



دانشگاه افسری و تربیت پاسداری
امام حسین (ع)
۱۳۶۵

دو فصلنامه علمی
دوره دوم
پیش شماره ۳
بهار و تابستان ۱۳۹۹

بسم الله الرحمن الرحيم
کس جبهه‌ی خونین برآین
بر از جبهه‌ی عمارت جودین

پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاع

بکارگیری آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در ماشین سوزن /
سید سهند سبطی، امیر مسعود تیره کار، زهرا راجی پور

۸

مدل سازی استوار شبکه زنجیره تامین نگهداری و تعمیرات چند محصولی تحت شرایط عدم قطعیت /
سعید رمضانی، بهزاد مرادی

۲۲

نمونه استفاده از روش هزینه چرخه عمر برای جایگزینی دستگاه UPS در یک سازمان نظامی /
محمدرضا حمیدی، محمود محمودی، محمد حسین رهنمایی

۴۴

یکپارچه سازی تفکر ناب و توسعه پایدار در زمینه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE) در صنعت ساخت و ساز /
فرشید فرخی زاده، فریبا شکوهی

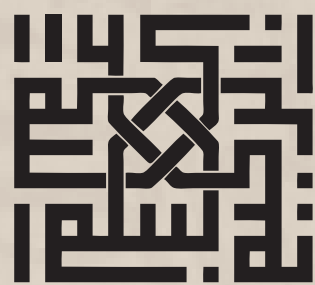
۵۸

یک مدل ریاضی چندهدفه تولید سلول پویا برای آنالیز پاسخ استواری در کارگران با مهارت متفاوت /
اکرم علی کاظمی، رضا احتشام راثی

۷۶

مدل ترکیبی جدید بر پایه الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات باهدف بهینه سازی زمان بندی نگهداری و تعمیرات /
جواد غلامی، سید احمد رضوی آل هاشم، سید عباس صفوی

۹۸



دوفصلنامه علمی
پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی
نشریه دانشکده علوم و مهندسی دفاعی

اعضای هیأت تحریریه

دکتر سید محمد سید حسینی	استاد تمام دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر علیرضا معینی	دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر مجتبی حسینی	دانشیار دانشگاه لرستان
دکتر احمد منصوریان	دانشیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر مسعود مصدق خواه	دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دکتر اردشیر احمدی	دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دکتر سید ضیاء الدین قاضی زاده	دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دکتر نقی شجاع	دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

شمارگان: ۵۰۰ (نسخه چاپی) ۵۰۰ (نسخه الکترونیکی)

قیمت نسخه چاپی: ۶۵۰۰۰۰ ریال

دفتر نشریه: تلفن: ۷۷۱۰۵۰۳۳ داخلی ۱۰۶ - دورنگار: ۷۷۱۰۵۰۳۲

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشگرک، دانشگاه افسری و تربیت

پاسداری امام حسین علیه السلام، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی.

تارنمای شبکه: dmej.ihuo.ac.ir

پست الکترونیکی: dmej@ihuo.ac.ir / 2qdmej@gmail.com

کلیه حقوق مادی و معنوی برای دانشکده علوم و مهندسی دفاعی محفوظ است.



دانشگاه افسری و تربیت پاسداری
امام حسین (ع)

دوفصلنامه علمی

پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی
دوره ۲، پیش شماره ۳، بهار و تابستان ۱۳۹۹
صاحب امتیاز و ناشر: دانشکده علوم و مهندسی دفاعی
شاپای چاپی: ۷۳۱۷-۲۶۷۶
شاپای الکترونیکی: ۰۸۶۱-۲۷۱۷
شماره پروانه انتشار: ۸۶۴۹۱



مدیر مسئول: دکتر محمد کاظم بصیرتی
سر دبیر علمی: دکتر سید محمد سید حسینی
مدیر اجرایی و معاون سردبیر: دکتر فرشید فرخی زاده
ویراستار: مهندس علیرضا سهرابی
کارشناس نشریه: مهندس سید اسمعیل میرحیدری
کارشناس انگلیسی: دکتر علی قربان گراوند
حروفچین و صفحه آرا: مهندس رضا کرمی



مشاورین علمی:

دکتر مهدی ابراهیمی

دکتر بیتا تبریزیان

دکتر رضا رادفر

مهندس حسن رادمرد

دکتر سعید رمضانی

دکتر مصطفی زارعی

دکتر محسن شاه رضایی

دکتر عباس طلوعی اشلقی

دکتر فرشید فرخی زاده

دکتر مسعود کسایی

دکتر رضا مازندرانی

دکتر احمد مهربان

دکتر حسن یزدانی



با عرض سلام و آرزوی توفیق خدمت دوستان عزیز و همکاران محترم سخن آغاز می‌کنم. آغاز هر نشریه علمی، به‌سان طلوعی نوین در عرصه آگاهی و دانش است، به‌ویژه در زمینه علوم فنی و مهندسی که جایگاه چالش‌های بزرگ و تعیین‌کننده می‌باشد. اینک که به لطف الهی پیش‌شماره سوم دوفصلنامه "پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی" انتشار می‌یابد، یادآوری چند نکته خالی از لطف نیست.

نکته اول: با عنایت به تأکید فرماندهی معظم کل قوا در خصوص توجه نیروهای مسلح به اهمیت موضوع تعمیر و نگهداری و بازسازی امکانات و تجهیزات نظامی «نیروهای مسلح ما به‌عنوان انسان‌های مصمم، بااراده و انقلابی باید همواره درس بازسازی و تعمیر و نگهداری تجهیزات نظامی را بیاد داشته باشند و با تکیه بر مغزهای متفکر و فعال و ابتکار و امکانات، نیازهای رزمی و دفاعی خود را تأمین کنند»^۱.

نکته دوم: با توجه به اهمیت موضوع خودکفایی در امر تعمیر و نگهداری به‌خصوص برای نیروهای مسلح هر کشور و همچنین نبود نشریات علمی فعال و تخصصی در کشور برای این بخش از علوم، بر طبق رسالت و وظیفه ما نیز بر آن شدیم در راستای برنامه‌های دانشکده علوم و مهندسی دفاعی دانشگاه افسری و تربیت پاسدار امام حسین علیه‌السلام پیش‌شماره سوم دوفصلنامه مهندسی نگهداشت دفاعی را با همکاری اساتید و خبرگان موضوع تهیه نماییم تا بدین‌وسیله در اشاعه و ترویج علوم گام مثبتی برداشته و سهمیم باشیم.

نظر به همت اساتید و خبرگان موضوع و همچنین همکاری دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین علیه‌السلام در این شماره به لطف ایزدمتان مجوزهای و زیرساخت‌های اولیه من‌جمله نمایه‌سازی مقالات مجله در پایگاه‌های علمی معتبر کشور، اخذ کد شاپا و پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و ...، که مقدماتی است برای دریافت اعتبار علمی از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری کشور؛ به‌صورت کامل و به نحو شایسته انجام شده است، امید است که با همکاری مجدد پژوهشگران و خبرگان موضوع در ارسال مقالات اصیل پژوهشی این مهم زودتر به سرانجام برسد.

سردبیر علمی

۱. برگزاری مراسم صبحگاه پایگاه نیروی دریایی بوشهر در حضور فرمانده کل قوا، ۱۳۷۰/۱۰/۲۰



۱. مقاله باید پژوهشی و حاصل تحقیق نویسنده در زمینه مهندسی نگهداشت دفاعی باشد.
۲. مقاله‌های ارسالی به نشریه، نباید پیش از این در هیچ یک از نشریه‌های داخلی یا خارجی چاپ شده باشد.
۳. مقاله‌ها پس از پذیرش اولیه در هیأت تحریریه به منظور ارزیابی برای دو نفر از داوران صاحب نظر و کارشناس فرستاده خواهد شد و پذیرش نهایی بر اساس نظر داوران و موافقت هیأت تحریریه خواهد بود.
۴. مسئولیت علمی مقاله بر عهده نویسنده است و دیدگاه‌های نویسندگان مقالات، لزوماً دیدگاه نشریه نیست.
۵. مقاله باید حداکثر در ۲۰ صفحه A^۴ و در قالب Word و با قلم ۱۱ B Nazanin تایپ شود و به شکل فایل الکترونیکی برای دفتر نشریه فرستاد شود.
۶. نشریه از مقاله‌های تحقیقی و تحلیلی اصیل استقبال می‌کند که در آن مطلب یا نظریه‌ای تخصصی دارای نوآوری، نکات علمی نوین و غیراقتباسی ارائه و به‌ویژه از مقاله‌های برگرفته از پایان‌نامه‌ها که طی آن نظری بدیع مطرح شده باشد، مجله از چاپ مقاله‌های مبتنی بر گردآوری یا ترجمه معذور است.
۷. برگه رویه (عنوان) که در آن فقط اطلاعات شناسنامه‌ای تحقیق از جمله، عنوان، نام نویسنده یا نویسندگان، عنوان شغلی یا علمی، زمان نگارش، نشانی کامل فرد یا مؤسسه یا مؤسسات متبوع، رایانامه (ایمیل) و شماره تلفن درج می‌شود.
۸. چکیده: خلاصه‌ای دقیق از مقاله است که در یک صفحه جدا و در قالب و قلم متفاوت از متن نوشته می‌شود و در آن باید درستی و دقت، استقلال، ایجاز و صراحت، غیرقضاوتی بودن و روانی و انسجام رعایت شود.
۹. مقدمه: بخش اصلی مقاله با مقدمه آغاز می‌شود که در ضمن آن، مسئله تحقیق (سؤال‌ها، فرضیه‌ها، اهداف) و پیشینه علمی پژوهش بیان می‌شود.
۱۰. بدنه نوشتار (چارچوب نظری): این بخش بدنه اصلی و ستون فقرات نوشتار را تشکیل می‌دهد. نظریه‌ها و مباحث نظری در حوزه مورد بحث باید بر اساس نظم و در چارچوب روشی منظم و بر اساس طرح کلی مقاله پیش برود.
۱۱. روش تحقیق: پس از مباحث نظری می‌آید و محقق جزئیات شیوه اجرای پژوهش را توصیف می‌کند. در این بخش مراحل پژوهش (جامعه آماری، نمونه‌گیری، حجم نمونه و...) بیان می‌شود.



۱۲. یافته‌ها و تحلیل: این بخش یافته‌های پژوهش و تحلیل کمی و کیفی پژوهشگر را در حوزه موضوعی مورد نظر تشکیل می‌دهد. داده‌ها و تحلیل‌ها باید بر اساس نظم و در چهارچوب روشی منظم و بر اساس طرح کلی مقاله پیش برود.

۱۳. نتیجه‌گیری و پیشنهاد: نویسنده در بخش پایانی مقاله باید نتایج را بیان و مطالب را چنان جمع‌بندی کند که خواننده احساس کند به پایان مقاله رسیده و از بحث و بررسی‌ها به نتیجه‌ای دست یافته است؛ همچنین پیشنهادهای بعدی و چشم‌انداز آینده و مسائل باقیمانده درباره موضوع در بخش نتیجه‌گیری مطرح می‌شود. این بخش یک پاراگراف تا یک صفحه باشد.

بکارگیری آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در ماشین سوزن

سید سهند سبّتی^{۱*}، امیرمسعود تیره کار^۲، زهرا راجی پور^۳

^۱ مدیر پارتمان نگهداری و تعمیرات شرکت مهندسين مشاور ایتسن .

^۲ مدیرعامل شرکت مهندسين مشاور ایتسن.

^۳ کارشناس نگهداری و تعمیرات شرکت مهندسين مشاور ایتسن.

تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۹/۰۵/۱۱

چکیده:

ماشین سوزن یکی از تجهیزات کلیدی در صنایع ریلی است که عملکرد مطمئن و قابل اطمینان این تجهیز الکترومکانیکی نقشی اساسی در افزایش سطح ایمنی عملکرد و پیوستگی عملیاتی در این صنعت دارد. در این پژوهش از روش آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM^۲) برای تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات ماشین سوزن استفاده شده است. دستورالعمل سازندگان تجهیز و یا تجربیات گروه‌های تعمیراتی، بدون در نظر گرفتن الگوها و پیامدهای خرابی اغلب مبنای تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات و تهیه چک لیستهای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در مجموعه‌های قطار شهری هستند. در این پژوهش تلاش شده وجه تمایز تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات به روش‌های سنتی، با روش‌های ساختاریافته و منطقی مانند تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی و نشان داده شود. نتایج این پژوهش کاربردی نشان می‌دهد، بکارگیری آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای ماشین سوزن منجر به افزایش میزان اثربخشی و کارآمدی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و همچنین کاهش هزینه‌ها و حجم فعالیت‌های تعمیراتی می‌شود.

در پژوهش حاضر، از روش میدانی (مصاحبه با خبرگان بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات ماشین سوزن در مجموعه‌های قطار شهری و بررسی دفاتر عملیات و تعمیرات) برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز استفاده شده است. مدیران فنی مجموعه‌های قطار شهری می‌توانند از نتایج این پژوهش برای اصلاح قراردادهای پیمانکاران نگهداری و تعمیرات و توسعه بکارگیری تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در سطح مجموعه‌های قطار شهری استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، علت خرابی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، خرابی پنهان.

* ایمیل نویسنده مسئول s.sebti@itcen.ir





۱- مقدمه

رشد روزافزون تقاضای خدمات و محصولات مختلف چه به لحاظ کمی و چه به لحاظ کیفی، جوامع بشری امروزی را بیش از پیش وابسته به تولیدات صنعتی، انرژی و خدمات ارزان، ایمن و بهنگام کرده است. در حالی که منابع در دسترس، هر روز محدودتر میگردند، پاسخ به این حجم از تقاضا بدون شک در گرو ارتقاء هر چه بیشتر سطح عملکردی صنایع و زیرساخت‌هایی است که استفاده بهینه و اقتصادی از منابع موجود را به صورت جدی در اولویت قرار داده است.

رقابتی‌تر شدن صنایع، افزایش انتظارات از صنایع در ارتقاء ایمنی کارکنان و مشتریان، رعایت الزامات زیست‌محیطی و همچنین تقاضای رو به رشد بازار، صاحبان صنایع را بر آن می‌دارد که با بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی پیشرفته، کارآمد و اثربخش، هزینه‌های خود را به حداقل رسانده و با کاهش توقفات، کاهش حوادث با پیامدهای ایمنی و زیست محیطی و افزایش کیفیت خدمات و محصولات، توان رقابتی را در بازار حفظ نموده و یا ارتقاء دهند.

نگهداری و تعمیرات (نت) یکی از مهمترین شاخه‌های مدیریت دارایی‌های فیزیکی است که از اهمیتی راهبردی در افزایش توان رقابتی مجموعه‌های صنعتی برخوردار است. موارد زیر از جمله مشکلات و چالش‌های رایج در صنایع دنیا هستند که حل آن‌ها محتاج بهره‌گیری از دانشی نوین با رویکردی پیشرفته و مؤثر در زمینه نگهداری و تعمیرات است:

- توقفات متعدد در خطوط تولید
- مدیریت غیر اصولی نیروی انسانی، ابزار و قطعات یدکی مورد نیاز فعالیت‌های نت
- عدم بهره‌گیری از دستورالعملی استاندارد و جامع در انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات
- مدیریت نامناسب در تدوین برنامه نت استاندارد
- خرابی‌های مکرر با پیامدهای ایمنی و زیست محیطی
- غیره.

"نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان" یکی از قدرتمندترین رویکردها و تکنیکی کارآمد برای تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت دارایی‌های فیزیکی است. این روش، فرآیندی ساختاریافته، منطقی و نظام‌مند برای تعیین فعالیت‌های مورد نیاز جهت اطمینان از ادامه به کار دارایی‌های فیزیکی یک مجموعه، مطابق انتظار کاربران آن دارایی‌هاست [۱].

این ابزار که برای اولین بار در صنایع هوایی آمریکا با بهره‌گیری از برجسته‌ترین متخصصین نت و همچنین با صرف انرژی و هزینه زیادی توسعه یافت، طی مدت کوتاهی توانست میزان سقوط متاثر از نقص فنی هواپیماهای مسافربری را از حدود ۴۰ سقوط به کمتر از ۰٫۱ سقوط در یک میلیون پرواز کاهش دهد [۱].

بهره‌گیری مناسب از این روش با دستیابی سریع به بهبودی پایدار در زمینه‌های گوناگون همراه است. از جمله دستاوردهای مهم بکارگیری RCM است:

- افزایش دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان تجهیزات،
- بهبود وضعیت کیفی محصولات،
- کاهش سوانح با پیامدهای ایمنی و زیست‌محیطی و
- غیره.



از مهمترین خصوصیات روش RCM در تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات این است که اهمیت بیشتری برای پیامدهای خرابی نسبت به ویژگی‌های فنی آن قائل است. در این روش پرهیز و یا کاهش پیامدهای خرابی، و نه صرفاً جلوگیری از وقوع آن، دلیل اصلی انجام هر فعالیت نگهداری و تعمیراتی پیش‌اقدامی است. پیامدهای خرابی در این روش به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]:

- پیامدهای پنهان
- پیامدهای ایمنی و زیست محیطی
- پیامدهای عملیاتی
- پیامدهای غیر عملیاتی

این تقسیم‌بندی مبنای یک چارچوب راهبردی برای تصمیم‌گیری در خصوص فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در این روش است.

از سوی دیگر، ماشین سوزن یکی از تجهیزات کلیدی در صنایع ریلی است که عملکرد مطمئن و قابل اطمینان این تجهیز الکترومکانیکی، نقشی اساسی در افزایش سطح ایمنی عملکرد و پیوستگی عملیاتی در این صنعت دارد [۲]. دستورالعمل‌های سازندگان تجهیز و یا تجربیات گروه‌های تعمیراتی بدون در نظر گرفتن الگوها و پیامدهای خرابی و یا حتی شناسایی درست دلایل خرابی، اغلب مبنای تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات و تهیه چک لیستهای تعمیرات پیشگیرانه در مجموعه‌های قطار شهری هستند [۳]. در این پژوهش تلاش شده وجه تمایز تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات به روش‌های سنتی، با روش‌های ساختاریافته و منطقی مانند تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی و نشان داده شود.

بر طبق آمار ارائه شده توسط راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال‌های ۸۲ و ۸۳، ایستگاه تهران با ۳۱ مورد سانحه در ایستگاه‌های کشور دارای مقام اول است. ۹۰ درصد سوانح در ایستگاه تهران بر روی سوزن روی می‌دهد که ۲۵ درصد از موارد ناشی از خرابی سوزن بوده است. چنین آماری نشان دهنده اهمیت بهره‌گیری از روش‌های نوین نت در حفظ عملکرد صحیح و قابل قبول مجموعه سوزن و ماشین سوزن در صنایع ریلی می‌باشد [۴].

خط مشی صنعت ریلی جابجایی حداکثر مسافر و بار، بالا بردن ایمنی، افزایش میزان آماده‌به‌کاری ماشین‌آلات، کاهش تأخیر، افزایش سرعت، بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه‌هاست. اجرای سیستم نت بر اساس این اهداف و سیاست‌های کلی، احتیاج به استراتژی متمرکزی دارد که RCM پاسخگوی آن است [۵].

خطوط و تأسیسات زیربنایی راه آهن نیز مانند سایر صنایع از ابتدای بهره‌برداری، نیاز به برنامه‌ریزی منظم برای نگهداری و تعمیرات داشته و لازم است رفتار اجزای مختلف خط، بطور پیوسته با روش‌ها و استانداردهای مربوطه، تحت کنترل و اندازه‌گیری دقیق باشد و به محض مشاهده نرخ خرابی غیرمعمول، تمهیدات لازم جهت کنترل رشد خرابی و حذف عوامل بروز آن و یا پیش‌بینی لازم جهت تعمیرات، بعمل آید. بطور کلی نگهداری شبکه و تعمیرات جاری و دوره‌ای، تأثیر بسزایی در افزایش سهم حمل و نقل ریلی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش ایمنی سیر و حرکت دارد [۶].

از جمله سوابق پژوهشی و نتایج بکارگیری نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنایع مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

محمد شنگی قهی و همکاران در سال ۹۸ در مقاله "استفاده از روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به منظور ارتقاء قابلیت اطمینان واحدهای خدماتی-مطالعه موردی در موتور لکوموتیو GM-۸۲۰" برای مشخص کردن





سیستم بحرانی در تجهیز، پرسشنامه‌ای تدوین کرده و فعالیت‌های مربوط به موتور لکوموتیو را با استفاده از رابطه نمره اولویت خطرپذیری برای تمام قسمت‌های موتور، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سیستم روانکاری، بالاترین اولویت خطرپذیری را در موتور داشته و در نتیجه این سیستم در موتور لکوموتیو، بحرانی است. سپس با کمک فرآیند نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، عملکردها، خرابی‌های عملکردی، حالات خرابی، اثرات خرابی و پیامدهای خرابی این سیستم، تعیین و براساس اطلاعات بدست آمده نسبت به برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات در موتور لکوموتیو اقدام شده است [۷].

سید احمد رضوی آل هاشم و سعید رضانی در سال ۹۷ به بررسی ابعاد اقتصادی، امنیتی و زیست محیطی بکارگیری تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در تدوین برنامه‌های نگهداشت ساختمان و تأسیسات در یک بیمارستان پرداخته‌اند [۸].

سیدرحمان عبدالله پور و تبیل وایلی در پژوهشی میدانی اصول و شیوه‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان را در صنایع تولیدی مورد بررسی قرار داده‌اند [۹].

قاسم فرج پورخانپشتانی و نسیم زال زر، به بررسی خرابی‌های مدار تراک به عنوان یکی از تجهیزات کلیدی ارتباطات و علائم الکتریکی راه آهن با مدل پارتو و استخوان ماهی و با هدف تدوین برنامه‌های نت مبتنی بر قابلیت اطمینان پرداخته‌اند [۱۰].

حسین غضنفری و حسین محمدی شاخص‌های فنی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان مانند میانگین مدت زمان تعمیر، میانگین مدت زمان کارکرد تا خرابی و آماده به کاری عملیاتی در صنایع مختلف مانند پرسکاری را به منظور پایش وضعیت برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تجزیه و تحلیل نموده‌اند [۱۱].

آقای اسماعیل حق جو به همراه سایر همکاران در پژوهشی که نتایج آن در مقاله "بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای تجهیزات فلر واحد ۱۴۰ فاز ۱۵ - ۱۶ عسلویه" منتشر شده است، تجهیزات فلر را به تفکیک، شناسایی و نسبت به تدوین برنامه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای آن‌ها اقدام کرده‌اند [۱۲].

در مقاله "روش شناسی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان: مطالعه موردی حوزه انتقال برق شهر تهران" خانم زینب باقرکی و همکاران از طریق پرسشنامه که دارای روایی و پایایی مناسب است، میزان اثربخشی اجرای نت پیشگیرانه را تعیین و به راهکارهای بهبود شاخص‌های نت پرداخته‌اند. به منظور اجرای مطالعه موردی ابتدا الگوی توسعه داده شده‌ای بر اساس عوامل گوناگون حاکم، تعیین گردیده و سپس الگوی مربوطه به عنوان روش پیشنهادی اجرای نت مبتنی بر قابلیت اطمینان به کار گرفته شده است. به این منظور به تعیین شاخص‌هایی جهت تعیین تجهیزات بحرانی پرداخته شده و مطابق با الگوی توسعه داده شده کاربرگ اطلاعات و سپس کاربرگ تصمیم‌گیری نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان تکمیل شده و مطابق با آن به تعیین فعالیت‌های اثربخش نت، بازه زمانی اجرا و مجری اقدام شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که میزان آمادگی شرکت برق برای اجرای نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و اثربخشی اجرای نت پیشگیرانه، مورد تردید است، لذا ضمن تعیین شاخص‌های اثربخشی نت، برنامه‌های بهبود جدیدی جهت ارتقای این شاخص‌ها تعیین گردید [۱۳].

در پژوهشی که توسط چنگیز والمحمدی و همکاران با هدف انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات با توجه به تأثیرگذاری نوع استراتژی بر بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری در یک شرکت تأمین کننده تجهیزات و ماشین‌آلات حوزه نفت و گاز صورت گرفته است، نشان داده می‌شود که استراتژی نت ترکیبی موجب بهبود شاخص‌های



ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری و افزایش بهره‌وری ماشین‌آلات و تجهیزات می‌شود [۱۴].

محمدباقر فخرزاد و همکاران در پژوهشی در خصوص مسئله "زمان‌بندی در محیط جریان کارگاهی با خطوط تولید موازی" به ارائه مدلی جهت بهره‌گیری بهینه از نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان با هدف کاهش هزینه‌های نت پرداخته‌اند [۱۵].

در مقاله "بکارگیری RCM در بهبود کارائی کابل‌های آبگرد کوره‌های قوس الکتریکی شرکت فولاد خوزستان"، نمونه‌ای از نتایج بکارگیری تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنعت فولاد ارائه گردیده است [۱۶].

صفر شاسفند و همکاران در سال ۱۳۹۵ با بهره‌گیری از تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به مطالعه موردی توربین گازی در پتروشیمی تبریز پرداخته‌اند. نتایج کار ایشان حاکی از افزایش اثربخشی هزینه‌ها، قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و کنترل ریسک بهتر تجهیز پس از انجام آنالیز است [۱۷].

در پژوهش محمد حمید رنگانی و محمدرضا عسکری فر در خصوص "نگهداری و تعمیرات شبکه‌های توزیع برق مبتنی بر قابلیت اطمینان" به نقش تکنیک‌های پایش وضعیت مانند ترموگرافی و کروناگرافی در شناسایی عیوب قبل از وقوع حوادث و بروز خاموشی در صنعت برق اشاره شده است [۱۸]. همچنین به طور مشابه، سیدجواد هاشمی و همکاران در پژوهشی دیگر به "نقش مکمل تکنیک نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM و تکنیک‌های پایش وضعیت (CM) مانند آنالیز ارتعاش سنجی" در تشخیص عیوب تجهیزات دوار در صنایع مختلف پرداخته شده است [۱۹].

محمدعلی حاج عباسی و افسانه امینایی در مقاله "نقش مدلسازی و آنالیز کمی در عیب یابی RCA و پایش وضعیت CM برخی تجهیزات خط تولید مجتمع مس سرچشمه"، موضوع استفاده از تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات پیچیده صنعت مس را مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۰]. نسرين باقری و زینب محمدی زاده نیز در مقاله "بهره‌گیری از CMMS برای پشتیبانی از RCM" نقش ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل درست داده‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات را تحلیل کرده‌اند [۲۱].

کاظم حکمت و همکاران در سال ۸۹ به بررسی اهمیت و آثار نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در حفظ و ارتقاء سطح قابلیت اطمینان، دسترسی‌پذیری، تعمیرپذیری و ایمنی تجهیزات پرداخته‌اند [۲۲].

حسن احمدی عقیده‌مند و همکاران الگویی جهت ارزیابی و استقرار RCM در سازمان‌های مختلف ارائه داده‌اند [۲۳]. همچنین فرزاد یوسفی نیازی و یداله ولیزاده پاشا با شناسایی خطاهای تصمیم‌گیری در نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، راهکارهایی جهت استفاده از این تکنیک در پلنت‌های تولید انرژی پیشنهاد نموده‌اند [۲۴].

علی شعاعی و رضا دشتی [۲۵]، مهدی بهاری و همکاران [۲۶] و الهه واعظی زاده و همکاران [۲۷] نیز مطالعات موردی مختلفی در خصوص بکارگیری تکنیک‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنعت توزیع برق داشته‌اند.

۲-اهداف تحقیق

- الف) بررسی امکان بهبود قابلیت اطمینان تجهیزات در صنایع ریلی با استفاده از آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان؛
- ب) بهینه‌سازی محتوای چک لیست‌های نت پیشگیرانه (PM).

۳-روش تحقیق

- الف) بازدید میدانی از تجهیزات و شرایط عملیاتی صنایع ریلی و بررسی جایگاه عملکردی ماشین سوزن در این صنعت؛





ب) مصاحبه با کارشناسان خبره شامل گروه‌های تعمیراتی، مهندسی و بهره برداری ماشین سوزن در صنایع ریلی؛

پ) بهره گیری از روش‌های تجربی و محک زنی؛

ت) اطلاعات ثبت شده در صنایع ریلی مورد بررسی به عنوان جامعه آماری شامل مواردی چون:

۱- تعداد خرابی (بدون بعد)

۲- متوسط زمان تعمیر (ساعت)

۳- متوسط خسارت وارده (ریال)

۴- معرفی روش آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان

فضای صنعتی کنونی دستخوش تغییراتی سریعتر از گذشته بوده و با شتابی روزافزون در حال پیشرفت است. حفظ توان رقابتی در این فضا، نیاز به واکنش سریع و مناسب در برابر تغییرات و بهره‌گیری از مدل‌های بهبود مستمر و مهندسی قابلیت اطمینان دارد. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع بزرگ معمولاً از جمله اصلی‌ترین مراکز هزینه‌ای مرتبط با راهبری به شمار می‌آیند. از طرف دیگر، هزینه‌های مربوط به توقفات تولید یا ارائه خدمات، ناشی از خرابی تجهیزات اصلی و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مربوط به خرابی‌هایی با پیامدهای ایمنی و زیست‌محیطی نیز از دیگر هزینه‌های قابل توجه در چنین مجموعه‌هایی هستند. کاهش چنین هزینه‌هایی می‌تواند ضمن افزایش سودآوری مجموعه و کسب و کار، موجب افزایش توان رقابتی در آن‌ها شده و گهگاه برخی از این مجموعه‌ها را از تعطیلی و ورشکستگی نجات دهد.

با توجه به اینکه بخش بزرگی از عملکرد مطلوب مجموعه "صنایع ریلی" وابسته به عملکرد مناسب و صحیح دارایی‌ها و تجهیزات فیزیکی این صنعت است، این مجموعه در شمار مجموعه‌های "تجهیزمحور" قرار گرفته و ارتقاء و حفظ سطح کیفی نگهداری و تعمیرات تجهیزات یکی از مهمترین الزامات این مجموعه محسوب می‌شود. صنایع ریلی به صورت روزمره مسئولیت جابجایی طیف وسیعی از مسافرین شهری و بین شهری را بر عهده دارند؛ بنابراین، ارتقاء سطح قابلیت اطمینان تجهیزات مجموعه و به حداقل رساندن حوادث با پیامدهای ایمنی با بهره‌گیری گسترده از آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و به‌روزترین روش‌های تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، برای چنین صنایعی بسیار راهگشا خواهد بود.

مهم‌ترین اهداف و نتایج مورد انتظار از پیاده سازی RCM را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- افزایش قابلیت دسترس پذیری تجهیزات؛
- کاهش هزینه های نت، هزینه‌های عملیاتی و خرابی دستگاه‌ها؛
- کاهش چشمگیر در وقوع حوادث با پیامدهای ایمنی و زیست محیطی؛
- افزایش طول عمر تجهیزات؛
- کاهش قابل توجه فعالیت های اضطراری سازمان؛
- ایجاد فرهنگ همکاری در بین همه گروه ها و همچنین بهبود فضای برنامه ریزی و عملکردی پیش اقدام؛
- اثربخشی بیشتر فعالیت‌های نت؛
- ایجاد یک پایگاه جامع اطلاعاتی نت در مجموعه.



ساختار اصلی RCM مبتنی بر پاسخ به هفت پرسش کلیدی است. پاسخ به این هفت پرسش در واقع گام‌های اجرای RCM هستند. این هفت پرسش عبارتند از:

- (۱) کارکردها و استانداردهای عملکرد مربوطه تجهیز در شرایط عملیاتی موجود چیست؟
- (۲) به چه صورتی ممکن است تجهیز در انجام کارکردهایش ناتوان بشود؟ (خرابی کارکردی)
- (۳) چه چیزی باعث وقوع هر یک از خرابی‌های کارکردی می‌شود؟ (حالت (دلیل) خرابی)
- (۴) در زمان رخداد هر خرابی چه اتفاقاتی روی می‌دهند؟ (اثرات خرابی)
- (۵) اهمیت هر خرابی در ابعاد مختلف آن چگونه است؟ (پیامدهای خرابی)
- (۶) برای پیش‌بینی یا پیشگیری از هر یک از حالت‌های خرابی چه کاری می‌توان انجام داد؟ (فعالیت پیش‌اقدام)
- (۷) اگر نتوان از خرابی پیشگیری نمود، چه کاری می‌توان انجام داد؟

پرسش اول مشخص می‌نماید که در شرایط عملیاتی موجود، کاربران انتظار انجام چه کاری از تجهیز دارند و آیا تجهیز توانایی انجام خواسته‌های مورد نظر کاربران را دارد یا ندارد.

در پرسش دوم و سوم انواع خرابی‌های ممکن شناسایی می‌شود. که در فرآیند RCM این کار طی دو مرحله انجام می‌شود: مرحله اول: شناخت وضعیت خرابی یک تجهیز؛

مرحله دوم: شناخت حالات و دلایل مربوط به هر خرابی؛

با پاسخ به سوالات چهارم و پنجم، اثرات و پیامدهای هر خرابی مشخص و تعیین خواهد شد.

در پرسش ششم و هفتم پیامدهای خرابی به چهار دسته با عناوین پیامدهای ایمنی و زیست محیطی، پیامدهای عملیاتی، پیامدهای غیرعملیاتی و پیامدهای پنهان تقسیم‌بندی می‌شود. این تقسیم‌بندی مبنای یک چارچوب استراتژیک برای تصمیم‌گیری در خصوص فعالیت‌های نت در این روش است.

تمرکز فرآیند RCM متوجه آن دسته از فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات است که بیشترین تاثیر را بر عملکرد سازمان دارد. تکنیک‌های مدیریت خرابی در این روش به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

(الف) فعالیت‌های پیش‌اقدام شامل بازسازی زمان‌بندی شده، از رده خارج کردن زمان‌بندی شده و نت اقتضایی؛

(ب) اقدامات پیش فرض شامل جستجوی خرابی، بازطراحی و کارکرد تا خرابی.

که هر یک متناسب با ویژگی‌های هر خرابی و مسائل فنی مربوطه برای مدیریت خرابی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان تلفیقی از انواع راهبردها و سیاست‌های مختلف نگهداری و تعمیرات مانند نت پیشگیرانه و پیشگویانه، جستجوی خرابی و ... است که قابلیت اطمینان و میزان آماده‌بکاری مورد انتظار از تجهیز را با کمترین هزینه ممکن می‌سازد. هدف اصلی RCM انتخاب بهینه‌ترین روش مدیریت خرابی از نظر فنی و اقتصادی و دستیابی به وظایف مورد انتظار از یک تجهیز است [۱۰]. با توجه به اینکه هدف RCM کاهش هزینه‌ها و افزایش دسترس‌پذیری تجهیزات است، با تربیت متخصصان در این حوزه می‌توان پروژه‌های RCM را به صنایع مختلف گسترش داد و از روش‌های سنتی و قدیمی نگهداری و تعمیرات که دربردارنده هزینه‌های اضافی و اطمینان اندک است دوری جست [۲۸]. نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، روشی است که قابلیت اطمینان را با حداقل هزینه افزایش می‌دهد [۲۱].





۵- نتایج حاصل از پیاده سازی آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن

به جهت پیاده سازی آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن، یکی از مجموعه های قطار شهری در سطح کشور انتخاب و طی بازدیدهای به عمل آمده از تجربه، دانش و اطلاعات خبرگان مجموعه در واحدهای نگهداری و تعمیرات، مهندسی و بهره بردار در سطح کارفرما و پیمانکار و اطلاعات و سوابق ثبت شده خرابی سوزن ها در دفاتر بهره برداری و تعمیرات بهره گرفته شد.

در ادامه، نمونه ای از پاسخ های مرتبط با هفت پرسش اصلی در فرآیند اجرای آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن و سپس نتایج حاصل از پیاده سازی آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن در مجموعه قطار شهری مورد بررسی در چهار بخش به شرح زیر آورده شده است:

۵-۱- نمونه ای از پاسخ های مرتبط با هفت پرسش اصلی در فرآیند اجرای آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن

(۱) کارکردها و استانداردهای عملکرد مربوطه تجهیز در شرایط عملیاتی موجود چیست؟

- توانایی تغییر وضعیت مسیر به صورت کامل با فرمان "مرکز فرمان"

- توانایی نمایش وضعیت مسیر به مرکز فرمان

- توانایی قفل کردن وضعیت نهایی سوزن

(۲) به چه صورتی ممکن است تجهیز در انجام کارکردهایش ناتوان بشود؟ (خرابی کارکردی)

- عدم توانایی کلی در تغییر وضعیت مسیر

- عدم توانایی تغییر وضعیت مسیر به صورت کامل

- عدم توانایی نمایش وضعیت مسیر به صورت کلی

- عدم توانایی نمایش وضعیت مسیر به صورت صحیح

- عدم قفل کردن وضعیت نهایی سوزن

(۳) چه چیزی باعث وقوع هر یک از خرابی های کارکردی می شود؟ (حالت (دلیل) خرابی)

- سست شدن طبیعی اتصالات میله های محرک

- فرسایش طبیعی روغن

- عدم روانکاری

- سولفاته شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال

(۴) در زمان رخداد هر خرابی چه اتفاقاتی روی می دهند؟ (اثرات خرابی)

(۵) اهمیت هر خرابی در ابعاد مختلف آن چگونه است؟ (پیامدهای خرابی)

کارکرد: توانایی تغییر وضعیت مسیر به صورت کامل با فرمان "مرکز فرمان"

شکست کارکردی: عدم توانایی کلی در تغییر وضعیت مسیر



حالت خرابی: سولفات شده شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال

اثرات و پیامدهای خرابی مرتبط با علت خرابی:

"به مرور زمان و بعد از گذشت حداقل سه سال، اتصال سر سیم به دلیل وجود رطوبت و جریان، سولفات شده و باعث قطع جریان سیگنالینگ به ماشین سوزن می شود. مرکز فرمان به صورت خودکار متوجه خرابی می شود (هر نوع اختلالی در مدار کنترل ۲۴ ولت مجموعه توسط مرکز فرمان احساس شده و سیستم به صورت خودکار فالت نشان می دهد)

در این حالت مرکز فرمان با تماس با نفر مستقر در ایستگاه از وی می خواهد موضوع را بررسی کند و گروه های تعمیراتی اقدام به رفع نقص نمایند. تا سه سال بعد از نصب ماشین سوزن هیچ ماشین سوزی دچار این خرابی نمی شود.

متصور است بعد از ۱۲ سال همه ماشین سوزن ها دچار این خرابی می شوند. (این خرابی در حال حاضر سالی دو مورد روی می دهد)

طی دو شب یک گروه تعمیرات سوزن می تواند سر سیم اتصال جعبه ترمینال، ۲۴ سوزن مستقر در خط را تعویض یا تعمیر نماید. این گروه شامل دو نفر نیرو و یک ماشین است که هزینه ای حدود ۳۰۰ هزار تومان روزانه دارند."

(۶) برای پیش بینی یا پیشگیری از هر یک از حالت های خرابی چه کاری می توان انجام داد؟ (فعالیت پیش اقدام)

(۷) اگر نتوان از خرابی پیشگیری نمود، چه کاری می توان انجام داد؟

حالت خرابی: سولفات شده شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال

راهکار پیشنهادی: "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه: تعویض یا سمباده زدن سر سیم هر سه سال یکبار - این فعالیت تنها با توجه دیگر وظایف تعمیراتی تعریف شده در مجموعه از توجیه پذیری اقتصادی برخوردار است"

۲-۵- افزایش کارآمدی فعالیت های نگهداری و تعمیرات

از جمله نتایج آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن، که طی جلسات آنالیز و طوفان فکری و همچنین از طریق بررسی سوابق خرابی ماشین سوزن حاصل گردید، برنامه های جدید نت پیش اقدام ماشین سوزن (نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه PM و نت پیشگویانه (PDM) است که آیت های این برنامه در قیاس با آیت های برنامه نت پیشین از کارآمدی بیشتری برخوردارند. نمونه ای از اینگونه آیت ها در جدول شماره (۱) آورده شده اند.

جدول (۱): نمونه ای از افزایش میزان کارآمدی برنامه نگهداری و تعمیرات جدید در مجموعه در قیاس با برنامه پیشین

ردیف	فعالیت	بازه زمانی جدید	تعداد خرابی در برنامه جدید	بازه زمانی پیشین	تعداد خرابی در برنامه پیشین
۱	انجام روانکاری و تمیزکاری ماشین سوزن	هر هفته برای خطوط رو باز هر دو هفته برای خط تونل	صفر	هفته ای دو بار و یا روزانه	صفر
۲	تمیزکاری پشت تیغه های سوزن	سه ماه یک بار	صفر	ماهانه	صفر
۳	فعالیت پیشگیرانه بازدید فنی، اندازه گیری قسمتهای مختلف ماشین سوزن	جایگزین با چک کارکردی ماهانه که بسیار ساده تر و ارزان تر است	تغییری نمی کند	ماهانه	تغییری نمی کند





۳-۵- کاهش خرابی تجهیزات و افزایش میزان اثربخشی برنامه نت پیش اقدام

کارگروه آنالیز نت مبتنی بر قابلیت ماشین سوزن طی جلسات آنالیز و طوفان فکری و همچنین بررسی سوابق خرابی ماشین سوزن، اقدام به شناسایی عللی از خرابی ماشین سوزن نمود که پیشتر در برنامه نگهداری و تعمیرات مجموعه به صورت پیش اقدام (نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه PM و پیشگویانه (PDM) مدیریت نمی شدند و برای جلوگیری از وقوع آن ها اقدامات فنی مناسب که از توجیه پذیری اقتصادی نیز بهره مند باشند تعریف نشده بود [۳]. نمونه از خرابی های ماشین سوزن که در برنامه نت پیشین در مجموعه به صورت پیش اقدام مدیریت نمی شدند در جدول شماره ۲ آورده شده است. جدول (۲): نمونه از خرابی های ماشین سوزن که در برنامه نت پیشین در مجموعه به صورت پیش اقدام مدیریت نمی شدند

ردیف	فعالیت	علت خرابی	در برنامه نت جدید	در برنامه نت پیشین
۱	تعویض یا بازبایی سیلیکا ژل نصب شده هر دو سال یکبار	رطوبت و پایان عمر سیلیکا ژل	به وسیله اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از وقوع خرابی پیشگیری می شود.	پس از خرابی گروه تعمیرات می بایست اقدام به تعمیر خرابی کنند و هزینه تعمیر چند برابر هزینه پیشگیری است
۲	تعویض یا سمباده زدن سر سیم هر سه سال یکبار	سولفاته شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال	به وسیله اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از وقوع خرابی پیشگیری می شود.	پس از خرابی گروه تعمیرات می بایست اقدام به تعمیر خرابی کنند و هزینه تعمیر چند برابر هزینه پیشگیری است
۳	آچار کشی هر ۵ سال یکبار	سست شدن طبیعی اتصالات میله های محرک	به وسیله اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از وقوع خرابی پیشگیری می شود.	تا به حال اتفاق نیافته اما وقوع آن محتمل است و می تواند پیامدهای ایمنی جدی برای مسافران داشته باشد

۴-۵- کاهش حجم و هزینه های فعالیت های نگهداری و تعمیرات

از جمله نتایج آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن که طی جلسات آنالیز و طوفان فکری و همچنین از طریق بررسی سوابق خرابی ماشین سوزن حاصل گردید، برنامه های جدید نت پیش اقدام ماشین سوزن بود که برخی از آیتم های این برنامه جدید به لحاظ حجم تکرار و هزینه اجرا، تفاوت های قابل ملاحظه ای با برنامه نت پیشین داشت. نمونه ای از این آیتم ها در جدول شماره (۳) آورده شده اند. این در حالی است که برنامه جدید ضمن کاهش مؤثرتر پیامدهای مستقیم خرابی، از فرسایش بیش از حد تجهیز که می تواند ناشی از انجام بیش از حد فعالیت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه باشد، جلوگیری می کند.

جدول (۳): نمونه ای از کاهش حجم و هزینه های فعالیت های نگهداری و تعمیرات در برنامه جدید نسبت به برنامه پیشین

ردیف	فعالیت	قیمت واحد	تعداد تکرار در برنامه جدید	تعداد تکرار در برنامه پیشین	حداکثر هزینه در برنامه جدید (سالانه)	حداقل هزینه در برنامه پیشین (سالانه)
۱	انجام روانکاری و تمیزکاری ماشین سوزن	۳۶۰۰ تومان	کمتر از ۶ هزار بار در سال هفتگی یا دوهفتگی	بیش از ۱۲ هزار بار در سال هفته ای دو بار یا روزانه	۲۰ میلیون تومان	۴۵ میلیون تومان
۲	فعالیت پیشگیرانه بازدید فنی، اندازه گیری قسمت های مختلف سوزن و ماشین سوزن	۳۷۷۰۰ تومان	با چک کارکردی پوشش داده می شود	ماهانه	کل هزینه منهای بخش های مرتبط با ماشین سوزن کمتر از ۴۰ میلیون تومان	۸۷ میلیون تومان



ردیف	فعالیت	قیمت واحد	تعداد تکرار در برنامه جدید	تعداد تکرار در برنامه پیشین	حداکثر هزینه در برنامه جدید (سالیانه)	حداقل هزینه در برنامه پیشین (سالیانه)
۳	چک کارکردی ماشین سوزن توسط مرکز فرمان	عملا در قیاس با برنامه قبل صفر	ماهیهانه	----	با فرض ۱۰۰ ماشین سوزن سالیانه به صورت نظری حداکثر برابر با ۲۴ میلیون تومان	توسط مرکز فرمان هر هفته انجام می‌شد (عملا بیش از ۸۰ میلیون تومان)

۶- نتیجه گیری

بعد از انجام آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن به عنوان یکی از تجهیزات کلیدی در صنایع ریلی، برنامه جامع و جدید نگهداری و تعمیرات برای این تجهیز تدوین گردید که منجر به افزایش میزان اثربخشی فعالیت‌های نت و شفاف‌سازی برنامه‌ها، کارآمدی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، پوشش گسترده‌تر علل خرابی، بستر سازی جهت اصلاح قراردادهای برون‌سپاری نت، افزایش طول عمر ماشین سوزن، دسته‌بندی استاندارد حالات و علل خرابی و همچنین کاهش هزینه‌ها و حجم فعالیت‌های تعمیراتی گردید.

در این پژوهش تلاش شد وجه تمایز تدوین برنامه‌های نت به روش‌های سنتی، با روش‌های ساختاریافته و منطقی مانند تکنیک نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی و نشان داده شود. بکارگیری نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای تجهیزاتی مانند ماشین سوزن که در حالت عادی در عملیات نبوده و به صورت موردی و بسته به نیاز، استفاده می‌شود و خرابی‌های آن به طور معمول پنهان است، توانمندی تکنیک‌های نوین تدوین برنامه‌های نت را در قیاس با روش‌های سنتی رایج آشکار می‌سازد.

بر اساس نتایج حاصل دو پیشنهاد زیر به مجموعه ریلی مورد بررسی نیز ارائه گردید:

الف) توسعه بکارگیری آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای دیگر تجهیزات به صورت گسترده

ب) اصلاح قراردادهای برون‌سپاری نت بر اساس نتایج آنالیزهای نت مبتنی بر قابلیت اطمینان

۷- منابع:

[۱] جان موبری، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، علی زواشکیانی و رضا آزادگان، چاپ سوم تابستان ۱۳۹۵، تهران، آریانا قلم، ۱۳۹۵.

[۲] نجمه بلبل امیری و احمد میرابادی، ۱۳۹۲، بررسی رویکردهای مختلف تشخیص و شناسایی خطای ماشین سوزن قطار زمانی، با توجه به طبقه بندی خطاهای سیستم سوزن، سومین کنفرانس بین‌المللی پیشرفتهای اخیر در مهندسی راه آهن، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۳] تحقیقات میدانی در خصوص خرابی‌های ماشین سوزن در سطح شرکت‌های قطار شهری کشور.

[۴] خدیجه زراعی و احمد میرابادی، ۱۳۸۸، مروری بر روشهای شناسایی و تشخیص خرابی در صنعت ریلی و کاربرد FTA در تشخیص خرابی سیستم ماشین سوزن، اولین کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده ای و ریلی، زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.





- [۵] علیرضا نوری، ۱۳۸۳، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، هفتمین همایش حمل و نقل ریلی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [۶] سید مسعود نصر آزادانی، ۱۳۸۴، بررسی نقش نگهداری و تعمیرات خطوط بر راندمان صنعت حمل و نقل ریلی، کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۷] محمد شنگی قهی، امین اوحدی اصفهانی و روزبه قوسی و اصغر نصر، ۱۳۹۸، استفاده از روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به منظور ارتقاء قابلیت اطمینان واحدهای خدماتی - مطالعه موردی در موتور لکوموتیو GM-۸۲۰، ششمین کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه آهن، تهران، دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۸] سید احمد رضوی آل هاشم و سعید رمضانی، ۱۳۹۷، ارزیابی الگویی به منظور تدوین برنامه نگهداشت ساختمان با استفاده از رویکرد نگهداشت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، دوازدهمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، انجمن نگهداری و تعمیرات ایران.
- [۹] سیدرحمان عبدالله پور و تبیل وایلی، ۱۳۹۸، اصول و شیوه‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنایع تولیدی - نفت و پتروشیمی، دومین کنفرانس ملی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی و علوم نوین، تهران، پژوهشگاه فرهنگ و هنر
- [۱۰] قاسم فرج پور خان‌آپشتانی و نسیم زال زر، ۱۳۹۴، تحلیل خرابی‌ها در سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و علوم انسانی، ترکیه - استانبول، شرکت مدیران ایده پردازان پایتخت
- [۱۱] حسین غضنفری و حسین محمدی، ۱۳۹۷، اولویت بندی شاخص‌های فنی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان با استفاده از تکنیک SAWARA به منظور پایش وضعیت برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۱۲] اسماعیل حق جو، حامد کدیور، مهدی منفرد و عبدالعظیم امیدواری، ۱۳۹۷، بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای تجهیزات فلر واحد ۱۴۰ فاز ۱۵-۱۶ عسلویه، اولین همایش سراسری علم و فناوری هزاره سوم اقتصاد، مدیریت و حسابداری ایران، تهران، موسسه برگزار کننده همایش‌های توسعه محور دانش و فناوری سام ایرانیان.
- [۱۳] زینب باقرکنی، علی جهان و محمدعلی شریعت، ۱۳۹۵، روش شناسی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان: مطالعه موردی حوزه انتقال برق شهر تهران، کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت پایدار، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنجان.
- [۱۴] چنگیز والمحمدی، جواد صوفی آبادی و فخرالدین لطف زاده، ۱۳۹۶، انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات به منظور بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری، علمی - پژوهشی (وزارت علوم)/ISC
- [۱۵] محمدباقر فخرزاد، سبا جوان پور و فریبا گودرزیان، ۱۳۹۸، ارائه مسئله زمان‌بندی در محیط جریان کارگاهی با خطوط تولید موازی با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، دوازدهمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، بابلسر، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
- [۱۶] حمید کمالی، نورالدین ولی‌اللهی، مهران آمیغ و بهنام شفیعی، ۱۳۸۷، بکارگیری RCM در بهبود کارایی کابل‌های



آبگرد کوره‌های قوس الکتریکی شرکت فولاد خوزستان، سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، انجمن نگهداری و تعمیرات.

[۱۷] صفر شاسفند، کاظم کریم‌پور و سیفعلی لطفی، ۱۳۹۵، پیاده سازی روش RCM مطالعه موردی: توربین گازی پتروشیمی تبریز، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی قابلیت اطمینان، تبریز، دانشگاه صنعتی سهند.

[۱۸] محمد حمید رنگانی و محمدرضا عسکری فر، ۱۳۹۲، نگهداری و تعمیرات شبکه‌های توزیع برق مبتنی بر قابلیت اطمینان، هشتمین کنفرانس تخصص پایش وضعیت و عیب یابی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۱۹] سیدجواد هاشمی، سیروس جوادپور و علی مجردیان، ۱۳۸۶، نقش مکمل تکنیک نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM در تکنولوژی‌های پایش وضعی (CM)، دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۲۰] محمدعلی حاج عباسی و افسانه امینایی، ۱۳۹۲، نقش مدلسازی و آنالیز کمی در عیب یابی RCA و پایش وضعیت CM برخی تجهیزات خط تولید مجتمع مس سرچشمه، هشتمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین‌آلات، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۲۱] نسرباقری و زینب محمدی زاده، ۱۳۸۴، بهره‌گیری از CMMS برای پشتیبانی RCM، سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، انجمن نگهداری و تعمیرات، سالن اجلاس سران.

[۲۲] کاظم حکمت، مهدی مغان و سعید رضانی، ۱۳۸۹، بررسی اهمیت و آثار RCM در حفظ و ارتقاء سطوح قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری، نگهداشت‌پذیری و ایمنی تجهیزات، ششمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران.

[۲۳] حسن احمدی عقیده مند، حسن جهانشاهی و کاظم حکمت، ۱۳۹۱، ارائه الگوی ارزیابی و استقرار RCM در سازمان، سومین همایش ملی مهندسی صنایع و سیستم، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

[۲۴] فرزاد یوسفی نیازی، فرزاد ویداله و لیزاده پاشا، ۱۳۹۷، بررسی و شناسایی خطاها تصمیم‌گیری در نگهداشت براساس قابلیت اطمینان و ارایه راهکار جهت استفاده در پلنت‌های تولید انرژی، پنجمین کنفرانس بین المللی فناوری و مدیریت انرژی با رویکرد پیوند انرژی، آب و محیط زیست، تهران، انجمن انرژی ایران.

[۲۵] علی شعاعی و رضا دشتی، ۱۳۹۵، یک طرح جامع برای نگهداری و تعمیرات (نت) مبتنی بر قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع نیرو - برق، دومین کنفرانس ملی راهکارهای توسعه و ترویج آموزش علوم در ایران، گله دار، دانشگاه پیام نور.

[۲۶] مهدی بهاری، حمید میراشه و ماهرخ خادمی، ۱۳۹۵، بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM با استفاده از مدل تجزیه و تحلیل ریسک و عوامل خطا FMECA در سیستم‌های توزیع برق، دومین کنفرانس ملی فناوری، انرژی و داده با رویکرد مهندسی برق و کامپیوتر.

[۲۷] الهه واعظی زاده، معین معینی، مسعود رشیدی نژاد و حسین زمزم، ۱۳۹۴، شناسایی المان‌های بحرانی شبکه‌های توزیع ازدید تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور، کنفرانس بین المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی، استانبول.

[۲۸] علی خاتمی فیروزآبادی و احسان زهره بجنوردی، ۱۳۸۹، عوامل مؤثر بر پیاده سازی موفق روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، پنجمین کنفرانس پایش وضعیت و عیب یابی، آبادان، دانشگاه صنعت نفت، انجمن نگهداری و تعمیرات.



مدل سازی استوار شبکه زنجیره تامین نگهداری و تعمیرات چند محصولی تحت شرایط عدم قطعیت (مطالعه موردی: یکی از سازمان های دفاعی نظامی)

سعید رضائی^۱، بهزاد مرادی^{۲*}

^۱ استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.
^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

چکیده:

یکی از مشکلاتی که سازمان های دفاعی همواره با آن روبرو بوده اند هزینه های موجود در بخش نگهداری و تعمیرات آنها بوده است. از جمله دغدغه های سازمان ها این است که تمامی پارامترهای لازم مسئله جهت تصمیم گیری در آن مشخص نیست و این باعث شده است طراحی شبکه زنجیره تامین تحت شرایط عدم قطعیت توجهات زیادی را به خود معطوف کند. در این مقاله یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته طراحی شده است که در آن پارامترهای تقاضا و میانگین کسر انهدام غیرقطعی هستند. این پژوهش در شعبه ابوذر سازمان جهاد خودکفایی غدیر که در زمینه نگهداری و تعمیرات ماشین آلات مهندسی فعالیت دارد به اتمام رسیده است. در شبکه زنجیره تامین این سازمان همواره تقاضای مشتریان برای نگهداری و تعمیرات ماشین آلات و درصد تجهیزاتی که قابل بازسازی نیستند از قبل مشخص نیست. در ادامه از رویکرد بهینه سازی استوار برای مواجهه با عدم قطعیت پارامترهای موجود در این شبکه استفاده شده است. مدل ریاضی این مقاله از نوع برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط و از نوع خطی است. هدف مدل کمینه سازی هزینه های نگهداری و تعمیرات و حمل و نقل در شبکه زنجیره تامین است. نتایج عددی این مدل پس از حل به مدیران این سازمان دفاعی ارائه شد. نتایج عددی بیانگر کارایی مدل پیشنهادی می باشد.

واژه های کلیدی: مدل سازی ریاضی، عدم قطعیت، برنامه ریزی عدد صحیح مختلط، بهینه سازی استوار

* ایمیل نویسنده مسئول: Behzadmoradi70@gmail.com





۱- مقدمه

یک زنجیره تامین شامل همه مراحل است که چه مستقیم و چه غیر مستقیم در برآورده سازی درخواست یک مشتری نقش دارند. در یک زنجیره تامین معمولی، مواد خام از تامین کنندگان به کارخانه ها ارسال می شوند، سپس محصولات تولید شده در کارخانه ها به انبارهای میانی و انبارهای توزیع کنندگان ارسال می شوند و از آنجا نیز به سمت خرده فروش ها و در نهایت به دست مشتری نهایی یا همان مصرف کننده می رسند. اعضای یک زنجیره تامین معمولی عبارتند از: تامین کنندگان^۱، انبارها^۲، مراکز تولید^۳، توزیع کنندگان^۴، خرده فروشان^۵ و مشتری^۶. [۷]

در حوزه لجستیک مستقیم مقالات متعددی تا کنون نوشته شده است و این مبحث را از دیدگاه های مختلفی مورد بررسی قرار داده اند. توجه به لجستیک معکوس در چند دهه اخیر را می توان به الزامات قانونی، حساسیت های زیست محیطی و سودآوری اقتصادی مرتبط دانست. طی دهه های اخیر لجستیک معکوس تاثیر اقتصادی قابل توجهی روی صنعت و جامعه داشته است. این امر به علت اهمیت استفاده از کالاهای مستعمل در دنیای منابع محدود و نیازهای نامحدود می باشد. [۸]

با توجه به اینکه طراحی جداگانه شبکه مستقیم و معکوس باعث زیربهره گیری^۷ می شود [۹] و باتوجه به افزایش روزافزون نیاز نیروهای مسلح به تامین به موقع، این صنایع باید بتوانند همگام با پیشرفت ها، تغییر کنند. آنها برای انجام مأموریت خویش در حوزه فعالیت خود، نه تنها باید سریع و چابک باشند، بلکه باید تامین کنندگان آنها و نیز شبکه توزیع محصولاتشان، دارای هماهنگی بالا و انعطاف مناسب باشد. [۱۰] لذا به دلیل جلوگیری از زیربهره گیری طراحی جداگانه شبکه زنجیره تامین دفاعی، انجام تحقیقی در راستای طراحی یک شبکه زنجیره تامین مستقیم و معکوس یکپارچه آن هم در صنعت نت دفاعی می تواند در این زمینه موثر واقع شود.

در حوزه زنجیره تامین دفاعی محققان به ارائه مقالاتی پرداخته اند. در تحقیقی میخائیل شر و همکاران [۱۰] به ارائه یک الگوی هماهنگی مکانیسم در زنجیره تامین دفاعی پرداخته اند. در این پژوهش یک سری سیاست ها برای تامین کنندگان و خریداران که قبلا در زمینه های کاری خود در زنجیره با شکست روبرو شده اند پیشنهاد می گردد. چابکی یکی از مولفه های بسیار مهم برای زنجیره تامین صنایع دفاعی می باشد. [۱۱] در همین راستا مقالات متعددی به ارائه و طبقه بندی زنجیره های تامین چابک، ناب و یا ترکیبی از این دو حالت برای نگهداری و تعمیرات دفاعی در زمینه محصولات خود (به عنوان مثال شناورهای تندرو) پرداخته اند.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش به مرور ادبیات شبکه زنجیره تامین در سه بخش شبکه های زنجیره تامین در شرایط قطعیت، عدم قطعیت و بکارگیری رویکرد بهینه سازی استوار در شبکه های زنجیره تامین غیر قطعی پرداخته می شود.

۲-۱ طراحی شبکه های زنجیره تامین

در حوزه شبکه های زنجیره تامین مستقیم در سال ۲۰۰۶ آلتیپارماک^۸ و همکاران [۱۱] یک شبکه زنجیره تامین مستقیم طراحی کردند. آنها برای شبکه مستقیم طراحی شده از یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط استفاده کردند. مدل آنها

-
- 1 Supplier
 - 2 Warehouse
 - 3 Manufacturing center
 - 4 Distributor
 - 5 Retailer
 - 6 Customer
 - 7 Sub-optimally
 - 8 Altiparmak



تک دوره‌ای، تک محصولی و چند هدفه بود. برای این مدل نیز از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک استفاده کردند. در زمینه طراحی شبکه‌های زنجیره تامین معکوس در سال ۲۰۰۳ جایارمان^۱ و همکاران [۱۲] مدلی برای یک شبکه زنجیره تامین معکوس تک محصولی و دو سطحی، مربوط به تولید مواد سمی گسترش داده‌اند. آنها برای حل مساله پیشنهادی خود در ابعاد بزرگ، از یک روش ابتکاری استفاده نموده‌اند. پیشوایی و همکاران [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای به حداقل رساندن هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های ثابت احداث در شبکه لجستیک معکوس چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم شبیه سازی تبرید ارائه نموده‌اند.

فلیشمن^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۷ [۱۴] یک بررسی جامع در استفاده از مدل‌سازی ریاضی برای مدیریت لجستیک معکوس ارائه نموده‌اند. جایارمان و همکاران در سال ۱۹۹۹ [۱۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط در مساله طراحی شبکه لجستیک معکوس، تحت یک سیستم سفارش کششی، بر اساس تقاضای مشتریان برای محصولات بازیابی شده ارائه نموده‌اند. هدف از مدل ارائه شده، به حداقل رساندن هزینه کل است. در این مدل فرآیند تولید مجدد محصولات مرجوعی مورد بررسی قرار گرفته است.

در حوزه طراحی شبکه‌های زنجیره تامین حلقه بسته در سال ۲۰۱۶ یی^۳ و همکاران [۱۶] یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته مبتنی بر خرده فروش برای بازسازی تجهیزات ساخت و ساز طراحی کردند و با استفاده از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و الگوریتم ژنتیک آنرا حل کردند. رضا پور و همکاران [۱۷] یک مدل دو سطحی ارائه کردند که در سطح بالای آن، طراحی شبکه معکوس استراتژیک و در سطح پایین آن برنامه‌ریزی عملیاتی زنجیره تامین حلقه بسته تک محصولی در یک محیط رقابتی با تقاضای وابسته به قیمت انجام می‌شود. در تحقیقی مشابه نیز طراحی جداگانه دو شبکه زنجیره تامین غیر قطعی مورد بررسی قرار گرفت که در آن تقاضای مشتریان وابسته به قیمت نهایی محصول در شبکه زنجیره تامین بود. [۲]

در همان سال کایا^۴ و یورک^۵ [۱۸] مدلی برای طراحی شبکه زنجیره تامین ارائه نمودند که کار یکپارچه سازی جمع آوری کالای استفاده شده و توزیع کالای نو بصورت همزمان انجام می‌شود. آنها یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی مکان یابی تسهیلات موجودی قیمت‌گذاری ارائه کردند که با تصمیم‌گیری برای مکان بهینه تسهیلات، مقدار بهینه موجودی و قیمت بهینه کالاهای نو و ارزشهای انگیزشی برای جمع آوری کالاهای کارکرده باعث بیشینه سازی سود زنجیره می‌شود.

در سال ۲۰۱۵ ماگدالینی^۶ و همکاران [۱۹] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تامین چند کالایی، چند سطحی، چند دوره‌ای ارائه کردند که با استفاده از روش شاخه و کران، جواب بهینه سراسری را بدست می‌آورد و برای تست کارایی مدل، آن را روی یک مطالعه واقعی در ابعاد کوچک اجرا نمودند. در سال ۲۰۰۷ اوستر^۷ و همکاران [۲۰] یک شبکه حلقه بسته را طراحی کردند که در آن، فقط مراکز برگشت و احیا در لجستیک معکوس مکان یابی می‌شوند، اما جریان مستقیم و معکوس همزمان بهینه می‌گردند. در این مقاله یک روش حل دقیق بر مبنای روش تجزیه بندرز^۸ ارائه شده‌است.

در مدل‌سازی‌های غیرخطی در سال ۲۰۱۱ وانگ^۹ و همکاران [۲۱] یک مدل غیرخطی برای مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نموده‌اند. در این مدل از رویکرد درخت فراگیر جهت مدل‌سازی مساله استفاده شده‌است. در این

1 Jayarman

2 Fleischmann

3 Yi

4 Kaya

5 Urek

6 Magdalini

7 Uster

8 Benders Decomposition

9 Wang





مدل مکان های بالقوه تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مراکز دفع با توجه به حداقل کردن تابع هدف هزینه مشخص گردیده است. پیشوایی و همکاران [۲۲] یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته طراحی کردند که تک دوره ای، تک محصولی، تک هدفه و مدل از نوع برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط بود. آنها از الگوریتم ممیتیک^۱ برای این شبکه استفاده کردند. همچنین سلیمانی و همکاران [۲۳] نیز مدلی به صورت برنامه ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کردند که چند محصولی و چند دوره ای و چند هدفه بود و از رویکرد الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک در آن بهره بردند.

۲-۲ طراحی شبکه های زنجیره تامین تحت شرایط عدم قطعیت

اینکه شبکه های زنجیره تاملینی طراحی شوند که در آن تمامی پارامترهای شبکه کاملاً قطعی و معلوم باشد با واقعیت تفاوت زیادی دارد. بنابراین زنجیره تامین هایی طراحی شد که در آن پارامترهای شبکه غیر قطعی هستند که به واقعیت نیز نزدیک تر است. در شبکه های زنجیره تامین، پارامترهایی مثل ظرفیت مراکز، تقاضا، هزینه، میزان بازگشتی ها و ... بهتر است غیر قطعی در نظر گرفته شود. بنابراین، طراحی زنجیره تاملینی که در برابر عدم قطعیت داده ها مقاوم باشد اهمیت بسزایی دارد.

در بسیاری از مطالعات انجام شده به منظور برخورد با عدم قطعیت پارامترهای مساله، از رویکرد برنامه ریزی احتمالی استفاده شده است. در سال ۲۰۱۲ باپتیستا^۲ و همکاران [۲۴] یک مدل دو مرحله ای برای طراحی و برنامه ریزی شبکه لجستیک حلقه بسته ارائه دادند که در مدل آنها پارامترهای تقاضای مشتری و بازگشت کالاها بصورت غیر قطعی و تصادفی در نظر گرفته شده است. در مرحله اول حل مدل، تصمیم های مربوط به مکان تسهیلات و در مرحله دوم تصمیم های مربوط به برنامه ریزی تولید گرفته می شود. ژاله چیان [۲۵] و همکاران با توجه به مفاهیم زنجیره تامین پایدار و اثرات اقتصادی و اجتماعی آن، یک زنجیره تامین حلقه بسته پایدار به منظور مسیریابی موجودی تحت عدم قطعیت ارائه نمودند. برای مواجهه با عدم قطعیت ذاتی مساله، از رویکرد برنامه ریزی تصادفی احتمالی استفاده شده و برای ارزیابی کارایی مدل ارائه شده، مسأله با استفاده از داده های یک نمونه واقعی حل شده است. در سال ۲۰۱۰ الساید^۳ [۲۶] در پژوهشی که مدل آن چند دوره ای بود از رویکرد برنامه ریزی احتمالی سناریو محور استفاده کرده و مزیت استفاده از این رویکرد را نشان داد. در تحقیقی دیگر پیشوایی و همکارانش [۹] با استفاده از برنامه ریزی تصادفی شبکه زنجیره تاملینی طراحی کردند که تک دوره ای، تک محصولی و تک هدفه بود. آنها در مدل خود پارامترهای تقاضا و هزینه های حمل و نقل و کیفیت محصولات بازگشتی را غیر قطعی در نظر گرفتند.

بشیری و همکارانش [۲۷] در تحقیقی جامع مدلی را برای شبکه زنجیره تامین طراحی کردند که هدف و محصول آن چندگانه بوده و پارامترهایی از قبیل تقاضا، محصولات بازگشتی، عملیات تولید، جمع آوری، انهدام، هزینه ها و قیمت فروش محصولات غیر قطعی در نظر گرفته شده بود. رویکرد مورد استفاده آنان نیز برنامه ریزی تصادفی بود.

بسیاری از محققان رویکردهای عدم قطعیت را در صنایع گوناگون پیاده سازی کرده اند. فضلی خلف و همکاران [۳] با توجه به مسئله پایایی و اختلالات در زنجیره تامین اقدام به پیاده سازی یک مدل بهینه در صنعت باتری های اسیدی با توجه به عدم قطعیت نمودند.

اخیراً در تحقیقی لیو^۴ و همکاران [۲۸] شبکه حلقه بسته ای طراحی کرده و ابتدا با استفاده از روش بهینه پارتو مجموعه جواب های بهینه را بدست آوردند و سپس با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک به تجزیه و تحلیل پرداختند. در تحقیقی

1 Memetic Algorithm

2 Baptista

3 El-Sayed

4 Liu



نیز سالما [۲۹] و همکاران شبکه زنجیره تامین معکوسی را طراحی کردند که در آن پارامترهای تقاضا و مقدار محصولات بازگشتی از مشتریان غیر قطعی بودند. این مدل تک دوره‌ای و تک هدفه بوده و محصولات مورد نظر در شبکه چندگانه در نظر گرفته شده بود.

پیشوایی و همکاران [۳۰] یک رویکرد بهینه‌سازی فازی جهت برخورد با عدم قطعیت داده‌های ورودی در مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پیشنهاد دادند. در این روش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط ارائه شده است.

۳-۲ رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مدل‌سازی عدم قطعیت

هنگامی که داده‌های تاریخی به اندازه کافی برای تخمین تابع توزیع احتمال پارامترها وجود داشته باشد، استفاده از بهینه‌سازی تصادفی پیشنهاد می‌شود. مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی عموماً بر روی مقدار متوسط هزینه یا سود در تابع هدف تمرکز دارند. در بسیاری از مسائل واقعی به دلایل مختلف نمی‌توان اطلاعات و داده‌های لازم برای تخمین تابع توزیع احتمال پارامترها را بدست آورد. در این شرایط استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار که نیازی به اطلاعات آماری پارامترها، مانند تابع توزیع احتمالشان ندارد، پیشنهاد می‌گردد.

مفاهیم و بروز رویکرد بهینه‌سازی استوار^۱ برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ میلادی توسط سویستر^۲ [۳۱] بیان شد. سویستر بدون اینکه رویکرد ابداعی خود را استوار نام‌گذاری کند، برای کنترل عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله، با فرض اینکه پارامترهای غیرقطعی بین یک حد بالا و یک حد پایین در حال تغییر هستند، اقدام به جایگذاری حدود بدبینانه پارامترهای غیرقطعی مسئله نمود. وی با این کار، از پراکندگی جواب‌های بدست آمده ناشی از ورود پارامترهای غیر قطعی مدل جلوگیری و جواب مسئله را کنترل نمود.

با توجه به اینکه این رویکرد بسیار محافظه‌کارانه عمل می‌کرد، بسیار ریسک‌گریز نیز بود اما دارای عملکرد مناسبی هم بود. بعد از گذشت زمان نه چندان طولانی، محققینی که اقدام به توسعه رویکرد ارائه شده توسط سویستر پرداختند، از عنوان بهینه‌سازی استوار استفاده کردند. آنها حدود بالا و پایین یادشده برای پارامترهای دارای عدم قطعیت را فضای عدم قطعیت^۳ نامیدند.

بن‌تال و نمیروفسکی^۴ [۳۲] بعدها با در نظر گرفتن فضای عدم قطعیت به صورت بیضوی^۵، تا حدودی از محافظه‌کاری مدل سویستر کاستند اما در عوض به پیچیدگی مدل‌های خود افزودند. مدل بدست‌آمده آنها غیرخطی بود و همین باعث پیچیده شدن روابط ریاضی آنها شده بود.

برتسیماس و سیم^۶ [۳۳] در تحقیقات خود توانستند مدلی ارائه کنند که محافظه‌کاری آن توسط تصمیم‌گیرنده قابل تنظیم باشد و همچنین به صورت خطی باشد. اما با این حال باعث افزایش پیچیدگی‌های ریاضی در مدل آنها شده بود. پس از تحقیق برتسیماس و سیم، بن‌تال و نمیروفسکی شروع به توسعه تحقیقات خود کردند و اینطور بیان داشتند که مدل ارائه شده توسط برتسیماس و سیم حالت خاصی از مدل ارائه شده آنهاست.

در سال ۲۰۱۱ پیشوایی و همکاران [۳۴] به طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا، هزینه حمل و نقل و نرخ بازگشتی‌ها پرداخته‌اند. آنها روی پارامتر نرخ بازگشتی‌ها یک تحلیل حساسیت انجام دادند و بدین

1 Robust Optimization

2 Soyster

3 Uncertainty set

4 Ben-tal & Nemirovski

5 Ellipsoidal

6 Bertsimas & Sim





طریق مزیت استفاده از بهینه سازی استوار را در برابر مدل معادل قطعی مسئله نشان دادند. پیشوایی همچنان در تحقیقی مشابه از رویکرد استوار امکانی^۱ [۳۵] در جهت مقابله با عدم قطعیت پارامترها در شبکه زنجیره تامین مورد نظر استفاده کرد و کارایی رویکرد مورد نظر را به اثبات رساند.

حسینی و همکاران [۳۶] به طراحی شبکه زنجیره تامین کالاهای فاسد شدنی پرداختند و در آن تقاضا و هزینه خرید را غیر قطعی در نظر گرفتند و از رویکرد بهینه سازی استوار بهره جستند. آنها با استفاده از مثال های عددی ضرورت استفاده از این رویکرد را تبیین کردند. همچنین صفاری و همکاران [۴] در صنعت فولاد از رویکرد بهینه سازی استوار استفاده کردند و قسمت هایی از مطالعه موردی که به صورت غیر قطعی و ذاتی در این صنعت وجود داشت را توسط این رویکرد وارد مدل سازی کردند.

شیشه بری و یوسف آبادی [۵] یک مدل برنامه ریزی صحیح غیر خطی برای شبکه لجستیک یکپارچه طراحی کردند و از روش بهینه سازی استوار تحت سناریو برای قطعی سازی پارامترها استفاده کردند که هدف آنها یافتن جوابی استوار و کمینه سازی هزینه ها بود.

اخیرا هاتفی [۳۷] در پژوهشی شبکه زنجیره تامینی طراحی کرد و در آن تسهیلات توزیع و تجمیع را به صورت ادغام شده (Hybrid) در نظر گرفت. این کار تا حدود زیادی باعث کاهش هزینه های موجود در شبکه زنجیره تامین شد. وی در پژوهش خود از رویکرد بهینه سازی استوار برای تقابل با عدم قطعیت پارامترهای شبکه استفاده کرد. بابازاده [۳۸] و همکاران در تحقیقی شبکه لجستیکی را طراحی کردند و یکی از اهداف این شبکه لجستیک را مسئولیت پذیری این شبکه در نظر گرفتند و در آن پارامترهای هزینه و تقاضا را غیر قطعی در نظر گرفتند و با رویکرد بهینه سازی استوار به حل پرداختند. در حوزه دارو نوری و قهرمانی نهر به استفاده از رویکرد بهینه سازی استوار امکانی با توجه به ارائه تخفیف در خرید مواد اولیه پرداختند. با توجه به مقالات و پژوهش های ارائه شده این مقاله نیز سعی در بکارگیری از این رویکرد در جهت مواجهه با عدم قطعیت و پیاده سازی در سیستم نگهداری و تعمیرات یک سازمان دفاعی دارد.

۴-۲ تعریف مسئله

مسئله اصلی در این سازمان نبودن یک سیستم دقیق شناسایی و کنترل هزینه های موجود در شبکه زنجیره تامین سازمان مورد نظر است. هزینه هایی از قبیل ساخت و تولید، گارانتی تجهیزات، نگهداری و تعمیرات، حمل و نقل و غیره همگی در شبکه دخیل هستند. تمرکز ما در این مقاله طراحی یک شبکه زنجیره تامین مستقیم/معکوس یکپارچه ماشین آلات مهندسی برای شعبه ابودر به منظور کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات شبکه زنجیره تامین است. ماشین آلاتی نظیر لودر، بولدوزر، غلطک و ... همواره جهت انجام فرایندهای نگهداری و تعمیرات و بازسازی به این سازمان فرستاده می شوند و این سازمان پس از بررسی های لازم، ماشین آلات را یا تعمیر کرده و دوباره مانند یک محصول نو وارد زنجیره کرده و یا اینکه آن را از رده خارج می کند. با توجه به اینکه تقاضای مشتریان راجع به تعمیرات قطعی نمی باشد و اینکه داده های دقیقی از اطلاعات مربوط به تقاضای مشتریان وجود ندارد تا بتوان از توزیع های احتمالی استفاده کرد، لذا از رویکرد بهینه سازی استوار که رویکردی مناسب در جهت مقابله با چنین شرایطی است استفاده می شود. تصمیمات مهمی که باید برای این شبکه زنجیره تامین گرفته شود این است که چه تعداد از تجهیزات دریافتی از مشتریان باید پذیرفته شود و چه تعداد از آنها بازسازی شود و چه تعداد بازسازی نشود، تصمیم مهمی است که مدل ریاضی که در این تحقیق نوشته می شود، قابلیت این را دارد تا این متغیرها را مشخص کند.



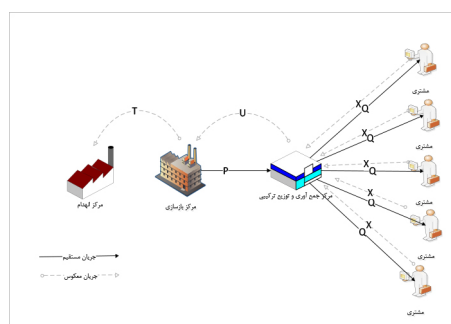
۳- مدل سازی ریاضی

۳-۱- مفروضات

مدل از نوع تک هدفه و چند محصولی و برای یک دوره یک ساله می باشد که مراکز توزیع در جریان مستقیم و مراکز جمع آوری و مراکز بازرسی و مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی و مراکز انهدام در جریان معکوس در نظر گرفته شده اند. برای صرفه جویی بیشتر اقتصادی مراکز جمع آوری و توزیع به صورت ترکیبی در نظر گرفته شده است. مکان مشتریان و مراکز انهدام از پیش تعیین شده می باشد. مدل ریاضی ارائه شده در این تحقیق از نوع برنامه ریزی عدد صحیح مختلط خطی و تک هدفه می باشد. تابع هدف این مدل ریاضی از نوع کمینه سازی هزینه های احداث مراکز نگهداری و تعمیرات و هزینه حمل و نقل تجهیزات بین مراکز می باشد.

فرایند بازسازی ماشین آلات مهندسی از تقاضای مشتریان شروع می شود و سپس به مراکز جمع آوری و سپس مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی و انهدام در جریان معکوس ادامه می یابد. پس از جمع آوری تجهیزاتی که باید بازسازی شوند، این تجهیزات به مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی فرستاده می شوند و در این مراکز فرایند بازرسی روی آنها انجام می شود. پس از بازرسی تجهیزات قابل بازسازی برای ادامه فرایند در همانجا می مانند و باقی تجهیزات به مراکز انهدام فرستاده می شوند.

برای تجزیه و تحلیل اولیه، مدل مد نظر را با استفاده از نرم افزار GAMS^۱ حل شده و نتایج مدل تحت تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در شکل زیر ساختار شبکه زنجیره تامین نگهداری و تعمیرات ماشین آلات مهندسی این سازمان نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار شبکه زنجیره تامین نگهداری و تعمیرات سازمان دفاعی

۳-۲- اندیس ها

I اندیس مکان بالقوه مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی

J اندیس مکان بالقوه مراکز جمع آوری و توزیع ترکیبی (هایبرید)

k اندیس مکان ثابت مراکز انهدام

n اندیس مکان ثابت مشتریان

p اندیس تجهیزات





۳-۳- پارامترها

D_{np} : تقاضای مشتری n ام برای تجهیز p

S : میانگین کسر انهدام

Cr_{ip} : ظرفیت نگهداری و تعمیرات و بازسازی مرکز i ام برای تجهیز p

Cc_{jp} : ظرفیت جمع آوری مرکز j برای تجهیز p

Cd_{jp} : ظرفیت توزیع مرکز j ام برای تجهیز p

۳-۲- هزینه‌ها

F_i : هزینه ثابت احداث مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی جدید i

G_j : هزینه ثابت احداث مرکز تجمیع و توزیع ترکیبی (هایبرید) جدید j

C_{njp} : هزینه حمل و نقل هر واحد تجهیز p از مشتری n ام به مرکز جمع آوری و توزیع j

A_{jip} : هزینه حمل و نقل هر واحد تجهیز p از مرکز جمع آوری و توزیع j به مرکز بازسازی i

B_{ijp} : هزینه حمل و نقل هر واحد تجهیز بازسازی شده p از مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی i به مرکز جمع آوری و توزیع j

E_{jnp} : هزینه حمل و نقل هر واحد تجهیز بازسازی شده p از مرکز جمع آوری و توزیع j به مشتری n

V_{ikp} : هزینه حمل و نقل هر واحد تجهیز غیر قابل بازسازی p از مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی i به مرکز بازیافت k

Π_{np} : جریمه عدم ارضای تقاضای هر واحد از تجهیز p برای مشتری n ام

۳-۳- متغیرها

X_{njp} : مقدار تجهیز انتقال یافته p از مشتری n ام به مرکز جمع آوری و توزیع j

U_{jip} : مقدار تجهیز انتقال یافته p از مرکز جمع آوری و توزیع j به مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی i

P_{ijp} : مقدار تجهیز بازسازی شده انتقال یافته p از مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی i به مرکز جمع آوری و توزیع j

Q_{jnp} : مقدار تجهیز باز سازی شده انتقال یافته p از مرکز جمع آوری و توزیع j به مشتری n

T_{ikp} : مقدار تجهیز غیر قابل بازسازی انتقال یافته p از مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی i به مرکز بازیافت k

SS_{np} : مقدار تقاضای برآورد نشده مشتری n ام از تجهیز p

۳-۴- متغیرهای صفر یا یک

$$y_i, z_j \in \{0,1\}$$

اگر مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی جدید احداث شود y_i برابر یک و در غیر اینصورت صفر است.



اگر مرکز جمع آوری و توزیع ترکیبی جدید احداث شود Z_j برابر یک و در غیر اینصورت صفر است. تابع هدف از نوع خطی است. با توجه به اینکه تابع هدف از جنس هزینه است پس از نوع کمینه سازی می باشد. تابع هدف هزینه کل شبکه را در یک دوره یکساله کمینه می کند. این تابع هدف شامل پنج دسته جمله است که بیانگر هزینه های احداث مرکز بالقوه نگهداری و تعمیرات جدید، هزینه های حمل و نقل بین عناصر و هزینه عدم ارضای تقاضا هستند. متغیرهای تصمیم که بیانگر تعداد تجهیزات جابه جا شده بین عناصر هستند همگی مثبت در نظر گرفته می شوند.

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_i F_i y_i + \sum_j G_j z_j + \sum_p \sum_j \sum_n C_{njp} X_{njp} + \sum_p \sum_i \sum_j A_{jip} U_{jip} + \sum_p \sum_j \sum_i B_{ijp} P_{ijp} \\ & + \sum_p \sum_n \sum_j E_{jnp} Q_{jnp} + \sum_p \sum_k \sum_i V_{ikp} T_{ikp} + \sum_p \sum_n \varphi_{np} SS_{np} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_j Q_{jnp} + SS_{np} \geq D_{np} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (2)$$

$$\sum_j X_{njp} = D_{np} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (3)$$

$$\sum_i U_{jip} = \sum_n X_{njp} \quad \forall j \in J, p \in P \quad (4)$$

$$\sum_j P_{ijp} \geq (1-s) \sum_j U_{jip} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (5)$$

$$\sum_k T_{ikp} \geq (s) \sum_j U_{jip} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (6)$$

$$\sum_i P_{ijp} = \sum_n Q_{jnp} \quad \forall j \in J, p \in P \quad (7)$$

$$\sum_p \sum_n X_{njp} \leq \sum_p Cc_{jp} z_j \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_p \sum_n Q_{jnp} \leq \sum_p Cd_{jp} z_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_p \sum_j U_{jip} \leq \sum_p Cr_{ip} y_i \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$X_{njp} \leq Q_{jnp} \quad \forall n \in N, j \in J, p \in P \quad (11)$$

$$y_i, z_j \in \{0,1\}, \forall i \in I, j \in J \quad (12)$$

$$X_{njp}, U_{jip}, P_{ijp}, Q_{jnp}, T_{ikp} \geq 0, \forall i \in I, j \in J, n \in N, p \in P, k \in K \quad (13)$$

تابع هدف شماره (۱) مقدار هزینه های احداث مراکز بازسازی، مراکز جمع آوری، مراکز توزیع بالقوه، هزینه های حمل و نقل تجهیزات بین عناصر شبکه و جریمه عدم ارضای تقاضای مشتریان را کمینه می کند. محدودیت شماره (۲) بیانگر ارضای تقاضای آن مقدار از تجهیزاتی است که قابل پاسخگویی به مشتریان می باشد. محدودیت شماره (۳) بیان می دارد که تمامی تجهیزاتی که از طرف مشتریان برای نگهداری و تعمیرات و بازسازی فرستاده می شود، توسط مراکز جمع آوری و توزیع ترکیبی (هایبرید) جمع خواهد شد. محدودیت شماره (۴) بیانگر این است که هر مقدار تجهیز برای نگهداری و تعمیرات و بازسازی به مراکز جمع آوری و توزیع ترکیبی می رود، از آنجا به سمت مراکز ارسال می شود. محدودیت شماره (۵) بیانگر این است که از تمامی تجهیزاتی که به مرکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی فرستاده شده است، مقدار $(1-S)$ درصد از آن مورد نگهداری و تعمیرات قرار می گیرد و برای ارسال به مشتریان به مرکز جمع آوری و توزیع ترکیبی (هایبرید) تحویل





داده می شود. محدودیت شماره (۶) بیان می دارد که S درصد از تجهیزاتی که برای نگهداری و تعمیرات و بازسازی به مرکز بازسازی فرستاده شده بودند صرفه اقتصادی برای این کار ندارند و از آنجا به مرکز بازیافت ارسال می شوند. محدودیت شماره (۷) بیان می دارد که در جریان بازگشت هر چقدر از تجهیزاتی که از مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی به مراکز جمع آوری و توزیع تحویل داده شده است، همگی به مشتریان تحویل داده می شود. محدودیت های شماره (۸) و (۹) و (۱۰) مربوط به ظرفیت مراکز جمع آوری و توزیع ترکیبی (هایبرید) و مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی هستند. محدودیت شماره (۱۱) بیانگر این است که تجهیزاتی که پس از بازسازی به مشتریان نهایی فرستاده می شوند نباید کمتر از مقداری باشند که به منظور بازسازی از مشتریان جمع آوری شده اند. محدودیت های شماره (۱۲) و (۱۳) نشانگر متغیرهای باینری و غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم مربوطه هستند.

۴. رویکرد بهینه سازی استوار

در این بخش از رویکرد بهینه سازی استوار برتسیماس و سیم [۳۳] برای استوار کردن مدل استفاده خواهد شد. در ادامه به تشریح رویکرد مورد نظر پرداخته می شود.

۴-۱- عدم قطعیت مقادیر سمت چپ^۱

مدل برنامه ریزی خطی زیر را در نظر می گیریم که در آن c' یک بردار n تایی، A یک ماتریس $m \times n$ ، b یک بردار m تایی و X یک چند وجهی باشد.

$$\begin{aligned} \min c'x \\ \text{S.t.} \\ Ax \leq b \quad x \in X \end{aligned} \quad (14)$$

حال اگر فرض کنیم عناصر ماتریس A دارای عدم قطعیت باشد، هر کدام از عناصر را با $\tilde{a}_{ij}$ نشان می دهیم که هر پارامتر دارای عدم قطعیت کران دار، متقارن و مستقل در نظر گرفته می شود که مقداری در بازه $[\hat{a}_{ij} - \bar{a}_{ij}, \hat{a}_{ij} + \bar{a}_{ij}]$ اختیار می کند. عبارات $\tilde{a}_{ij}$ و $\bar{a}_{ij}$ به ترتیب برابر با مقدار اسمی و مقدار انحراف از مقدار اسمی را نشان می دهند. اکنون اگر فرض کنیم مجموعه J_i برابر با تعداد پارامترهای دارای عدم قطعیت در محدودیت i ام باشند، آنگاه مسئله (۱۴) به صورت زیر نوشته می شود.

$$\begin{aligned} \min c'x \\ \text{S.t.} \\ \sum_{j=1} \tilde{a}_{ij} x_j \leq b_i \quad \forall i, \tilde{a}_{ij} \in J_i \\ x \in X \end{aligned} \quad (15)$$

مسئله (۱۵) را به صورت زیر نیز می توان نوشت:

$$\begin{aligned} \min c'x \\ \text{S.t.} \\ \max_{\tilde{a}_{ij} \in J_i} (\sum_j \tilde{a}_{ij} x_j) \leq b_i \quad \forall i \quad x \in X \end{aligned} \quad (16)$$

Left Hand Side (L.H.S)^۱



مقدار انحراف مقیاس بندی شده $\tilde{a}_{ij}$ را نیز با توجه به رابطه زیر بدست می آوریم:

$$\eta_{ij} = \frac{\tilde{a}_{ij} - \bar{a}_{ij}}{\hat{a}_{ij}} \quad (17)$$

در این رابطه به ترتیب $\tilde{a}_{ij}$ و $\bar{a}_{ij}$ و $\hat{a}_{ij}$ داده های غیر قطعی، مقادیر اسمی و بیشترین انحراف از مقدار اسمی می باشند. عبارت η_{ij} یک متغیر تصادفی است که مقادیری بین $[-1, 1]$ اختیار می کند. در رویکرد بهینه سازی استوار برتسیماس و سیم یک پارامتر جدید به نام Γ_i برای محدودیت i ام تعریف کردند که بودجه عدم قطعیت نامیده می شود. پارامتر Γ_i می تواند مقادیری بین $[0, |J_i|]$ اختیار کند که در آن $|J_i|$ تعداد اعضای مجموعه J_i را نشان می دهد. وظیفه این پارامتر این است که استواری روش را در مقابل محافظه کاری حل تنظیم کند. انحراف مقیاس بندی شده محدودیت i ام هم مقادیری بین $[|J_i|, -|J_i|]$ اختیار می کند و باید در محدودیت زیر صدق کند:

$$\sum_{j=1}^n \eta_{ij} \leq \Gamma_i, \quad \forall i \quad (18)$$

بر اساس همین محدودیت مجموعه J_i به صورت زیر تعریف می شود:

$$J_i = \{\tilde{a}_{ij} | \tilde{a}_{ij} = \bar{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}\eta_{ij}, \forall i, j, \eta \in Z\} \quad (19)$$

که در آن مجموعه Z به صورت زیر تعریف می شود:

$$Z = \left\{ \eta | |\eta| \leq 1, \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \leq \Gamma_i, \forall i \right\} \quad (20)$$

با این توضیحات می توانیم بنویسیم:

$$\sum_j \tilde{a}_{ij} x_j = \sum_j (\bar{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}\eta_{ij}) x_j = \sum_j \bar{a}_{ij} x_j + \sum_j \hat{a}_{ij}\eta_{ij} x_j, \quad \forall i \quad (21)$$

بنابراین مسئله (۱۶) به صورت زیر بازنویسی می شود:

$$\sum_j \bar{a}_{ij} x_j + \max_{\eta_i \in Z_i} \left(\sum_j \hat{a}_{ij}\eta_{ij} x_j \right) \leq b_i, \quad \forall i \quad (22)$$





با توجه به مسئله (۲۲) تابع حفاظت محدودیت i ام برای جواب بهینه X^* اینگونه نوشته می شود:

$$\begin{aligned} & \max_{\eta_i \in Z_i} \hat{a}_{ij} \eta_{ij} |x_j^*| \\ & \text{S.t.} \\ & \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \leq \Gamma_i, \quad \forall i \quad (23) \\ & 0 \leq \eta_{ij} \leq 1, \quad \forall J_i \end{aligned}$$

اکنون برای مسئله (۲۳) متغیرهای دوگان Z_i و P_{ij} را تعریف کرده و مسئله دوگان آن را می نویسیم:

$$\begin{aligned} & \min \Gamma_i Z_i + \sum_{j \in J_i} P_{ij} \\ & \text{S.t.} \\ & Z_i + P_{ij} \geq \hat{a}_{ij} |x_j^*|, \quad \forall i, j \in J_i \quad (24) \\ & P_{ij} \geq 0, j \in J_i \\ & Z_i \geq 0, \quad \forall i \end{aligned}$$

در انتها مسئله (۲۴) به مسئله (۲۲) افزوده می شود

$$\begin{aligned} & \min c'x. \\ & \text{S.t.} \\ & \sum_j \bar{a}_{ij} x_j + Z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} P_{ij} \leq b_i, \quad \forall i \quad (25) \\ & Z_i + P_{ij} \geq \hat{a}_{ij} y_j, \quad \forall i, j \in J_i \\ & -y_j \leq x_j \leq y_j, \quad \forall j \\ & P_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \in J_i \\ & Z_i \geq 0, \quad \forall i \\ & y_j \geq 0, \quad \forall j \\ & x \in X \end{aligned}$$

در این مدل وجود پارامتر Γ_i که توسط نویسندگان ابداع شده است، چنین تفسیر می شود:

- اگر $\Gamma_i = 0$ ، آنگاه محدودیت i ام در برابر عدم قطعیت پشتیبانی نمی شود. یا به عبارت دیگر محدودیت به مانند حالت قطعی در نظر گرفته می شود.
- اگر $\Gamma_i = |J_i|$ ، آنگاه محدودیت i ام به طور کامل در برابر عدم قطعیت محافظت می شود و یا به عبارت دیگر محدودیت دارای بیشترین سطح حفاظت است.
- اگر $\Gamma_i \in (0, |J_i|)$ ، آنگاه تصمیم گیرنده می تواند موازنه ای بین سطح حفاظت از محدودیت i ام و درجه محافظه کاری جواب بدست آورد.



۲-۴- عدم قطعیت مقادیر سمت راست

اکنون فرض می‌کنیم عدم قطعیت داده فقط منحصر به مقادیر سمت راست باشد. بنابراین پارامتر مورد نظر به صورت $\tilde{b}_i$ نمایش داده می‌شود و به ترتیب $\hat{b}_i, \bar{b}_i$ مقادیر اسمی و بیشترین مقدار انحراف از مقدار اسمی خواهند بود. پارامتر مورد نظر در بازه $\tilde{b}_i \in [\bar{b}_i - \hat{b}_i, \bar{b}_i + \hat{b}_i]$ مقدار اختیار می‌کند. در این حالت مسئله اصلی به شکل زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \min c'x \quad & (26) \\ \text{S.t.} \quad & \\ Ax \leq \bar{b}_i + \min_{\eta'_i \in Z'_i} \left(\sum_j \hat{b}_i \eta'_i \right), \quad & \forall i \\ x \in X \end{aligned}$$

در این مسئله η'_i مقدار انحراف مقیاس بندی شده را نشان می‌دهد و داریم:

$$Z'_i = \{ \eta'_i \mid |\eta'_i| \leq 1, \eta'_i \leq \Gamma'_i \} \quad (27)$$

به طور مشابه اگر مسئله دوگان تابع حفاظت، در مسئله (۳۹) جایگذاری شود، مدل معادل استوار برای حالتی که مقادیر سمت راست غیر قطعی هستند بدست می‌آید که عبارت است از:

$$\begin{aligned} \min c'x \quad & (28) \\ \text{S.t.} \quad & \\ Ax \leq \bar{b}_i - \Gamma'_i \hat{b}_i, \quad & \forall i \\ x \in X \end{aligned}$$

پارامتر Γ'_i بودجه عدم قطعیت سمت راست محدودیت i ام را نشان می‌دهد و مقداری در بازه $[0,1]$ اختیار می‌کند. برای تفسیر مقادیر پارامتر Γ'_i داریم:

- اگر $\Gamma'_i = 0$ ، مدل در برابر عدم قطعیت پارامترهای سمت راست مسئله حفاظت نمی‌شود و همچون مدل قطعی محسوب می‌شود.
- اگر $\Gamma'_i = 1$ ، مدل به طور کامل در برابر عدم قطعیت مقادیر سمت راست محافظت می‌شود.
- اگر $\Gamma'_i \in (0,1)$ ، تصمیم گیرنده می‌تواند موازنه‌ای بین میزان حفاظت از محدودیت i ام و درجه محافظه‌کاری جواب بدست آورد.

۳-۴- مدل همزاد استوار پیشنهادی

در مدل ریاضی شبکه زنجیره تامین یکپارچه، پارامترهای تقاضای مشتریان (D_{np}) و درصد تجهیزات بازگشتی (S) غیر قطعی در نظر گرفته شده‌اند. برای نمایش پارامترهای غیرقطعی، تقاضای مشتریان به صورت $\tilde{D}_{np}$ و درصد تجهیزات بازگشتی به صورت $\tilde{S}$ نمایش داده می‌شود.





با توجه به عدم قطعیت تقاضای مربوط به مشتریان، پارامتر مذکور مقادیری در بازه $[\bar{d}_{np} - \hat{d}_{np}, \bar{d}_{np} + \hat{d}_{np}]$ اختیار می‌کند. مقادیر $\bar{d}_{np}$ و $\hat{d}_{np}$ به ترتیب مقدار اسمی و بیشترین انحراف از مقدار اسمی برای پارامتر تقاضای مشتریان هستند. برای پارامتر درصد تجهیزات بازگشتی نیز، مقادیر $\bar{S}$ و $\hat{S}$ به ترتیب برابر با مقدار اسمی و بیشترین انحراف از مقدار اسمی هستند و مقداری در بین بازه $[\bar{S} - \hat{S}, \bar{S} + \hat{S}]$ اختیار می‌کند. با توجه به توضیحات بالا، ابتدا محدودیت (۲) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_j Q_{jnp} + SS_{np} \geq \bar{D}_{np} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (29)$$

با توجه به اینکه سمت راست محدودیت بالا دارای پارامتر غیرقطعی می‌باشد، لذا با استفاده از تعریف یک بوجه عدم قطعیت، محدودیت استوار همتای آن به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\sum_j Q_{jnp} + SS_{np} \geq \bar{D}_{np} + \Gamma_{np} \hat{D}_{np} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (30)$$

در این محدودیت Γ_{np} بوجه عدم قطعیت تقاضای مشتری n ام از تجهیز p را می‌رساند که مقداری بین $[0, 1]$ اختیار می‌کند. برای نوشتن همتای استوار محدودیت (۳) از رویکرد استفاده شده توسط بن‌تال و پیشوایی [۳۴] استفاده می‌شود. آنها با استفاده از این رویکرد در ابتدا محدودیت مساوی را که در آن یک پارامتر غیرقطعی وجود دارد به یک محدودیت نامساوی تبدیل کردند و سپس همتای استوار محدودیت مورد نظر را بدست آوردند. با استفاده از این رویکرد، ابتدا محدودیت (۳) را از حالت مساوی به حالت نامساوی نوشته و همزاد استوار برای آن بدست می‌آید.

$$\bar{D}_{np} - \Gamma'_{np} \hat{D}_{np} \leq \sum_j X_{njp} \leq \bar{D}_{np} + \Gamma'_{np} \hat{D}_{np} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (31)$$

پارامتر Γ'_{np} بوجه عدم قطعیت مربوط به محدودیت (۳۱) است و مقداری بین $[0, 1]$ اختیار می‌کند. برای توسعه همتای استوار محدودیت (۵)، با توجه به اینکه پارامتر $\hat{S}$ غیر قطعی می‌باشد، مقادیری بین بازه $[\bar{S} - \hat{S}, \bar{S} + \hat{S}]$ اختیار می‌کند. همچنین پس از ساده‌سازی و اضافه کردن متغیرهای Z_{ip}, P_{jip}, Y_{jip} محدودیت متناظر استوار آن برابر است با:

$$\sum_j P_{ijp} + \bar{S} \sum_j U_{jip} - \Gamma_{ip} Z_{ip} - \sum_j P_{jip} \geq \sum_j U_{jip} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (32)$$

$$Z_{ip} + P_{jip} \geq \hat{S} Y_{jip} \quad \forall j \in J, i \in I, p \in P \quad (33)$$

$$-Y_{jip} \leq U_{jip} \leq Y_{jip} \quad \forall j \in J, i \in I, p \in P \quad (34)$$



پارامتر Γ_{ip} بودجه عدم قطعیت محدودیت (۳۲) است و مقداری در بازه $[0,1]$ اختیار می‌کند. همتای استوار محدودیت (۶) نیز به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_k T_{ikp} \geq \bar{S} \sum_j U_{jip} + Z'_{ip} \Gamma'_{ip} + \sum_j P'_{jip} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (35)$$

$$Z'_{ip} + P'_{jip} \geq \hat{S} y'_{jip} \quad \forall j \in J, i \in I, p \in P \quad (36)$$

$$-y'_{jip} \leq U_{jip} \leq y'_{jip} \quad \forall j \in J, i \in I, p \in P \quad (37)$$

پارامتر Γ'_{ip} بودجه عدم قطعیت محدودیت (۳۵) است و مقداری در بازه $[0,1]$ اختیار می‌کند.

۵. عملکرد مدل استوار پیشنهادی

برای بررسی عملکرد مدل استوار پیشنهادی و بررسی رفتارهای پارامترهای غیر قطعی و تجزیه تحلیل شبکه زنجیره تامین یکپارچه، مدل در ابعاد واقعی سازمان دفاعی و ابعاد بالاتر در نظر گرفته می‌شود. مسئله شماره یک همان شبکه زنجیره تامین مطالعه موردی این پژوهش است. اطلاعات بیشتر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ابعاد مختلف مسئله

تعداد تجهیزات	تعداد مراکز ثابت مشتریان	تعداد مراکز ثابت انهدام	تعداد مراکز بالقوه جمع آوری و توزیع	تعداد مراکز بالقوه تعمیر و بازسازی	شماره مسئله
۵	۵	۱	۱	۱	۱) مطالعه موردی
۱۰	۱۰	۱	۵	۵	۲
۱۵	۱۰	۳	۷	۸	۳

جدول ۲. تعداد متغیرها و محدودیت‌ها

تعداد متغیرها	تعداد محدودیت‌ها		بودجه عدم قطعیت	ابعاد مسئله $ N J I K P $
	استوار	قطعی		
۱۲۳	۹۳	۱۵۴	۰,۵	۵*۱*۱*۱*۵
۲۷۶۴	۱۶۶۱	۲۵۱۶	۰,۵	۱۰*۵*۵*۱*۱۰
۷۹۰۶	۴۳۰۶	۷۰۱۳	۰,۵	۱۰*۷*۸*۳*۱۵





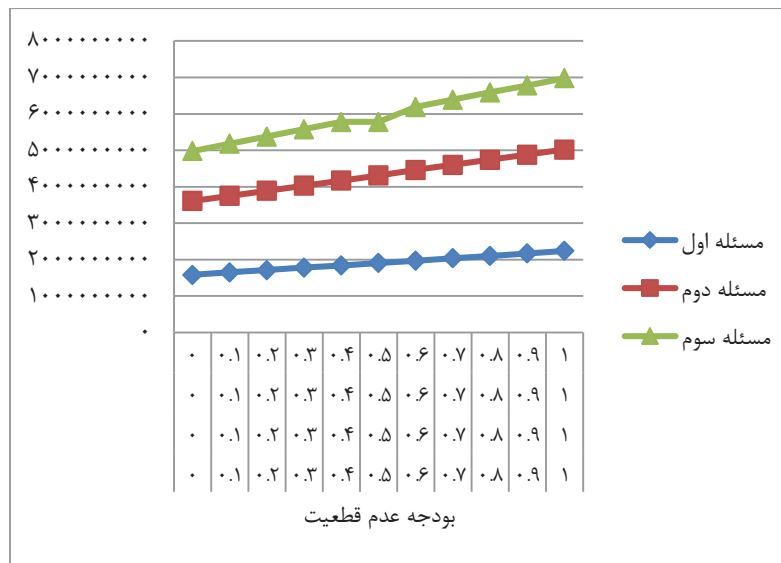
مقدار پارامترهای قطعی مسئله به صورت داده‌های تصادفی از تابع توزیع احتمال یکنواخت که در جدول ۳ آمده است پیروی می‌کنند. پارامترهای تقاضا و کیفیت تجهیزات بازگشتی به ترتیب در بازه $\tilde{D}_{np} \in [5,15]$ و $\tilde{S} \in [0.1, 0.3]$ و با مرکزیت ۱۰ و ۰٫۲ متغیر هستند.

جدول ۳. تابع توزیع پارامترها

پارامتره ۱	تابع توزیع	پارامترها	تابع توزیع
F_i	$\sim Uniform(100000000, 200000000)$	C_{njp}	$\sim Uniform(350000, 4500000)$
G_j	$\sim Uniform(100000000, 200000000)$	A_{jip}	$\sim Uniform(350000, 4000000)$
Cc_{jp}	$\sim Uniform(200, 400)$	B_{ijp}	$\sim Uniform(350000, 4000000)$
Cd_{jp}	$\sim Uniform(200, 400)$	E_{jnp}	$\sim Uniform(350000, 4500000)$
Cr_{ip}	$\sim Uniform(200, 400)$	V_{ikp}	$\sim Uniform(350000, 4000000)$
φ_{np}	$\sim Uniform(10000000, 15000000)$		

۵-۱- تاثیر عدم قطعیت پارامترها

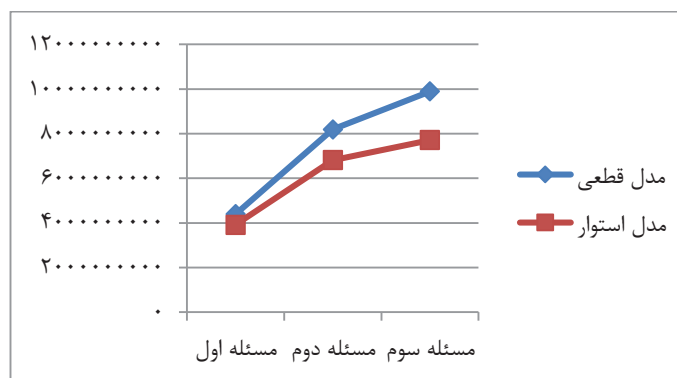
تاثیر عدم قطعیت پارامترها ابتدا با تغییر در مقدار بودجه عدم قطعیت در مقدار تابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد. پارامترهای $\Gamma_{np}, \Gamma'_{np}, \Gamma_{ip}, \Gamma'_{ip}$ همگی مقادیری در بازه $[0,1]$ اختیار می‌کنند. برای مشاهده نتایج دقیق تر مقدار بهینه تابع هدف و با توجه به سطوح مختلف عدم قطعیت و ابعاد مسئله، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش بودجه عدم قطعیت مقدار تابع هدف افزایش می‌یابد و با افزایش ابعاد مسئله مقدار تابع هدف افزایش چشمگیری خواهد داشت. به عنوان مثال مقدار بهینه تابع هدف در مسئله شماره (۱) در حالت قطعیت ۱،۵۸۰،۰۰۰،۰۰۰ تومان می‌باشد و در حالت استواری با مقادیر بودجه عدم قطعیت ۰٫۲، مقدار تابع هدف آن ۱،۷۱۰،۰۰۰،۰۰۰ تومان می‌باشد.



شکل ۲. مقادیر تابع هدف برای مسائل با اندازه‌های مختلف

با توجه به اجرا و پیاده‌سازی واقع‌نمایی انجام شده برای مدل‌های قطعی و استوار تحت داده‌های تصادفی تولید شده برای پارامترهای غیرقطعی مسئله، مدل استوار پیشنهادی با توجه به میانگین هزینه کمتر، عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. برای این کار ابتدا مدل قطعی و استوار را به صورت جداگانه با نرم افزار حل کرده و مقادیر بهینه متغیرهای بدست آمده ذخیره می‌گردد.

سپس با تغییر مقدار پارامترهای غیر قطعی که به صورت تصادفی در بین حدود بالا و پایین خود (انحراف از مقدار اسمی) تولید شده‌اند و محاسبه میزان نقض محدودیت‌هایی که پارامترهای غیر قطعی در آن محدودیت وجود دارند، یک پارامتر جریمه نقض تعریف می‌گردد. سپس با ضرب کردن میزان نقض آن محدودیت در پارامتر جریمه نقض، مقدار جریمه نقض‌ها بدست می‌آید. پس از جمع کردن هزینه‌های تابع هدف مدل با متغیرهای بدست آمده از قبل و لحاظ کردن جریمه مقدار نقض محدودیت‌های مدل تحت واقع‌نمایی، مشاهده می‌شود که نتایج مدل استوار به ازای هر سه مسئله از مدل قطعی تحت واقع‌نمایی‌های انجام شده کمتر خواهد بود. در شکل ۳ برای مقادیر $\Gamma_{np} = \Gamma'_{np} = \Gamma_{ip} = \Gamma'_{ip} = 6$ مقدار بهینه تابع هدف قطعی و استوار نشان داده شده است.



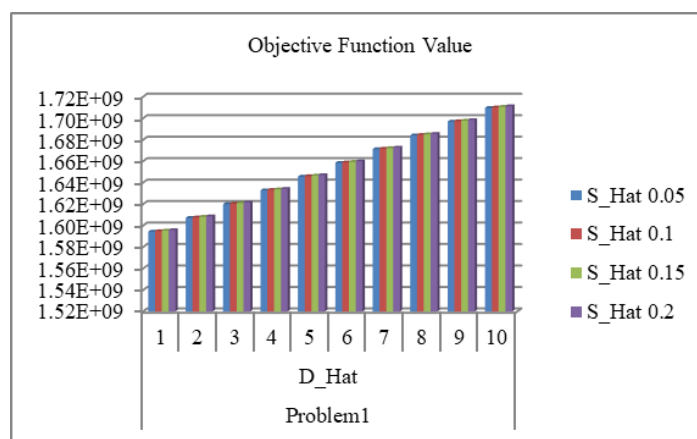
شکل ۳. مقایسه مقدار تابع هدف قطعی و غیرقطعی





۵-۲- تحلیل حساسیت پارامترها

از مواردی که می توان تحت عنوان تحلیل حساسیت روی مدل انجام داد، تحلیل حساسیت روی بازه پارامترهای دارای عدم قطعیت می باشد. با توجه به اینکه در این مدل دو پارامتر تقاضای مشتریان و میانگین کسر انهدام دارای عدم قطعیت هستند، لذا انجام یک تحلیل حساسیت روی بازه عدم قطعیت آنها و مشاهده مقدار تابع هدف می تواند در انجام تصمیم گیری ها و راهبردهای شبکه زنجیره تامین کمک شایانی کند. با توجه به توضیحات داده شده در ابتدا برای انجام تحلیل حساسیت روی بازه پارامتر تقاضای مشتریان، ابتدا بازه را تنها با مقدار انحراف از مقدار اسمی یک واحد در نظر می گیریم و در انتها این مقدار انحراف را تا ده واحد از مقدار اسمی در نظر می گیریم. لازم به ذکر است که مقادیر بودجه عدم قطعیت در تمامی حالت ها ۰,۱ در نظر گرفته شده است. همینطور برای پارامتر میانگین کسر انهدام انحراف از مقدار اسمی را از مقدار ۰,۰۵ تا ۰,۲ ادامه می دهیم. نتایج دقیق تر در شکل زیر آمده است.



شکل ۴. نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای غیرقطعی شبکه زنجیره تامین سازمان دفاعی

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته برای شعبه ابودر سازمان جهاد خودکفایی غدیر طراحی شد. شبکه زنجیره تامین شامل سه سطح تولیدکننده و تعمیرکننده، توزیع و تجمیع کننده و مشتری است. شبکه این زنجیره از نوع چند محصولی و تک دوره ای (یکساله) و مدل ریاضی این پژوهش از نوع برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح بوده و برای حل مدل از نرم افزار گمز استفاده شد. برای هرچه بیشتر نزدیک شدن مدل ریاضی طراحی شده با واقعیت های موجود در این صنعت، پارامترهای تقاضای مشتریان و درصد تجهیزات بازگشتی غیرقطعی در نظر گرفته شد. سپس برای مواجهه با عدم قطعیت پارامترها از رویکرد بهینه سازی استوار برتسیماس و سیم استفاده شد. برای بررسی عملکرد مدل ریاضی، شبکه زنجیره تامین پژوهش، مسئله در سه ابعاد مختلف واقعی شعبه ابودر و دو حالت بزرگ تر از آن حل شد و نتایج مدل قطعی و استوار با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به واقع نمایی انجام شده بین مدل قطعی و استوار، مشاهده شد که هزینه هایی که برای یک دوره یکساله شبکه زنجیره تامین شعبه ابودر وجود دارد بسیار بیشتر از زمانی است که تصمیم گیری های مدیران سازمان با در نظر گرفتن نتایج مدل ریاضی این پژوهش باشد. در صورت بکارگیری مدل استوار در شبکه زنجیره تامین شعبه ابودر، میزان هزینه های حمل و نقل یکساله به دلیل انتخاب صحیح ماشین آلات مورد بازسازی و عدم انتخاب برخی



دیگر به دلیل نداشتن صرفه اقتصادی و اینکه اگر آنها وارد شبکه شوند باعث افزایش هزینه در بخش حمل و نقل و اتلاف زمان و توان سازمان در بخش غیر ضروری می شوند، کاهش چشم گیری خواهد یافت. نتایج و تحلیل حاصله به مدیران و کارشناسان این سازمان ارائه گردید و بیانگر کارایی مدل پیشنهادی در پیاده سازی این مدل در این سازمان می باشد.

۷- منابع و مآخذ

- [۱] خداوردی، ب. "توسعه مدیریت زنجیره تامین اقلام دفاعی برای شناورهای تند رو" پنجمین همایش ملی شناورهای تندرو، انجمن علمی پژوهشی دریایی - دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، (۱۳۹۶).
- [۲] فلاح، ح. "ارائه مدل دوسطحی طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت و رقابت بین زنجیره‌ای: حل با رویکرد تجزیه بندرز"، مدل سازی در مهندسی، شماره ۱۵ (۲۰۱۷).
- [۳] فضلی خلف، م. چهارسوقی، س.ک. پیشوایی، م.س. "طراحی پایای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت عدم قطعیت: مطالعه موردی یک تولیدکننده باتری اسیدی"، مدل سازی در مهندسی، شماره ۱۲ (۲۰۱۵).
- [۴] ماکوئی، ا. "یک مدل چند هدفه استوار برای طراحی زنجیره تأمین با در نظرگیری جریان رو به جلو و عقب و مسئولیت پذیری اجتماعی"، مدل سازی در مهندسی، شماره ۱۴ (۲۰۱۷).
- [۵] یوسفی بابادی، ا. شیشه بری، د. "بهینه سازی استوار طراحی شبکه یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس در شرایط عدم قطعیت"، نشریه مهندسی صنایع، شماره ۴۹ (۲۰۱۵).
- [۶] نوری، ف. قهرمانی نهر، ج. "روش بهینه سازی استوار-امکانی در طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو در حالت عدم قطعیت و ارائه تخفیف در خرید مواد اولیه"، نشریه مدل سازی در مهندسی، شماره ۵۸ (۲۰۱۹).
- [7] Teymoori, E. and Ahmadi, M., Supply chain management, 2nd, Editor 2013, Iran University of science and technology: Tehran, Iran.
- [8] Meade, L., Sarkis, J. and Presley, A., The theory and practice of Reverse Logistics, 2007. p. 56-84.
- [9] Pishvae, M. S., Jolai, F. and Razmi, J. "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design", Journal of Manufacturing Systems, 28, 107-114, (2009)
- [10] Sher, M. M., Kim, S.-L., Banerjee, A. and Paz, M. T. "A supply chain coordination mechanism for common items subject to failure in the electronics, defense, and medical industries", International Journal of Production Economics, 203, 164-173, (2018)
- [11] Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T. "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", Computers & Industrial Engineering, 51, 196-215, (2006)
- [12] Jayaraman, V., Patterson, R. A. and Rolland, E. "The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures", European Journal of Operational Research, 150, 128-149, (2003)
- [13] Pishvae, M. S., Kianfar, K. and Karimi, B. "Reverse logistics network design using simulated annealing", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 47, 269-281,





(2010)

[14]Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J. A. E. E. and Van Wassenhove, L. N. "Quantitative models for reverse logistics: A review", *European Journal of Operational Research*, 103, 1-17, (1997)

[15]Jayaraman, V., Guide, V. D. R. and Srivastava, R. "A closed-loop logistics model for remanufacturing", *Journal of the Operational Research Society*, 50, 497-508, (1999)

[16]Yi, P., Huang, M., Guo, L. and Shi, T. "A retailer oriented closed-loop supply chain network design for end of life construction machinery remanufacturing", *Journal of Cleaner Production*, 124, 191-203, (2016)

[17]Rezapour, S., Farahani, R. Z., Fahimnia, B., Govindan, K. and Mansouri, Y. "Competitive closed-loop supply chain network design with price-dependent demands", *Journal of Cleaner Production*, 93, 251-272, (2015)

[18]Kaya, O. and Urek, B. "A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain", *Computers & Operations Research*, 65, 93-103, (2016)

[19]Kalaitzidou, M. A., Longinidis, P. and Georgiadis, M. C. "Optimal design of closed-loop supply chain networks with multifunctional nodes", *Computers & Chemical Engineering*, 80, 73-91, (2015)

[20]Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E. and Çetinkaya, S. "Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model", *Naval Research Logistics (NRL)*, 54, 890-907, (2007)

[21]Wang, F., Lai, X. and Shi, N. "A multi-objective optimization for green supply chain network design", *Decision Support Systems*, 51, 262-269, (2011)

[22]Pishvaei, M. S., Farahani, R. Z. and Dullaert, W. "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design", *Computers & Operations Research*, 37, 1100-1112, (2010)

[23]Soleimani, H., Seyyed-Esfahani, M. and Shirazi, M. A. "Designing and planning a multi-echelon multi-period multi-product closed-loop supply chain utilizing genetic algorithm", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 917-931, (2013)

[24]Baptista, S., Isabel Gomes, M. and Barbosa-Povoa, A. P., A Two-Stage Stochastic Model for the Design and Planning of a Multi-Product Closed Loop Supply Chain, in *Computer Aided Chemical Engineering*, I. D. L. Bogle and M. Fairweather, Editors. 2012, Elsevier. p. 412-416.

[25]Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. and Mohammadi, M. "Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 182-214, (2016)

[26]El-Sayed, M., Afia, N. and El-Kharbotly, A. "A stochastic model for forward–reverse logistics



- network design under risk", *Computers & Industrial Engineering*, 58, 423-431, (2010)
- [27] Ramezani, M., Bashiri, M. and Tavakkoli-Moghaddam, R. "A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level", *Applied Mathematical Modelling*, 37, 328-344, (2013)
- [28] Shi, J., Liu, Z., Tang, L. and Xiong, J. "Multi-objective optimization for a closed-loop network design problem using an improved genetic algorithm", *Applied Mathematical Modelling*, 45, 14-30, (2017)
- [29] Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. and Novais, A. Q. "An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077, (2007)
- [30] Pishvae, M. S., Torabi, S. A. and Razmi, J. "Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty", *Computers & Industrial Engineering*, 62, 624-632, (2012)
- [31] L. Soyster, A., *Technical Note--Convex Programming with Set-Inclusive Constraints and Applications to Inexact Linear Programming*, 1973. p. 1154-1157.
- [32] Ben-Tal, A., Ghaoui, L. E. and Nemirovski, A., *Robust Optimization*, 2009, Princeton University Press.
- [33] Bertsimas, D. and Sim, M. "The Price of Robustness", *Operations Research*, 52, 35-53, (2004)
- [34] Pishvae, M. S., Rabbani, M. and Torabi, S. A. "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*, 35, 637-649, (2011)
- [35] Pishvae, M. S., Razmi, J. and Torabi, S. A. "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach", *Fuzzy Sets and Systems*, 206, 1-20, (2012)
- [36] Hasani, A., Zegordi, S. H. and Nikbakhsh, E. "Robust closed-loop supply chain network design for perishable goods in agile manufacturing under uncertainty", *International Journal of Production Research*, 50, 4649-4669, (2012)
- [37] Hatefi, S. M. and Jolai, F. "Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions", *Applied Mathematical Modelling*, 38, 2630-2647, (2014)
- [38] Babazadeh, R., Jolai, F., Razmi, J., Pishvae, M.S. "Developing a Robust Programming Approach for the Responsive Logistics Network Design under Uncertainty", *International Journal of Industrial Engineering*, 21, 1-18, (2014)



نمونه مطالعاتی هزینه چرخه عمر برای جایگزینی دستگاه UPS در یک سازمان نظامی

محمدحسین رهنمایی^۱، محمود محمودی^۲، محمدرضا حمیدی^{۳*}

^۱ رئیس هیئت مدیره شرکت مهندسی مشاور ایتسن

^۲ سرناظر پروژه ارائه خدمات مشاوره ای و نظارت بر نگهداشت (نگهداری و تعمیر) تجهیزات مخابرات و الکترونیک شرکت

مهندسی مشاور ایتسن

^۳ مشاور نگهداری و تعمیرات شرکت مهندسی مشاور ایتسن

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

چکیده:

در این مطالعه یک دستگاه UPS پرظرفیت موجود در صنایع نظامی کشور که از سال ۱۳۸۲ در حال بهره برداری بوده و به دلیل افزایش استهلاک و میزان کارکرد دارای مشکلات قابل توجهی شده است، انتخاب گردیده است. دلیل این انتخاب، حساسیت بالا در نگهداری تجهیزات الکترونیکی نظامی و افزایش قابلیت اطمینان این گونه تجهیزات در زمان نیاز بوده است. پس از برگزاری جلسات طوفان فکری و بررسی سناریوهای مختلف توسط خبرگان سازمان دو گزینه نهایی گردید: الف) استفاده از دستگاه UPS فعلی و انجام تعمیرات اساسی در صورت امکان. ب) خرید یک دستگاه UPS جدید با تکنولوژی به روزتر و جایگزینی آن با دستگاه فعلی. برای انتخاب یکی از گزینه های بالا از روش هزینه یابی چرخه عمر (LCC^2) به منظور تعیین گزینه بهتر از منظر صرفه اقتصادی استفاده شده است. پس از بررسی و انجام محاسبات با ملاحظه هزینه های سرمایه گذاری و نگهداشت هر دو گزینه نتیجه حاصله از مطالعه، حاکی از آن بود که هزینه یکنواخت سالیانه ($EUAC^3$) استفاده از دستگاه UPS فعلی بیشتر از هزینه یکنواخت سالانه جایگزینی و خرید دستگاه UPS جدید و خارج از سرویس کردن سیستم فعلی است.

واژه های کلیدی: هزینه یابی چرخه عمر (LCC)، هزینه یکنواخت سالیانه ($EUAC$)، ارزش فعلی، UPS ، $MTBF$.

* ایمیل نویسنده مسئول: m.hamidi@itcen.ir

² Life cycle cost

³ Equivalent uniform annual cost





۱- مقدمه:

امروزه اقتصاد جهانی به واسطه فشارهای گوناگون بازار، تصمیمات اتخاذی در سیستمهای مهندسی (علی الخصوص سیستمهای گران قیمت) براساس هزینه های تدارک اولیه گرفته نمی شوند؛ بلکه براساس هزینه های چرخه عمر آنها گرفته می شود. تجربیات گذشته نشان می دهد که هزینه های مالکیت سیستم مهندسی اغلب بیشتر از هزینه ی اکتساب است. در واقع بر طبق مطالعات مختلف، هزینه مالکیت (هزینه های عملیاتی و لجستیکی) حدوداً ۱۰ تا ۱۰۰ برابر هزینه اکتساب اصلی می باشد. هزینه یابی چرخه عمر یک سیستم را می توان به صورت مجموع همه هزینه های تحمیلی در طی چرخه عمر آن تعریف نمود (یعنی، کل هزینه اکتساب و مالکیت). عبارت هزینه یابی چرخه عمر برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ در گزارشی با عنوان "هزینه یابی چرخه عمر در تهیه و تدارک تجهیزات"^۱ استفاده شد. این گزارش در موسسه مدیریت تدارکات در واشنگتن دی سی برای معاون وزیر دفاع به منظور کاربرد در تاسیسات و تدارکات وزارت دفاع ایالات متحده تهیه شد. در نتیجه ی این سند، دپارتمان دفاع سه دستورالعمل را برای تدارک هزینه یابی چرخه عمر با عنوان "راهنمای تدارکات هزینه یابی چرخه عمر"^۲، "هزینه یابی چرخه عمر در تدارکات تجهیزات- کتاب مرجع"^۳ و "راهنمای هزینه یابی چرخه عمر برای خرید سیستم"^۴ منتشر نمود. در سال ۱۹۷۱، دپارتمان دفاع حکم ۵۰۰۰،۱ با عنوان "استفاده از سیستم های دفاعی اصلی"^۵ منتشر نمود که به الزامات مربوط به تدارکات هزینه یابی چرخه عمر برای کسب و استفاده از سیستم های اصلی مربوط می شود [۱].

برخی از سیستم های حسابداری سنتی منجر به تصمیمات سرمایه گذاری نادرست می شوند؛ یکی از روشهای مناسب برای حل این مشکل استفاده از هزینه یابی دوره عمر تجهیزات است که در تصمیم گیری ها، نتایج مناسبی ارائه نموده است. روش هزینه چرخه عمر یک دید گسترده تری را نسبت به سیستم های حسابداری سنتی در نظر می گیرد.

در خصوص تجهیزات الکترونیکی یکی از عمده ترین دلایل خرابی، عدم کیفیت مناسب برق ورودی به این تجهیزات و قطعی های پیاپی برق می باشد، لذا برای پیشگیری از بروز خرابی ها و نیز تداوم فعالیت های سازمان، از UPS ها به عنوان یکی از ارکان اصلی استابیلایزینگ و تولید برق برای تجهیزات حساس الکترونیکی استفاده می شود که علاوه بر تامین انرژی در مواقع قطعی منبع برق شهری و دیزل ژنراتور، وظیفه تامین برق در دامنه فرکانسی و ولتاژی مناسب را بدون ایجاد کوچکترین آسیب به تجهیزات متصل شده فراهم می کنند [۲].

۲- کاربردها و مدل های هزینه های چرخه عمر

در مقالات، موارد زیادی از کاربرد هزینه های چرخه عمر در زمینه های مختلف و از مناظر گوناگون معرفی شده است. از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

(الف) زمان مناسب برای بهبود و نوسازی جرثقیل ها (روزنفلد و همکاران) [۱۰].

(ب) ارزیابی گزینه های فروش، تعمیر و از رده خارج سازی (هامر و همکاران) [۱۱].

(ج) محاسبه هزینه چرخه عمر به عنوان ابزاری برای بازاریابی محصولات صنعتی (براون) [۱۲].

(د) تخمین عمر مفید موتورهای توربین گازی (لی و همکاران) [۱۳].

1 Life Cycle Costing in Equipment Procurement

2 Life Cycle Costing Procurement Guide

3 Life Cycle Costing in Equipment Procurement—Casebook

4 Life Cycle Costing Guide for System Acquisitions

5 Acquisition of Major Defense Systems



ه) تحلیل هزینه های اقتصادی آبرگرمکن خورشیدی (کول و همکاران) [۱۴] و (فرایس و همکاران) [۱۵] و (تاسدمیروگلا) [۱۶].

و) مدیریت از رده خارج کردن کامپیوترها (اهلووالیا و همکاران) [۱۷].

ز) زمان بهینه جایگزینی یخچال های خانگی (کیم و همکاران) [۱۸].

ح) مقایسه برای انتخاب ماده شیمیایی مناسب از نظر هزینه چرخه عمر (سالیوان) [۱۹]، سیستم های بیوالکتروشیمیایی (پانت و همکاران) [۲۰].

همچنین روش های توسعه یافته ای نیز برای مدل هزینه چرخه عمر معرفی شده اند، از جمله:

ط) هزینه چرخه عمر ساده شده (کامبیک و همکاران) [۲۱].

ی) ارزیابی هزینه چرخه عمر (کاتو و همکاران) [۲۲] و (پیتراپرتوزا و همکاران) [۲۳] و (ری مارتینز و همکاران) [۲۴] و (سانسون و همکاران) [۲۵].

ترکیب روش هزینه چرخه عمر با روش های ریاضی و هوشمند در مقالات مورد توجه قرار گرفته است که از جمله می توان به ترکیب آن با روش هایی چون موارد زیر اشاره کرد:

ک) بهینه سازی چند معیاره (اهلووالیا و همکاران) [۱۷] و ارزیابی چند معیاره (فلورس آلسینا و همکاران) [۲۶].

ل) تحلیل حساسیت و تحلیل عدم قطعیت (آکیلونس و همکاران) [۲۷] و (کول و همکاران) [۱۴].

م) آنالیز زنجیره ارزش (داهل استروم و همکاران) [۲۸].

ن) بهینه سازی و شبیه سازی (گاستافسون) [۲۹] و (هلیلا و همکاران) [۳۰].

س) سیستم خبره فازی (کامیناریس و همکاران) [۳۱].

ع) مدل های فازی (کسو و همکاران) [۳۲].

ف) الگوریتم ژنتیک (مونگو و همکاران) [۳۳].

ص) تحلیل آثار و حالات خرابی (رهی و همکاران) [۳۴] و (استمبر) [۳۵].

ق) روابط تخمین هزینه (استمپفل و میر) [۳۶].

ر) پیش بینی هزینه های چرخه عمر برای محصولات جدید (ویلسون) [۳۷].

ش) در (وان نورتویجک) فرمول های ساده برای محاسبه واریانس هزینه چرخه عمر تنزیل شده ارائه شده است [۳۸].

۳- کاربردهای هزینه چرخه عمر در ایران

علیرضا آشتیانی، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود "تعیین عمر اقتصادی سه مدل تراکتور کشاورزی در ایران (آشتیانی؛ مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز مازندران)" را مورد بررسی قرار داده است [۳۲].

عدلی و همکاران، طی مقاله ای به مطالعه عمر مفید کمباین های متداول در منطقه مغان پرداخته اند [۳۳].

مدرس یزدی و همکاران، "طراحی زنجیره تأمین مبتنی بر نوع و چرخه عمر محصول" را مورد مطالعه قرار داده اند [۳۴].





همچنین مصطفی یوسفی و همکاران "بهینه سازی زمان جایگزینی و تعویض تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر (مطالعه موردی: ناوگان اتوبوسرانی شرکت جوانسیر ایثار) را مورد بررسی قرار داده است [۳۵].

۴-شرح تجهیز مورد مطالعه

UPS موجود در سازمان مورد بررسی از تجهیزات حساس بوده که به عنوان منبع تولید برق مصرفی مرکز مخابرات در مواقع اضطراری و نیز استابیلایزر برق مورد نیاز تجهیزات مورد استفاده قرار می گیرد.

این تجهیز تولید سال ۲۰۰۳ میلادی است و نماینده شرکت سازنده مسئولیت پشتیبانی و خدمات پس از فروش در داخل کشور را بر عهده دارد. این دستگاه UPS در سال ۱۳۸۲ هجری شمسی خریداری و راه اندازی و مدت پنج سال است که به دلیل رشد و ارتقا سیستم ها و ورود تکنولوژی های جدید در منابع تغذیه، تولید آن متوقف شده است و همین امر ریسک نبود قطعات یدکی و از دسترس خارج شدن دستگاه در زمان نیاز به برق اضطراری را افزایش داده و مشکلات امنیتی و تاخیرات لجستیکی را به همراه دارد [۷].

همانگونه که پیش تر عنوان شد، به دلیل عمر بالای دستگاه که بالغ بر ۱۴ سال است و عدم وجود بانک اطلاعاتی و داده های نگهداری و تعمیرات قبل از استقرار سیستم مکانیزه (قبل از سال ۱۳۹۵) به صورت سیستمی، سوابق کامل تعمیراتی تجهیز در دسترس نبوده است. لیکن از سال ۱۳۹۵ تاکنون سوابق نگهداری و تعمیرات موجود بوده و بیانگر بروز سه خرابی در مدار فرمان دستگاه در سال ۱۳۹۶، یک خرابی در مدار الکترونیکی در سال ۱۳۹۷ و یک خرابی در نرم افزار و چهار خرابی دیگر در سال ۱۳۹۸ بوده است [۸].

عدم وجود اسناد فنی، Manual، نقشه های مداری و مقدور نبودن انجام تعمیرات در محل سازمان، منجر به این شده است که رفع عیب از دستگاه پس از بروز خرابی، نیازمند ارسال دستگاه به شرکت پشتیبان و صرف زمان زیاد به دلیل نبود قطعه در بازار، صرف هزینه تعمیرات گران قیمت برای تعمیر، بروز ریسک ایجاد اشکالات در سیستم های مخابراتی تا زمان تهیه و نصب مازول های امنی تا تعمیر قطعات و ارسال و نصب دوباره بر روی تجهیز باشد. این روند در هر مورد خرابی متوسط هزینه عملیاتی برابر با مبلغ ۳۵,۰۰۰,۰۰۰ ریال دارد (هزینه های ریسک عدم آماده به کاری تجهیز و هزینه های مرتبط با آن در این قیمت لحاظ نشده است) [۸].

این دستگاه دارای ۳۲ باتری ۱۰۰ آمپر ساعت با کابینت باتری مربوطه می باشد که همه این باتری ها در سال ۱۳۹۳ تعویض شده اند و در حال حاضر مجدداً همگی نیازمند تعویض هستند [۸].

علاوه بر اینها قابل ذکر است که UPS های جدید بروز رسانی نرم افزاری شده اند به این معنی که خطاهای بیشتری را در سیستم شناسایی می کنند و به صورت LOG روی نمایشگر این خطاها را به کاربر نمایش داده و این امکان را برای تیم نگهداری و تعمیرات فراهم می کنند که تصمیمات لازم را در صورت مشاهده هر گونه خطا اتخاذ نموده و اقدام اصلاحی مورد نیاز را انجام دهند. شرکت تامین کننده UPS جدید متعهد شده است تا سه سال در صورت نیاز قطعات یدکی مورد نیاز را تامین کند و به دلیل به کار رفتن تکنولوژی روز در ساخت اجزای UPS تامین قطعات مورد نیاز با مشکل مواجه نخواهد شد.

در UPS تحت بهره برداری سازمان نظامی مورد بررسی به دلیل قدیمی بودن و عدم قابلیت بروز رسانی نرم افزار، قابلیت کشف خطاهای احتمالی که در سیستم بروز می کند، وجود ندارد [۸]. با توجه به این که در استانداردهای مربوطه، MTBF^۱ مربوط به دستگاه UPS ۲۰۰۰۰ هزار ساعت معادل ۸۳۳ روز در نظر گرفته شده است و سابقه ۳ ساله ای که از سوابق تعمیراتی تجهیز در نرم افزار CMMS موجود است، این موضوع روشن می شود که MTBF تجهیز فعلی حداقل الزامات

¹ Mean Time Between Failures



استاندارد مربوطه را کسب نکرده و بروز خرابی در این دستگاه از حد استاندارد بیشتر بوده است. با توجه به سوابق خرابی، برای تجهیز فعلی خواهیم داشت:

$$MTBF = 118 \text{ Day } 951/8 \text{ تجهیز موجود در سازمان}$$

علاوه بر نکات ارائه شده تعویض خازن های AC در این دستگاه از جمله موارد بهینه سازی است که باید در کمتر از دو سال آینده در دستور کار قرار گرفته و از آنجایی که این خازن ها از نوع خاص هستند، در بازار موجود نبوده و نیازمند به سفارش دهی به تولید کنندگان خازن است تا با مشخصات مورد نیاز سازمان تولید شوند.

مورد دیگری از خرابی ها که جزء خرابی پنهان دستگاه است، خرابی در زمان قطعی برق و عدم انجام عمل سوئیچینگ بین مدارها است که به دلیل استهلاک دستگاه بروز این خرابی نمی تواند دور از ذهن باشد. (مطابق نظر پرسنل واحد نگهداری و تعمیرات)

۵-روش تحقیق:

مطابق با سند پیکرشناسی مدیریت دارایی ها^۱ مراحل چرخه عمر یک تجهیز به شرح زیر است [۴۰]:



نمودار شماره ۱- مراحل چرخه عمر دارایی

بر اساس چرخه بالا تجهیز UPS^۲ فعلی در مرحله بهره برداری و نگهداشت قرار دارد و به دلیل هزینه های بالای نگهداشت و تکنولوژی قدیمی آن تصمیم به انجام آنالیز جهت مقایسه با تجهیز UPS جدید گرفته شده است تا در صورتی که از منظر





اقتصادی به صرفه باشد اسقاط شده با به فروش برسد.

فرآیند مقایسه تجهیز UPS فعلی و جدید براساس نمودار زیر انجام گرفته است:



نمودار شماره ۲- مراحل انجام پروژه

در مطالعه حاضر تجهیز UPS فعلی مذکور انتخاب و هزینه های آن در طی سه سال بررسی شده است و با استفاده از روش ارزش فعلی و هزینه یکنواخت سالیانه با دستگاه UPS جدید به عنوان گزینه رقیب مورد مقایسه قرار گرفته و بر اساس نتایج بدست آمده تصمیم به تعمیر یا جایگزینی گرفته می شود.

تجهیز رقیب ساخت خارج از کشور و دارای توان ۴۲/۵ kW بوده و در آنالیز مورد استفاده واقع شده است.

۶- آنالیز هزینه ها

آنالیز هزینه های مربوط به تجهیز فعلی و رقیب در جداول ۱ و ۲ و نمودارهای ۳ و ۴ آمده است.

در این آنالیز هزینه های مربوط به عدم آماده بکاری، هزینه هایی که در صورت بروز خاموشی مرکز تلفن در حوزه امنیتی و پدافندی بروز خواهد کرد به عنوان هزینه های مستقیم (هزینه فرصت از دست رفته نوع ۱) در نظر گرفته شده است که به شرح زیر است:

• هزینه از قطع سراسری تلفن و قطع ارتباط واحدهای سازمانی با یکدیگر و قطع ارتباط با خارج سازمان و به تبع اختلال در انجام فعالیت های کاری روزانه

• هزینه از سرویس خارج شدن سایر تجهیزاتی که به تجهیز UPS متصل هستند

درآمد ناشی از استفاده تلفن توسط شرکتهای خصوصی و پیمانکاران، بصورت هزینه های غیر مستقیم (هزینه فرصت از دست رفته نوع ۲) مورد توجه بوده است. مجموع هزینه های ذکر شده در جدول شماره ۱ براساس اطلاعات ثبت شده در نرم افزار CMMS و دفاتر ثبتی واحد تعمیرات (به صورت پراکنده و محدود) بدست آمده است و در بخشی از آن نظر افراد خبره در خصوص میزان خرابی های احتمالی است. پیش بینی هزینه خرابی UPS جدید که جدول شماره ۲ آورده شده است براساس تخمین افراد خبره مجموعه، توضیحات بخش فنی شرکت سازنده و پرس جو از سازمان دیگری که این نوع

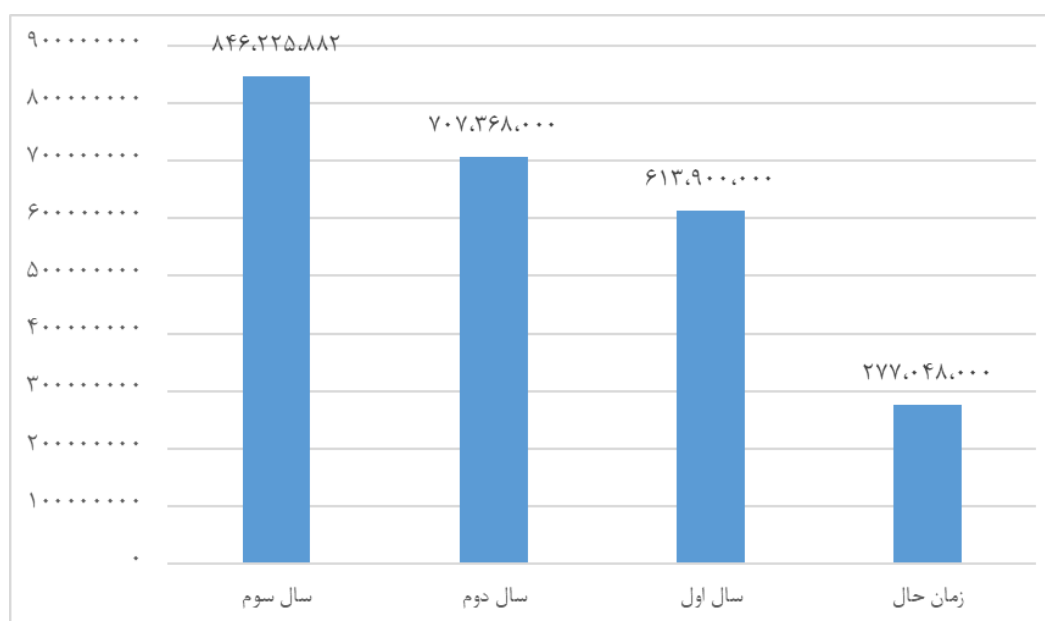


تجهیز را در خدمت دارد، بوده و با تجمع این داده ها اعداد جدول محاسبه شده است.
جدول شماره ۱- آنالیز هزینه های UPS موجود (هزینه ها به ریال است)

شرح هزینه	زمان حال	سال اول	سال دوم	سال سوم
سرویس PM	۰	۵۰/۴۰۰/۰۰۰	۵۶/۴۴۸/۰۰۰	۶۳/۲۲۱/۷۶۰
تعویض باتری	۲۷۴/۰۰۰/۰۰۰	۰	۰	۴۰/۹۷۳/۷۲۲
تعویض خازن های AC	۵۸/۰۴۸/۰۰۰	۰	۰	۰
خرابی های اتفاقی	۰	۸۷/۵۰۰/۰۰۰	۹۸/۰۰۰/۰۰۰	۱۰۹/۷۶۰/۰۰۰
هزینه فرصت از دست رفته ۱	۰	۳۳۶/۰۰۰/۰۰۰	۳۷۶/۳۲۰/۰۰۰	۴۲۱/۴۷۸/۴۰۰
هزینه فرصت از دست رفته ۲	۰	۱۸۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۰۱/۶۰۰/۰۰۰	۲۲۵/۷۹۲/۰۰۰
ارزش اسقاط	۵۵/۰۰۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۵/۰۰۰/۰۰۰	۱۵/۰۰۰/۰۰۰
جمع	۲۷۷/۰۴۸/۰۰۰	۶۱۳/۹۰۰/۰۰۰	۷۰۷/۳۶۸/۰۰۰	۸۴۶/۲۲۵/۸۸۲

نکته ۱: زمان حال، زمان شروع مطالعات است.

نکته ۲: هزینه تعویض خازن طی قراردادی با شرکت سازنده در زمان شروع مطالعات پرداخت و بعنوان هزینه های اولیه در نظر گرفته شده است.



نمودار شماره ۳- آنالیز هزینه UPS موجود

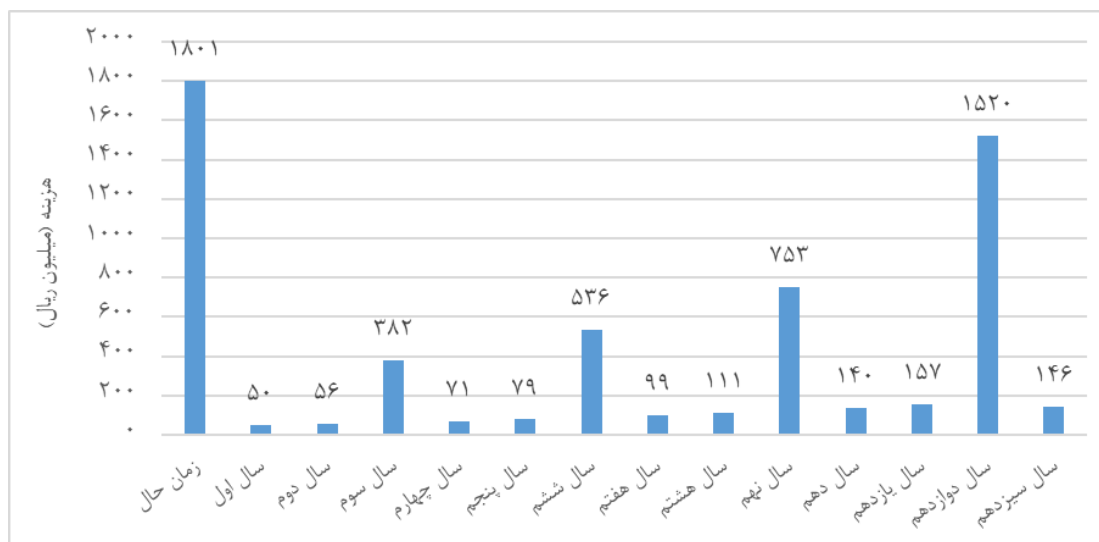




جدول شماره ۲- آنالیز هزینه UPS رقیب (میلیون ریال)

شرح هزینه	زمان حال	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم	سال هشتم	سال نهم	سال دهم	سال یازدهم	سال دوازدهم	سال سیزدهم
سرویس PM	۰	۵۰	۵۶	۶۳	۷۱	۷۹	۸۹	۹۹	۱۱۱	۱۲۵	۱۴۰	۱۵۷	۱۷۵	۱۹۶
ماژول UPS	۴۷۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کابینت ماژول	۷۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کابینت باتری و باتری ها	۴۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تعویض خازن AC	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۴	۰	۰
خرابی اتفاقی طبق MTBF سازنده	۰	۰	۰	۴۹	۰	۰	۶۹	۰	۰	۹۷	۰	۰	۱۳۶	۰
هزینه فرصت از														
دست رفته نوع ۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۰	۰	۳۲	۰	۰	۴۵	۰
هزینه فرصت از														
دست رفته نوع ۲	۰	۰	۰	۲۵۳	۰	۰	۳۵۵	۰	۰	۴۹۹	۰	۰	۷۰۱	۰
نصب و راه اندازی	۱۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ارزش اسقاط	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰
جمع	۱۸۰۱	۵۰	۵۶	۳۸۲	۷۱	۷۹	۵۳۶	۹۹	۱۱۱	۷۵۳	۱۴۰	۱۵۷	۱۵۲۰	۱۴۶

نکته ۱: به دلیل خاص بودن دستگاه و سیاست های سازمان امکان فروش آن تا قبل از سال ۱۳ وجود ندارد.



نمودار شماره ۴- آنالیز هزینه UPS رقیب

۷- محاسبات هزینه های ثابت سالیانه

با استفاده از تکنیک های هزینه یابی چرخه عمر، تصمیم گیری برای حفظ و یا تعویض دستگاه را انجام می دهیم: برای هر دو تجهیز هزینه های ثابت سالیانه را محاسبه می کنیم [۹].

مقدار ارزش فعلی هزینه های تجهیز فعلی و جایگزین (UPS جدید) را طبق فرمول $P = \sum_{t=0}^n F_t \left(\frac{P}{F}, 13\%, n \right)$ محاسبه می کنیم.

$$P_{\text{فعلی}} = 2,058,546,969 \quad P_{\text{جایگزین}} = 1,495,259,976$$

به دلیل آنکه پیش بینی هزینه های تجهیز UPS فعلی برای ۳ سال محاسبه شده است، از طریق مقایسه ارزش فعلی هزینه ها نمی توان آن را با تجهیز UPS جدید مقایسه نمود. علت آن یکسان نبودن افق پیش بینی هزینه ها است. به همین خاطر بایستی از روش مقایسه هزینه-های ثابت سالیانه کمک گرفت.

محاسبات ارزش ثابت سالیانه برای ۳ سال آینده به صورت زیر است:

$$EUAC_{\text{فعلی}} = 2,058,546,969 \times 0.4235 = 871,794,641$$

$$EUAC_{\text{جایگزین}} = 1,495,259,976 \times 0.4235 = 633,242,600$$

و در صورتی که هزینه های ثابت سالیانه برای تجهیز UPS جدید برای ۱۳ سال آینده محاسبه گردد مقدار آن برابر است با:

$$EUAC_{\text{جایگزین}} = 1,495,259,976 \times 0.1634 = 244,325,480$$

همانگونه که مشاهده می شود هزینه های ثابت سالیانه برای ۳ و ۱۳ سال برای تجهیز UPS جدید کمتر از هزینه های تجهیز UPS فعلی است. لذا انتخاب تجهیز جایگزین، گزینه بهتری خواهد بود. به عبارت دیگر خرید یک UPS جدید به صرفه و صلاح خواهد بود.





۸- بحث و نتیجه گیری:

شناخت مدیران نسبت به عمر اقتصادی تجهیز و هزینه چرخه عمر از طریق تمرکز بر روی هزینه های به کارگیری بلند مدت تجهیزات، علاوه بر اعمال مدیریت صحیح هزینه ها می تواند به عنوان ابزاری برای تفکر و تصمیم گیری، مورد استفاده قرار گیرد. مدل هزینه چرخه عمر (LCC)، کل هزینه های دوره عمر یک تجهیز را محاسبه می کند. هزینه تدارک و خرید تجهیزات، تنها بخشی از کل هزینه چرخه عمر می باشد، بیشتر هزینه ها، مربوط به هزینه دوران بهره برداری و بخش اعظم آن نیز به خاطر خرابی هایی است که در طول این دوره رخ می دهد. تحلیل LCC در انتخاب تجهیزات و یا در تعویض و جایگزینی تجهیزات (به دلیل عمر زیاد یا جایگزینی با فناوری جدید) اهمیت زیادی داشته و برای مقایسه و انتخاب یا تعیین زمان جایگزینی، ضروری است [۶].

در این مقاله سعی شده موضوع هزینه های چرخه عمر به زبان ساده بیان گردد و این موضوع نشان داده شود که می توان با محاسبات نه چندان پیچیده (هزینه کم و کوتاه ترین زمان) در تصمیم گیری ها با اطمینان بیشتری عمل نمود و در تعریف پروژه های هزینه های چرخه عمر نیاز به انتخاب تجهیزات پیچیده و خاص سازمان نیست. نکته مهم، جاری سازی این تفکر است که برای هرگونه تصمیم گیری درخصوص تجهیزات جدا از اهمیت آن تجهیز برای سازمان، از ابزارهای پشتیبان تصمیم گیری مانند روش هزینه های چرخه عمر بایستی بهره گرفت.

به طور معمول در بیشتر سازمان ها اشتیاق به تغییر در روند کارهای روزمره و تعویض تجهیزاتی که عمر اقتصادی آن سالهاست به پایان رسیده، پایین است. علت این مقاومت را می توان در عدم قطعیت نسبت به آینده جستجو کرد و تمایل به این موضوع که تجهیز تا زمانی که روشن می شود باید از آن استفاده کرد! بدون توجه به هزینه هایی که برای سازمان دارد. یعنی تمرکز بر هزینه های کوتاه مدت به جای هزینه های بلند مدت.

در خصوص تجهیز UPS مورد بررسی در زمانی که نیاز به تعویض باتری و صرف هزینه بوده است، واحد تعمیرات و دستگاه نظارت فرصت را مغتنم شمرده و با بررسی گزینه ها، مدیریت را ترغیب به تعویض تجهیز فعلی با تجهیز به روزتر نموده و همانگونه که از نتایج محاسبات مشخص است خرید تجهیز جدید در دراز مدت به صرفه تر است و هزینه های سالیانه کمتری را دارا می باشد.

نکته ی دیگری که از نتایج این بررسی می توان به آن اشاره کرد نبود اطلاعات صحیح در خصوص آمارهای خرابی تجهیزات در سازمان است. که بایستی پس از درک اهمیت اطلاعات بهره داری و نگهداشت تجهیزات نسبت به جمع آوری اقدامات عملی صورت پذیرد.



۹- منابع و مآخذ

۹-۱- فارسی:

- [۱]. بی.اس دیلون، هزینه یابی دوره عمر دارایی ها و تجهیزات، رضانی، سعید و همکاران چاپ اول، مرکز مهندسی قابلیت اطمینان و مدیریت دارایی آیریم، (۱۳۹۶).
 - [۲]. فلاح خورسند، موسی؛ علی قربانی و وحید یزدانی، فناوری تخمین هارمونیک در منابع تغذیه سیستم های کامپیوتری با استفاده از الگوریتم ترکیبی RA، دومین کنگره سراسری فناوریهای نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، موسسه آموزش عالی مهر اروند، (۱۳۹۴).
 - [۳]. آشتیانی، علیرضا، تعیین عمر اقتصادی ۳ مدل تراکتور کشاورزی در ایران، مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز مازندران، پایاننامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۳).
 - [۴]. عدلی، اکبر و همکاران، بررسی عمر مفید کمباین های متداول در منطقه مغان، مجله دانش کشاورزی، شماره ۱۳ صفحه ۳۱-۳۶، (۱۳۸۲).
 - [۵]. مدرس یزدی و همکاران، طراحی زنجیره تأمین مبتنی بر نوع و چرخه عمر محصول، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۵).
 - [۶]. یوسفی، مصطفی و همکاران، بهینه سازی زمان جایگزینی و تعویض تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر (مطالعه موردی: ناوگان اتوبوسرانی شرکت جوان سیر ایثار)، (۱۳۹۰).
 - [۷]. اطلاعات تجهیزات مندرج در سیستم مکانیزه سازمان مورد بررسی.
 - [۸]. دستورکارهای تعمیراتی UPS مورد مطالعه در سامانه CMMS سازمان مورد بررسی.
 - [۹]. دیلن بالیبر، هزینه یابی چرخه عمر برای مهندسين، دژانگاه و همکاران، چاپ اول، گروه مهندسين مشاور ایتسن، (۱۳۹۵).
- ۹-۲- انگلیسی:

- [10]. Rosenfeld Y., A. Shapira A., "Automation of existing tower cranes: economic and technological feasibility." Automation in Construction 7(4), pp. 285-298, (1998).
- [11]. Hamer K., Arevalo E., "Assessment of Treatment and Disposal Options", Sustainable Management of Sediment Resources. B. Dr. Giuseppe and P. Ing. Leonardo, Elsevier, Vol 2(, pp. 133-159, (2007).
- [12]. Brown R. J., "A new marketing tool: Lifecycle costing", Industrial Marketing Management 8(2), pp. 109-113, 1979.
- [13]. Li Y. G., Nilkitsaranont P., "Gas turbine performance prognostic for condition-based maintenance", Applied Energy, 86(10), pp.2152-2161, (2009).
- [14]. Colle S., de Abreu S. L., "Uncertainty in economical analysis of solar water heating and photovoltaic systems", Solar Energy 70(2), pp.131-142, (2001).
- [15]. Fraisse G., Bai Y., "Comparative study of various optimization criteria for SDHWS and a





- suggestion for a new global evaluation", *Solar Energy* 83(2), pp. 232-245,(2009).
- [16]. Tasdemiroglu E., "Incentives for solar water heating systems", *Energy* 10(1), pp. 1-15, (1985).
- [17]. Ahluwalia P. K., Nema A. K., "A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste", *Resources, Conservation and Recycling* 51(4), pp. 792-826, (2007).
- [18]. Kim H. C., Keoleian G. A., "Optimal household refrigerator replacement policy for life cycle energy, greenhouse gas emissions, and cost", *Energy Policy* 34(15), pp. 2310-2323, (2006).
- [19]. Sullivan J. M., *Economic Factors for the Production of Metallocene and Per fluorinated Boron Cocatalysts. Metallocene Catalyzed Polymers*. Norwich, NY, William Andrew Publishing, pp. 1-10, (1998).
- [20]. Pant D., Singh A., "An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bio electrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [21]. Kaebemick H., Sun M., "Simplified Lifecycle Assessment for the Early Design Stages of Industrial Products", *CIRP Annals –Manufacturing Technology* 52(1), pp. 25-28,(2003).
- [22]. Kato K., Ito K., *Modern tribology in life cycle assessment. Tribology and Interface Engineering Series*. M. P. G. D. D. Dowson and A. A. Lubrecht, Elsevier, Volume 48: 495-506,(2005).
- [23]. Pietrapertosa F., Cosmi C., "Life Cycle Assessment, Externed and Comprehensive Analysis for an integrated evaluation of the environmental impact of anthropogenic activities", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(5), pp. 1039-1048,(2009).
- [24]. Rey Martínez F. J., Velasco Gómez E., "Life cycle assessment of a semi-indirect ceramic evaporative cooler vs. a heat pump in two climate areas of Spain", *Applied Energy* 88(3), pp. 914-921, (2011).
- [25]. Sonesson U., Björklund A., "Environmental and economic analysis of management systems for biodegradable waste", *Resources, Conservation and Recycling* 28 (1- 2), pp. 29-53, 2000.
- [۲۶]. Flores-Alsina X., Gallego A., "Multiple objective evaluation of wastewater treatment plant control alternatives", *Journal of Environmental Management* 91(5), pp. 1193-1201,(2010).
- [27]. Aquilinius K., Hallberg B., "Sensitivity and uncertainty analyses in external cost assessments of fusion power", *Fusion Engineering and Design* 58-59: 1021-1026,(2001).
- [28]. Dahlström K., Ekins P., "Combining economic and environmental dimensions: Value chain analysis of UK iron and steel flows", *Ecological Economics* 58(3), pp. 507-519,(2006).
- [29]. Gustafsson S.-I., "Optimization an simulation of building energy systems", *Applied Thermal Engineering* 20(18), pp.1731-1741,(2000).
- [30]. Heilala J., Montonen J., "Life Cycle and Unit Cost Analysis for Modular Re-Configurable



Flexible Light Assembly Systems", Intelligent Production Machines and Systems. D. T. Elsevier Science Ltd: 395-400,(2006).

[31]. Kaminaris S. D., Tsoutsos T. D., "Assessing renewables-to-electricity systems: a fuzzy expert system model", Energy Policy 34(12), pp. 1357-1366,(2006).

[32]. Xu Z., Khoshgoftaar T. M. T. M., "Identification of fuzzy models of software cost estimation", Fuzzy Sets and Systems 145(1), pp. 141-163,(2004).

[33]. Monga A., Zuo M. J., "Optimal design of series-parallel systems considering maintenance and salvage value", Computers & Industrial Engineering 40(4), pp. 323-337,(2001).

[34]. Rhee S. J., Ishii K., "Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability", Advanced Engineering Informatics 17(3-4), pp. 179-188.

[35]. Stember L. H., "Reliability considerations in the design of solar photovoltaic power systems", Solar Cells 3(3), pp. 269-285,(1981).

[36]. Stampfl E., Meyer L., "Assessment of existing and future launch vehicle liquid engine development", Acta Astronautica 17(1), pp. 11-22,(1998).

[37]. Wilson R. L., "Operations and support cost model for new product concept development", Computers & Industrial Engineering 11(1-4), pp. 128-131,(1986).

[38]. van Noortwijk J. M., "Explicit formulas for the variance of discounted life-cycle cost", Reliability Engineering & System Safety 80(2), pp. 185-195, (2003).

[39]. 944-1986 - IEEE Recommended Practice for the Application and Testing of Uninterruptible Power Supplies for Power Generating Stations.

[40]. The Institute of Asset Management, Asset Management - An Anatomy,(2015).



یکپارچه سازی تفکر ناب و توسعه پایدار در زمینه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE) در صنعت ساخت و ساز

فرشید فرخی زاده^۱، فریبا شکوهی^{۲*}

^۱ مربی و پژوهشگر، گروه علمی مهندسی نت و بهینه سازی انرژی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مدیریت و مهندسی ساخت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد جنوب، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶

چکیده:

تحقیق حاضر مروری بر ادبیات موجود در یکپارچه سازی تفکر ناب و توسعه پایدار در زمینه سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE) در صنعت ساخت و ساز از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ دارد و به مطالعه اهداف، ابزار، شاخص ها و تعامل دو مفهوم در زمینه (HSE) پروژه های ساخت می پردازد. لذا هدف تحقیق بررسی مروری آخرین مقالات منتشره در مجلات معتبر بین المللی ISI با کلید واژه های مربوطه در موتورهای جستجوی انگلیسی و برخی منابع فارسی زبان به منظور تقویت و بروزرسانی ادبیات مرتبط و کاهش شکاف موجود و ارتقا و بهبود سطح عملکردی ایمنی و سلامت و محیط زیست در پروژه های کشور است.

عملیات ساختمان سازی اثرات مستقیم و غیرمستقیم بسیاری بر محیط زیست دارد. با رشد اقتصاد و جمعیت، نیاز به طراحی و ساخت پروژه های ملّترم به اصول ساخت ناب و توسعه پایدار جهت حفاظت و مراقبت از محیط زیست و عوامل اجرایی پروژه ها در کل چرخه حیات ساخت احساس می شود. توسعه پایدار (SD) از طریق افزایش ارزش های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به دنبال بهبود عملکرد صنعت بوده و با جهت گیری های تفکر ناب (LT) بخصوص در تأمین سلامت جامعه در تعامل است. اگرچه همبستگی عمده شاخص های ناب و پایداری در تحقیقات اخیر به اثبات رسیده است ولی شناخت ارتباطات ناب و پایداری با حوزه HSE در صنعت جای تبیین بیشتری دارد. نتیجه این مطالعه، توسعه ادبیات و کمک به سیاست گذاران و مجریان پروژه ها در تشخیص متغیرها و شاخص های سه رکن تحقیق از طریق ارائه یک مدل یکپارچه است.

واژه های کلیدی: یکپارچه سازی، تفکر ناب، توسعه پایدار، سلامت، ایمنی و محیط زیست، ساخت و ساز.

* نویسنده مسئول: fa.shokohi@gmail.com





۱- مقدمه

مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE) در پروژه‌های ساختمانی از اهمیت بالایی برخوردار است. طبق گزارش سازمان بین‌المللی کار (ILO) سومین عامل مرگ و میر در جهان حوادث ناشی از کار است. دومین عامل مرگ و میر در ایران نیز، بعد از تصادفات جاده ای حوادث ناشی از کار و حدود ۳۸٪ از مرگ‌های ناشی از آن مربوط به کارگران ساختمانی است. تعداد کارگرانی که بطور سالانه در صنعت ساختمان در سراسر جهان مجروح می شوند نیز از سایر صنایع بیشتر است و نقض قوانین ایمنی، تجهیزات نامناسب، عوامل محیطی و رویه‌های ایمنی ضعیف یا نامشخص از عوامل آن هستند.

در چرخه حیات پروژه به طور گسترده ای وجود چهار مرحله ی تعریف، برنامه ریزی، اجرا و خاتمه پذیرفته شده است [۱۹]. صنعت ساخت و ساز تقریباً ۷٪ از نیروی کار را در سرتاسر جهان به کار می گیرد، اما مسئول ۳۰-۴۰٪ از کلیه صدمات منجر به مرگ است [۱۶]. این بدان معنی است که هنوز نیاز مبرمی به افزایش اقدامات ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی وجود دارد. تلاش‌های مختلفی برای بهبود اوضاع صورت گرفته است و تلاش شده در سه مرحله شامل استفاده از روش‌های فنی، جلوگیری از خطاهای انسانی و تمرکز بیشتر بر تعامل افراد و محیط و تدوین استانداردها و دستورالعمل‌های مرتبط، ایمنی کار در کارگاه ساختمانی با همه پیچیدگی‌ها و تعدد فعالیت‌های جاری آن افزایش یابد [۱۷].

از آنجا که هنوز مشاهده می شود که برخی مدیران پروژه‌های ساختمانی در تلفیق ماموریت ساخت خود با تئوری‌های نوین توسعه دچار مشکل هستند و چون احداث ساختمان‌های مقاوم در زمان، با هزینه و کیفیت برنامه‌ریزی شده را در اولویت وظایف خود می‌دانند، گاه درک ضرورت‌های ایمنی، بهداشت و محیط زیست در پروژه‌ها جایگاه خود را از دست می‌دهند. لذا این تحقیق قصد دارد همه جنبه‌های موثر مدیریت ناب، توسعه پایدار و ضرورت‌های فنی و مهندسی ساخت را در یک چرخه اندرکنشی ارزیابی کند و به مدل جامع و یکپارچه ای از شاخص‌های مربوطه دست یابد و نتیجه را در یک نمودار یکپارچه ارائه دهد.

۲- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

۲-۱- پیشینه تحقیق

(Solaimani & Sedighi, ۲۰۲۰) در مروری بر ادبیات موجود در ساخت و ساز ناب، به ایجاد یک دیدگاه جامع به مرور سیستماتیک ادبیات (SLR) مبتنی بر ۱۱۸ مقاله ژورنالی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ پرداختند، تا درک کاملی از چگونگی اثر تفکر ناب بر دستیابی و حفظ پایداری در بخش ساخت و ساز ارائه دهند. یافته‌های آن‌ها در یک چارچوب جامع، شامل یک رویکرد چند بعدی در جهت پایداری در ساخت و ساز با تمرکز بر ذینفعان و به طور همزمان مردم، کره زمین و سود مالی پرداخت. مشخص شد که دانش موجود عمدتاً به سمت ارزش‌های اقتصادی جهت‌گیری داشت و خواستار تحقیق بیشتر تفکر ناب در جنبه‌های اجتماعی و زیست محیطی شد. بر اساس مطالعه (Francis & Thomas, ۲۰۲۰) رابطه بین ساخت و ساز ناب و پایداری محیط زیست با مروری بر ادبیات موجود برای رمزگشایی وسیع‌تر ابعاد آن صورت گرفت. آن‌ها معتقدند ساخت و ساز ناب و پایداری، دو فلسفه جداگانه با اهداف متمایز هستند که اولی به پارامترهای مرتبط مانند بهبود جریان، افزایش بهره‌وری، از بین بردن زباله و کاهش تأخیرها نظردارد درحالیکه ساخت و ساز پایدار هدفش توجه به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی پروژه، کاهش اثرات مضر بر محیط زیست و فعالیت‌های ساختمانی است. با این حال، هر دوی این پارادایم‌ها به دنبال اهداف مشترکی مانند به حداقل رساندن ضایعات با طبقه‌بندی اصول، ضایعات، ابزار ناب و تأثیر آن‌ها در حوزه‌های آلودگی و مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می باشد. در پژوهش دیگری توسط (Singh & Kumar, ۲۰۱۹) ساخت و سازهای ناب و ابزارهای آن با استفاده از تکنیک (SLR) و با انتخاب مقالات از پایگاه داده Scopus با استفاده



از فیلترهای ده ژورنال رتبه برتر، با کلمات کلیدی ساخت ناب یا ابزار ناب و فقط مقاله های مهندسی و علوم مواد و آخرین مقالات ژورنالی، انتخاب و بررسی شدند و نتیجه جستجو، فیلتر ۴۸ مقاله از ۹۴۴ مقاله بود. یافته های این تحقیق نشان داد که تنها چند ابزار و تکنیک توسط پژوهشگران و چندین بار مورد کاوش قرار گرفته است. از طرف دیگر، تعداد کمی از کشورها نظیر انگلیس و ایالات متحده از نظر انتشار مقالات در این زمینه مطرح بودند. سلامت و ایمنی در مراحل اولیه مدیریت پروژه های ساختمانی توسط (Asgard & Jorgensen, ۲۰۱۹) بررسی شد. آنها ریشه حوادث در پروژه ها را غالباً در مراحل اولیه فرایند پروژه می دانستند و تحقیق خود را بر دو سؤال اصلی که آیا می توان سلامت و ایمنی در ساخت را در مراحل اولیه مدیریت پروژه بهبود بخشید؟ و در اینصورت مهم ترین چالش های بهداشتی و ایمنی در مراحل اولیه چیست؟ قراردادند و داده های حاصل از مصاحبه با نمایندگان ایمنی نروژ آن ها را به سه مشکل اساسی عدم صلاحیت، عدم اولویت بندی و عدم نتیجه گیری رساند. در تحقیقی که توسط (Souza & Alves, ۲۰۱۸) انجام شد سیستم یکپارچه مدیریت ناب با هدف ارائه مدلی برای بهبود پایداری شرکت ها از طریق ادغام سیستم های کیفیت، محیط زیست، مسوولیت اجتماعی و سیستم های مدیریت بهداشت و ایمنی حرفه ای به نام LIMSSI معرفی شد که مبتنی بر استفاده منطقی از منابع انرژی، بهبود پایداری، جلوگیری از هدررفت کارایی سازمان و برای ایجاد هم افزایی و بهبود عملکرد پایداری شرکت و رقابتی تر شدن آن بود. (Saieg, Sotelino, Nascimento, & Caiado, ۲۰۱۸) روی مدل های اطلاعات ساختمان و اثر متقابل ناب و پایداری در صنایع معماری، مهندسی و ساخت (AEC) یک بررسی سیستماتیک و با هدف تلفیق فناوری ها، روش ها و مفاهیم انجام دادند و به ارائه روشی برای هم افزایی مفاهیم فوق رسیدند. نتایج نشان داد که این هم افزایی عمدتاً در مراحل ساخت و ساز و سپس در فرایند پروژه بخصوص در تصمیم گیری طراحی، فرصت های چشم گیری را برای کاهش اثرات اقتصادی و زیست محیطی فراهم میکند. تحقیق دیگر در صنایع AEC توسط (Khodeir & Othman, ۲۰۱۸) به بررسی اثر متقابل اصول ناب و پایداری در فرایند مدیریت و با هدف بررسی تعامل فی مابین بود و برای دستیابی به آن از دو رویکرد بررسی ادبیات و ارائه یک ماتریس همبستگی برای تأیید منطقه تعامل استفاده شد. (Sousa & et al, ۲۰۱۸) پژوهشی در مورد مدیریت پروژه و شیوه های تولید ناب در شرکت های کوچک یا متوسط (SME) نوآور پرتغالی انجام دادند. هدف اجرای شیوه های مدیریت ناب پروژه و روش های تولید ناب برای رقابتی شدن شرکت هایی بود که متاثر از عدم اطمینان، پیچیدگی و ابهام (VUCA) هستند و با درک ضرورت نوآوری، کنترل ریسک و با استفاده از تیم های ماهر و روش های مدیریتی پروژه، روش هایی برای بهبود عملکرد و یافتن راه حل های سفارشی BPM برای سازماندهی بهتر و کارآمد فرآیندها معرفی شد. بر اساس تحقیق (Danielsen, & et al, ۲۰۱۷) با موضوع HSE در برنامه های مهندسی عمران و انتظارات صنعت انجام شد که دانش، مهارت ها و شایستگی های مورد انتظار از مهندسان رشته عمران در زمینه HSE فارغ التحصیل از دانشگاه NTNU نروژ ارزیابی شد که می تواند سهم ارزنده ای در زمینه تحقیقات ایمنی محسوب شود. (Al-Mebayedh, ۲۰۱۴) پژوهشی برای مدیریت HSE در مراحل ساخت و نصب سیستمی ارائه کرد؛ هدف او نشان دادن سیاست ها و رویه های معین در ساخت و سازها با استقرار ایمن و الزامات مدیریت و کنترل فعالیت های نصب در سایت های ساختمانی بود تا به درک صحیحی از شیوه های کار ایمن، تشویق رفتارهای بی خطر و ایجاد یک محیط کار ایمن و سالم در همه سطوح دست یابد. تحقیق جامعی توسط (Aziz & Hafez, ۲۰۱۳) با استفاده از تفکر ناب در ساخت و ساز به دنبال افزایش بهره وری صنعت ساخت و ساز انجام شده که با هدف به حداکثر رساندن کارایی در پروژه برای مشتری در همه مراحل از طریق کنترل پروژه در چرخه عمر، از طراحی تا تحویل بود. به طور کلی، پروژه های ساخت و ساز ناب برای مدیریت بهتر، ایمن تر شدن، تکمیل زودتر و کمتر شدن هزینه، آسان تر و بهتر شدن کیفیت هستند. روش LPS که کاربرد مهمی در مفاهیم و روش های ساخت و ساز ناب و رواج بالایی هم دارد، اثبات کرد که می تواند شیوه های مدیریت ساخت و ساز را در جنبه های مختلف ارتقا بخشد.





۲-۲- مبانی نظری تحقیق

اصولا مطالعات امکان سنجی پروژه های ساخت و ساز بر سه اصل فنی، اقتصادی و زیست محیطی استوار هستند [۶] که در کل چرخه حیات پروژه مد نظر بوده و دائما در فرایندهای پروژه اعم از ایده، طرح و تعریف پروژه، مطالعات مقدماتی، تصویب، مهندسی و طراحی، تدارکات و ساخت، راه اندازی و بهره برداری [۶] مورد ارزیابی و کنترل قرار می گیرند. امروزه فرض بر این است که صاحبان و رهبران پروژه ها در سیاستگذاری های اولیه خود با تعیین محدوده و اهداف پروژه و همچنین مجریان و مهندسان در برنامه ریزی و طراحی کلیه فازهای عملیاتی نیازهای هر مرحله را به دقت پیش بینی کنند تا به حداکثر کارایی و بهره وری نائل شوند و همه این موارد نباید آن ها را از توجه متعهدانه و نظام مند به همه جوانب سلامت و ایمنی فنی سازه و سلامت نیروی انسانی شاغل، ذی نفعان و بهره برداران و نیز سلامت محیط زیستی پروژه غافل نماید و در عین حال این امر باید با توجهیهای اقتصادی، فنی و مهندسی، فرهنگی و اجتماعی و گاه محلی پروژه نیز سازگار باشد. لذا مبانی نظری این تحقیق در ادامه معرفی می شود.

۲-۲-۱- تفکر ناب

طبق اعلام انستیتوی ملی استاندارد و تولید فناوری، ناب یک رویکرد منظم در جهت کاهش ضایعات است، سعی مداوم در بهبود بیشتر و حفظ نرخ تولید، باید مطابق نیاز مشتری باشد. مثال های مختلفی وجود دارد که برای تشریح مفهوم کاربرد ناب در کار عملی اعم از ساخت و ساز یا صنعت تولید، مانند سیستم تولید تویوتا، تولید فورد، ساخت و ساز ناب ژاپنی و غیره استفاده می شود. هدف از تولید ناب طراحی و تولید محصول بنا به نیاز مشتری است که از بهبود کارایی سیستم تولید حمایت می کند [۱۶].

۲-۲-۱-۱- تولید ناب

تولید ناب به موازات استقرار فرآیندهای تجاری و شیوه های مدیریت پروژه (PM)، باید فرآیندهای تولید شرکت را توسعه دهد تا فاکتورهای تولید (مواد، رسانه، کار و اطلاعات) را به محصول تبدیل کند. تولید ناب یکی از روش های مؤثر مدیریت این فاکتورها است که مبتنی بر سیستم تولید تویوتا (TPS) است. جریان تولید ناب باید دارای پنج اصل تفکر ناب باشد: (۱) ارزش؛ (۲) زنجیره ارزش؛ (۳) جریان؛ (۴) کشش؛ (۵) بی عیبی (کمال). تحقق چرخه ای این اصول باعث می شود تا بهبود مداوم و کاهش منظم ضایعات (یعنی کلیه فعالیت هایی که از نظر مشتری ارزش افزوده ای ندارند) فراهم شود [۲۰]. کارایی و رقابت صحیح از چالش های مهم در بازار جهانی است که باعث شده است تا سازمان های مختلفی استراتژی های جدید در مدیریت تولید اتخاذ کنند و مهمترین مسئله این است که چگونه محصولات را سریع، با هزینه کم و با کیفیت خوب عرضه کنند. LM به دنبال پیاده سازی ذهنی است که هفت نوع ضایعات را از بین می برد: تولید بیش از حد، انتظار، حمل و نقل، نقص، پردازش نامناسب، موجودی غیر ضروری و حرکت غیر ضروری. این امر از طریق تفکر ناب حاصل می شود، یعنی به عنوان یک رویکرد تجاری تعریف می شود که با از بین بردن فعالیت های فاقد ارزش افزوده، ارزش بهتری را برای مشتریان به ارمغان می آورد. LM ممکن است باعث بهبود مستمر فرآیندها شود. برای افزایش کارایی روی رضایت مشتری تمرکز می کند. کاهش هزینه به بهبود کیفیت، قابلیت اطمینان، و بهبود وجهه عمومی کمک می کند [۲۱].

۲-۲-۱-۲- ساخت و ساز ناب

ساخت و ساز ناب نوعی نوآوری در صنعت ساخت و ساز است زیرا رویکرد آن با روش معمولی متفاوت است. هرگاه تغییری در نظامی خاص صورت گیرد، از آن جهت دارای نوعی نوآوری محسوب می شود. در زیر اقدامات کلیدی رویکردهای ناب مورد توجه قرار گرفته است:



- به حداقل رساندن ضایعات
- رویکرد تحویل درست به موقع
- رویکرد مبتنی بر ارزش
- پیشرفت مداوم
- سیستم مدیریت کیفیت
- چابکی نسبت به تغییرات مورد نیاز [۱۸].

ساخت و ساز ناب (LC) یک فلسفه است که بر اساس اصول ناب توسعه یافته در تویوتا توسط تایچی^۱ ساخته شده است [۱۷] که به عنوان اصول تولید ناب نامیده می‌شود و بیشتر به عنوان ساخت ناب و فلسفه ناب مطرح است. با این حال، تفکر ناب یا ساخت و ساز ناب از مزایای قابل توجهی در کشورهایی مانند انگلیس، سنگاپور، برزیل، شیلی، هلند، آفریقای جنوبی، ترکیه، ایالات متحده و در بسیاری از کشورهای دیگر برخوردار است. نکته LC تمرکز بر بهبود مستمر، از بین بردن ضایعات و تمرکز قوی کار بر بالا بردن ارزش مالی، مدیریت کیفیت بالا در پروژه ها و زنجیره های تأمین و ارتباطات بهبود یافته است. شیوه های فعلی ساخت و ساز با تکیه بر چگونگی استفاده از امکان توسعه پایدار در کشورهای مختلف هم مورد توجه قرار گرفته است، ناب همچنین در مورد دستیابی به استفاده متعادل از نیروی انسانی، مواد و منابع است [۱۸].

۳-۱-۲-۲- ابزار و تکنیک‌های ناب

برخی از متداول ترین ابزارها و تکنیک‌های ناب عبارتند از: A۳، BIM، استفاده از پیکربندی (طراحی ناب)، ساخت خارج از سایت یا پیش ساخته سازی، تأمین ناب (JIT)، نقشه برداری زنجیره ارزش، نظارت بصری، ۵S، کار تیمی روزانه (مجموعه ناب).

روح طبیعی جاری در استانداردهای مشترک موجود در ناب شامل موارد زیر است:

- بهینه سازی کل سیستم از طریق همکاری و یادگیری کارآمد
- تغییر مداوم/ تلاش برای بی عیب و نقص شدن برای همه افرادی که در چارچوب کار می‌گنجند
- تمرکز بر انتقال ارزش توسط مالک/ مشتری/ مشتری نهایی.
- اجازه دادن به جریان کارآمد رفع موانع با ارزش دادن به خلاقیت و حذف بخش‌هایی از کار که ارزشی ایجاد نمی‌کنند
- ایجاد کشش

اخیرا چالش‌های مربوط به اجرای روش تحویل یکپارچه پروژه، برای تکمیل موفقیت آمیز پروژه های ساختمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و تعامل و هم‌افزایی بین روش اجرا BIM^۲ در مدیریت ناب و موبایل در سایت های ساختمانی مورد مطالعه قرار گرفته که LM^۳ و BIM به نوعی، ابزاری برای بهبود بهره وری و مهارت متخصصان ساخت و ساز، فرایندها، اتمام به موقع و مطابقت با بودجه پروژه های ساختمانی به کار می‌روند [۱۸].

در تحقیق دیگری اثر ترکیبی استفاده از ساخت و ساز ناب، پایداری و BIM در پروژه های ساختمانی مورد مطالعه قرار گرفت [۱۹]. محققان نتیجه گرفتند که ترکیب ناب و BIM منجر به اجرای ساخت و سازهای سبز و پایدار در صنعت

1 Taiichi

2 Building Information Modeling

3 Lean Management





AEC^۱ می‌شود [۱۵].

مدیران با اقداماتی در همه سطوح می‌توانند به یک محیط سازمانی که در آن کارگران با انگیزه و آموزش به انجام کارهای ساختمانی ایمن و مؤثر بپردازند نائل شوند. عملیات سیستم تولید تویوتا به عنوان یک سیستم یکپارچه اجتماعی-فنی، مدیریت ناب راه خود را به بخش ساخت و ساز (Koskela, ۱۹۹۲) باز کرد و هدف آن عمدتاً حول محور ایجاد ارزش و بهبود کارایی با تمرکز بر هزینه و کاهش ضایعات بود. با انتشار گسترده‌تر و استفاده مکرر از ایده‌های ناب، ساخت ناب با ابعاد اجتماعی و محیط زیست پایدار پیوند خورد و برجسته‌تر شد [۱۹].

۲-۲-۲- توسعه پایدار

توسعه پایدار پس از انتشار گزارش کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED^۲)، "آینده مشترک ما" در سال ۱۹۸۷، مورد توجه همه صنایع و تحقیقات در سراسر جهان قرار گرفت. بحث بین‌المللی این روابط بین جامعه، منابع و محیط، چشم انداز زیست محیطی دراز مدت را برای دستیابی به توسعه پایدار برجسته کرد. در سال ۱۹۹۲، در برنامه ۲۱ ام کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل متحد یا "اجلاس زمین" اظهار شد: پایداری باید شاخص‌های استاندارد کنترلی و نظارتی برای توسعه پایدار در همه سطوح را دارا باشد. از آن زمان، تلاش‌های بسیاری برای ردیابی و آزمایش پایداری و ارائه دستورالعمل‌های دستیابی به توسعه پایدار در رشته‌های مختلف انجام شده است [۱۹].

نیاز به توسعه محیط‌ها و روش‌های ساخت و ساز پایدار به طور فزاینده‌ای توسط بسیاری از محققان و دست‌اندرکاران این حوزه مورد تأکید قرار گرفته است. به اصطلاح "خطوط سه جانبه" ملاحظات اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی در ارائه خدمت به مردم، سیاره و کسب سود، متمرکز است. ابعاد پایداری به یکدیگر وابسته هستند. به این ترتیب، می‌توان ادعا کرد که "اقتصاد در جامعه و جامعه در محیط قرار دارد" از این رو، وقتی بر یک بعد تمرکز کنیم و بعد دیگر را به خطر بیندازیم در هدف شکست می‌خوریم. در حقیقت، یک رابطه هم‌افزا بین ابعاد مورد حمایت توسعه پایدار وجود دارد [۱۹].

عملیات ساختمان‌سازی اثرات مستقیم و غیر مستقیم متعددی روی محیط زیست دارد. با رشد اقتصاد و جمعیت، نیاز به طراحی و ساخت سیستم‌های جامع و متعهد به حفاظت و مراقبت از محیط زیست و ایجاد تعادل بهینه در هزینه-فایده‌های محیط زیستی، اجتماعی و بشری در تمام مراحل چرخه حیات پروژه‌های ساخت مشهودتر می‌شود. پایداری از طریق کاهش ضایعات منابع و افزایش کارایی فرایندها هدف اصلی کلیه صنایع است. به عنوان مثال، صنعت معماری، مهندسی و ساخت (AEC^۳) مسؤل مصرف حدود ۵۰٪ از منابع مادی حاصل از طبیعت، ۴۰٪ انرژی مصرفی و تولید ۵۰٪ کل زباله‌ها است. لذا یکی از صنایع اصلی است که باید به پایداری اهمیت دهد [۱۱]. توسعه پایدار توسعه‌ای است که نیازهای فعلی را بدون اینکه توانایی نسل‌های آینده را برای تأمین نیازهای خودشان به خطر اندازد، برآورده کند. از این رو، فناوری و سازمان اجتماعی باید در دوره جدید رشد اقتصادی، مدیریت و بهبود یابد (ایزو، ۲۰۱۰)؛ کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه، ۱۹۸۷)، همانطور که در اهداف جدید جهانی توسعه پایدار خواسته شده است (سازمان ملل، ۲۰۱۵) با تمرکز بر سه جنبه حمایت از محیط زیست، توسعه پایدار، رشد اقتصادی و حقوق اجتماعی در مقیاس جهانی و بلند مدت، تجارت و سرمایه‌داری به طور ذاتی تضمین نمی‌کنند که همه انسان‌ها در زندگی خود دسترسی کافی به سیستم‌های پشتیبانی خدمات محیطی داشته باشند، پس نیاز به مدل‌های مدیریتی وجود دارد که موفقیت‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را با

1 Architectur, Engineering & Construction

2 World Commission on Environment and Development

http://tectmi.com/index.php?newsid=۶۳۹ (باشگاه تخصصی سازمان توسعه مسکن ایران)



توسعه پایدار ادغام کند [۲۱]. (شکل ۱) این سیر تاریخی و همزمانی تشکیل گروه بین المللی ساخت و ساز ناب در سال ۱۹۹۳ با تشکیل شورای ساختمان سبز در ایالات متحده را نشان داده است.

اخیراً توجه به پایداری و مسئولیت شرکت ها در کنار پروژه های توسعه مورد توجه قرار گرفته است. محیط زیست برای توسعه دهندگان و جامعه که از نظر بسیاری این حجم تولید پسماند به طرز بسیار بدی بر روی اکوسیستم تأثیر می گذارد، چالش بزرگی را ایجاد کرده است [۱۵]. سیستم های مختلف رتبه بندی برای اطمینان از پایداری در روش های کمی و ارائه دستورالعمل ها برای دستیابی به پایداری در عملیات ساختمان یا از طریق فرآیندهای کارگاهی ایجاد شده اند. از جمله این روش ها می توان به روش ارزیابی زیست محیطی موسسه تحقیقات ساختمان اروپا (BREEAM)، ضوابط ارزیابی عملکرد محیط زیستی ساختمان (BEPAC) در کانادا و سیستم رهبری در انرژی و طراحی محیط در ایالات متحده (LEED) اشاره کرد که ساختمان سبز را معرفی می کنند. با این وجود، خود این سیستم های رتبه بندی عمدتاً در دستیابی به پایداری در ساخت و ساز، در بهره برداری از یک فرآیند یا فرآیندهای کارگاهی، توجه کمتری به اعمال اصول پایداری در طراحی و یا فرآیندهای اداری که پسماندهای ملموسی دارند می کنند [۱۲].

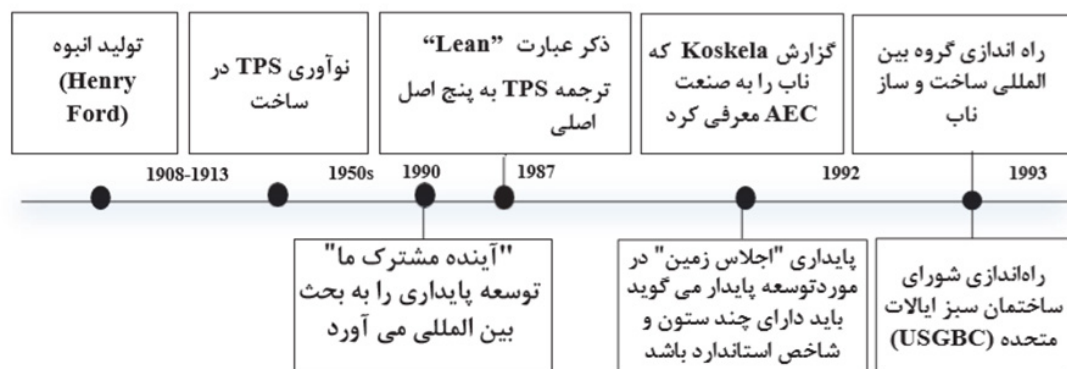
۲-۲-۳- روابط ساخت ناب و توسعه پایدار

- ساخت ناب به عنوان راهی برای دستیابی به یک دیدگاه جامع نگرانه از پایداری به عنوان یکپارچه سازی بهره وری فرآیند (یعنی هزینه، زمان و کیفیت) و مفهوم پایداری (یعنی کیفیت محیط زیست، عدالت اجتماعی، اقتصاد سالم) است.
 - ساخت و ساز ناب در سه اصل خود به پایداری دست می یابد: اصل اقتصادی که به کاهش منابع و هزینه ها؛ اصل اجتماعی به ایجاد سلامتی، ایمنی و محیط کار و وفاداری بین ذینفعان؛ و اصل محیط زیست که با حذف ضایعات، به کاهش آلودگی و حفظ منابع دست می یابد.
 - ساخت و ساز ناب و پایداری در یک برنامه مشابه کاهش ضایعات و افزایش کارایی، اما با رویکردهای مختلفی قرار دارند. ناب بودن کوتاه مدت است زیرا امکان انجام فرآیند با عملکرد بالا را دارد، در حالی که ساخت و ساز پایدار "امری" طولانی مدت است و در کل چرخه عمر ساختمان مطرح می شود.
 - برخی ابعاد پایداری جدا از ناب است، زیرا کاهش مصرف انرژی و حفظ محیط زیست یکی از ابعاد غائی است. ناب به ویژه با برنامه اصلی پایداری مطابقت ندارد.
 - ناب سبز نیست زیرا هدف اصلی آن به حداکثر رساندن ارزش مشتری است. لازم نیست که پایداری با ارزش مشتری مطابقت داشته باشد.
 - مسائل زیست محیطی؛ برخی معتقدند که ناب به طور تصادفی به پایداری می رسد، نه به این دلیل که نگرانی اصلی آن پایداری باشد.
 - اجرای شیوه های ناب تنها تأثیر بسیار کمی در عملکرد محیطی شرکت دارند.
 - تفکر ناب اولین قدم برای رسیدن به آینده پایدار است. پایداری محیط زیست، قدم بعدی ناب بودن است.
 - ناب فلسفه ای برای کاهش اثرات منفی محصول بر محیط زیست است. منابع ایمن، در صنعت اتومبیل سازی ژاپن با ناب شدن به سمت موتورهای هیبریدی و خودروهای دارای اجزای بازیافت شده فعلی رفت.
 - روش های پایدار، گسترش طبیعی فلسفه ناب در مرحله عملیاتی است.
- برنامه های ناب و پایداری شباهت ها و مکمل های مختلفی دارند، بنابراین شرکت ها می توانند در صورت اجرای همزمان





اصول ناب و پایدار به عملکرد کارآمدتری دست یابند [۱۵].



شکل ۱- سیر تاریخی توسعه پایدار و تفکر ناب [۲۰].

۴-۲-۲- سلامت، ایمنی و محیط زیست

وضع قوانین و مقررات ایمنی و سلامت در اکثر کشورها براین عقیده استوار است که این حق همه کارگران است که در محل کار احساس امنیت کنند و همچنین در خانه ایمن و سالم باشند. HSE به معنای مراقبت از سلامت و ایمنی کارگران و اطمینان از حداقل نگرانی داشتن تأثیرات محیطی است. تعاریف حاضر در این مقاله از تعریف فرت و هاگز^۱ در HSE انتخاب شده است:

- سلامت - محافظت از بدن و ذهن افراد در برابر بیماری ناشی از مواد، فرآیندها یا رویه‌های استفاده شده در محیط کار است.
- ایمنی - محافظت از مردم در برابر صدمات جسمی است. مرزهایی بین سلامتی و ایمنی بیمار وجود دارد که تعریف شده و این دو کلمه معمولاً در کنار هم استفاده می‌شوند تا نگرانی در مورد سلامت جسمی و روحی افراد در محل کار را نشان دهند.
- حفاظت از محیط زیست - این اقدامات برای پوشش دادن آن دسته فعالیت‌ها در محل کار است که بر محیط زیست و احتمالاً سلامت و ایمنی کارکنان و دیگران تأثیر می‌گذارد.

HSE در بیشتر کشورها توسط قوانین و مقررات تنظیم شده و به منظور اطمینان از سلامتی و ایمنی برای هر کارگر تدوین شده است. یک حادثه می‌تواند به عنوان رویدادی شناخته شود که باعث از دست رفتن ارزش شود. این ممکن است به صورت زخمی شدن کارگران یا نوعی آلودگی باشد که تأثیر تأسف باری بر محیط زیست بگذارد. HSE جلوگیری از بروز تصادفات است که می‌تواند به کارگران پروژه یا محیط زیست آسیب برساند. یک محیط با ایمنی ضعیف عاملی است که منجر به تصادفات و صدمات می‌شود [۱۵]. یک برنامه ایمنی در ادبیات به عنوان کلید کنترلی برای جلوگیری از تصادفات و صدمات در محل کار شناخته شده است. برای ارتقاء وضعیت ایمنی در صنعت ساخت و ساز امروزه اقدامات مختلفی انجام شده است. این اقدامات ایمنی هر کارگر در محل ساخت و ساز را تضمین می‌کند. این قوانین و مقررات که برای اطمینان از امنیت کارگران اجرا می‌شوند، قبل از اینکه اثر قانون‌گذاری داشته باشند، نیاز به آموزش و آموزش بیشتر ایمنی را که امری نوظهور است می‌رساند همچنانکه معرفی فناوری‌های جدید، در بکارگیری سیستم‌های مدیریت ایمنی و در بهبود عملکرد ایمنی نقش دارند [۱۸].

امروزه صنعت ساخت و ساز به طور کلی به عنوان یکی از صنایع خطرناک برای کار در نظر گرفته می‌شود. مشخصه یک



سایت ساخت و ساز این است که بسیاری از فعالیتهای در آن واحد اتفاق می افتند و بازیگران مختلف بسیاری درگیر آن هستند. در نتیجه، کار ایمن در کارگاه چالش برانگیز است [۱۸]. مقابله با پیچیدگی روزافزون کارگاه های ساخت بخش عمده ای از کارهای روزمره مدیریت پروژه های ساخت است که تهدیدات و فرصت هایی را برای مدیریت ایمنی به وجود می آورد [۱۶].

سیستم مدیریت محیط زیست (EMS): مدیریت فعالیتهای برای جلوگیری از تأثیرگذاری منفی بر محیط زیست است. ISO ۱۴۰۰۱ استاندارد EMS است که در سراسر جهان کاربرد دارد. از مجموعه ای از عناصر به هم پیوسته برای توسعه و اجرای سیاست های زیست محیطی و مدیریت جنبه های زیست محیطی با حفظ توازن با نیازهای اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از آلودگی، برای تقویت عملکرد محیطی استفاده می کند و مزایایی را ارائه می دهد که هم از نظر محیط زیست و هم عملکرد شرکتی هم راستا هستند. این عقیده وجود دارد که فرآیندهای زیست محیطی فقط هزینه ها را نشان می دهند. ولی آنها در واقع به دنبال دستاوردهایی در مقیاس بزرگتر بوده و با کاهش آلودگی و کمک به ایجاد قوانین و مقررات، موجب افزایش ذخیره منابع می شوند و به بهبود مزیت رقابتی شرکتها کمک می کنند. کارایی داخلی، تقویت وجهه، شهرت و عملکرد شرکتها، از جمله برنامه های دراز مدت برای بهبود است. شیوه های پیشرفته مدیریت زیست محیطی می تواند عملکرد مالی و کیفیت اقتصادی را بهبود بخشد، رقابت را در تولید افزایش داده و کاهش هزینه ها و توسعه محصولات و فرآیندهای جدید را ارتقا بخشد. ISO ۱۴۰۰۱ شرکتها را به سمت تولید سبز سوق می دهد و از آنها می خواهد که مسئولیتها و تأثیرات زیست محیطی خود را بطور منظم مدیریت کنند [۲۱].

۳- روش شناسی تحقیق

این تحقیق با اتکا به مطالعات کتابخانه ای و از نوع توصیفی است و به مرور ادبیات (LR) با کلیدواژه های تفکر ناب، توسعه پایدار، HSE، محیط زیست و ساخت و ساز در موتور جستجوگر "Science Direct" و "علم نت" پرداخته است و مقالات منتشره در مجلات معتبر با رتبه بالا و برخی منابع فارسی علمی- پژوهشی را مورد مطالعه قرار داده است. محقق بنا دارد با کمک پرسشنامه ی خبرگی، نظر خبرگان و ذی نفعان موثر در صنعت ساخت را در مورد مدل احصا نماید ولیکن به علت غنی بودن ادبیات بین المللی و در مقابل شکاف موجود در ادبیات فارسی ابتدا به نشر مبانی مروری در این مقاله اقدام نموده و آزمون فرضیات تحقیق را به نوبت دیگر محول می نماید.

۴- یافته ها و تجزیه و تحلیل داده ها

۴-۱- یافته های تحقیق

۴-۱-۱- یافته های آخرین مطالعه مروری سیستماتیک ادبیات در خصوص ناب و پایداری در فرایندهای ساخت، مطالعات صورت گرفته را به چند دیدگاه دسته بندی کرده است:

از دیدگاه توصیفی: اگرچه مفهوم ساخت و ساز ناب در سال ۱۹۹۲ معرفی شد، اولین مقالاتی که شروع به تأکید بر پیوند بین ناب و پایداری در ساخت و ساز کردند در سال ۱۹۹۸ ظاهر شدند. از این زمان، توجه جامعه دانشگاهی به تدریج افزایش یافت. در این مطالعه ۱۱۸ مقاله انگلیسی زبان از ۱۰ ناشر برتر به طور عمده از حوزه مهندسی ساخت و مدیریت ساخت و ساز انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. یافته ها نشان داد تحقیقات پیشین در زمینه های ناب و پایداری، بیشتر به فرآیند، تحویل برخط (JIT) و کاهش ضایعات توجه کرده اند و موضوع کاهش پسماند دو برابر بیشتر بوده زیرا اثرات اقتصادی و زیست محیطی ذاتاً به هم وابسته هستند (یعنی هر نوع کاهش ضایعات اقتصادی تأثیر زیست محیطی دارد و





برعکس)، بنابراین می‌توان آن را هم در گروه اقتصادی و هم در گروه محیط زیست دسته بندی کرد. بعد اقتصادی رتبه نسبتاً بیشتری را به خود اختصاص داده و در ابعاد محیط زیستی کمترین تأمل شده است [۱۹].

از دیدگاه اقتصادی: ارزش‌های اقتصادی از نقطه نظر استفاده موثر از منابع و فرایندهای تبدیلی اثربخش و بر اساس درک سیستمی از ارزش، نیازهای مشتریان و فرایند مصرف بیان می‌شود و مدیریت و دانش ساخت را دو عامل واقعی محسوب می‌کند. از منظر زیست محیطی: ارزش‌های محیطی شامل ترکیبی متوازن از موضوعات ضایعات و کاهش آلودگی، مصرف بهینه انرژی، استفاده از منابع طبیعی، تولید و لجستیک سبز است.

از دیدگاه اجتماعی: در مقایسه با نگرانی‌های اقتصادی و زیست محیطی، ارزش‌های اجتماعی سخت‌ترین جنبه برای بررسی را دارد. در زمینه ساخت ناب، ارزش‌های اجتماعی شامل حمایت از سلامت انسان در طول چرخه حیات پروژه‌ها، توسعه انسانی و جامعه، عملکرد عادلانه در کار، تأمین ایمنی انسان و دادن فرصت برابر به همه بود [۱۷].

با این حال، به نظر می‌رسد چندین جنبه یا نیروی تعادلی در این میان وجود دارد. مثلاً در یک سایت استخراج بهینه و کارآمد (اقدامات اقتصادی) ممکن است منجر به کم شدن فرصت‌های شغلی در یک جامعه محلی (تأثیر اجتماعی) شود. طراحی و تولید محصولات (اقدامات محیطی) ممکن است به کارگران ماهرتری نیاز داشته باشد (تأثیر اقتصادی-اجتماعی). تغییر در روش تولید برای اطمینان از ایمنی کارگران (معیارهای اجتماعی) ممکن است منجر به تحمیل هزینه‌های بالاتر تولید (تأثیر اقتصادی) شود. و استاندارد سازی (اندازه‌گیری اقتصادی) ممکن است منجر به عملیاتی مشخص و محدود (تأثیر اجتماعی) گردد. در کل، به نظر می‌رسد که با یک رویکرد چند بعدی به سوی پایداری در ساخت و ساز مواجه باشیم. بر این اساس، سهم اصلی این پژوهش، هم محققان و هم دست‌اندرکاران، پیشنهاد یک درک جامع از پایداری است، جایی که هر سه جنبه پایداری در آن دیده شود [۱۹].

تکامل در سیستم تولید ناب تویوتا در صنعت تولید صنعت ساخت و ساز ناب پذیرفته شده است و SPC^1 ، TQM^2 شش سیگما، همه راه خود را در توسعه ناب پیدا کرده‌اند. بنابراین، از دستگاه‌ها و راهبردهای موجود در مناطق مختلف، به عنوان مثال، در جامعه شناسی و تجارت استفاده می‌شود. ابزارها و استراتژی‌های موجود در مدیریت توسعه، فی‌المثل ساختار شکست کار و مسیر بحرانی (CPM^3) و غیره در اجرای توسعه ناب مورد استفاده قرار می‌گیرند. سه ابزار و تکنیک قابل توجه که بخصوص برای توسعه ناب مورد توجه قرار گرفته‌اند، آخرین سیستم برنامه‌ریز (LPS^4)، طراحی ارزش هدف و ساخت ناب هستند [۱۸].

تحقیقاتی نیز در مورد کاربرد ساخت ناب شامل (سیستم تحویل پروژه ناب، آخرین سیستم برنامه ریز) و مدل بهبود فرآیند عملکرد شامل (زمان صرف شده برای بهبود، مهارت‌ها و مکانیسم‌های بهبود عملکرد، بهبود عملکردی در مدل‌های پیچیدگی، نتایج بهبود و حلقه‌های بازخورد) انجام شده است و مدلی پویا از روند بهبود عملکرد نیز ارائه شده است [۱۶].

۴-۱-۲- به دنبال شناسایی یک الگوی مدیریت توسعه پایدار در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی، یک مدل مدیریت سیستم برای ایجاد مزیت رقابتی در شرکت‌ها ارائه شده که $OHSM^5$ ، EMS^6 ، QMS^7 و $SRMS^8$ را در LMS^9 ادغام کرد

1 Statistical process control

2 Total Quality Management

3 Critical path method

4 Last Planer System

5 Quality Management System

6 Environmental Management System

7 Occupational Health Safty Management System

8 Social Responsibility Management System

9 Lean manufacturing System



تا حصول بهبود مستمر عملکرد CS^۱ را تسهیل کند [۲۱].

معیارهای ساخت مدل پیشنهادی برای پرداختن به ابعاد اقتصادی، محیطی و اجتماعی یک سیستم مدیریت جدید، براساس استانداردهای بین المللی زیر در نظر گرفته شده است:

ISO ۹۰۰۱: سیستم‌های مدیریت کیفیت که روی رضایت مشتری متمرکز است؛

ISO ۱۴۰۰۱: سیستم‌های مدیریت زیست محیطی که روی افزایش عملکرد محیطی متمرکز است؛

ISO ۲۶۰۰۰: راهنمای SR، بر ادغام، پیاده سازی و ارتقاء رفتارهای مسئولانه اجتماعی در کل سازمان تمرکز دارد؛

OHSAS ۱۸۰۰۱: سیستم های مدیریت OHS، با هدف ایجاد بهترین شرایط کاری و استفاده بهینه از منابع، در نظر گرفته شده است.

کارآمدترین سیستم‌های مدیریت (MS) برای ارتقاء مدیریت پایداری، ISO ۱۴۰۰۱ و ISO ۹۰۰۱ است. تعداد معدودی از محققان بر SR متمرکز شده اند، اگرچه ISO ۲۶۰۰۰ یک استاندارد MS نیست، از آن به عنوان پایه ای برای SRMS هایی استفاده می‌شود که با یک دامنه ملی توسعه یافته اند، از ISO ۲۶۰۰۰ برای اطمینان از کاربرد گسترده و جهانی مدل پیشنهادی استفاده شد. در جستجوی ادبیات هیچ سیستم مدیریت پایداری که یکپارچه کننده ISO ۹۰۰۱، ISO ۱۴۰۰۱، ISO ۲۶۰۰۰ و OHSAS ۱۸۰۰۱ باشد، موجود نیست. بنابراین، مدل پیشنهادی در شکل ۲ از این لحاظ اصل و ابتکاری بود. این مدل برای استفاده بهتر از منابع والگویی برای بهبود پایداری شرکت ها در هر اندازه، نوع و بخش سازمانی قابل استفاده است.

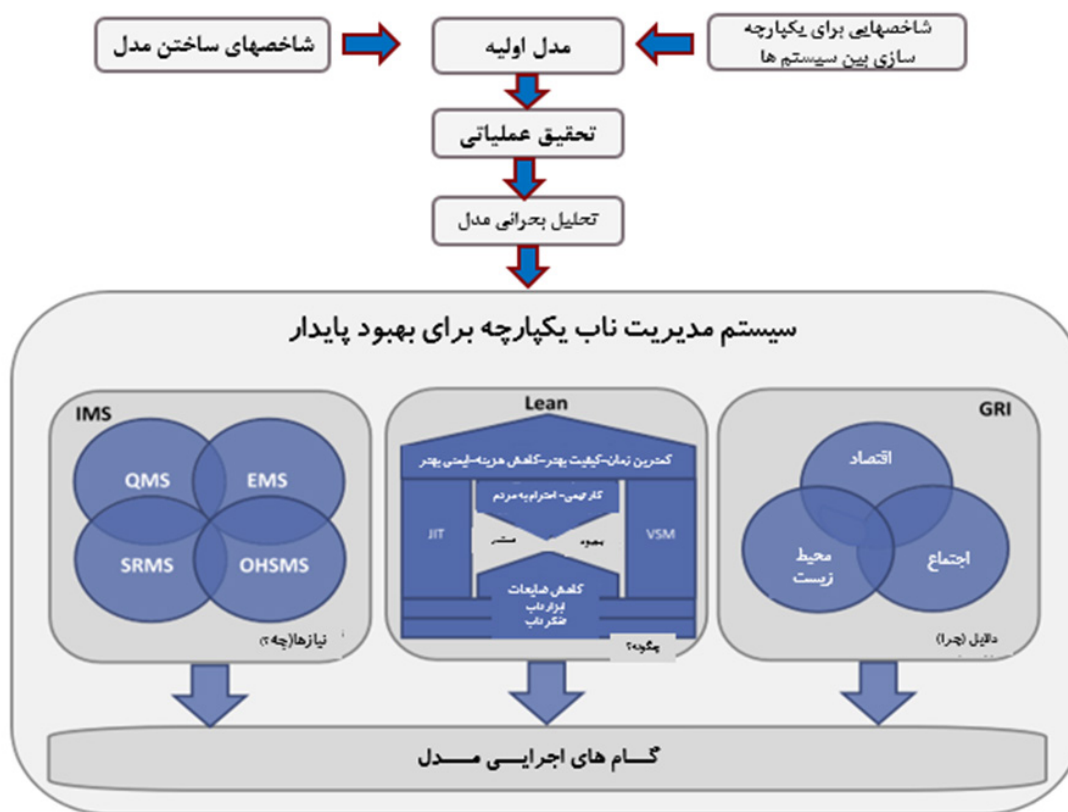
معیارهای ادغام مدل پیشنهادی برای ایجاد هم افزایی نیز به این ترتیب بود که در این سیستم، مدیریت ناب با مدیریت پایداری یکپارچه شد تا در ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به نتایج مثبتی دست یابد. مدل ارائه شده شامل مفاهیم LM و ابزارهایی برای ایجاد هم افزایی در حین انجام فعالیت‌ها و برنامه‌ها است. برای این منظور، اصول کاهش ضایعات، فعالیتهای متمرکز بر فرایند و سطح بالای مشارکت و مشارکت مردمی را در نظر می گیرد. بنابراین، ارتقاء تفکر ناب به عنوان روشی برای بهبود عملکرد عملیاتی و محیطی از طریق کاهش هزینه‌های آلودگی، بهبود محیط زیست و استفاده بهینه از انرژی و منابع استفاده می‌شود. انگیزه، ارتباطات، حل مسئله و کار تیمی برای موفقیت این مدل بسیار مهم است، زیرا بر نگرش کارکنان تأثیر مثبت می‌گذارد و مدیریت ناب را با بعد اجتماعی ارتباط می دهد. همچنین شامل انتقال از ۵S به ۷S کایزن است در حالی که پایداری به خطرات زیست محیطی، ریسک ها و OHS می پردازد. روش مدل LIMSSI به عنوان AR در یک سازمان استفاده شد و امکان پذیری کاربرد خود را تأیید کرده است [۲۱].

۴-۱-۳- نیاز به ایمنی در مراحل اولیه فرایند پروژه‌ها برای جلوگیری از رفتار نا ایمن و تصادفات در مرحله ساخت احساس می‌شود و براهمیت برنامه ریزی توسط آگاهان تأکید می‌شود. تأکید محققان بر شروع به کار ایمنی در مرحله برنامه ریزی است. اگر برنامه ریزی برای هر خطری، درست باشد از صدمات زیادی جلوگیری می‌شود. تحقیق نشان می‌دهد که آگاهی مؤسسات آموزشی و در برنامه های تحصیلی، باید بیش از آنچه امروزه نسبت به موضوع ایمنی وجود دارد باشد [۸]. یک نظرسنجی در نروژ نشان داد که پیمانکاران در صنعت ساخت و ساز انتظار دارند که مهندسان عمران فارغ التحصیل، دانش، تجربه و مهارت کافی از HSE داشته باشند. [۱۰] مشتریان ساخت و ساز نیز باید از مسئولیت‌ها و سیاست های H&S خود آگاه باشند. هنگام برنامه ریزی برای استخدام شرکا برای اجرای مرحله ساخت پروژه، قراردادها باید به گونه ای باشند که بازیگران غیرمجاز از برنده شدن در قراردادها مستثنا شوند. مقامات دولتی باید بیشتر به علل اصلی حوادث توجه کنند زیرا





تأثیر ایمنی در چرخه عمر پروژه به تدریج کاهش می یابد و لازم است طراحان و مشتری های ساختمانی در مراحل اولیه پروژه، تصمیمات صحیحی را برای ایمنی و سلامت بگیرند. باید عواقب وقوع حوادث برای شرکای ساخت مشخص باشد و در صورتی که اقدامات آن‌ها فقط با زمان، هزینه صرف شده و رضایت مشتری سنجیده شود و در پایان، H&S در تقابل با اهداف دیگر پروژه از بین نرود. [۸].



شکل ۲- ساختار مدل LIMSSI [۲۱].

هدف اصلی این پژوهش ارائه مدلی برای یکپارچه سازی اصول مدیریت ناب و شاخص های توسعه پایدار با تمرکز بر مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست بود. بررسی مطالعات پیشین بیانگر آن بود که مدل یکپارچه‌ای در این زمینه وجود نداشت. عمده نتایج این تحقیق را می توان به نحو زیر جمع بندی کرد:

- ۱- ترکیب سیستم‌های مدیریت سلامت و ایمنی با سیستم تولید ناب در سازمان‌ها موجب بهبود پایداری ساختاریافته می شود [۲۱].
- ۲- درجه ناب بودن در ساخت و ساز به پایداری کمک می کند. مطالعات انجام شده تاکنون بیشترین توجه را به جنبه اقتصادی ساخت و ساز ناب داشته است [۱۹].
- ۳- سه ابزار و تکنیک قابل توجه برای توسعه ناب، آخرین سیستم برنامه ریز LPS، طراحی ارزش هدف TVD^۱ و ساخت ناب هستند [۱۸].



۴- استفاده از پایداری در مدیریت فرآیند و سازمان‌ها، علاوه بر حفظ محیط زیست، به کیفیت زندگی همه ذینفعان، جامعه و اقتصاد توجه کافی دارد. هدف اصلی ناب به حداکثر رساندن ارزش ذینفعان و کاهش همه ضایعات برای بهبود کل فرآیند است. برای مزایای بیشتر، شرکت‌ها باید اصول ناب و پایداری را همزمان به کار گیرند [۱۵].

۵- نتایج یک مدل پویا نشان داد: (۱) تلاش برای توسعه به شدت از ساختار و اهداف تأثیر می‌گیرد و (۲) برنامه‌های متمرکز بر نتیجه، توانایی محدودی را برای رفع مشکلات پیچیده نظام‌مند دارند [۱۱].

۶- با ایجاد اصول BPM^۱ در یک شرکت کوچک یا متوسط (SME)، مفاهیم مدیریت پروژه (PMBOK^۲) و اصول و ابزار تفکر ناب به منظور بهبود تولید و شیوه‌های مدیریت پروژه استفاده می‌شود [۲۰].

۷- استفاده از دو ابزار مقاومت و پیچیدگی احتمال تغییر در مدیریت ایمنی، طراحی معیارهای جدید و یا تجدید نظر در معیارهای موجود را دارد. مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های سطح بالا برای طراحی سیستم اندازه‌گیری ایمنی اجرایی (SPMS) ارائه شده است [۱۶].

۸- در ارائه دستورالعمل ایمنی اجرای سازه (SWMS)، حداقل‌های ایمنی باید توسط هر سازنده تهیه و اعلام شود و نحوه کنترل خطرات هم تشریح شود. انواع متنوع و کاملی از دستورالعمل‌های SWMS برای کارهای مختلف ساختمانی در این تحقیق به دست آمد [۸، ۱۰].

۴-۲- تجزیه و تحلیل یافته‌ها

سیاست‌های اصلی HSE پروژه‌ها و سطوح عملکردی آن توسط صاحبان پروژه‌ها و تأمین کنندگان مالی آن‌ها تعیین می‌شود و میزان تعهد آن‌ها تا حدود زیادی عملیاتی شدن استانداردهای سلامت، ایمنی و محیط زیست را تعیین می‌کند. این میزان التزام در بنیانه سلامت هر شرکت ساختمانی یا پروژه‌ای تدوین شده و به اعلان عمومی می‌رسد. همچنین در نظر گرفتن شاخص‌های ناب و پایداری محیط زیستی آن نیز از همین قرار به سیاستگذاری دولت یا ذینفعان اصلی بستگی دارد. طی بررسی و مرور ادبیات و مقالات و تجزیه و تحلیل یافته‌ها همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، اصول و شاخص‌های مطرح در هر سه محور تحقیق به دست آمد.

شاخص‌های HSE ابتدا در فرایند "طراحی" اعمال می‌شوند به نحوی که از زمان امکان‌سنجی طرح در انتخاب محل از نظر زیست محیطی و تأثیرات اجرای آن بر گونه‌های گیاهی و جانوری محل اجرای طرح مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورت عدم وجود مانع طرح به مرحله بعد راه می‌یابد که همان تأثیرات اجتماعی و فرهنگی ناشی از احداث طرح و بهره‌برداری از طرح است اعم از ایجاد ارزش در منطقه، تحقق عدالت اجتماعی، کاهش نابرابری‌ها، حفظ تنوع فرهنگی، افزایش مشارکت اجتماعی، یکپارچه‌سازی اجتماعی در منطقه طرح. در صورت عدم وجود این گروه از موانع به بررسی شاخص‌های انرژی و مصرف آن طرح رسیدگی می‌شود به نحوی که حداکثر میزان بهره‌برداری از انرژی‌های پاک و استفاده از فناوری‌های نوین در آن دیده شود. دیدگاه دوم استفاده از روش‌های BIM در عملیات طراحی برای بروز کمترین تعارضات، تداخل عملکردی و یکپارچگی آن و کاهش ضایعات است که در مباحث به روز با قوت دنبال می‌شوند.

مرحله دوم پلان HSE، نحوه تأمین نیروی کار از گروه‌های ماهر، زنجیره تأمین مواد و مصالح سبز، برنامه کمترین ضایعات، از نظر زمان، مواد، مصالح و آلاینده‌گی محیط زیست است که خود شامل جلوگیری از پراکندن مواد سمی و آلوده کننده در

1 Business Process Management

2 Project Management Body of Knowledge

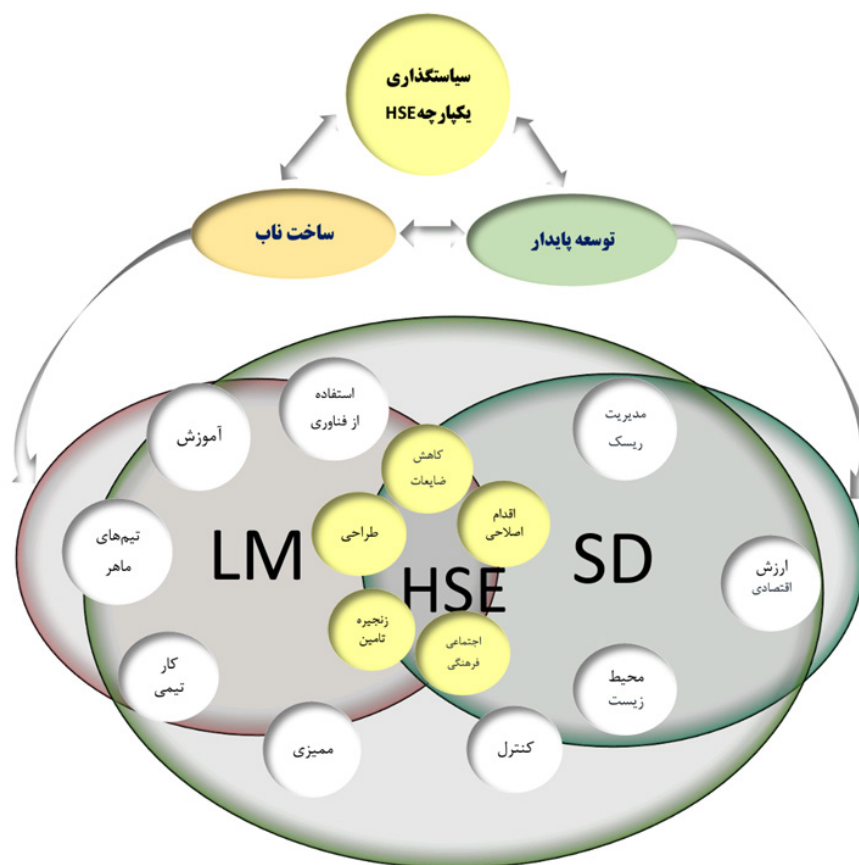




محیط زیست، نحوه دفع یا بازیافت زباله و ضایعات بوده و نقشه‌راه و راهکارهای لازم برای نیل به این اهداف پیش بینی و در برنامه طرح ارائه می‌شود.

مرحله سوم توجه به الزامات سلامت و ایمنی در حین اجرای طرح و بهره‌برداری است. این مرحله از طراحی فرایندها به نحو ایمن، کنترل اجرای فرایندها، استفاده از ابزار و تجهیزات ایمن و افراد ماهر و آموزش دیده شروع و از طریق ممیزی و کنترل‌های انسانی، فنی و فناورانه و پیش‌بینی پلان‌های رفع نقایص و انجام اقدامات اصلاحی برای جبران آسیب‌های احتمالی انسانی، اقتصادی، مصالح و کاربری ساختمان، پیش‌بینی بیمه‌ها و برآورده کردن الزامات کار تیمی است. این مرحله وسیع‌ترین پهنه فعالیت طرح HSE نیز به شمار می‌رود که تا استفاده امن از سازه و کنترل ایمنی سازه‌ها در طول عمر بهره‌برداری توسعه می‌یابد.

کلیه شاخص‌های فوق‌الاولا در یک قالب اقتصادی تعریف و ارزیابی می‌شوند و سیاست‌گذار اصلی اعم از سرمایه‌گذاران، قوانین و ضوابط محلی یا بین‌المللی، برنامه‌های میان مدت و دراز مدت توسعه‌ای کشورها و قوانین محلی محدود کنندگان اصلی آن خواهند بود و ثانیاً در یک محدوده زمانی معین، طراحی و اجرا می‌گردند. چنانچه ملاحظه شد این معیارها بخشی در حیطه تفکر ناب و بخشی دیگر در حیطه توسعه پایدار نیز قابل مشاهده است. مدل یکپارچه ترسیم شده در شکل ۳ نشان می‌دهد که اصول ناب و پایداری کاملاً در طرح HSE قابل تعریف است و شاخص‌های آن را پوشش می‌دهد.



شکل ۳- مدل یکپارچه اصول مدیریت ناب و شاخص‌های توسعه پایدار منبع تجزیه و تحلیل ادبیات توسط نویسندگان



۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نتایج حاصل از مدل یکپارچه این تحقیق به این شرح است:

- اصول مدیریت ناب (LM) در ساخت شامل طراحی، ملاحظات فرهنگی و اجتماعی، آموزش کارکنان، استفاده از تیم‌های ماهر، الزامات کارگروهی، زنجیره تأمین و کاهش ضایعات است.
- شاخص‌های توسعه پایدار (SD) طراحی، ملاحظات زیست محیطی (از جمله کاهش ضایعات و آلودگی)، اجتماعی و فرهنگی، ایجاد ارزش اقتصادی برای ذینفعان، مدیریت ریسک و قابلیت اقدام اصلاحی و زنجیره تأمین سبز است.
- الزامات سلامت، ایمنی و محیط زیست (SHE) کلیه الزامات دو بند ذکر شده را بعلاوه استفاده از تجهیزات و فناوری‌های نوین، ممیزی، کیفیت و کنترل فرایندی را شامل می‌شود.
- به این ترتیب حوزه‌های اشتراک SD و LM در "طراحی"، "ملاحظات فرهنگی و اجتماعی"، "کاهش ضایعات" و "اقدام اصلاحی" است و کلیه شاخص‌ها همزمان در بستر الزامات طرح HSE قرار می‌گیرند.

پیشنهادهای برای تحقیقات آینده:

- ارزیابی وزنی و رتبه‌بندی اعتباری این شاخص‌ها در انواع پروژه‌های ساختمانی و اولویت‌بندی اثرگذاری آن‌ها در HSE پروژه‌ها جهت به کارگیری توسط سیاست‌گذاران و مجریان از مرحله امکان‌سنجی تا بهره‌برداری و مد نظر قراردادن در برنامه ریزی‌های پروژه‌ها توسط مدیران.
- مطالعه تفکر ناب و توسعه پایدار با مفاهیم مدیریت پروژه PMBOK از دیدگاه HSE و ارائه مدل یکپارچه آن در پروژه‌های ساخت.
- مطالعه و بررسی فصل مشترک و افتراقات اصول ساخت ناب و توسعه پایدار با مقاوم‌سازی و پایش سلامت سازه‌ای (SHM) و تاثیر آن در مدیریت HSE در پروژه‌های ساخت و ساز.
- مطالعه ارتباط و تاثیر تفکر ناب و شاخص‌های توسعه پایدار در ساختمان‌های پیش ساخته، انبوه‌سازی‌ها، ساختمان‌های بتنی و فلزی و تاثیر آن بر تجهیزات ایمنی مورد استفاده در کارگاه‌های ساخت و ساز ایران.
- بررسی تاثیرات رویکردهای نوین کنترلی و شناسایی فناوری‌های به روز دنیا که در پایش سلامت ساختمان‌ها (SHM) به کار برده می‌شوند و میزان اثرگذاری آن‌ها در ایمنی و سلامت (H&S) تخریب (Demolition) کاهش ضایعات (Waste Reduction) در محیط زیست.
- بررسی میزان دخالت و ضریب تاثیر اصول ناب و پایداری در پروژه‌های ساخت و ساز کشور.

۶- منابع و مآخذ

۱-۶- فارسی

- [۱] آقایی‌دوست، و.، روش‌های پایش سلامتی سازه‌های خاص، بید، (۱۳۹۸).
- [۲] حسینیان، ا.، حجت پناه، ش.، معهود، م.، ارزیابی نحوه ارزش آفرینی مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز ناب، دومین کنگره بین المللی علوم و مهندسی، (۱۳۹۷).
- [۳] حاجی محمد رضایی، ر.، نادرپور، ح.، ارزیابی روش‌های پایش سلامت و شناسایی خرابی در سازه‌های بتنی، دهمین





کنفرانس ملی بتن.

[۴] خرم رو، م.، هدایت، ا.ا.، بررسی شاخص‌های ارزیابی مطابقت پروژه های ساختمانی با اصول ساخت و ساز ناب، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، (۱۳۹۶).

[۵] شش بلوکی علمداری، ع.، عبادی، م.، بررسی تحلیلی آثار تلفیق ساخت و ساز ناب (LC) با تحویل یکپارچه پروژه (IPD) و مدلسازی اطلاعات ساختمان، (BIM) کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، (۱۳۹۷).

[۶] گلابچی، م.، فرجی، ا.، مدیریت استراتژیک پروژه، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۲۷، (۱۳۸۹).

[۷] گوپالاکریشن، اس.، روتسنه، م.، یارمحمدی کلخوران، ح.، حسنی، م.، میرجلیلی، ا.، جلالی‌راد، م.، روش محاسباتی برای نظارت بر سلامتی سازه، قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص) آجا، (۱۳۹۴).

۶-۲- انگلیسی

[8] Al-Mebayedh, H. (2014). Erection and construction HSE MS procedure. APCBEE procedia, 9, 302-308.

[9] Alla, S., & Asadi, S. (2020). Integrated methodology of structural health monitoring for civil structures. Materials Today: Proceedings.

[10] Asgard, T., & Jørgensen, L. (2019). Health and safety in early phases of project management in construction. Procedia computer science, 164, 343-349.

[11] Aziz, R. F., & Hafez, S. M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. Alexandria Engineering Journal, 52(4), 679-695.

[12] Danielsen, D. A., Torp, O., & Lohne, J. (2017). HSE in civil engineering programs and industry expectations. Procedia engineering, 196, 327-334.

[13] Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. Journal of Cleaner Production, 252, 119913.

[14] Jamot, D. G. C., & Park, J. Y. (2019). System theory based hazard analysis for construction site safety: a case study from Cameroon. Safety science, 118, 783-794.

[15] Khodeir, L. M., & Othman, R. (2018). Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry. Ain Shams Engineering Journal, 9(4), 1627-1634.

[16] Peñaloza, G. A., Saurin, T. A., & Formoso, C. T. (2020). Monitoring complexity and resilience in construction projects: The contribution of safety performance measurement systems. Applied ergonomics, 82, 102978.

[17] Saieg, P., Sotelino, E. D., Nascimento, D., & Caiado, R. G. G. (2018). Interactions of building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review. Journal of Cleaner Production, 174, 788-806.



- [18] Singh, S., & Kumar, K. (2019). Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008–2018). *Ain Shams Engineering Journal*.
- [19] Solaimani, S., & Sedighi, M. (2020). Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119213.
- [20] Sousa, P., Tereso, A., Alves, A., & Gomes, L. (2018). Implementation of project management and lean production practices in a SME Portuguese innovation company. *Procedia computer science*, 138, 867- 874.
- [21] Souza, J. P. E., & Alves, J. M. (2018). Lean-integrated management system: A model for sustainability improvement. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2667-2682.
- [22] Zhao, X., & Lang, Z. (2019). Baseline model based structural health monitoring method under varying environment. *Renewable Energy*, 138, 1166-1175.
- [23] <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>
- [24] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:30414:ed-1:v1:en>
- [25] <https://www.iso.org/standard/69338.html>-Human resource management Guidelines for internal and external human capital reporting
- [26] <https://proventuresindia.com/blog/project-resource-management-pmbok-sixth-edition/>
- [27] <https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html>
- [28] <https://www.astm.org/Standards/waste-management-standards.html>
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_7010



یک مدل ریاضی چندهدفه تولید سلول پویا برای آنالیز پاسخ استواری در کارگران با مهارت متفاوت

اکرم علی کاظمی^۱، رضا احتشام راثی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.
^۲ استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۷

چکیده:

هدف اصلی این تحقیق، بهینه سازی مجموعه جواب های بهینه حاصل از اهداف با نام جبهه بهینه پارتویی به منظور ارائه به تصمیم گیرنده نهایی است. انتخاب نهایی یک نقطه از جبهه پارتو جهت پیاده سازی در سیستم موردنظر توسط تصمیم گیرنده، معمولاً فقط بر اساس اهداف ارائه شده در مدل ریاضی مسئله صورت می پذیرد. یکی از معیارهای مهم در این تحقیق، میزان استواری پاسخ های تولیدی در مقابل تغییرات پارامترهای مسئله است. در این مقاله، یک مدل ریاضی جهت طراحی سلولهای تولیدی با در نظر گرفتن دو هدف ناهمجواری و میزان جابجایی بین سلولی قطعات، ارائه و تجزیه و تحلیل میگردد. ایجاد همکاری بین کارگران موجود در یک سلول می تواند تأثیر زیادی در زمان اتمام عملیات داشته باشد؛ بنابراین یکی از نکات مهم در استفاده از سیستم تولید سلولی، کنترل تمامی اجزای سیستم در طی فرآیند تولید است. به این معنا که تعداد کارگران، ماشین آلات و قطعات اختصاص داده شده به یک سلول باید در یک سطح قابل کنترلی باشند. برای تجزیه و تحلیل و بررسی استواری راه-حل های تولید شده از تکنیک آنالیز استواری به کمک شبیه سازی مونت کارلو استفاده شده است. این روش موجب افزایش کیفیت راه حل نهایی انتخابی توسط تصمیم گیرنده می شود. در پایان نتایج حاصل از حل و تجزیه و تحلیل مسئله، در قالب مطالعه موردی در شرکت امرسان ارائه می گردد.

واژه های کلیدی: جبهه پارتو، استواری پاسخ ها، تولید سلولی، شبیه سازی مونت کارلو.

* نویسنده مسئول: Ehteshamrasi@qiau.ac.ir





۱- مقدمه

رویکرد استوار برای حل مسائل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشنهاد گردید و اخیراً به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. تحت این رویکرد تمایل به پذیرش یک جواب زیر بهینه برای ارزش‌های اسمی داده‌ها برای تضمین اینکه جواب موجه و بهینه وقتی که داده‌ها تغییر می‌کند، تضمین می‌گردد [۷]. دو محقق بنام‌های داگلاس خوزه الم و رینالدو مورابیتو^۱ (۲۰۱۲) دو دلیل را برای استفاده از بهینه‌سازی استوار ذکر نمودند:

۱. بهینه‌سازی استوار نسبت به رویکرد احتمالی از لحاظ حل مدل آسان‌تر است؛

۲. دانش واضحی از توزیع احتمالی داده‌های دارای عدم قطعیت نیاز نیست و از داده‌های تاریخی و تجربه‌های تصمیم‌گیرنده می‌توان در برخی موارد برای استنتاج بازه‌ی دارای عدم قطعیت استفاده کرد [۱۶].

در ساختار سیستم‌های تولیدی و به‌خصوص سیستم تولید سلولی، کارگران جزو مهم‌ترین اجزای موجود هستند. در نظر گرفتن نظام مدیریتی ساختاریافته موجب کاهش چشمگیر در زمان تولید محصولات و نیز کاهش هزینه‌های سیستم می‌گردد. این نظام باید تعیین‌کننده روابط بین کارگران مانند همکاری، ارتباط کارگران با ماشین‌آلات بر اساس تخصص و... باشند. ایجاد همکاری بین کارگران موجود در یک سلول می‌تواند تأثیر زیادی در زمان اتمام عملیات داشته باشد. اساس سیستم تولید گروهی، تفکیک مجموعه تسهیلات تولیدی به چندین گروه از ماشین‌آلات (سلول) است که هر کدام از آن‌ها یک خانواده قطعه را تولید می‌نمایند. تولید سلولی یک رویکرد تولیدی با هدف افزایش کارایی تولید و انعطاف-پذیری سیستم جهت پاسخگویی به نیاز صنعت از طریق به‌کارگیری تشابه قطعات است. از مزایای پیاده‌سازی سیستم تولید سلولی در مقالات بسیاری اشاره شده که از جمله آن‌ها می‌توان به کاهش زمان آماده‌سازی قطعات، کاهش موجودی در جریان ساخت، کاهش هزینه و زمان جابجایی مواد و بهبود برنامه‌ریزی تولید اشاره کرد [۵] و [۵۴] و [۴۵]. با وجود تمام مزایای حاصل از این سیستم، تخصیص ماشین‌آلات تولیدی به سلول‌ها باعث ایجاد یک عدم توازن بار کاری روی ماشین‌آلات در سیستم تولیدی می‌گردد [۱۶]. جنسن و همکاران^۲ و آدنسو-د-ایاز^۳ و همکاران^۳ استفاده از مسیرهای تولیدی جایگزین را به‌عنوان راه‌حل مؤثری برای رفع این مشکل ارائه نمودند. برخی معایب CMS نیز انعطاف‌پذیری کم نسبت به تغییرات سریع در ترکیب محصول و تقاضا است [۴] و [۵۴]. کاهش بهره‌وری ماشین‌آلات با توجه به اختصاص آن‌ها و سلول‌ها به خانواده مشخصی از قطعات است [۲۶]. بهره‌برداری بیش از حد و یا بهره‌برداری خیلی کم از سلول‌ها در هنگام عدم قطعیت در تقاضای هر محصول از جمله ایرادات اصلی این سیستم می‌باشند [۵۰]. در این تحقیق مدل ریاضی دو

1- Douglas Jose' Alem, Reinaldo Morabito

2- Jensen et al

3- Adenso-D iaz etal



هدف به منظور ایجاد سیستم تولیدی مناسب با تمرکز بر روی تخصیص مناسب کارگران و ماشین آلات به سلول ها و در نهایت تخصیص قطعات به سلول ها ارائه می شود. راه حل های مسائل بهینه سازی می تواند حساسیت قابل توجهی به نامشخص بودن پارامترهای مسئله و در نتیجه اغلب موجب ارائه یک جواب غیرموجه یا به طور قابل توجهی نزدیک به حالت بهینه و یا هر دو را نشان دهد [۶]. بنابراین مفهوم پایداری یا استواری در برنامه ریزی ریاضی توجه جامعه علمی را به این سمت کشانده و معمولاً تحت عنوان بهینه سازی استوار عنوان می شود. در این تحقیق مفهومی تحت عنوان ناهمجواری بررسی خواهد شد. ناهمجواری یک مفهوم است که با انواع ماشین های مورد نیاز برای پردازش قطعات در یک سلول سروکار دارد که این مشابه مفهوم ناهمگونی عملیات های تعیین شده در یک سلول و به منظور طراحی سلول های اختصاصی است. مراجعه به هر قسمت از یک سلول به ناهمجواری آن سلول کمک می نماید.

هدف اصلی مدل تحقیق کمینه سازی مجموع ناهمجواری تمام سلول های تشکیل دهنده است. اگر تمام انواع ماشین ها به یک سلول اختصاص داده شود، ناهمجواری حداکثر می شود و هنگامی حداقل می گردد که برای هر سلول تنها یک دستگاه اختصاص داده شده باشد. ولی حداکثر حرکت بین سلولی از حداقل بودن ناهمجواری به دست می آید و تعداد بالای حرکت بین سلولی را نمی توان در نظر نگرفت. از این رو به حداقل رساندن حرکت بین سلول ها نیز در این مدل به عنوان هدف دوم در نظر گرفته می شود. در این مقاله رویکرد طراحی سلولی با دو هدف به حداقل رساندن حرکت بین سلولی و ناهمجواری که دو هدف متضاد می باشند، بررسی شده است. رابطه دو طرفه ای بین این دو تابع هدف خواهد بود، تعادل بین این دو تابع هدف متناقض به وسیله یک تابع هدف منفرد که مجموع دو تابع هدف است، بررسی می شود. مقاله حاضر، مفهوم پایداری در برنامه ریزی چندهدفه را مورد مطالعه قرار می دهد و پایداری جواب های بهینه پارتویی تولید شده برای مدل تولید سلولی را ارزیابی خواهد کرد. در این گونه مسائل هدف، ارائه مجموعه پاسخ های بهینه پارتویی است. در تحقیق پیش رو به بررسی مسئله جانمایی ماشین ها در سلول ها و پیکربندی سلول ها بر اساس جابجایی قطعات بین ماشین ها در محیط سلول های تولید انعطاف پذیر پرداخته می شود؛ اما ایده اصلی و جدید این مدل پیشنهادی همکاری میان نیروی انسانی با توجه به علاقه مشترک آن ها می باشد؛ که از کار کاترینکا (۲۰۱۶) و فرجیانی (۲۰۱۸) کمک گرفته شده است [۱۸] و [۲۸]. سیستم تولید به دلیل ماهیت تصادفی و غیرقطعی است؛ زیرا تغییرات در طول زمان به صورت پی در پی اتفاق خواهد افتاد. علاوه بر این، تقاضای مشتریان می تواند در طول زمان به شدت در حال تکامل باشد. به همین دلیل به منظور مقابله با چنین تغییراتی در وضعیت سیستم تولیدی و بهینه سازی معیارهای عملکرد تخصیص کارگران چند تخصص به ماشین آلات در سیستم می تواند به صورت پویا و یا هر زمان که سیستم نیاز به کارگر ماهر داشته باشد، سیستم به صورت خودکار تخصیص دهد. در واقع، زمان شروع و تکمیل شغل در چنین سیستمی نمی تواند پیش بینی شود، به همین دلیل روش های برنامه ریزی ایستا یا استاتیک برای چنین سیستم هایی مناسب نیست و باید از برنامه ریزی پویا استفاده شود. به همین دلیل





در این تحقیق از یک سیستم تولید سلولی پویا استفاده خواهد شد تا بتوانیم در برابر تغییرات مانند خستگی نیروی کار و خرابی ماشین آلات بهترین تصمیم را بگیریم

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تولید سلولی (CM)، استراتژی تولید نوآورانه‌ای است که از مفهوم تکنولوژی گروهی به وجود آمده و رویکردی است که می‌تواند در بهبود انعطاف‌پذیری و کارایی در محیط‌های تولید رقابتی مدرن امروز مانند سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر (FMS) و سیستم تولید بهنگام (JIT) استفاده شود. کوسیاک و چو (۱۹۷۸) یک مدل P-Median برای طراحی سیستم تولید سلولی توسعه دادند که در آن هدف موردنظر، کمینه‌سازی مجموع فواصل بین هر زوج محصول / ماشین است. سرینیوزن و همکاران^{۱۱} (۱۹۹۰) یک مدل تخصیص برای مسئله گروه‌بندی خانواده قطعات و ماشین آلات پیشنهاد کردند. آن‌ها مسئله طراحی CMS را به‌عنوان یک مسئله تخصیص در نظر گرفتند و الگوریتمی برای تشکیل سلول‌های تولیدی پس از تشکیل خانواده قطعات پیشنهاد دادند [۴۶]. در این سیستم، ماشین آلات بر اساس خانواده قطعاتی که می‌توانند تولید کنند، گروه‌بندی می‌شوند. طراحی یک سیستم تولید سلولی (CMS) به‌طور کلی شامل مراحل زیر است:

۱- تشکیل یا آرایش سلول (گروه‌بندی قطعات با فرآیند مشابه به خانواده قطعات و ماشین آلات متناظر با آن‌ها به سلول‌های ماشین آلات)؛

۲- جانمایی گروهی (جانمایی ماشین آلات درون هر سلول که جانمایی درون سلولی نامیده می‌شود و جانمایی سلول‌های درون یک کارگاه که جانمایی بین سلولی نامیده می‌شود)؛

۳- برنامه‌ریزی گروهی (برنامه‌ریزی خانواده قطعات)؛

۴- تخصیص منابع (تخصیص ابزارها، منابع انسانی و مادی) [۵۲].

از آنجا که (CM) ترکیبی از انعطاف‌پذیری سیستم‌های تولید کارگاهی، بهره‌وری و نرخ بالای تولید سیستم‌های تولیدی سری است، از تولیدات دسته‌ای کوچک برای به دست آوردن مزایای اقتصادی مشابه تولید انبوه استفاده می‌نماید [۲۷]. در سیستم تولید سلولی، قطعات مشابه به‌عنوان یک خانواده در نظر گرفته شده و در یک سلول تولیدی توسط ماشین آلات، کارگران و تجهیزات غیرهمسان تولید می‌شوند [۳۷]. شارد و بانرجی (۲۰۱۳) پیکربندی سلولی ماشین موردنظر را در دوره‌های برنامه‌ریزی آتی با فرض عدم قطعیت در زمان پردازش، خرابی تجهیزات، تعمیرات و تقاضای محصول ارزیابی نمودند. طرح پیکربندی که در پایان دوره برنامه‌ریزی به دست می‌آید، هزینه کلی را کم کرده و به یک پیکربندی پایدار منجر می‌شود که هدف آن به حداقل رساندن زمان تولید و میانگین کار در جریان و تعداد ماشین آلات است. کمال و پاردپ (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی جامع برای طراحی سلول‌های ماشین‌های پایدار در تولید بخش‌های پویا ارائه داده‌اند.



مدل ارائه شده شامل مسئله طراحی پیکربندی سلول‌ها برای دستگاه متصل با مسئله تخصیص ماشین‌آلات، مسئله تولید پویا و مسیریابی است. ساخی و همکاران (۲۰۱۵)، یک رویکرد بهینه‌سازی پایدار برای برنامه‌ریزی یکپارچه عدد صحیح مختلط (MILP) و مدل حل یک سیستم پویای تولید سلولی (DCMS) با ماشین‌آلات غیرقابل اطمینان و مسئله برنامه‌ریزی تولید به‌طور هم‌زمان ارائه دادند. در این مدل شکل‌گیری، طراحی بین سلولی، قابلیت اطمینان ماشین، تخصیص اپراتور، مسیریابی فرآیند جایگزین و مفاهیم برنامه‌ریزی تولیدی گنجانده شده است [۳۲]. مارال و احمد (۲۰۱۵) فرمول پیوسته جدیدی برای مسئله تولید کارگاهی با راهروهای افقی و عمودی، برای از بین بردن تداخل بین ماشین‌آلات و سلول‌ها توسعه دادند [۳۴]. بالنت و همکاران (۲۰۱۵)، یک روش برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهاد دادند که برای طراحی یک سیستم سلولی لایه‌لایه در محیطی با تقاضای غیرقطعی طراحی شده است [۱۲]. در این تحقیق یک مدل ریاضی توسعه یافته که سلول‌ها را با هدف کمینه‌سازی مقادیر، به اشتراک گذاشته و تخصیص می‌دهد. سوباه و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل برنامه‌ریزی استوار را جهت مقابله با عدم قطعیت تقاضا در سیستم تولید سلولی ارائه دادند که نتایج نشان داد رویکرد بهینه‌سازی استوار باعث بهبود تابع هدف شد. لیان و همکاران (۲۰۱۸) یک سیستم تولید سلولی را مبتنی بر همکاری کارگران چندمنظوره مدل‌سازی کردند و نتیجه گرفتند همکاری کارگران باعث بهره‌وری بیشتر خط تولید خواهد شد. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی برای سیستم تولید سلولی پایدار با رویکرد سناریو-محور ارائه داد که هدف وی حداقل کردن هزینه‌ها بود [۲۸].

۲-۱- آنالیز استواری

مفهوم بهینه‌سازی استوار در پژوهش عملیاتی توسط سویستر در سال ۱۹۷۳ معرفی شد و پس از کار مالوی و همکاران در سال ۱۹۹۵، مدل (تقریباً موجه) و بهینه‌سازی (نزدیک به بهینه) پایداری ارائه شد [۳۵]. بتال و نمیروسکی در سال (۱۹۹۸) یک رویکرد بهینه‌سازی پایدار با پارامترهای نامشخص و برتسیمس و سیم در سال (۲۰۰۳) مدل بهینه‌سازی پایدار را با حفظ ساختارهای خطی و ساختن tractable آن‌ها را ارائه دادند [۱۰] و [۸]. مفهوم پایداری یا استواری در برنامه‌ریزی ریاضی توجه جامعه علمی را به این سمت کشانده و معمولاً تحت عنوان بهینه‌سازی استوار عنوان می‌شود. اصطلاح پایداری در واقع سوق دادن عدم قطعیت در مسئله و یا مدل به سمتی ایمن است که این عدم قطعیت (اطمینان) می‌تواند در اشکال مختلف از جمله داده‌های نامشخص، پارامترهای مبهم مدل و ... ظاهر شود. به این صورت که از بین راه‌حل‌های مختلف بهینه پارتویی پایدارترین آن‌ها در برابر تغییرات به عنوان جواب بهینه مشخص می‌شود [۱۹]. راه‌حل‌های مسائل بهینه‌سازی می‌تواند حساسیت قابل توجهی به نامشخص بودن پارامترهای مسئله و در نتیجه اغلب موجب ارائه یک جواب غیرموجه، یا به‌طور قابل توجهی نزدیک به حالت بهینه و یا هر دو را نشان دهد [۶]. کویلس و یو (۲۰۰۴) در کتاب خود یک بخش را به بیان مفهوم پایداری و بهره‌وری اختصاص داده‌اند. دب و کوپتا در سال ۲۰۰۶





مفهوم پایداری در بهینه‌سازی چندهدفه را با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری معرفی نمودند [۱۵]. لیسو و همکاران در سال (۲۰۰۸-۲۰۰۷) بر روی پایداری در انتخاب پروژه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی تمرکز کردند [۲۹]. وانگ و زیونتس در سال ۲۰۰۶ به ارائه تجزیه و تحلیل پایداری برای سطح گردوغبار به روش تعاملی (AIM) پرداختند [۵۳]. در مقاله‌ی روی در سال ۲۰۱۰ موضوع چندوجهی پایداری را در چارچوب کلی پژوهش عملیاتی مطرح کرده است [۴۲]. وی مدعی است که دغدغه پایداری باید در مورد انتخاب پارامترهای مدل وجود داشته باشد. مفهوم پایداری در بهینه‌سازی چندهدفه نیز توسط فیگور و همکاران در سال ۲۰۰۸ در خصوص بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی مطرح شد [۱۷]. سرانجام، لاهدلم و همکاران در سال ۱۹۹۸ روش (SMAA) (تجزیه و تحلیل و پذیرش تصادفی چندهدفه) را به منظور مقابله با عدم قطعیت در مسائل چند معیاره با جایگزین‌های گسسته معرفی نمودند [۳۱]. (SMAA) می‌تواند به عنوان تجزیه و تحلیل پایداری در روش تصمیم‌گیری چند معیاره در نظر گرفته شود. مالوی و همکاران (۱۹۹۵) یک راه‌حل پایدار را توصیف می‌کند که به اندازه‌گیری راه‌حل‌های بهینه پارتویی پایدار با داشتن منبع عدم قطعیت و تعریف دقیقی از وزن‌ها می‌پردازد [۳۵]. برای این کار یک روش یکپارچه که می‌تواند در مسائل گسسته و پیوسته چندهدفه با استفاده از ترکیب شبیه‌سازی مونت کارلو و بهینه‌سازی استفاده شود، طراحی شده است.

عالمیانی و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیق خود پیشنهاد یک روش ادغام جدید برای تشکیل سلول، زمان‌بندی گروه، تولید و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه (PM) مشکلات برنامه‌ریزی در یک سیستم تولید سلولی پویا (CMS) را ارائه نمودند. زیر مسئله تشکیل سلول با هدف تشکیل خانواده‌های بخشی و گروه‌های ماشین که به حداقل می‌رسد، دست زدن به مواد بین سلول و هزینه‌های جابجایی می‌باشد. جنبه برنامه‌ریزی تولید یک مسئله چند آیتمی اندازه‌گیری زیادی همراه با تصمیمات زیر قراردادی است، در حالی که مشکل زمان‌بندی گروه به تصمیمات مربوط به ترتیب قطعات و زمان تکمیل مربوطه آن‌ها می‌پردازد. هدف از زیر مسئله تعمیر و نگهداری تعیین در دسترس بودن سیستم و زمانی که PM کامل غیر چرخه‌ای باید پیاده‌سازی شود، برای کاهش تعداد اقدامات اصلاحی است [۳]. مویانی و همکاران (۲۰۲۰)، سلامت و ایمنی اپراتورهای انسانی در سیستم‌های تولید به شدت به طراحی سیستم کار کلی مرتبط است. سیستم‌های تولید به خوبی طراحی شده باید کمک هزینه‌های کافی به اپراتورها اعطا کنند تا با تغییرپذیری موقعیت‌های قابل پیش‌بینی، چه عادی و ... کنار بیایند. در این مقاله مفهوم کمک هزینه‌های زمانی از دو نقطه نظر مهندسی صنایع و زمینه پیشگیری از ریسک شغلی ارائه شده است. این امر به دنبال معرفی شاخص کمک هزینه‌های زمانی جدید است؛ و همراه با یک مدل شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، این شاخص می‌تواند برای ارزیابی کمک هزینه‌های زمانی در یک سازمان ارائه شده و در طول فرایند طراحی استفاده گردد [۳۶].



۳- مدل ریاضی تحقیق

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم تحقیق به شرح ذیل می‌باشند:

اندیس‌ها:

m : ماشین‌آلات؛ $m=1,2,\dots,m$

c : سلول‌ها، $c=1,2,\dots,c$

p : قطعات؛ $p=1,2,\dots,p$

w : کارگران؛ $w=1,2,\dots,w$

پارامترها:

برابر یک است، اگر قطعه p به ماشین m تخصیص یابد. V_{pm}

برابر یک است، اگر کارگر w به ماشین m تخصیص یابد. W_{wm}

برابر یک است، اگر کارگر w علاقه‌مند به همکاری با کارگر w' باشد. $LW_{ww'}$

متغیرهای تصمیم:

اگر ماشین به سلول تخصیص یابد، مقدار یک و در غیر این صورت صفر. x_{mc}

اگر قطعه به سلول تخصیص یابد، مقدار یک و در غیر این صورت صفر. s_{pc}

اگر قطعه به سلول تخصیص یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت صفر. y_{wc}

تابع هدف اول ناهم‌جواری سلول‌ها و تابع هدف دوم میزان جابجایی‌ها بین سلول‌ها را کمینه می‌کند. محدودیت (۲) تخصیص منحصر به فرد هر ماشین به یک سلول را بیان می‌کند. محدودیت (۳) تخصیص قطعات به سلول‌ها را محاسبه می‌کند. محدودیت (۴) تخصیص منحصر به فرد کارگران به سلول‌ها و محدودیت (۵) تخصیص کارگران به سلول‌ها را انجام می‌دهد. محدودیت‌های (۶) تا (۹) نیز به تخصیص کارگرانی که مایل به همکاری با یکدیگر هستند، می‌پردازد. در حقیقت اگر دو کارگر مایل باشند با هم همکاری کنند، با توجه به تخصیص ماشین‌آلات مورد استفاده آن‌ها به سلول‌ها و همچنین تخصیص کارگران به سلول‌ها، تصمیم‌گیری در مورد همکاری و یا عدم همکاری آن‌ها از طرف مدل انجام خواهد شد.





$$\text{Min } Z1 = \sum_p \left(\sum_c S_{pc} \sum_m x_{mc} (1 - V_{mp}) \right) \quad (الف) ۱$$

$$\text{Min } Z2 = \sum_p \left(\sum_c S_{pc} - 1 \right) \quad (ب) ۱$$

s. t

$$\sum_c x_{mc} = 1 \quad \forall m \quad (۲)$$

$$\sum_m x_{mc} V_{mp} \leq M S_{pc} \quad \forall p, c \quad (۳)$$

$$\sum_c y_{wc} = 1 \quad \forall w \quad (۴)$$

$$x_{mc} \leq \sum_w y_{wc} W_{wm} \quad \forall m, c \quad (۵)$$

$$y_{wc} + y_{w'c} - 1 \leq \left(\sum_r y_{rc} L W_{rw} \right) + M L W_{ww'} \quad \forall w \neq w', c \quad (۶)$$

$$y_{wc} + y_{w'c} - 1 \leq \left(\sum_r y_{rc} L W_{rw} \right) + M L W_{ww'} \quad \forall w \neq w', c \quad (۷)$$

$$L W_{ww'} + y_{wc} + y_{w'c} - 2 \leq \left(\sum_r y_{rc} L W_{rw} \right) \quad \forall w \neq w', c \quad (۸)$$

$$L W_{ww'} + y_{wc} + y_{w'c} - 2 \leq \left(\sum_r y_{rc} L W_{rw} \right) \quad \forall w \neq w', c \quad (۹)$$

$$x_{mc}, S_{pc} \in \{0,1\} \quad (۱۰)$$

۴- حل مدل ریاضی و تجزیه و تحلیل استواری

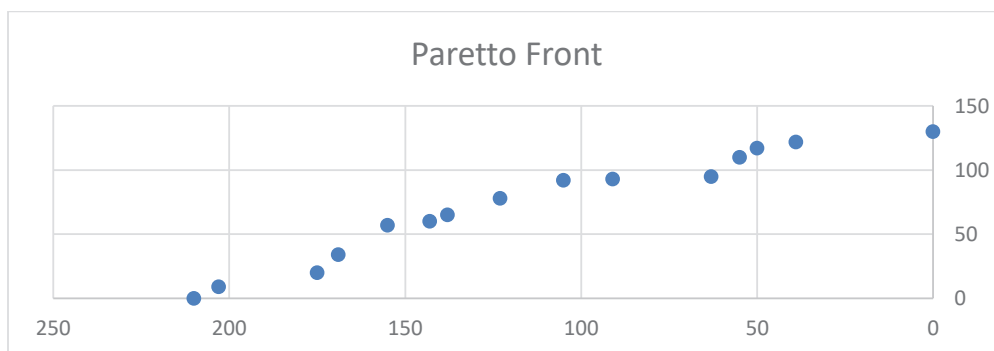
استواری و ناتوانی هر تصمیم را در قالب آینده‌های مختلف ارزیابی کنیم، بهتر است به‌جای استفاده از چند سناریوی محدود که به دلیل محدودیت ظرفیت انسانی درباره آن توافق شده است [۱۹] از راهکاری استفاده کنیم که قادر به



تولید تعداد بیشتری از سناریوها (در زمانی کوتاه) باشد. راهکار مورد استفاده در این در این تحقیق برای آنالیز ابتدا با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه یک راه‌حل بهینه پارتویی (POS) به‌عنوان ارجح‌ترین راه‌حل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این راه‌حل را به‌عنوان یک (POS^*) در نظر می‌گیریم. هدف از روش ارائه شده، ارزیابی پایداری مجموعه پارتویی (POS) به‌دست‌آمده در یک مسئله CMS است، در حالی که با عدم قطعیت در مقدار پارامترها روبه‌رو هستیم. حدود تغییر در پارامترهای مدل با یک مقدار کوچک α بیان‌شده که درصد اختلاف از هر پارامتر را نشان می‌دهد. مقدار α توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود و فاصله آن از مقدار اصلی که وزن مرجع نام دارد با نماد w_p^* نشان داده می‌شود (p شاخص تابع هدف است). این فاصله‌ها توسط پارامترهای هم‌سایگی α که در واقع در صدی از وزن اولیه هستند، تعریف می‌شود. به‌عنوان مثال یک متوسط هم‌سایگی ۱۰٪ که متناظر با وزن‌های (w_p^*) است، در فاصله $[w \times (1 - 0.1), w \times (1 + 0.1)]$ می‌تواند قرار بگیرد. به‌منظور بررسی بهتر مقدار α ، تصمیم‌گیرنده این فواصل وزنی را با استفاده از تعدادی نقطه تحت عنوان G (معمولاً G مجموعه‌ای بین ۵ تا ۱۰ است) تقسیم می‌کند. هر چقدر تعداد نقاط شبکه G بیشتر باشد، دقت در ارزیابی پایداری و همچنین زمان محاسبات افزایش می‌یابد. با شروع از وزن مرجع w_p^* به‌تدریج وزن هم‌سایگی گسترش می‌یابد. اگر G نقطه در شبکه وجود داشته باشد، کل فرآیند بعد از G مرحله پایان می‌یابد. هنگامی که به G امین نقطه شبکه می‌رسیم، فاصله وزنی به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود.

$$[W_p^* \times (1 - g/G \times a), W_p^* \times (1 + g/G \times a)]$$

که در آن w_p^* ، وزن مرجع برای تابع هدف p است و a پارامتر هم‌سایگی به معنای در صدی از وزن مرجع است که مرز هم‌سایگی اطراف وزن را مشخص می‌کند. ابتدا مدل CMS را توسط نرم‌افزار GAMS حل نموده و جواب‌های پارتویی مربوطه را استخراج می‌کنیم، جبهه پارتویی تولیدشده در شکل (۱) ترسیم شده است:



شکل ۱- نقاط پارتویی تولیدشده توسط نرم‌افزار GAMS





۱-۴- ارزیابی پایداری

برای هر نقطه شبکه (g) یک شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور تولید وزن‌هایی از فواصل متناظر با استفاده از یک توزیع یکنواخت اعمال می‌شود. پس از آن یک بردار یکنواخت با توزیع نرمال شده وزن‌ها تولید شده است، وزن‌ها در برابر مرزهای خود آزمون گردیده است. اگر هر کدام از آن‌ها در فاصله تعیین شده قرار نگیرد، کل مجموعه را رد کرده و وزن تولید شده تکرار می‌شود (کومار، ۱۹۹۰). نتایج حاصل از بهینه‌سازی (یعنی مقادیر تابع هدف و مقدار متغیرهای تصمیم‌گیری) ذخیره می‌شود و ما به تکرار بعدی مونت کارلو ادامه خواهیم داد. N تکرار مونت کارلو را تمام می‌کنیم و به مجموعه‌ای از N راه‌حل‌های بهینه پارتویی تحت عنوان S_g دست می‌یابیم. پس از آن به تعداد چند بار اعضای مجموعه S_g را که جواب بهینه پارتویی وزن مرجع مربوط به w_p^* است، تولید می‌شود. به عبارتی فرکانس هر کدام از جواب‌ها محاسبه می‌شود. این فرکانس نشانه‌ای از پایداری راه‌حل ارجح‌تر با توجه به انحراف^۳ کوچکی در وزن آن است. همان‌طور که ما به سمت نقاط بعدی شبکه حرکت می‌کنیم، در واقع فاصله وزنی نمونه‌گیری تصادفی گسترش می‌یابد. بنابراین ما انتظار داریم همان‌طور که به سمت فاصله‌های عریض‌تر حرکت می‌کنیم، فرکانس POS^* کمتر شود. به منظور اندازه‌گیری درجه پایداری با توجه به این کاهش، شاخصی را معرفی می‌کنیم که شاخص پایداری (RI) است که به صورت زیر معرفی می‌شود: فرکانس POS^* را در میان راه‌حل‌های به دست آمده از شبیه‌سازی مونت کارلو برای نقاط g از شبکه محاسبه می‌کنیم. رسم نمودار فرکانس را نشان می‌دهیم، که مختصات هر نقطه λ_g بوده و فرکانس POS^* در مجموعه راه‌حل‌های S_g و فاصله نمونه‌برداری w_p^* قرار دارد. این تابع قطعاً یک تابع نزولی بوده و نمودار استواری نامیده می‌شود. از نمودار پایداری می‌توانیم شاخص پایداری را به عنوان یک معیار برای اندازه‌گیری پایداری POS خاص محاسبه کنیم. شاخص پایداری از طریق مساحت زیر منحنی پایداری تولید شده توسط نقاط λ_g تقسیم بر کل ناحیه پایداری به دست می‌آید. به طوری که برای تمامی بازه‌ها فرکانس برابر صد در صد باقی بماند. فرمول محاسبه شاخص پایداری به شرح زیر است:

$$RI = \frac{\frac{1}{2} + \sum_{g=1}^G \lambda_g + \frac{\lambda_G}{2}}{G}$$

شاخص پایداری می‌تواند از انتگرال تابعی که بیانگر فرکانس POS^* در ارتباط با عرض فاصله نمونه x (کمتر مساوی a است) تقسیم بر حداکثر پایداری باشد ($a \times 100\%$) به دست آید. به عبارت دیگر، تابع $f_q(x)$ که بیانگر فرکانس POS^* یک تابع x است، حدود انتگرال a تا 0 می‌باشد و به منظور ارائه شاخص پایداری POS^* به صورت زیر بیان می‌شود:

$$RI = \frac{\int_0^a f_q(x) dx}{a}$$



۴-۲- اطلاعات پایداری و پشتیبانی تصمیم‌گیری

اطلاعات پایداری جبهه پارتویی برای تصمیم‌گیرنده ضروری است. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید، بهینه‌سازی چندهدفه ترکیبی دو جنبه مهم دارد: بهینه‌سازی و پشتیبانی تصمیم‌گیری. تصمیم‌گیرنده به بررسی راه‌حل‌های کاندیدا به‌عنوان مثال *POS*ها می‌پردازد و انتخاب خود را بر اساس ترجیح بیشتر انتخاب می‌کند. پایداری *POS* اطلاعات اضافی را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد و عملکرد خوبی را از خود نشان می‌دهد. هنگامی که پایداری مورد غفلت قرار گیرد، تصمیم‌گیرنده ممکن است برای تصمیم‌گیری حساسیتی نسبت به تغییرات کوچک در فرضیات اولیه پیدا کند. *RI* شاخص اندازه‌گیری پایداری است که برای مقایسه *POS**های مختلف روی مقدار پایداری آن‌ها به ازای تغییر کوچکی در وزن پارامترها استفاده می‌شود. هرچه *RI* بیشتر باشد، پایداری متناظر با *POS** بیشتر می‌شود. بیان این نکته حائز اهمیت است که محاسبات نسبت به تعداد توابع هدف غیر حساس است. این موضوع می‌تواند بیانگر این باشد که ما با خاصیت عددی توابع هدف کار داریم که منجر به یک راه‌حل برای مسائل تک هدفه می‌شود.

۴-۳- نحوه اجرای الگوریتم

امروزه الگوریتم‌های جدید و مؤثر بهینه‌سازی، همراه با افزایش قدرت محاسباتی، ما را به حل دقیق (با شناسایی تمام *POS*ها) برای مسائل پیچیده‌تر کمک می‌کند. برای تجسم پایداری جبهه پارتویی ما به دو یا سه هدف محدود می‌شویم. (که در واقع اکثریت قریب به اتفاق مسائل بهینه‌سازی چندهدفه این‌گونه هستند) تعداد متغیرهای باینری به چند درصد محدود شده است، به‌منظور به دست آوردن نتایج از شبیه‌سازی مونت‌کارلو، شبیه‌سازی بهینه‌سازی در زمان مناسب صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال اگر یک مسئله *CMS* که مربوط به مسئله مرجع است، دقیقاً در ۷ ثانیه حل شود، برای ۱۰۰۰ بار تکرار در ۱۰ بازه مختلف، به ۳۳ ساعت زمان نیاز دارد. لازم به ذکر است که اگر تعداد توابع هدف و متغیرهای تصمیم‌گیری افزایش یابد، نتیجه‌گیری در برابر استواری جبهه پارتو با مشکل مواجه می‌شود. زیرا که تعداد زیادی از *POS*های تولیدشده، در طول فرآیند شبیه‌سازی مونت‌کارلو و شاخص پایداری *POS* مرجع به صفر همگرا است. به همین دلیل استفاده از روش ارائه‌شده در مسائل بزرگ مشکل و گاهی غیرممکن است. شبه کد الگوریتم بیان‌شده به شکل زیر است:

ابعاد مسئله (قطعه-ماشین)	تابع هدف گمز
۳*۳	۲۲
۴*۴	۲۵
۸*۲۰	۴۲
۱۲*۲۰	۶۲
25*50	۱۵۴
30*45	۱۹۰





همان‌طور که در جدول بالا قابل مشاهده است نرم‌افزار گمز در ابعاد بالا نیز توانسته است مسئله را مورد حل قرار دهد و با افزایش بعد مسئله پیچیدگی مسئله بالا نرفته است و به همین منظور در این تحقیق استفاده از آنالیز استواری در نرم‌افزار گمز کافی می‌باشد. اما برای تعداد تکرار بالا باید از الگوریتمی که در زیر گفته شده است استفاده شود.

گوریتم

۱. شروع
۲. پارامتر a را مشخص کنید.
۳. تعداد زیر بازه‌ها را مشخص کنید.
۴. پارامتر وزن اهداف را در بازه موردنظر مقداردهی کنید.
۵. مسئله را حل کرده و پاسخ را در مجموعه مربوطه به زیر بازه موردنظر ذخیره نمایید.
۶. به تعداد دفعات مشخص شده برای شبیه‌سازی مونت کارلو، گام‌های ۵ را تکرار کنید.
۷. متغیر λ_g را محاسبه کنید.
۸. به مقدار زیر بازه یک واحد اضافه کرده و به گام ۵ بروید.
۹. نمودار استوای برای پاسخ‌ها را رسم نمایید.
۱۰. میزان استواری پاسخ‌ها را محاسبه نمایید.

۴-۴- مطالعه موردی شرکت امرسان

در این بخش به منظور اعتبار سنجی و اطمینان از صحت مدل ارائه شده به ارائه مطالعه موردی در شرکت امرسان مطابق با شرایط دنیای واقعی پرداخته می‌شود. این شرکت در خط تولید یخچال دارای ۸ ماشین تولیدی و ۱۲ کارگر است. این کارخانه ۲۰ نوع قطعه مختلف را تولید می‌کند. با توجه به نظر سنجی‌های انجام شده از کارگران موجود در سیستم، میزان علاقه‌مندی کارگران به انجام کار گروهی با یکدیگر مشخص شده است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، ابتدا مدل *CMS* توسط نرم‌افزار *GAMS* حل شده و جواب‌های پارتویی مربوطه استخراج می‌شود. این مثال بر روی سیستمی با *RAM: 4GB* و به کمک پردازنده *Core 5i* با قدرت پردازندگی *3.2GHz* حل شده است. مدت زمان مورد نیاز برای یک بار حل دقیق مسئله حدود ۷ ثانیه است. با توجه به ساختار الگوریتم که در بخش قبل توضیح داده شد، اجرای کل الگوریتم بیش از ۴۰ ساعت به طول انجامید. برخی از پارامترهای مورد استفاده در حل مسئله در زیر آورده شده است.



جدول ۱ - ماتریس قطعه - ماشین مربوط به مثال عددی

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}
m_1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
m_2	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
m_3	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
m_4	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
m_5	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
m_6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
m_7	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
m_8	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0

جدول ۲ - ماتریس کارگر - ماشین مربوط به مثال عددی

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}
W_1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
W_2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
W_3	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
W_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
W_5	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
W_6	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
W_7	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
W_8	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
W_9	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
W_{10}	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
W_{11}	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
W_{12}	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0

علاقه‌مندی کارگران جهت انجام همکاری با یکدیگر نیز مطابق جدول (۳) زیر است.

جدول ۳ - علاقه‌مندی کارگران جهت انجام کار گروهی

	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9	W_{10}	W_{11}	W_{12}
W_1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
W_2	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
W_3	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
W_4	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
W_5	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
W_6	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
W_7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
W_8	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
W_9	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
W_{10}	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
W_{11}	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1
W_{12}	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1

مشاهده می‌شود که ماتریس فوق می‌تواند به شکل غیرمستقیم نیز ارائه گردد. در حقیقت علاقه‌مندی کارگران جهت انجام همکاری با یکدیگر ساختاری نامستقیم داشته و کاملاً یک‌طرفه است. پس از حل مسئله به کمک نرم‌افزار Cplex، نتایج به صورت زیر حاصل می‌گردد. شایان‌ذکر است که اکنون تنها نتایج یکبار اجرا به منظور بررسی صحت عملکرد مدل بررسی می‌شود. ساختار کلی سیستم به صورت شکل (۱) است:





مشاهده می‌شود که در سلول‌های ۱ و ۳ که تعداد ماشین‌آلات بیشتری وجود دارد، کارگران بیشتری نیز حضور دارند. این تخصیص بر اساس توانایی و علاقه‌مندی کارگران جهت انجام همکاری با یکدیگر انجام‌های حاصله از حل مدل و پارامترهای موجود تخصیص قطعه - ماشین را مطابق با روش زیر به دست آورد. جهت انجام تخصیص قطعات به ماشین‌آلات، می‌توان با توجه به پاسخ‌های حاصله از حل مدل و پارامترهای موجود، تخصیص قطعه - ماشین را مطابق با روش زیر به دست آورد.

۵-۴- روش تخصیص قطعه به ماشین

یک قطعه ممکن است به چندین سلول انتقال یابد و مدل ریاضی آن قطعه را به تمامی سلول‌ها تخصیص نمی‌دهد. شناسایی یک قطعه توسط خانواده تخصیص‌یافته به آن برای برنامه‌ریزی طرح تولید و کنترل تولید لازم است. در این پژوهش، پس از تخصیص مناسب ماشین‌آلات به سلول‌ها، تخصیص قطعات به سلول‌ها صورت می‌پذیرد. از آنجا که نحوه تخصیص قطعات در مقدار تابع هدف تأثیری ندارد، بنابراین جهت انجام این تخصیص از الگوریتمی بر طبق گام‌های زیر استفاده می‌شود. همچنین کیفیت پاسخ‌های حاصله به کمک گروه‌بندی مؤثر (Grouping efficacy) محاسبه می‌شود که در ادامه نحوه محاسبه آن بیان می‌گردد. اما گام‌های الگوریتم ابتکاری برای تخصیص قطعات به قرار زیر است: ۱- ابتدا یک قطعه به سلولی که بیشترین عملیات موردنظر برای قطعه در آن صورت گرفته است، تخصیص می‌یابد. ۲- اگر مانعی برای این تخصیص وجود داشت، به سلولی تخصیص می‌یابد که کمترین میزان ناهمجواری را دارا باشد. ۳- اگر بازهم مانعی برای تخصیص وجود داشت، به سلولی تخصیص می‌یابد که هر دو گام بالا رعایت گردد.

۶-۴- محاسبه کیفیت پاسخ‌ها

پس از تخصیص قطعات به سلول‌ها می‌توان کیفیت پاسخ‌های تولیدی را جهت مقایسه دو پاسخ مشابه، یا مقایسه دو یا

$$GE = \frac{(m-e)}{(m+v)}$$

چند پاسخ خاص، محاسبه نمود. برای محاسبه میزان کیفیت فرمول زیر طراحی شده است.

که در آن m برابر است با تعداد کل‌های ۱ های موجود در ماتریس قطعه - ماشین ورودی

e برابر است با تعداد ۱ های موجود در داخل بلوک‌ها (همان سلول‌های فعال)

v برابر است با تعداد صفرهای موجود در داخل بلوک‌ها



جدول ۴- تخصیص نهایی قطعه - ماشین

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}
m_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
m_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
m_3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
m_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
m_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
m_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
m_7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
m_8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1

عدد تولیدشده بین ۰ و ۱ خواهد بود و هرچه این عدد به ۱ نزدیکتر باشد، کیفیت پاسخ تولیدشده بیشتر است. تخصیص قطعات به ماشین آلات نیز مطابق جدول (۴) است.

میزان کارایی تخصیصات مطابق روش مذکور برابر با ۰,۷۲ است. پس از حل مسئله با Cplex که در حال حاضر از قدرتمندترین ابزار حل مسائل عدد صحیح مختلط است، پاسخها استخراج و در نهایت جبهه پارتویی تولید می شود که در بالا یکی از نقاط پاسخ به طور کامل تحلیل شد. سپس بر طبق شبه کد بیان شده در قسمت روش حل، استواری هر نقطه محاسبه می گردد. مسئله مدنظر برای ۲۰ مقدار متفاوت δ حل شده است. تعداد زیر بازه ها برای مسئله ۱۱ در نظر گرفته شده و تعداد دفعات شبیه سازی مونته کارلو برای هر زیر بازه برابر ۱۲۰۰ است. نتایج حاصل از محاسبه λ_g در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۵- درصد تکرار جواب اولیه در هر بازه توسط شبیه سازی مونته کارلو

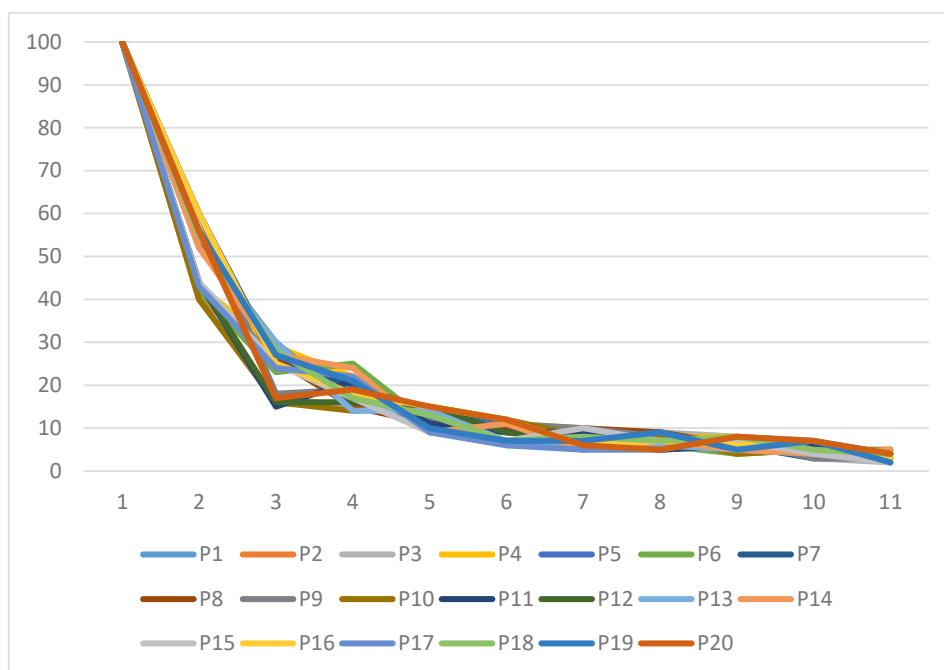
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
41	40	40	43	53	42	60	55	60	40	44	44	52	52	44	60	43	55	56	56
28	27	17	29	30	23	26	26	18	16	15	16	30	27	25	25	24	28	27	17
18	22	15	22	15	25	20	15	19	14	21	16	14	24	17	18	22	17	21	19
14	9	12	10	12	11	14	11	10	15	11	15	14	9	9	15	9	13	10	15
6	7	11	11	11	9	12	10	11	12	9	9	7	11	7	12	6	7	7	12
6	9	5	10	7	9	7	10	10	8	9	7	6	5	10	6	5	8	7	6
6	9	9	8	5	6	5	9	8	8	5	7	6	7	7	7	5	7	9	5
7	6	8	8	7	4	6	6	7	4	6	5	5	5	7	6	8	8	5	8
3	4	3	6	3	5	3	6	3	5	6	4	4	4	4	7	7	5	7	7
4	4	2	4	3	4	4	3	3	5	2	5	4	5	2	3	4	4	2	4





حال طبق روابط گفته شده برای محاسبه استواری پاسخ‌ها، میزان استواری هر نقطه را به دست آورده و در مورد پایدارترین نقطه در مقابل تغییرات اطلاعات لازم را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهیم، نمودار استواری پاسخ‌ها به شکل زیر است.

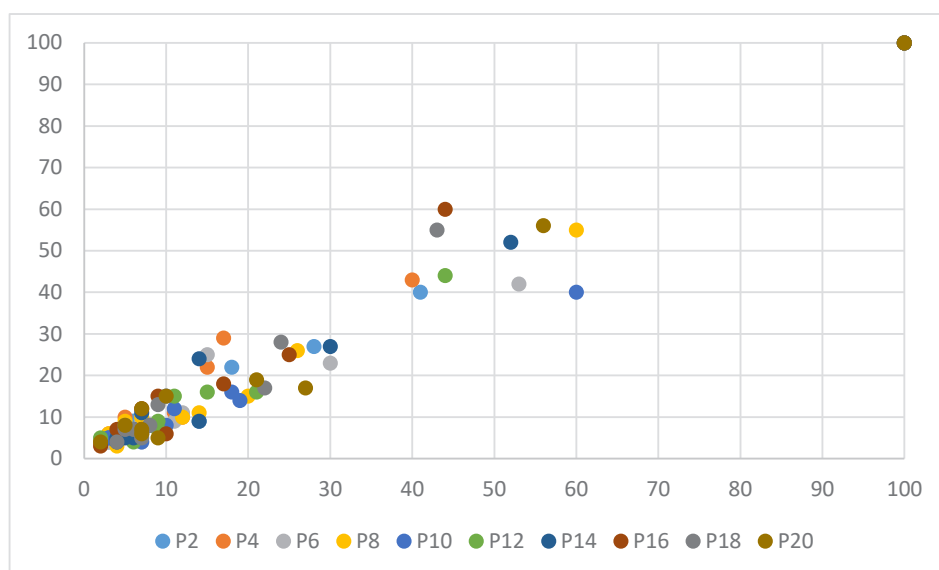
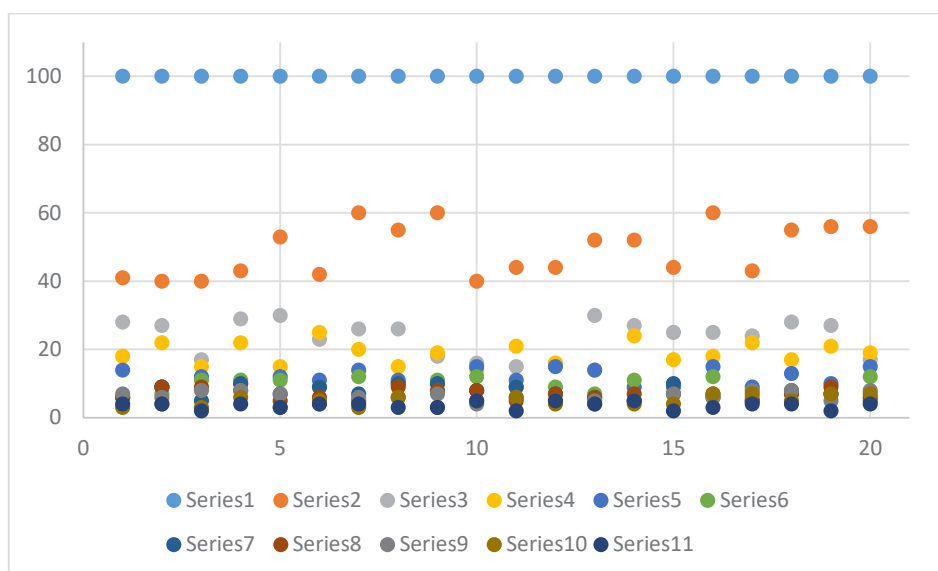
مساحت زیر نمودارها مقدار بیشتری نسبت به سایرین دارد. این موضوع مطابق محاسبات روش بیان‌شده نقاط با پایداری بیشتر هستند و به تصمیم‌گیرندگان پیشنهاد می‌شود بر روی این نقاط تمرکز و تحقیق بیشتری نسبت به سایر نقاط داشته باشند. در یک نمای کلی می‌توان تمامی نمودارها را در نمودار زیر مشاهده کرد و مقایسه بهتری انجام داد.



شکل ۲: مقایسه‌ی پایداری نقاط جبهه پارتویی

از لحاظ پراکندگی پاسخ‌های حاصله طی تکرارهای متوالی می‌توان طبق نمودار زیر مشاهده کرد که در نقاط نزدیک به صفر نمودار؛ یعنی نقاطی که تعداد دفعات تکرار پاسخ دقیق مسئله در آن کم بوده است،

تراکم بیشتری وجود دارد. این مسئله بیان می‌کند که هرچه قدر پاسخ‌ها به نقاط ابتدا و انتهای بازه‌ها نزدیک‌تر می‌شوند، احتمال وجود پاسخ دقیق مسئله کمتر می‌شود. این موضوع در نمودارهای زیر به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۳: بهینه پارتو

میزان استواری پاسخ‌ها نیز مطابق جدول زیر بیان می‌شود. این مقدار بیانگر نسبت مساحت زیر نمودار به کل مساحت است. هرچقدر این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، پایداری آن نقطه بیشتر است.





جدول 6: پایداری پاسخ‌های حاصله

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
RI	0.5174	0.5602	0.4592	0.519	0.421	0.4981	0.4096	0.5928	0.5841	0.5066	0.5089	0.4807	0.5757	0.4571	0.5375	0.4845	0.4889	0.4396	0.5331	0.4057

مشاهده می‌شود که پاسخ P8 دارای بیشترین پایداری بوده و به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌شود که این نقطه را انتخاب نماید.

5- نتیجه‌گیری

امروزه تمامی مراکز تولیدی بزرگ از سیستم تولید سلولی بهره می‌برند، همچنین در این سیستم به‌طور توأمان از مزایای تکنولوژی گروهی استفاده می‌شود. به‌منظور طراحی سیستم مبتنی بر تولید سلولی به‌طور مؤثر و کارآمد به کمک مدل سازی ریاضی، معمولاً به بیش از یک تابع هدف نیاز است. درواقع مسائل چندهدفه به‌طور گسترده در این حوزه طراحی و استفاده شده‌اند؛ اما برای مسائل چندهدفه به‌جای یک نقطه بهینه، مجموعه‌ای از پاسخ‌ها تحت عنوان جبهه پارتویی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد. مشخصاً برای استفاده از نتایج مدل در مسئله دنیای واقعی باید تنها یک نقطه از جبهه پارتو جهت پیاده سازی در سیستم انتخاب گردد. این انتخاب توسط تصمیم‌گیرنده و براساس اهداف موجود در مدل ریاضی صورت می‌پذیرد. درحقیقت تصمیم‌گیرنده تنها با توجه به اهداف موجود در مدل اقدام به انتخاب پاسخ نهایی می‌کند. اما علاوه بر این اهداف بهتر است به معیارهای دیگری جهت انتخاب پاسخ نهایی توجه شود. یکی از معیارهای مهم میزان استواری پاسخ‌های تولیدی در مقابل تغییرات پارامترهای مسئله است. در این مقاله پس از طراحی مدلی ریاضی دوهدفه به‌منظور تشکیل سیستم تولید سلولی، به کمک آنالیز پایداری به بررسی و تجزیه و تحلیل پاسخ‌های پارتویی پرداخته گردید. در مدل حاضر اهداف عبارت‌اند از کمینه کردن ناهمجواری و جابجایی‌های بین سلولی قطعات. این اهداف علاوه بر تخصیص مناسب ماشین‌آلات به سلول‌ها، باعث می‌شود ویژگی تکنولوژی گروهی به‌طور مؤثر از طریق مفهوم ناهمجواری در سیستم لحاظ گردد. همچنین با توجه به ساختار مسئله و پارامترهای ورودی، کارگران طوری به سلول‌ها تخصیص می‌یابند که بیشترین میزان امکان همکاری بین کارگران وجود



داشته باشد. چرا که بالا بودن امکان همکاری بین کارکنان جهت انجام امور، باعث کاهش زمان تولید و متناسب با آن کاهش

هزینه‌های تولید می‌شود. در نهایت به منظور ارزیابی پاسخ‌های جبهه پارتویی از تکنیک آنالیز رباست با در نظر گرفتن تغییرات بازه‌ای پارامتر اهمیت میزان ناهمجواری در مقابل جابجایی‌های بین سلولی، بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است. در واقع پارامتر اهمیت ناهمجواری در بازه‌ای مشخص دچار تغییرات شده که این تغییرات به تعداد زیر بازه‌هایی مشخص تقسیم می‌گردد. برای هر زیر بازه به تعداد مشخص شبیه‌سازی مونت کارلو صورت گرفته و مسئله حل می‌گردد. در نهایت از طریق روابط بیان شده در قسمت بیان مسئله، میزان استواری پاسخ‌ها محاسبه شده و در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد. جهت ارزیابی و بررسی کارایی مدل و الگوریتم ارائه شده، در قسمت مطالعه موردی پرداخته شده و نتایج ارائه شده است. از آنجا که با توجه به زمان‌بر بودن اجرای الگوریتم، استفاده از آن عملاً برای مسائل با ابعاد بزرگ امکان‌پذیر نیست، لذا به عنوان پیشنهاد برای انجام تحقیقات آتی، می‌توان به بررسی آنالیز پایداری پاسخ‌ها به کمک الگوریتم‌های فرا ابتکاری و ارائه راه حل مناسب برای اطمینان حاصل کردن از مناسب بودن پاسخ‌ها پرداخت. همچنین پیشنهاد می‌شود برای انتخاب مناسب‌تر پاسخی نهایی توسط تصمیم‌گیرنده، معیارهای دیگری ارائه گردد.

۶- منابع و مآخذ:

- [1] Adenzo-Diaz B, Lozano S. (2008). A model for the design of dedicated manufacturing cells. *Int J Prod Res* 46(2), 301–319.
- [2] Adenso-Diaz, B., Lozano, S., Racero, J., and Guerrero, F. (2001). Machine cell formation in generalized group technology. *Computers and Industrial engineering*, 41(3), 227–240.
- [3] Alimani, Mahyar. Ghezavati, Vahidreza. Tavakolmoghadam, Reza. (2020). New integration of preventive maintenance and production planning with cell formation and group scheduling for dynamic cellular manufacturing systems. *Journal of manufacturing systems*, 56, 341–358.
- [4] Ang, C. L., & Willey, P. C. T. (1984). A comparative study of the performance of pure and hybrid group technology manufacturing systems using computer simulation techniques. *International Journal of Production Research*, 22(2), 193–233.
- [5] Askin, R.G. and Estrada, S. (1999). Investigation of cellular manufacturing practices”, in Irani, S.A. (Ed.): *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*. John Wiley, New York, 6(4), 25–34.
- [6] Bertsimas, D., Brown, D. B., & Caramanis, C. (2011). Theory and applications of robust optimization. *SIAM Review*, 53(3), 464–501.
- [7] Bertsimas, D., Sim, M. (2004). The Price of Robustness. *Operations research*, 52(1), 35–53.
- [8] Bertsimas, D., & Sim, M. (2003). Robust discrete optimization and network flows. *Mathematical Programming Series B*, 98(3), 49–71.
- [9] Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations Research*, 52(1), 35–53.





- [10] Ben-Tal, A., & Nemirovski, A.(1998).Robust convex optimization. *Mathematics of Operations Research*, 23(4), 769–805.
- [11] Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (2000). Robust solutions of linear programming problems containing uncertain data. *Mathematical Programming*, 88(4), 411–424.
- [12] Bulent Erenay, Gursel A. Suer, Jing Huang, Sripathi Maddisetty.(2015).Comparison of layer manufacturing system design approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 85(14) , 346–358.
- [13] Chin-Chih Chang, Tai-Hsi Wub, Chien-Wei Wuc.(2013).An efficient approach to determine cell formation layout and intracellular machine sequence in cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 66(3) , 438–450.
- [14] C.R. Shiyas, V. Madhusudanan Pillai.(2014). A mathematical programming model for manufacturing system configuration to develop multiple configurations. *Journal of Manufacturing Systems*, 33 , 149– 158.
- [15] Deb, K., & Gupta, H. (2006).Introducing robustness in multi-objective optimization.*Evolutionary Computation*, 14(4), 463–494.
- [16] Douglas Jose' Alem, Reinaldo Morabito,(2012).Production planning in furniture settings via robust optimization. *Computers & Operations Research*, 6(2), 139–150.
- [17] Figueira, J. R., Greco, S., Mousseau, V., & Slowinski, R. (2008).Interactive multi objective optimization of a set of additive value functions. In J. Branke et al. (Eds.), *LNCS* ,52(52), 97–119.
- [18] Gokhan Egilmeza, Bulent Erenayb, Gursel A. Suer.(2014).Stochastic skill-based manpower allocation in a cellular manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*,23(2),115-119.
- [19] George Mavrotas, Olena Pechak, Eleftherios Siskos, Haris Doukas, John Psarras.(2015).Robustness analysis of Multi-Objective Mathematical Programming using Monte Carlo simulation. *European Journal of Operational Research* 240(11) , 193–201.
- [20] George Mavrotas, José Rui Figueira, Eleftherios Siskos.(2015). Robustness analysis methodology for multi-objective combinatorial optimization problems and application to project selection. *Omega*, 52(15),142–154.
- [21] Kamal Deepa, Pardeep K.(2015).Design of robust cellular manufacturing system for dynamic part manufacturing considering multiple processing routes using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 35(1), 1–11.
- [22] Khaksar-Haghani, Fahimeh,Kia, Reza, Mahdavi,Iraj,Kazemi,Mohammad.(2013).A genetic algorithm for a multi-floor layout design model of a cellular manufacturing system with alternative process routings and machine configuration.*International Journal Advanced Manufacturing Technology* , 66(2),845–865.
- [23] Kumar KR, Chandrasekharan MP.(1990).Grouping efficacy: a quantitative criterion for goodness of diagonal forms of binary matrices in group technology. *Int JProd Res* ,28(2),233–43.
- [24] Kouvelis, P., & Yu, G.(1997).Robust discrete optimization and its applications. *Nonconvex-optimization and its applications*. Dordrecht: Kluwer Academic Press,14.
- [25] Kusiak, Chow W. (1987). Efficient solving of the group technology problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 6(2), 117–24.
- [26] Jensen, J.B., Malhotra, M.K., and Philipoom, P.R.(1996).Machine dedication and process flexibility in a manufacturing technology environment. *Journal of Operations Management*, 14(5),19-39.
- [27] Jeon G, Leep HR.(2006).Forming part families by using genetic algorithm and designing machine layout for demand change. *Computers & Operations Research*, 33(3),263–83.



- [28] Lian, J., Liu, C., Li, W., & Yin, Y. (2018). A multi-skilled worker assignment problem in seru production systems considering the worker heterogeneity. *Computers & Industrial Engineering*, 118(6), 366-382.
- [29] Liesio, J., Mild, P., & Salo, A. (2007). Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 181(5), 1488-1505.
- [30] Liesio, J., Mild, P., & Salo, A. (2008). Robust portfolio modeling with incomplete cost information and project interdependencies. *European Journal of Operational Research*, 190(11), 679-695.
- [31] Lahdelma, R., Hokkanen, J., & Salminen, P. (1998). SMAA – Stochastic multiobjective acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 106, 137-143.
- [32] Sakhaei, R., Tavakkoli-Moghaddam, M., Bagheri, B., & Vatani, B. (2015). A robust optimization approach for an integrated dynamic cellular manufacturing system and production planning with unreliable machines. *Applied Mathematical Modelling*, 9(3), 201-230.
- [33] Mahdavi, Iraj, Javadi, Babak, Fallah-Alipour, Kaveh, Jannes Slomp. (2007). Designing a new mathematical model for cellular manufacturing system based on cell utilization. *Applied Mathematics and Computation*, 190(20), 662-670.
- [34] Maral Zafar Allahyaria, Ahmed Azabb. (2015). A Novel Bi-level Continuous Formulation for the Cellular Manufacturing System Facility Layout Problem. *Procedia CIRP*, 33, 87 – 92.
- [35] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of largescale systems. *Operations Research*, 43(2), 264-281.
- [36] Mouayni, El, L., Etienne, A., Lux, A., Siadat, A., Dantan. (2020). A simulation-based approach for time allowances assessment during production system design with consideration of worker's fatigue, learning and reliability. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 148-167.
- [37] Nouri H, Tang SH, Hang Tuah BT, Anuar MK.. (2010). BASE: a bacteria foraging algorithm for cell formation with sequence data. *Journal Manufacturing Systems*, 29(3), 102-110.
- [38] Irani SA. (1999). Handbook of cellular manufacturing systems. New York: John Wiley & Sons.
- [39] Pitombeira Neto AR, Goncalves Filho EV. (2010). A simulation-based evolutionary multi objective approach to manufacturing cell formation. *Computer Ind Eng*, 59(1), 64-74.
- [40] Raflei H, Ghodsi R. (2008). A bi-objective mathematical model toward dynamic cell formation considering labor utilization. *Applied Math Modell*, 37(4), 2308-16.
- [41] Roland, J., De Smet, Y., & Figueira, J. R. (2012). On the calculation of stability radius for multi-objective combinatorial optimization problems by inverse optimization. 4(10), 379-389.
- [42] Roy, B. (2010). Robustness in operational research and decision aiding: A multifaceted issue. *European Journal of Operational Research*, 200(5), 629-638.
- [43] RG Askin, CR Standridge. (1993). *Handbook of Modeling and analysis of manufacturing systems*. Chapter 6, John Wiley, New York, 215-218.
- [44] Satoglu, S. I., & Suresh, N. C. (2009). A goal-programming approach for design of hybrid cellular manufacturing systems in dual resource constrained environments. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2), 560-575.
- [45] Singh, N. (1993). Design of cellular manufacturing systems: an invited review. *European Journal of Operational Research*, 69, 284-291.
- [46] Srinivasan G, Narendran TT, Mahadevan B. (1990). An assignment model for the part-families problem in group technology. *International J Prod Res*, 28(1), 145-52.





- [47] Sharda B, Banerjee A. (2013). Robust manufacturing system design using multi objective genetic algorithms, petri nets Bayesian uncertainty representation. *J Manuf Syst*, 32(5), 315–24.
- [48] Soyster, A. L. (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming. *Operations Research*, 21(5), 1154–1157.
- [49] Suer, G. A., & Ortega, M. (1996). Flexibility considerations in designing manufacturing cells: A case study. In *Group technology and cellular manufacturing - methodologies and applications*. Amsterdam, The Netherlands: Gordon and Breach Science, 9(3), 97-127.
- [50] Suer, G. A., Huang, J., & Sripathi, M. (2010). Design of dedicated, shared and remainder cells in a probabilistic demand environment. *International Journal of Production Research*, 48(19–20), 5613–5646.
- [51] Suresh, N.C., and Slomp, J. (2001). A multi-objective procedure for labour assignment and grouping in capacitated cell formation problems. *International Journal of Production Research*, 39(3), 4103-4131.
- [52] Wemmerlov U, Hyer NL. (1986). Procedures for the part family/ machine group identification problem in cellular manufacture. *Journal Operation Management*, 6(3), 125–147.
- [53] Wang, J., & Zionts, S. (2006). The aspiration level interactive method (AIM) reconsidered: Robustness of solutions. *European Journal of Operational Research*, 175(6), 948–958.
- [54] Wemmerlov, U., and Johnson, D.J. (1997). Cellular manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and Performance Improvements. *International Journal of Production Research*, 35, 29-49.
- [55] Yasuda K, Hu L, Yin Y. (2005). A grouping genetic algorithm for the multi-objective cell formation problem. *Int J Prod Res*, 43(4), 829–53.
- [56] Zhen, L., & Chang, D.-F. (2012). A bi-objective model for robust berth allocation scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, 63(3), 263–272.

مدل ترکیبی جدید بر پایه الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات باهداف بهینه‌سازی زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات

جواد غلامی^{۱*}، سید احمد رضوی آل هاشم^۲، سید عباس صفوی^۳

^۱ پژوهشگر، گروه علمی مهندسی مکانیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

^۲ پژوهشگر، گروه علمی مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

^۳ مربی و پژوهشگر، گروه علمی مهندسی نت و بهینه‌سازی انرژی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۸

چکیده:

با توجه به توسعه صنایع و شرکت‌ها، تعداد و ابعاد ساختمان‌ها و تسهیلات در سازمان‌ها در حال افزایش می‌باشد که این امر موجب افزایش ارزش این دارایی‌ها و همچنین افزایش اهمیت نگهداری و تعمیرات این تسهیلات شده است. از طرف دیگر، با افزایش تعداد دارایی‌ها، فرآیند مدیریت نگهداری و تعمیرات بسیار پیچیده‌تر از گذشته شده است. بدین منظور در این تحقیق مدلی برای زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات، با هدف تعیین زمان بهینه و تعیین برنامه نگهداری و تعمیرات تعریف شده است. بدین منظور در این تحقیق، مدلی جدید از ادغام الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات سازمان‌هایی با چندین مکان مختلف ارائه شده است. نوآوری اصلی این تحقیق عبارت‌اند از: (آ) تعریف مسئله اصلی در مکان‌های چندتایی و تعیین زمان‌های سفر بین هر مکان؛ (ب) تعیین مهارت‌های کاری مختلف برای طرح ریزی نگهداری تعمیرات؛ (پ) تعیین احتمال برون‌سپاری هر فعالیت. همچنین ۱۰ سناریو برای تعداد تسهیلات، ۳ سناریو برای تعداد متخصصان در هر مکان و ۲ سناریو برای انواع هزینه‌ها در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در این تحقیق، در مقایسه با سه مدل مختلف ارائه شده توسط گلیپیرا^۲، کوآی^۳ و جوانمرد عملکرد بهتری داشته و نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند منجر به کاهش ۳۴ درصدی در هزینه‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، زمان‌بندی.

* ایمیل نویسنده مسئول: javadgholami@mecheng.iust.ac.ir

2 Gulpiras
3 Koay





۱- مقدمه

عموماً، تمام شرکت‌ها و سازمان‌ها نیازمند آن هستند تا از تسهیلاتی همچون ساختمان‌ها و املاک در پیاده‌سازی و پشتیبانی کسب‌وکار اصلی‌شان استفاده کنند و اغلب چرخه عمر تسهیل، شامل چند مرحله است که عبارت‌اند از طرح‌ریزی، طراحی، ساخت، عملیات، نگهداری تعمیرات؛ و در این چرخه بیشتر زمان و هزینه توسط مالک صرف مرحله عملیات و نگهداری و تعمیرات تسهیل می‌شود [1]. اما با توجه به کمبود مدل جامع و تکنیک‌هایی برای مدیریت تسهیل و فقدان سیاست‌های کافی نگهداری تعمیرات ساختمان در سازمان، تمامی فعالیت‌های نگهداری تعمیرات با هزینه و تأخیر زمانی بالا انجام می‌شود [2].

امروزه با افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز و با توجه به محدودیت نیروی کار و سرمایه در سازمان‌ها، نقش اقدامات و مدیریت نگهداری و تعمیرات در حفظ تسهیلات و بهبود کارایی عملکرد آن‌ها برای کل تسهیلات از اهمیت بیشتری برخوردار شده است [3]. به‌منظور حفظ کارایی تأسیسات، نگهداری و تعمیرات باید به‌طور جدی موردتوجه قرار گیرد؛ زیرا مدیریت آن نقش اساسی در عملکرد تسهیلات دارد [4].

طبق این اصل، استفاده از مدیریت تسهیلات (FM) می‌تواند بر توانایی سازمان در انجام بهتر فعالیت‌های خود و برآورده کردن کلیه الزامات آن تأثیر بگذارد. اهداف FM فراهم کردن شرایط کاری و محیطی بهتر در سازمان برای دستیابی به هدف اصلی سازمان است [5].

مدیریت تسهیل، عنوانی کلی است که طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها از جمله نظافت، امنیت، ایمنی، نگهداری و تعمیرات، بازرسی، برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات، برنامه‌ریزی تعمیرات، برنامه‌ریزی منابع، فعالیت‌های خرید و ساخت را در برمی‌گیرد [6]. مدیریت تسهیل شامل حوزه‌هایی است که از فعالیت‌های اصلی شرکت از طریق فعالیت‌های کاری کمکی مرتبط با حفظ املاک و ساختمان‌ها پشتیبانی می‌کند. بر اساس تعریف مجمع بین‌المللی مدیریت تسهیلات (IFMA)، مدیریت تسهیل "حرفه‌ای است که شامل نظامی چندتایی باهدف اطمینان یافتن از عملکرد، راحتی، ایمنی و کارایی محیط ساخته شده با ادغام افراد، مکان، فرآیند و فناوری است" [5].

مدیریت تسهیلات (FM) یک رویکرد یکپارچه برای سازمان است که بتواند ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را برای عملیات، نگهداری و تعمیرات، بهبود و تطبیق در راستای اهداف اولیه سازمان، مشاغل، مالکان و مدیران تسهیل پشتیبانی کند [7]. مدیریت تسهیلات (FM) شامل نواحی مختلف است، اما مدیریت نگهداری، تعمیرات و تسهیل (FMM) است که اغلب هزینه‌های ایجاد شده توسط فعالیت‌های مدیریت تسهیل (۸۵٪ - ۶۵٪) را شامل می‌شود. [۸]

بر اساس استاندارد بریتانیایی "۳۸۱۱"، مدیریت تسهیل نگهداری تعمیرات می‌تواند به‌عنوان ترکیبی از هرگونه فعالیت‌هایی که برای حفظ یا بازایی تسهیل به شرایط قابل‌قبول باهدف عملکرد نرمال آن تعریف شود [9].

با توجه به ادبیات موضوع، فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات تسهیل به دو گروه دسته‌بندی می‌شود: (۱) فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی‌شده و (۲) فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی نشده که با خرابی‌ها و توقف‌های اضطراری در ارتباط است. نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی‌شده شامل (۱،۱) نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و روزمره و (۲،۱) نگهداری و تعمیرات اصلاحی و تعمیرات زمان‌بندی‌شده است. نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی نشده، به‌صورت تصادفی است [10]. بر اساس تحقیق دوفال و سلطان (۱۹۹۹) "این عدم قطعیت زمان‌بندی در نگهداری و تعمیرات را با چالش روبرو کرده است [11].



مسئله بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات به سه دسته تقسیم می‌شود: انتخاب استراتژی، طرح‌ریزی نگهداری و تعمیرات و زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات است و توسعه و تجزیه و تحلیل مدل‌های ریاضی را باهدف بهبود یا بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات شامل می‌شود [12]. این تحقیق بر روی زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات متمرکز می‌باشد.

به منظور زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات، چندین مدل و الگوریتم بدین منظور به کار گرفته شدند که به طور کلی این روش‌ها به دو گروه مدل تک هدفه [13] و مدل‌های چند هدفه [14] با تابع هدف مختلف همچون مدل بهینه‌سازی بر مبنای کمینه‌سازی هزینه [15]، مدل مبتنی بر قابلیت اطمینان [13]، حداکثر ایمنی [16]، کمینه‌سازی ریسک خرابی [17]، حداکثر کردن سود [18]، مدل مبنی بر قابلیت نگهداشت [19]، مدل مبتنی بر دسترس‌پذیری [15] تقسیم می‌شوند. برای حل این مسائل از روش‌هایی همچون الگوریتم ژنتیک [20]، بهینه‌سازی ازدحام ذرات [21]، نسخه‌ی دوم الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA II) [22]، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط [10] و شبیه‌سازی مونت کارلو [18] استفاده شده است.

محدودیت‌های اصلی در نظر گرفته شده در ادبیات موضوع برای این مسئله عبارت‌اند از: مالی/هزینه، کارکنان نگهداری و تعمیرات، منابع نگهداری و تعمیرات، زمان انجام نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان، الزامات دسترس‌پذیری سیستم، عمر اجزاء، فاکتور بهبود تعمیر، وزن کلی قطعات، حجم کلی قطعات، فعالیت‌های بازرسی، نرخ خرابی، حدود قطعات، اولویت‌بندی نگهداری و تعمیرات، ارجحیت مشتری، شاخص متوسط زمانی اختلال در سیستم، شاخص متوسط تناوب اختلال در سیستم، اقدامات مربوط به نگهداری و تعمیرات.

بر اساس مرور ادبیات، در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی برای زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات تسهیل برای یک شرکت با تسهیلات مختلف در مکان‌های چندتایی مبنی بر الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات با در نظر گرفتن مهارت‌های کاری مختلف مورد نیاز و امکان برون‌سپاری برای هر فعالیت در مکان مختلف، باهدف پاسخگویی به سؤال اصلی در این تحقیق، اینکه بهترین جریان کار و برنامه زمانی نگهداری و تعمیرات برای کل سال با در نظر گرفتن محدودیت در نیروی انسانی و فرضیات زیر چیست، ارائه شده است.

- شرکت مورد نظر در مکان‌های مختلف با مسافت مشخص قرار دارد.
- کل کار نگهداری و تعمیرات برای هر مکان از پیش تعیین شده است.
- برای انجام کارهای مربوط به نگهداری و تعمیرات، سه مهارت مکانیکی، الکتریکی و نیروی کار معمولی وجود دارد.
- با فرض مصرف شدن قطعات در تمامی مدل‌ها، هزینه خرید قطعات در نظر گرفته نمی‌شود.

نوآوری اصلی این مقاله عبارت است از:

- تعریف مسئله اصلی در مکان‌های چندتایی و در نظر گرفتن زمان‌های سفر بین هر مکان.
- در نظر گرفتن مهارت‌های کاری برای برنامه نگهداری تعمیرات.
- در نظر گرفتن امکان برون‌سپاری هر فعالیت.

با توجه به موارد بالا، بخش‌های دیگر این تحقیق به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند: در بخش ۲، مدل پیشنهادی به صورت ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات توضیح داده می‌شود. در بخش ۳، مدل پیشنهادی برای مطالعه موردی در جهان واقعی در نظر گرفته شده و نتایج آن تفسیر می‌شود. در نهایت، خلاصه و نتیجه‌گیری‌هایی در بخش ۴ ارائه می‌شود.





۲- مبانی نظری

۲-۱- الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم یک الگوریتم ابتکاری برای جستجوی تصادفی است که طبق تکامل زیستی عمل می‌کند. این الگوریتم‌ها با بهره‌گیری از عملیات‌هایی همچون تولید جمعیت اولیه، ارزیابی تناسب، انتخاب، تقاطع و جهش در حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده موفق بوده‌اند.

۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

یک الگوریتمی ابتکاری برای یافتن یک نقطه بهینه کلی از طریق جستجوی مکرر به‌منظور افزایش کیفیت پاسخ‌های کاندید است. این الگوریتم بر اساس گروهی از پرندگان برای یافتن غذا به‌صورت تصادفی در بین فضای پاسخ بنا شده است. هر پرنده یک پاسخ تکی است که در فضای جواب برای یافتن بهترین پاسخ‌ها حرکت می‌کند.

در هر تکرار از این الگوریتم، دو پارامتر به نام pbest (برای هر ذره متفاوت است) و gbest وجود دارد. Pbest بهترین موقعیت مکانی برای هر ذره و gbest بهترین پاسخ در میان تمام ذرات است.

در هر تکرار، ذرات با سرعت مشخص به سمت pbest و gbest حرکت می‌کنند.

۳- روش تحقیق و مدل پیشنهادی

به‌منظور تسهیل در خواندن، نمادهای مربوط به مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم استفاده شده در مدل ریاضی در فرم جدول‌بندی شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مدها در مدل ریاضی

مجموعه‌ها	
$k = \{1, 2, 3\}$	انواع مهارت‌های تخصصی
$n_k = \{1, 2, \dots, n_k\}$	تعداد کارگران در دسترس با K امین نوع تخصص
$N = \{1, 2, \dots, n\}$	مجموعه گره‌های خدمت
$A = \{(i, j) i, j \in N, i \neq j\}$	مجموعه کمان‌ها
پارامترها	
T	دوره برنامه‌ریزی
$t_{k,i}$	زمان لازم برای i امین گره برای k امین نوع تخصص
$t'_{i,j}$	زمان سفر از گره i به گره j
$C_{i,j}$	هزینه سفر از گره i به گره j
C'_k	هزینه استفاده از K امین نوع تخصص
C''_k	هزینه برون‌سپاری K امین نوع تخصص
M	عدد بسیار بزرگ



L_i^{k,n_k}	مکان اول کارگر n_k ام
متغیرهای تصمیم	
X_{ij}^{k,n_k}	1 اگر کارگر n_k ام از گره i به گره j برود و در غیر این صورت 0
$X_{ij}'^{k,n_k}$	1 اگر گره i توسط کارگر n_k دقیقاً قبل از گره j بازدید شود و در غیر این صورت 0
U_i^k	زمان کار برون سپاری بر روی گره i برای تخصص نوع K ام
Z_{ij}	تعداد سفر از گره i به گره j
Y	یک متغیر دودویی برای تمام کارگرانی که انتخاب می شوند.

بر اساس جدول ۱، مدل ریاضی برای بهینه سازی زمان بندی نگهداری و تعمیرات طبق معادلات زیر در نظر گرفته شده است که تابع هدف در آن کمینه سازی هزینه می باشد که خود از سه بخش هزینه کارکنان، هزینه حمل و نقل و هزینه برون سپاری تشکیل شده است.

معادله (۲) زمان صرف شده برای نگهداری و تعمیرات در هر مکان و معادله (۳) برای محدودیت زمان برنامه ریزی شده می باشد. معادلات (۴) و (۵) و (۶) برای محدودیت استفاده از نیروی کار و محدودیت (۷) برای محدودیت اولین مکان برای هر نیروی کار است.

$$\min Z = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n C_k'' U_i^k + \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n C_k' y_i^{k,n_k} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n C_{ij} Z_{ij} \quad (1)$$

$$U_i^k + \sum_{n_k=1}^{n_k} y_i^{k,n_k} \geq t_{k,i} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i^{k,n_k} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij}' X_{ij}^{k,n_k} \leq T \quad \forall n_k \in n_k \quad (3)$$

$$Z_{ij} = \sum_{n_k=1}^{n_k} X_{ij}^{k,n_k} \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

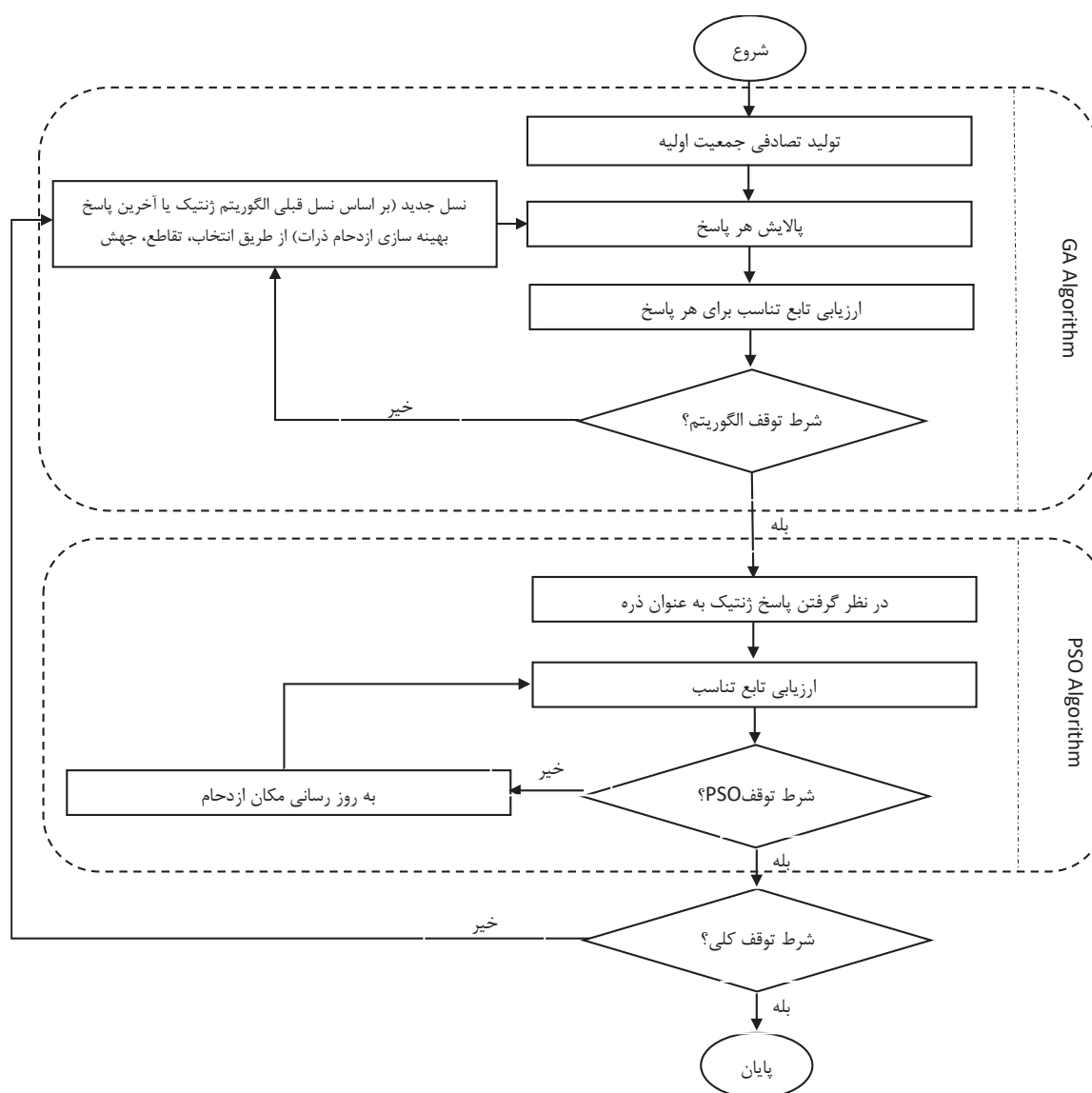
$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^{k,n_k} = \sum_{i=1}^n X_{ji}^{k,n_k} \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

$$y_i^{k,n_k} \leq M \sum_{j=1}^n X_{ji}^{k,n_k} \quad \forall n_k \in n_k, i, j \in N \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij}^{k,n_k} \geq L_i^{k,n_k} \quad n_k \in n_k, i \in N \quad (7)$$

برای حل مدل پیشنهادی، ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات به صورت زیر در نظر گرفته شده است:





شکل ۱- مدل پیشنهادی

بر مبنای مدل پیشنهادی، ابتدا الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مدل اجرا می‌شود. سپس نتیجه این الگوریتم به عنوان مکان اول ازدحام در نظر گرفته شده و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای بهبود نتایج اجرا می‌شود. سپس مکان نهایی از الگوریتم ازدحام ذرات به عنوان جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده و این عمل تا رسیدن به شرط توقف ادامه می‌یابد و بهترین جواب به عنوان پاسخ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱- الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم یک الگوریتم ابتکاری برای جستجوی تصادفی است که طبق تکامل زیستی عمل می‌کند. این الگوریتم‌ها در حل مسائل بهینه‌سازی سخت همچون مسئله کوله‌پشتی، مسئله مکان‌یابی وسیله حمل‌ونقل و ... موفق عمل می‌کند. الگوریتم ژنتیک شامل عملیات‌هایی همچون تولید جمعیت اولیه، ارزیابی تناسب، انتخاب، تقاطع و جهش است.

در این تحقیق، الگوریتم ژنتیک برای تولید جمعیت اولیه به عنوان گروهی از راه‌حل‌ها استفاده شده و سپس در هر تکرار طبق قدم‌های زیر تمامی پاسخ‌ها بهبود داده می‌شوند:



گام ۱: تولید تصادفی جمعیت اولیه از کروموزومها. i امین کروموزوم در جمعیت اولیه به صورت P_i^0 به عنوان $k \times t$ (تعداد کارکنان است که برای حل مسئله در نظر گرفته شده و به سه بخش k_1 و k_1 و k_1 به ازای هر مهارت تقسیم شده و t تعداد روزها در هر دوره برنامه ریزی است). مقدار جمعیت اولیه بین ۱ تا n است که مکان هر کارگر را در هر روز مشخص می کند.

$$P_i^0 = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1t} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & \dots & a_{kt} \end{bmatrix}_{k,t} \quad \text{where } 0 \leq a_{ij} \leq n \text{ for } i = 1 \dots k, j = 1 \dots T \quad (8)$$

همان طور که در شکل بالا نشان داده شده است، جمعیت اولیه فقط در تکرار اول به صورت تصادفی تولید شده و در تکرارهای بعد، نتیجه نهایی الگوریتم ازدحام ذرات برای جمعیت اولیه مربوط به الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته می شود.

گام ۲: با در نظر گرفتن هر پاسخ از گام ۱، هزینه اجرای تمام پاسخ ها به عنوان مناسب ترین پاسخ به عنوان یک کروموزوم در جمعیت ارزیابی می شود.

گام ۳: اگر شرط توقف برقرار شود، فرآیند الگوریتم ژنتیک متوقف شده و موارد دیگر ادامه می یابد.

گام ۴: ایجاد یک جمعیت جدید از طریق عملیات انتخاب، تقاطع و جهش،

(آ) انتخاب: انتخاب دو جفت کروموزوم از یک جمعیت بر اساس میزان برآزش شان.

(ب) تقاطع: تولید تصادفی I_1 (مقدار صحیح بین ۱ تا k_1)، I_2 (مقدار صحیح بین ۱ تا k_2) و I_3 (مقدار صحیح بین ۱ تا k_4) و تغییر سطرهای $i_1'th$ ، $i_2'th$ ، $i_3'th$ از والدین با یکدیگر.

(پ) جهش: تغییر تصادفی دو مقدار از کروموزوم انتخابی با یکدیگر.

گام ۵: رفتن به گام ۲.

۳-۲- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

در این تحقیق، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای بهبود نتیجه حاصل از الگوریتم ژنتیک طبق قدم های زیر لحاظ شده است:

(آ) فرآیند با نتیجه تولید نهایی حاصل از الگوریتم ژنتیک آغاز می شود. هر ذره یک جواب برای مسئله ارائه می دهد.

i امین ذره توسط P_i^0 در معادله (۱) برای بهینه سازی ازدحام ذرات تخصیص داده می شود.

$$P_i^0 = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1t} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & \dots & a_{kt} \end{bmatrix}_{k,t} \quad \text{where } 0 \leq a_{ij} \leq n \text{ for } i = 1 \dots k, j = 1 \dots T \quad (8)$$

(ب) به روز رسانی مکان ذرات از طریق معادله (۹) برای هر ذره.

$$P_i^{j+1} = P_i^j + V_i^{j+1} \quad (9)$$

که در آن V_i^{j+1} سرعت i امین ذره در $j+I$ امین تکرار است که برای به روز رسانی مکان قبلی ذرات صورت می گیرد و طبق فرمول معادله (۱۰) محاسبه می شود.

$$V_i^{j+1} = V_i^j + r\alpha[P_{best,i}^j - P_i^j] + s\beta[g_{best}^j - P_i^j] \quad (10)$$

$P_{best,i}^j$ بهترین موقعیت برای i امین ذره در j امین تکرار است و در واقع بهترین موقعیت مکانی برای تمام ذرات تا j امین تکرار است. α و β پارامتری تصادفی بین ۰ و ۱ است و s به عنوان مقادیر ثابت طبق معادله (۱۵) است.





$$P_i^j = \{W_{1i}^j, W_{2i}^j, a_{1i}^j\} \quad (11)$$

$$g_{best}^j = \{W_{g_{best_1}}^j, W_{g_{best_2}}^j, a_{g_{best_1}}^j\} \quad (12)$$

$$P_{best,i}^j = \{W_{p_{best,i_1}}^j, W_{p_{best,i_2}}^j, a_{p_{best,i_1}}^j\} \quad (13)$$

$$V_i^j = \{V_{1i}^j, V_{2i}^j, V_{1i}^{j+1}\} \quad (14)$$

$$P_i^{j+1} = \{W_{1i}^j + V_{1i}^{j+1}, W_{2i}^j + V_{2i}^{j+1}, a_{1i}^j + V_{1i}^{j+1}\} \quad (15)$$

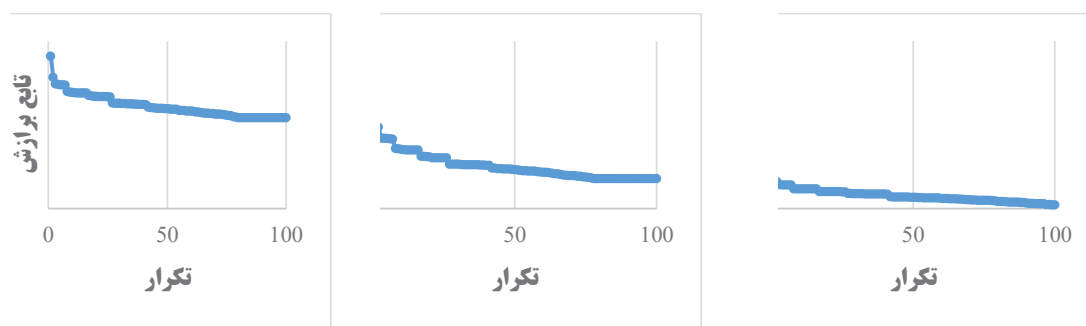
سپس مکان ذرات طبق معادله (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$P_i^{j+1} = \{W_{1i}^j + V_{1i}^j + r\alpha[W_{p_{best,i_1}}^j - W_{1i}^j] + s\beta[W_{g_{best_1}}^j - W_{1i}^j], W_{2i}^j + V_{2i}^j + r\alpha[W_{p_{best,i_2}}^j - W_{2i}^j] + s\beta[W_{g_{best_2}}^j - W_{2i}^j], a_{1i}^j + V_{1i}^{j+1} + r\alpha[a_{p_{best,i_1}}^j - a_{1i}^j] + s\beta[a_{g_{best_1}}^j - a_{1i}^j]\} \quad (16)$$

۴- نتایج عددی

طبق مدل پیشنهادی، سه پارامتر اصلی برای تأثیر گذاشتن بر نتیجه عبارت‌اند از: (۱) تعداد مکان‌ها و مسافت بین هر مکان؛ (۲) تعداد کارگران و (۳) پارامترهای مربوط به هزینه‌ها. برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی و تأثیر بر هر پارامتر بر نتایج مدل، ما در این تحقیق سناریوهای مختلفی را برای تمامی پارامترها به صورت ده نوع مکان به عنوان ۱ تا ۱۰، ۳ نوع تعداد نیروی کار به صورت ۲، ۴ و ۷ نفر برای هر مکان و دو نوع پارامتر هزینه کم و زیاد در نظر گرفتیم. (کلاً ۶۰ سناریو) در هر سناریوی ترکیبی، مدل پیشنهادی اجرا شده و نتایج مدل پیشنهادی با مدل‌های مختلفی که توسط گولپیرا^۱ و بابایی و همکاران، جوانمرد و همکاران و کوآی و همکاران انجام شده مقایسه شده است.

مدل پیشنهادی در متلب کد نویسی شده و برای هر سناریو اجرا شده است. روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در هر حلقه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نرخ همگرایی مدل پیشنهادی

بر اساس شکل ۲، با تکرار مراحل مدل، پاسخ‌ها به جواب بهینه نزدیک شده و محدوده تغییرات در جواب‌ها کاهش یافته و با توجه به استفاده دو الگوریتم فرا ابتکاری در این تحقیق، احتمال قرار گرفتن در نقطه بهینه محلی کمینه شده است.

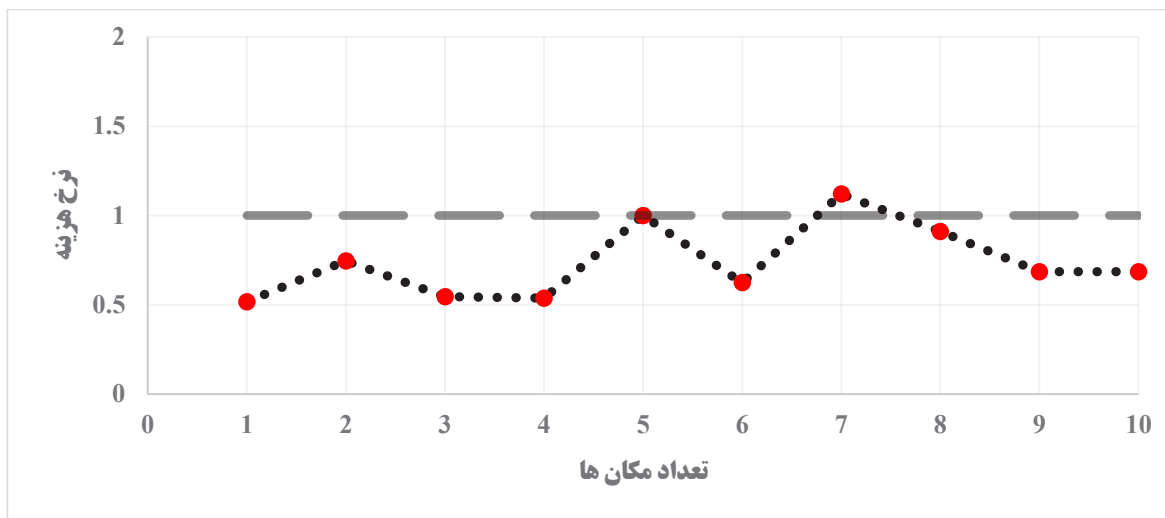
برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، برای هر سناریو، یک نرخ هزینه به صورت زیر ارزیابی شده است:

$$CostRatio = \frac{Cost_{ProposedModel}}{Cost_i} \quad \begin{matrix} \text{if } i=1, \text{ Golpira's Model} \\ \text{if } i=2, \text{ Koay's Model} \\ \text{if } i=3, \text{ Javanmard's Model} \end{matrix} \quad (17)$$

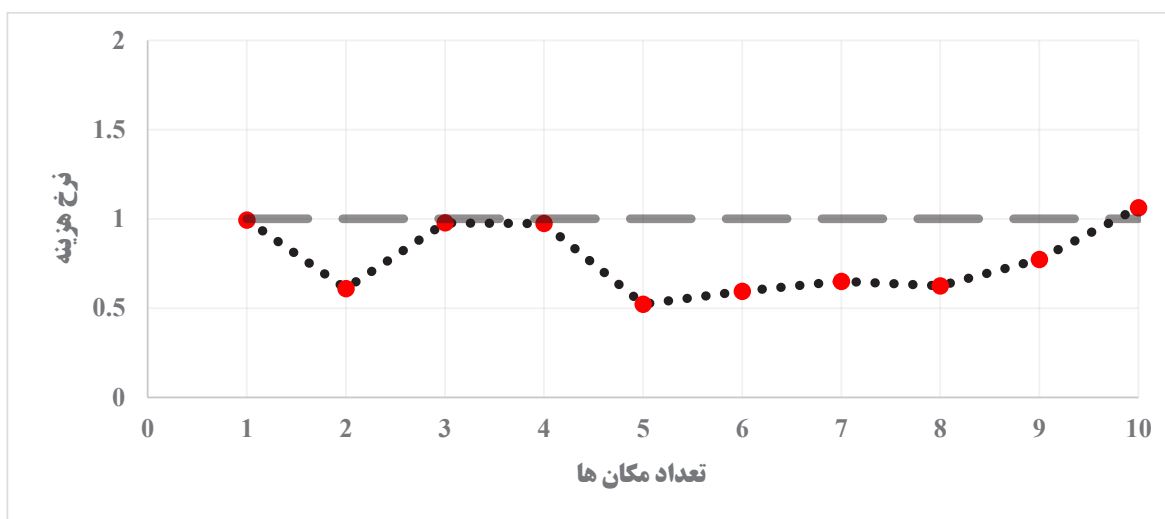
¹. Golpira



شکل ۳ تا ۸، عملکرد مدل پیشنهادی را در مقایسه با مدل‌های مختلف ارائه شده توسط گولپیرا و همکاران، جوانمرد و همکاران، کوآی و همکاران باهدف ارزیابی عملکرد پیشنهادی نشان می‌دهد.

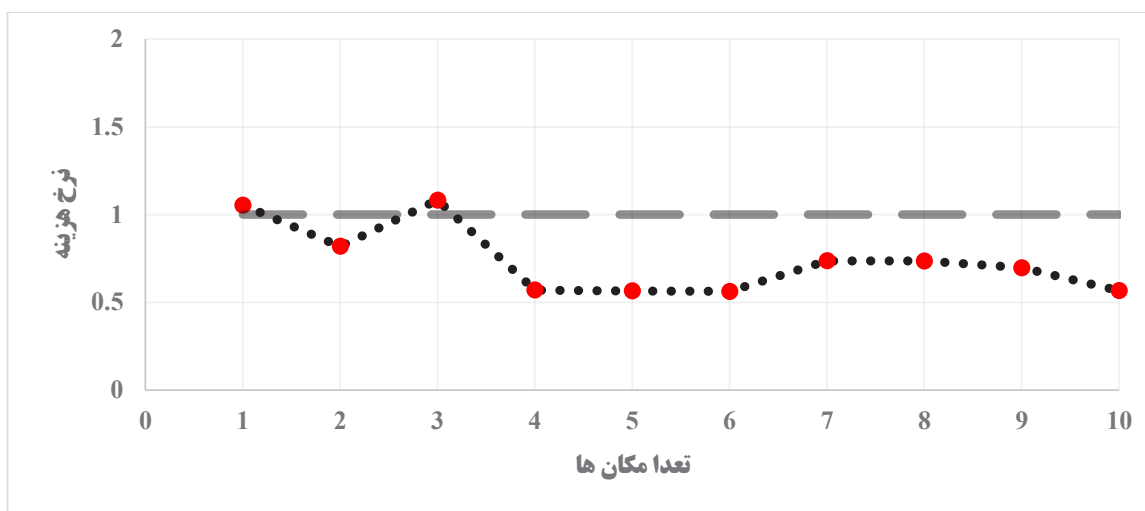


شکل ۳: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۲ نیروی کار و هزینه پایین برای پارامترها

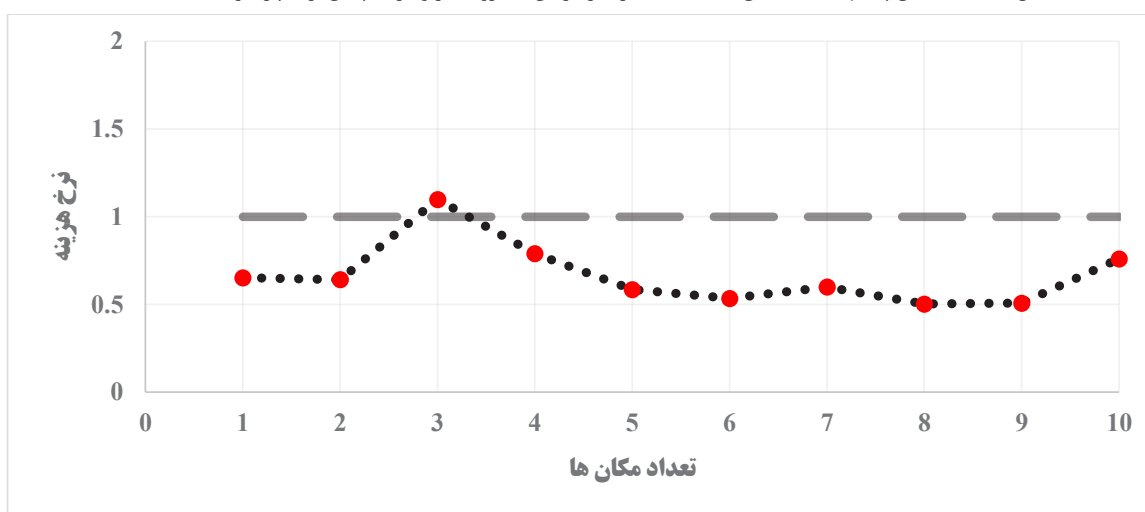


شکل ۴: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۴ نیروی کار و هزینه پایین برای پارامترها

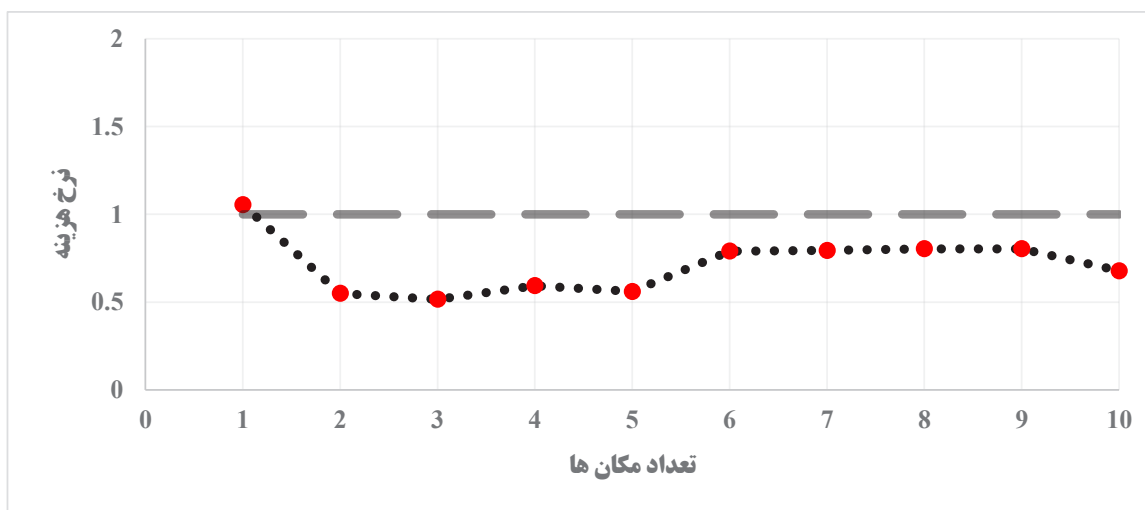




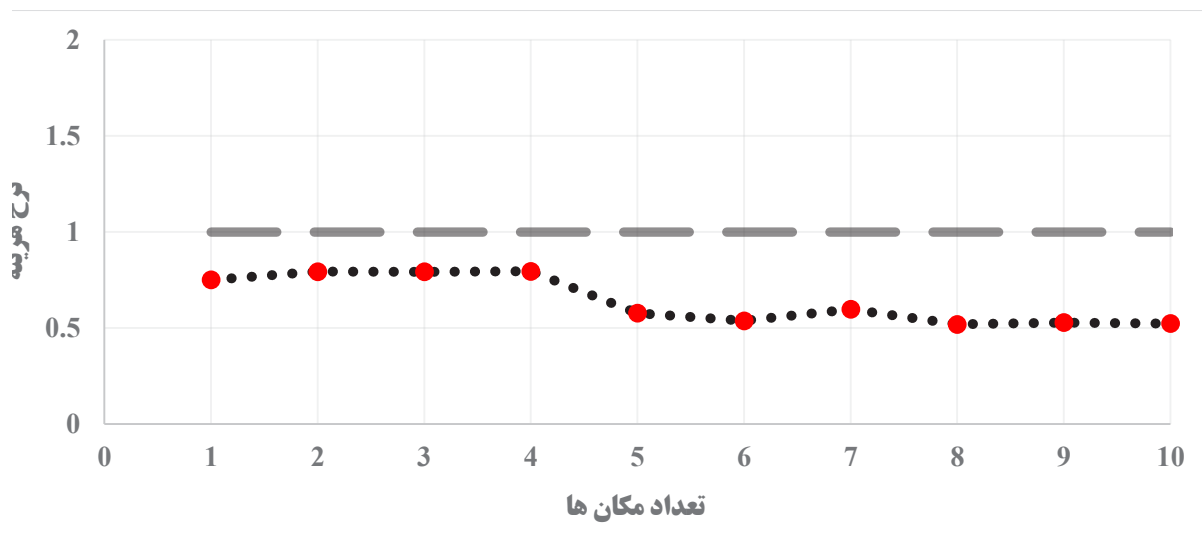
شکل ۵: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۷ نیروی کار و هزینه پایین برای پارامترها



شکل ۶: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۲ نیروی کار و هزینه بالا برای پارامترها



شکل ۷: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۴ نیروی کار و هزینه بالا برای پارامترها



شکل ۸: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golperia با در نظر گرفتن ۷ نیروی کار و هزینه بالا برای پارامترها

بر اساس نتایج مدل پیشنهادی در هر سناریو در مقایسه با مدل Golperia's عملکرد مدل پیشنهادی در اغلب سناریوها بهتر بوده و به طور متوسط هزینه برنامه ریزی نگهداشت بدون در نظر گرفتن هزینه قطعات در مدل پیشنهادی حدود ۳۰٪ کمتر بوده است.

برای مقایسه مدل پیشنهادی با مدل Koay's، بر اساس شکل ۳ تا ۸، مدل پیشنهادی زمان بندی بهتر با هزینه کمتری را نسبت به مدل Koay's در تمامی ۶۰ سناریو ارائه کرده و به طور متوسط هزینه برنامه ریزی نگهداشت ها بدون در نظر گرفتن هزینه قطعات در مدل پیشنهادی حدود ۳۶٪ کمتر بوده است.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل Golperia's، آزمون فرض زیر انجام شد.

$$\begin{cases} H_0 & Cost_{ProposedModel} \leq Cost_{GolperiasModel} \\ H_1 & Cost_{ProposedModel} > Cost_{GolperiasModel} \end{cases} \quad (18)$$

بر اساس نتیجه، H_0 با سطح اطمینان ۹۰٪ پذیرفته می شود.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل Koay's، آزمون فرض زیر انجام شد.

$$\begin{cases} H_0 & Cost_{ProposedModel} \leq Cost_{Koay'sModel} \\ H_1 & Cost_{ProposedModel} > Cost_{Koay'sModel} \end{cases} \quad (19)$$

بر اساس نتیجه، H_0 با سطح اطمینان ۹۳٪ پذیرفته می شود.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل Javanmard's، آزمون فرض زیر انجام شد.

$$\begin{cases} H_0 & Cost_{ProposedModel} \leq Cost_{Javanmard'sModel} \\ H_1 & Cost_{ProposedModel} > Cost_{Javanmard'sModel} \end{cases} \quad (20)$$

بر اساس نتیجه، H_0 با سطح اطمینان ۹۲٪ پذیرفته می شود.

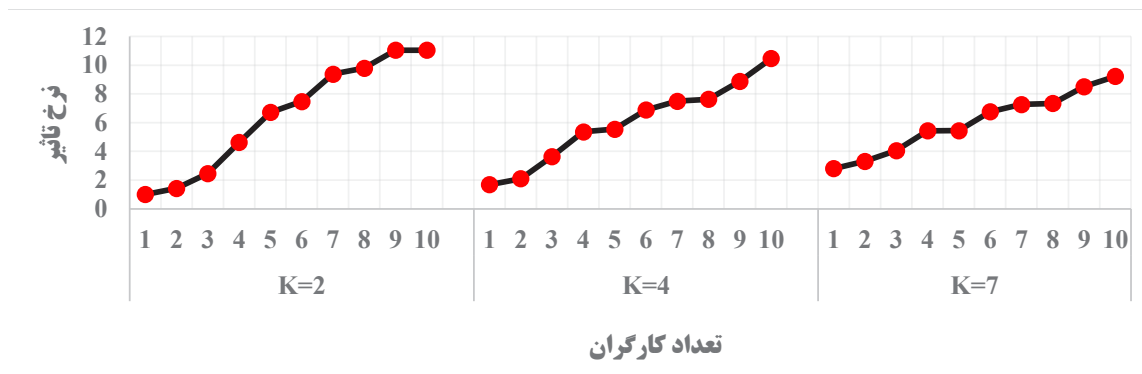
از طرفی دیگر، برای مقایسه اثرات هر پارامتر بر مقدار نتیجه، نسبت اثرگذاری برای سناریو با پارامتر هزینه کم در مقایسه با مدل Golperia's، به عنوان بهترین مدل در میان ۳ مدل Golperia's، Koay's و Javanmard's، مورد ارزیابی قرار می گیرد.





$$ImpactRatio = \frac{Cost^{k,n}_{ProposedModel}}{Cost^{2,n}_{GolperiaModel}} \quad \forall k, n \quad (21)$$

با حل مدل پیشنهادی، میزان نرخ تأثیر برای هر سناریو به‌صورت زیر ارزیابی شده است.

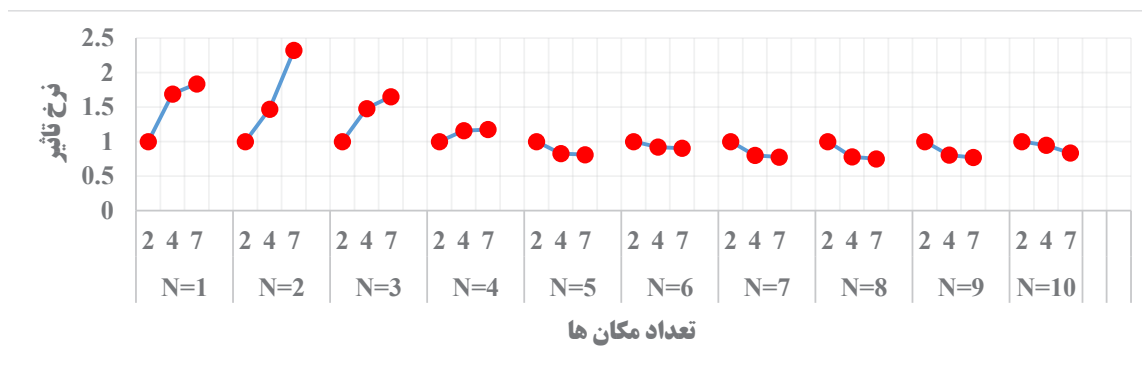


شکل ۹. مقادیر نرخ تأثیر برای مکان مختلف برای مدل پیشنهادی

بر اساس شکل ۹، هزینه نت ارتباط مستقیمی با تعداد مکان‌ها دارد اما ارتباط مستقیمی با تعداد نیروی انسانی ندارد، در برخی موارد با افزودن نیروی انسانی جدید، هزینه کل کاهش یافته و این امر وابسته به سناریو می‌باشد. به‌منظور ارزیابی اثر تعداد نیروی انسانی بر هزینه کل، فاکتور تأثیر نیروی انسانی به‌صورت معادله ۱۵ در نظر گرفته می‌شود.

$$ImpactRatio = \frac{Cost^{k,n}_{ProposedModel}}{Cost^{k,1}_{GolperiaModel}} \quad \forall k, n \quad (22)$$

نتیجه فاکتور تأثیر برای سناریو مختلف به‌صورت زیر ارزیابی شده است



شکل ۱۰. مقادیر نرخ تأثیر برای مکان مختلف برای مدل پیشنهادی

بر اساس شکل ۱۰، در برخی سناریوها با افزایش تعداد نیروی انسانی، هزینه نت افزایش یافته و در برخی موارد هزینه نت با افزایش تعداد نیروی انسانی کاهش یافته است؛ بنابراین تعداد نیروی انسانی پارامتر بسیار مهمی در زمان‌بندی نگهداری تعمیرات می‌باشد که بر هزینه کل زمان‌بندی اثر می‌گذارد و بهتر است که بهینه‌ترین تعداد نیروی انسانی قبل از حل مسئله تعیین شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل جدیدی بر اساس مدل ترکیبی از بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسئله زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات معرفی شد. در این تحقیق مسئله زمان‌بندی بر اساس فرضیات زیر بنا شده است: (آ) شرکت تحت ارزیابی در سایت‌های مختلفی با مسافت مختلف از هم واقع شده است؛ (ب) کل کار نگهداری و تعمیرات برای هر مکان از قبل تعیین شده است؛ (پ) سه مهارت مکانیکی، الکتریکی و نیروی کار ساده برای انجام کارهای نگهداری و تعمیرات وجود دارد.



در این مدل، ابتدا برای بهینه‌سازی مسئله زمان‌بندی، الگوریتم ژنتیک اجرا شده و سپس نتیجه حاصل از الگوریتم ژنتیک برای مکان ذرات در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در نظر گرفته شده است. با رسیدن به شرط توقف الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، نتیجه حاصل از بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌عنوان جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده و سپس این فرآیند تا رسیدن به شرط توقف نهایی ادامه می‌یابد.

نوآوری اصلی این تحقیق عبارت است از (آ) تعریف مسئله اصلی در مکان‌های چندتایی و در نظر گرفتن زمان‌های سفر بین هر مکان. (ب) در نظر گرفتن مهارت‌های کاری مختلف برای طرح نگهداری تعمیرات. (پ) در نظر گرفتن احتمال برون‌سپاری هر طرح. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، مدل پیشنهادی تحت ۶۰ سناریو با سه مدل Koay's, Gulpira's و Javanmard's مقایسه شده است و نتایج نشان داده‌اند که با استفاده از مدل پیشنهادی، می‌توان تا حدود ۳۴٪ درصد هزینه‌ها را کاهش داد.

۶- منابع و مآخذ

- [1] Grussing, M.N. and L.R. Marrano, Building component lifecycle repair/replacement model for institutional facility management, in Computing in Civil Engineering (2007). 2007. p. 550-557.
- [2] Olanrewaju, A.L. A. Idrus, and M.F. Khamidi, Investigating building maintenance practices in Malaysia: a case study. Structural Survey, 2011.
- [3] Ighravwe, D.E. and S.A. Oke, A multi-criteria decision-making framework for selecting a suitable maintenance strategy for public buildings using sustainability criteria. Journal of Building Engineering, 2019. 24: p. 100753.
- [4] Lee, H. and D. Scott, Development of a conceptual framework for the study of building maintenance operation processes in the context of facility management. Surveying and Built Environment, 2008. 19(1): p. 81-101.
- [5] Poór, P. N. Kuchtová, and M. Šimon, Machinery maintenance as part of facility management. Procedia Engineering, 2014. 69: p. 1276-1280.
- [6] Lavy, S. and I.M. Shohet, Integrated maintenance management of hospital buildings: a case study. Construction Management and Economics, 2004. 22(1): p. 25-34.
- [7] Lind, H. and H. Muyingo, Building maintenance strategies: planning under uncertainty. Property Management, 2012.
- [8] Chen, C. and L. Tang, BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. Automation in Construction, 2019. 107: p. 102944.
- [9] Institution, B.S. Glossary of maintenance management terms in terotechnology. 1984.
- [10] Manzini, R. et al. The scheduling of maintenance. A resource-constraints mixed





- integer linear programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 2015. 87: p. 561-568.
- [11] Duffuaa, S.O. and K. Al-Sultan, A stochastic programming model for scheduling maintenance personnel. *Applied Mathematical Modelling*, 1999. 23(5): p. 385-397.
- [12] de Jonge, B. and P.A. Scarf, A review on maintenance optimization. *European Journal of Operational Research*, 2019.
- [13] Chung, S.H. F.T. Chan, and H.K. Chan, A modified genetic algorithm approach for scheduling of perfect maintenance in distributed production scheduling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2009. 22(7): p. 1005-1014.
- [14] Abdollahzadeh, H. K. Atashgar, and M. Abbasi, Multi-objective opportunistic maintenance optimization of a wind farm considering limited number of maintenance groups. *Renewable Energy*, 2016. 88: p. 247-261.
- [15] Wang, Y. H. Zuo, and D. Lv. Improved Multiobjective Maintenance Optimization of Aircraft Equipment Using Strength Pareto Genetic Algorithms with Immunity. in *2008 Fourth International Conference on Natural Computation*. 2008. IEEE.
- [16] Busacca, P.G. M. Marseguerra, and E. Zio. Application of Genetic Algorithms to the Multi-Objective Optimization of the Inspection Times of a Safety System of a Pressurized Water Reactor. in *Proceedings of the European Safety & Reliability International Conference (ESREL'2001)*. 2001.
- [17] Tan, Z. et al. An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. *Safety science*, 2011. 49(6): p. 852-860.
- [18] Siddiqui, M.A. et al. A Novel Idea for Optimizing Condition-Based Maintenance Using Genetic Algorithms and Continuous Event Simulation Techniques. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017. 2017.
- [19] Ding, S.H. and S. Kamaruddin, Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015. 76(5-8): p. 1263-1283.
- [20] Chikezie, C.U. A.T. Olowosulu, and O.S. Abejide, Multiobjective optimization for pavement maintenance and rehabilitation programming using genetic algorithms. *Arch Appl Sci Res*, 2013. 5(4): p. 76-83.
- [21] Garg, H., Fuzzy multiobjective reliability optimization problem of industrial systems using particle swarm optimization. *Journal of Industrial Mathematics*, 2013. 2013.



- [22] Deb, K. and S. Karthik. Dynamic multi-objective optimization and decision-making using modified NSGA-II: a case study on hydro-thermal power scheduling. in International conference on evolutionary multi-criterion optimization. 2007. Springer.





A New Hybrid Model Based on GA and PSO to the Optimization of Facility Maintenance Scheduling

Javad Gholami^{*1}, Seyed Ahmad Razavi Al_e_Hashem², , Seyed Abbas Safavi³

¹ Researcher, Department of Mechanical Engineering, Imam Hossein Comprehensive University. javadgholami@mecheng.iust.ac.ir.

² Researcher, Department of Industrial engineering, Imam Hossein Comprehensive University. razavi1918@gmail.com.

³Instructor and Researcher, Faculty of Defense Science & Engineering, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran. nasir.safavi@gmail.com.

Received:2020/08/18 Accepted:2020/09/18

Abstract:

With the expansion of industries and companies, the number and dimensions of buildings and facilities of organizations are increasing, which increases the value of these assets, increasing the importance of maintenance and repairs of these facilities. On the other hand, as the number of assets increases, the process of managing their maintenance and repairs becomes more difficult than in the past. It is better to define a model for scheduling the maintenance, to proposed the optimal time and order of maintenance program. In this paper, by the combination of Genetic algorithm (GA) and Particle Swarm Optimizations (PSO), a new model for scheduling maintenance for organizations with different locations is presented. The main contributions of this paper are (a) Definition of the main problem in multiple locations and consideration of travel times between each location. (b) Consideration of different work skills for maintenance plan. (c) Consideration of the possibility of outsourcing each task. Considering 10 scenarios for the number of facilities, 3 scenarios for the number of specialists in each location and 2 scenarios for the type of costs, the results show the better performance of the proposed model in compare of three different models as Gulpiras model, Koay's Model, and Javanmard's model, where the results have been shown, by using the proposed model, it is possible to reduce costs just over by 34%.

Keywords: Maintenance, Scheduling, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimizations.

^{*} Corresponding author mail: : Javadgholami@mecheng.iust.ac.ir





A Multi-Objective Mathematical Model of Dynamic Cellular Production for Analysis Robust Reply in the Different Skills of Workers

Akram Ali Kazemi¹, Reza Ehtesham Rasi^{2*}

¹ Ph.D. Student, Department of Industrial Management, Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran, monadi.

² Assistant Professor, Department of Industrial Management, Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran.

Received:2020/07/12 Accepted:2020/09/17

Abstract:

The multi-objective optimization issue is the main objective of creating optimal set of objectives known as Pareto optimal front in order to provide the ultimate decision-maker.

The last determination of a point of Pareto front in order to actualize the framework by the decision maker, generally just done dependent on the objectives introduced in the mathematical model. In addition to these objectives, it is better to consider other criteria to select the final answer. One of the most important criteria, the manufacturing firm response to changes in the parameters of the problem. In this paper, a mathematical model for the design of production cells by taking two non-contiguous objectives between cellular components, presentation and analysis. Cooperation between workers in a cell can have a large impact at the time of completion. So one of the important points in the cell production system, control all system components during the manufacturing process. This means that the number of workers, machinery and parts devoted to the cells must be at a manageable level. To analyze and evaluate the stability of the solution produced a solid analysis techniques using Monte Carlo simulation has been used. This method increases the quality of the final stages to be chosen by the decision maker.

Keywords: Pareto Front, Robust, Cell Production, Monte Carlo Simulation.

* Corresponding author mail.: Ehteshamrasi@qiau.ac.ir



Integration of Lean Thinking and Sustainable Development in HSE Management in construction

Farshid Farokhizadeh¹, Fariba Shokohi^{*2}

¹ Instructor & Researcher, Faculty of Defense Science & Engineering, Imam Hossein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran.

² M.Sc.Student, Department of Technical & Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University South Branch of Tehran.Iran.

Received:2020/08/21 Accepted:2020/09/16

Abstract:

The present study reviews existing recent literature to integrate lean thinking and sustainable development in the field of safety, health and environment (HSE) in construction industry. Then objectives, tools, indicators and concepts interaction are studied. Therefore, the purpose of this study is to review of latest ISI articles published in prestigious international journals in English and some Persian search-engines in order to obtain reach and update literature, to fill the gap and improve the functional level of safety, health and environment in the country.

Construction operations have many direct and indirect effects on the environment. With the growth of economy and population, necessity of designing projects that adhere to the principles of lean construction and sustainable development to protect the environment and the executive factors of projects throughout the construction life cycle is felt. Sustainable Development (SD) seeks to improve the performance of industry by increasing economic, social and environmental values and interacts with lean thinking (LT), especially to ensure community health. Although the major correlation between lean and sustainable indicators has been proven in recent studies, recognition of lean and sustainability in HSE plan, needs further explore. The result of this study is development of literature and helping to clarify the perspective of construction factors, diagnosis and analysis of variables and indicators of the three pillars of research by providing an integrated full stop

Keywords: Integration, Lean, Sustainable Development, Construction, HSE.

* Corresponding author mail: : fa.shokohi@gmail.com





Example of Using the life Cycle Cost Method to Replace UPS Devices at Once in a Military Organization

Mohammadhossein Rahnamaei¹, Mahmoud Mahmoudi², Mohammadreza Hamidi^{3*}

¹ Chairman of the Board of Itcen Consulting Engineers Group

² Project Supervisor Providing Consulting Services and Supervision of Maintenance (Maintenance and Repair) of Telecommunication and Electronic Equipment of Itcen Consulting Engineers Group

³ Physical Asset Management Consultant Itcen Consulting Engineers Group

Received:2020/06/09 Accepted:2020/08/24

Abstract:

In this study, a high-capacity UPS device in the country's military industry, which has been in operation since 2003 and has had significant problems due to increased depreciation and performance has been selected. The reason for this choice was the high sensitivity in the maintenance of military electronic equipment and increase the reliability of such equipment in times of need. After holding brainstorming sessions and reviewing various scenarios by the organization's experts, two final options were finalized: a) Using the current UPS device and performing major repairs if possible. B) Buy a new UPS device with the latest technology and replace it with the current device. To select one of the above options, the Life Cycle Costing (LCC) method has been used to determine a better option from an economic perspective. After reviewing and calculating the investment costs and maintaining both options, the results of the study showed that the annual uniform cost (EUAC) of using the current UPS device is more than the uniform annual cost of replacing and purchasing a new UPS device. It is out of service of the current system.

Keywords: Lifecycle costing (LCC), annual uniform cost (EUAC), current value, UPS, MTBF

* Corresponding author mail:m.hamidi@itcen.ir



Robust Modelling of Multi Product Supply Chain Network of Maintenance Under Uncertainty (Case: a Defense Organization)

Saeed Ramezani¹, Behzad Moradi ^{*2}

¹ Faculty of engineering, Imam Hossein university.

² M.A. in Industrial Engineering, Imam Hossein university, Tehran, Iran.

Received:2020/06/27 Accepted:2020/08/10

Abstract:

One of the problems that defense logistics oriented organizations had always faced is the cost for transportation sector of logistics systems. Among the concerns of a logistics organization is that the all required parameters of problem for decision making is not known and it has caused that Supply chain network design under uncertainty be one of the issues that attracts a lot of attentions. In this paper a closed-loop supply chain network is designed and demand and average disposal fraction parameters are under uncertainty. The research was carried out at the Abuzar branch of the Ghadir self-sufficiency organization, which works in the field of machinery maintenance. In the mentioned supply chain network, customer demand for machinery maintenance and average disposal fraction are not always known in advance. In the following it is used from robust optimization approach to cope with parameters uncertainty in this network. The mathematical model of this paper is mixed integer linear programming. The objective function of this model minimizes total logistics costs in the defense organization. After solving the model, numerical results presented to senior managers of the defense organization. Numerical results represent the performance of the proposed model.

Keywords: Mathematics Modelling ,Uncertainty ,Mixed Integer linear Programming ,Robust Optimizatio

* Corresponding author mail: Behzadmoradi70@yahoo.com





Use Reliability Centered Maintenance on the Point Machine

Sahand Sebti^{1*}, AmirMasood Tirehkar², Zahra Rajipour³

¹ Manager of Maintenance and Repair Department of Itcen Consulting Engineer

² CEO of Itcen Consulting Engineers

³ PMaintenance and repair expert of Itcen Consulting Engineers

Received:2020/06/09 Accepted:2020/08/01

Abstract:

Point machine is one of the key equipments in the railway industry that the reliable performance of this electromechanical equipment plays a key role in increasing the level of performance safety and operational continuity. In this study, the method of reliability centered maintenance(RCM) was used to develop maintenance and repair programs for point machines.

Equipment manufacturers instructions or experiences of repair teams, regardless of the patterns and consequences of failure, or even the correct identification of the causes of failure, is often the basis for developing maintenance plans and preparing preventive repair checklists in urban train complexes. In this research, an attempt has been made to investigate and show the difference between maintenance programs in traditional methods, with structured and logical methods such as reliability centered maintenance techniques.

The results of this applied research show that the application of reliability centered maintenance analysis for point machine leads to increasing the effectiveness and efficiency of maintenance and repair activities, as well as reducing the cost and amount of repair activities.

In the present study, the field method (interviews with experts in operation, maintenance and repair of point machine in urban train complexes and review of operations and repair offices) has been used to collect relevant data. The technical managers of urban train complexes can use the results of this research to modify the contract of maintenance and repair contractors and to develop the use of reliability centered maintenance techniques at the level of urban train complexes.

Key words: Reliability centered maintenance (RCM),cause of failure, preventive maintenance, hidden failure

* Corresponding author mail:s.sebti@itcen.ir

Editorial Board

Full Professor of Iran University of Science and Technology	Seyed Mohammad Seyed Hoseini
Associate Professor of Iran University of Science and Technology	Alireza Moini
Associate Professor Lorestan University	Mojtaba Hosseini
Associate Professor Road, Housing and Urban Development Research Center	Ahmad Mansourian
Associate Professor of Imam Hussein University	Massoud Mosadegh khah
Associate Professor of Imam Hussein University	Ardeshir Ahmadi
Associate Professor of Imam Hussein University	Seyedziaedin Ghazizadeh Fard
Associate Professor of Islamic Azad University, Firuzkuh Branch	Naghei Shoja

Count: 500 (Print Version) 500 (Electronic Version)

Print Version Price: 650,000 Rials

Tel: (+98 21) 77105033 – 106 Fax: (+98 21) 77105032

Address: Shahid Babaei Highway, Tehran, Iran, Imam
Hussein Officer and Guard Training University (AS) Faculty
of Defense Science & Engineering.

E-mail: 2qdmelj@gmail.com, dmej@ihuo.ac.ir

Web : dmej.ihuo.ac.ir

All rights Reserved for the Faculty of Defense Science & Engineering.



Imam Hussein Officer and Guard
Training University (AS)

Bi- Quarterly Journal
Research in Defense Maintenance Engineering
Volume 2, Pre-issue3, Spring and Summer
2020

Published by: Faculty of Defense
Science & Engineering
ISSN: 2676-7317
e-ISSN: 2717-0861
License No: 86491



Managing Editor:
Mohammad Kazem Basiratei
Editor –in-Chief:
Seyed Mohammad Seyed Hoseini
Deputy Editor:
Farshid Farokhizadeh
Editor:
Alireza Sohrabei
Executive Director:
Seyed Esmail Mirhidari
English Text Editor:
Ali Ghorban Gravand
Graphist:
Reza Karami



Advisory Board:

Mehdi Ebrahimi
Bita Tabrizian
Reza Radfar
Hassan Radmard
Saeed Ramezani
Mustafa Zarei
Mohsen Shahrezaei
Abbas Toloie Eshlaghy
Farshid Farokhizadeh
Massoud kassaee
Reza Mazandarani
Ahmad Mehraban
Hassan Yazdani





**Bi- Quarterly
Scientific Journal
Volume 2
Pre-issue 3
Spring and Summer 2020**



Use Reliability Centered Maintenance on the Point Machine/
Sahand Sebt, AmirMasood Tirehkar, Zahra Rajipour



Robust Modelling of Multi Product Supply Chain Network of
Maintenance Under Uncertainty (Case: a Defense Organization)/
Saeed Ramezani, Behzad Moradi



Example of Using the life Cycle Cost Method to Replace UPS Devices at Once in
a Military Organization/
Mohammadhossein Rahnamaei, Mahmoud Mahmoudi, Mohammadreza Hamidi



Integration of Lean Thinking and Sustainable Development in HSE
Management in construction/
Farshid Farokhizadeh, Fariba Shokohi



A Multi-Objective Mathematical Model of Dynamic Cellular Production for Analysis
Robust Reply in the Different Skills of Workers/
Akram Ali Kazemi, Reza Ehtesham Rasi



A New Hybrid Model Based on GA and PSO to the Optimization of
Facility Maintenance Scheduling/
Javad Gholami, Seyed Ahmad Razavi Al_e Hashem, Seyed Abbas Safavi