده که با توجه به نتایج دو ماه اول سال ۹۲ تا حدود زیادی این هدف تحقق یافته است.

در راستای تحلیل‌هایی که بیان شد، پیشنهادهای زیر برای مطالعات آتی ارائه شده‌اند:

- استفاده از چارچوب مدل مارتل و زاراس در اولویت‌بندی نگهداری و تعمیرات تأسیسات شرکت، در مقوله‌های دیگر برای رتبه‌بندی.
- تمرکز بر علل وقفه‌انداز و ارائهٔ راه‌کار برای جلوگیری از ایجاد این وقفه‌ها از طریق ایجاد انگیزه در واحدهای مهندسی، مالی و پیمانکاران و سپس سنجش میزان اثربخشی واحد نام برده شده.
- شناسایی و بررسی دستگاه‌های کلیدی در واحد تولیدی و قطعات کلیدی و تمرکز بر آنان، برای ارتقای تولیدات و همین‌طور سطح نگهداری و تعمیرات واحد تولیدی آتش.
- استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای افزایش اعتبار نتایج.

## منابع

صیادی، ا. ر.؛ حیاتی، م. و منجزی، م. (۱۳۹۰). مدیریت ریسک ساخت تونل با استفاده از تکنیک‌های MADM. *مدیریت صنعتی*، ۳ (۷): ۱۱۶- ۹۹.

طواری، م.؛ سوخکیان، م. ع.؛ میرنژاد، س. ع. (۱۳۸۷). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی انسانی با استفاده از تکنیک‌های MADM (مطالعهٔ موردی: یکی از شرکت‌های تولیدی پوشاک جین در استان یزد). *مدیریت صنعتی*، ۲ (۱): ۸۸- ۷۱.

عالم تبریز، ا. و منیری، م. ر. (۱۳۹۰). به‌کارگیری مهندسی ارزش با رویکرد MADM فازی در بهبود عملکرد پروژه. *مدیریت صنعتی*، ۱ (۶): ۹۸- ۸۱.

مجذوبی، ف. (۱۳۸۷). *تخصیص مازاد در سیستم‌های موازی ـ سری برای بهبود قابلیت اطمینان*. رسالهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف.

محمدی، ع. ح. ش. (۱۳۸۳). *برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات*. چاپ نهم، اصفهان: غزل.

Archive of SID

www.SID.ir

مهرگان، م، ر.؛ دهقان نیری، م. (۱۳۸۸). رویکرد منسجم BSC - TOPSIS جهت ارزیابی دانشکده‌های مدیریت برتر دانشگاه‌های استان تهران. *مدیریت صنعتی*، ۱ (۲): ۱۶۸– ۱۵۳.

نمین، م. ح. س. (۱۳۸۷). *استراتژی‌های تعمیرات و نگهداری و قابلیت اطمینان*. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).

Ahmadizar, F. & Soltanpanah, H. (2011). Reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints using an efficient ant colony approach. *Expert Systems with Applications,* 38(4): 3640-3646.

Al-Najjar, B. & Alsyouf, I. (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economics,* 84(1): 85-100.

Bashiri, M., Badri, H. & Hejazi, T. H. (2011). Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method. *Applied Mathematical Modelling,* 35(1): 152-164.

Batun, S. & Azizoglu, M. (2009). Single machine scheduling with preventive maintenances. *International Journal of Production Research,* 47(7): 1753-1771.

Belzunce, F., Martinez-Puertas, H. & Ruiz, J. M. (2011). On optimal allocation of redundant components for series and parallel systems of two dependent components. *Journal of Statistical Planning and Inference, 141*(9): 3094-3104.

Benkamra, Z., Terbeche, M. & Tlemcani, M. (2011). Tow stage design for estimating the reliability of series/parallel systems. *Mathematics and Computers in Simulation,* 81(10): 2062-2072.

Bevilacqua, M. & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety,* 70(1): 71-83.

Chen, T.-C. (2006). IAs based approach for reliability redundancy allocation problems. *Applied Mathematics and Computation,* 182(2): 1556-1567.

Chiadamrong, N. (1999). An integrated fuzzy multi-criteria decision making method for manufacturing strategies selection. *Computers & Industrial Engineering,* 37(1): 433-436.

Chuu, S. J. (2009). Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. *Computers & Industrial Engineering,* 57(3): 1033-1042.

Archive of SID

www.SID.ir

Coit, D. W. & Liu, J. (2000). System Reliability Optimization With k-out-of-n Subsystems. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 7*(02): 129-142.

Coit, D. W. & Smith, A. E. (1995). Optimization Approaches to the Redundancy Allocation Problem for Series-Parallel Systems. *Cite as Proceedings of the Fourth Industrial Engineering Research Conference (IERC)* pp. 342-349.

Coit, D. W. & Smith, A. E. (1996). Reliability optimization of series-parallel systems using a genetic algorithm. *IEEE Transactions On Reliability,* 45(2): 254-260.

Gen, M. & Yun, Y. (2006). Soft computing approach for reliability optimization: State-of-the-art survey. *Reliability Engineering and System Safety,* 91(9): 1008-1026.

Huang, D.K., Chiu, H.N., Yeh, R.H. & Chang, J.H. (2009). A fuzzy multi-criteria decision making approach for solving a bi-objective personnel assignment problem. *Computers & Industrial Engineering,* 56(1): 1–10.

Martel, J.-M. & Zaras, K. (1997). *Modeling preferences using stochastic and probabilistic dominances*. Québec: Faculté des sciences de l'administration de l'Université Laval, Direction de la recherche.

Martel, J. M. & Zaras, K. (1995). Stochastic dominance in multicriteria analysis under risk. *Theory and Decision,* 39(1): 31-49.

Misra, K. (1972). Reliability optimization of series-parallel system. *IEEE Transactions On Reliability,* 21(4): 230-238.

Nahas, N. & Nourelfath, M. (2005). Ant system for reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints. *Reliability Engineering and System Safety,* 87(1): 1-12.

Nakagawa, T. (2005). Maintenance Theory of Reliability. *Springerverlag London Limited.*

Nourelfath, M. & Nahas, N. (2003). Quantized hopfield networks for reliability optimization. *Reliability Engineering and System Safety,* 81(2): 191-196.

Nowak, M. (2004a). Preference and veto thresholds in multicriteria analysis based on stochastic dominance. *European Journal of Operational Research,* 158(2): 339-350.

Nowak, M. (2004b). Interactive approach in multicriteria analysis based on stochastic dominance. *Control and Cybernetics,* (33): 463-476.

Archive of SID

www.SID.ir

Nowak, M. (2006). INSDECM-An interactive procedure for stochastic multicriteria decision problems. *European Journal of Operational Research,* 175(3): 1413-1430.

Nowak, M. (2007). Aspiration level approach in stochastic MCDM problems. *European Journal of Operational Research,* 177(3): 1626-1640.

Nowak, M., Trzaskalik, T., Trzpiot, G., Zaras, K., Trzaskalik, T. & Michnik, J. (2002). Inverse stochastic dominance and its applications in production process control. *Multiple objective and goal programming*, (pp. 362-376) Physica-Verlag HD.

Pintelon, L.M. & Gelders, L.F. (1992). Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research,* 58(3): 301-317.

Qi, C. & Shu-ping, H. (2009). Reliability Optimizing of the Series-Parallel System Owing to Immune Genetic Algorithm. *Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, (pp. 413-416). IEEE.

Rabhi, N., Guedri, M., Hassis, H. & Bouhaddi, N. (2011). Structure dynamic reliability: A hybrid approach and robust meta-models. *Mechanical Systems and Signal Processing,* 25(7): 2313-2323.

Ramirez-Marquez, J.E. & Coit, D.W. (2004). A heuristic for solving the redundancy allocation problem for multi-state series-parallel systems. *Reliability Engineering and System Safety,* 83(3): 341-349.

Sadjadi, S. J. & Soltani, R. (2009). An efficient heuristic versus a robust hybrid meta-heuristic for general framework of serial–parallel redundancy problem. *Reliability Engineering and System Safety,* 94(11): 1703-1710.

Sarker, R. A. & Quaddus, M. A. (2002). Modelling a nationwide crop planning problem using a multiple criteria decision making tool. *Computers & Industrial Engineering,* 42(2): 541–553.

Sharma, R. K., Kumar, D. & Kumar, P. (2005). FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model. *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* 11(4): 359-374.

Sharma, U. & Misra, K. (1990). An efficient algorithm to solve integer programming problems in reliability optimization. *International Journal of Quality & Reliability Management, 7*(5): 44-56.

Sharma, V. K., Agarwal, M. & Sen, K. (2011). Reliability evaluation and optimal design in heterogeneous multi-state series-parallel systems. *Information Sciences,* 181(2): 362-378.

Archive of SID

www.SID.ir

Sung, C. S. & Cho, Y. K. (2000). Reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints. *European Journal of Operational Research,* 127(1): 159-171.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Safari, J. & Sassani, F. (2008). Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm. *Reliability Engineering and System Safety,* 93(4): 550–556.

Tian, Z., Levitin, G. & J.Zuo, M. (2009). A joint reliability–redundancy optimization approach for multi-state series–parallel systems. *Reliability Engineering and System Safety,* 94(10): 1568-1576.

Tian, Z., Zuo, M. J. & Huang, H. (2008). Reliability-Redundancy Allocation for Multi-State Series-Parallel Systems. *IEEE Transactions On Reliability,* 57(2): 303-310.

Triantaphyllou, E. & Evans, G. W. (1999). Multi-criteria decision making in industrial engineering. *Computers & Industrial Engineering,* 37(3): 505–506.

Vasant, P. (2006). Fuzzy decision making of profit function in production planning using S-curve membership function. *Computers & Industrial Engineering,* 51(4): 715-725.

Wang, L., Chu, J. & Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics,* 107(1): 151-163.

Wang, Y. M. & Elhag, M. S. T. (2007). A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering,* 53(1): 137-148.

Yaman, R. & Balibek, E. (1999). Decision making for facility layout problem solutions. *Computers & Industrial Engineering,* 37(1): 319-322.

Yeh, W.C. & Hsieh, T.-J. (2011). Solving reliability redundancy allocation problems using an artificial bee colony algorithm. *Computers & Operations Research,* 38(11): 1465-1473.

Zaras, K. (1999). Rough approximation of pairwise comparisons described by multiattribute stochastic dominance. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis,* 8(5): 291-297.

Zaras, K. (2001). Rough approximation of a preference relation by a multi-attribute stochastic dominance for determinist and stochastic evaluation problems. *European Journal of Operational Research,* 130(2): 305-314.

Archive of SID

www.SID.ir

Zawisza, M. & Trzpiot, G. (2002). Multicriteria analysis based on stochastic and probability dominance in measuring quality of life. *Multiple objective and goal programming: Recent developments,* (pp.412-423). Physica-Verlag HD.

Zhang, Y., Fan, Z.-P. & Liu, Y. (2010). A method based on stochastic dominance degrees for stochastic multiple criteria decision making. *Computers & Industrial Engineering,* 58(4): 544-552.

Archive of SID

www.SID.ir