



۱۳۶۵
دانشگاه صنعتی شاهرود
نام حسین (ع)

دو فصلنامه علمی
دوره چهارم
شماره ۱
بهار و تابستان ۱۴۰۱

بسم الله الرحمن الرحيم
کس جهانی خنجر بر آتش
بر از چاه بی عاریت خدایت

پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاع

ارائه الگوی اولویت بندی تجهیزات حفاری نفت و گاز مبتنی بر روش های تحلیل ریسک بحرانیت

سعید رمضانی، حمزه سلطانعلی، سعید بختیاری

۸

تعیین وضعیت موتورهای دیزلی با به کارگیری شبکه عصبی و تحلیل نتایج آنالیز روغن

مهدی بهرام پور کورعباسلو، هادی رحمتی

۳۴

زمان بندی فعالیت ها در پروژه های تعمیرات دکل حفاری در شرایط عدم قطعیت زمان اجرای فعالیت ها

حسینعلی حسن پور، مصطفی زارعی، جعفر فهیمی سیوکی

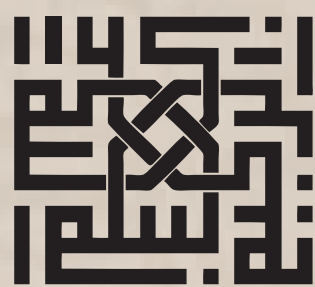
۴۴

شناسایی مؤلفه های تأثیرگذار در مدیریت هزینه پروازهای بالگردی با استفاده از برنامه ریزی پرواز،

نگهداری و تعمیرات فنی

محمود تقی زاده، حسن قدرتی، علی اکبر فرزین فر، حسین جبّاری، میثم عرب زاده

۷۲



اعضای هیأت تحریریه

پرفسور 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 امام حسین (ع)
دکتر سیدضیاءالدین قاضی زاده فرد	دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)
دکتر اردشیر احمدی	دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)
دکتر محسن شاهرضایی	دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)
دکتر نقی شجاع	دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

داوران این شماره (به ترتیب حروف الفبا)

یوسف انوشه، احمد بیطرف، سیدایوب حسینی، حسن رادمرد، داوود زارعی،
عظیم زارعی، حامد صادقی علوی، علیرضا صفائی، جواد غلامی،
فرشید فرخی زاده، محمد رضا کلایی، حسین نظری، حسن یزدانی.

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

قیمت نسخه چاپی: ۵۵۰۰۰۰ ریال

دفتر نشریه: تلفن: ۷۷۱۰۵۰۳۳ داخلی ۱۰۶ - دورنگار: ۷۷۱۰۵۰۳۲
نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، 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 / 2qdmj@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 ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱
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 اسماعیل میرحیدری
ویراستار انگلیسی: دکتر علی قربان گراوند
حروفچین و صفحه آرا: یاسر امامی فر



مشاورین علمی:

دکتر مهدی ابراهیمی
دکتر احمد بیطرف
دکتر بیتا تبریزیان
دکتر سیدایوب حسینی
دکتر محسن دزفولی
دکتر رضا رادفر
دکتر سعید رمضانی
دکتر عباس طلوعی اشلقی
دکتر سعید فرخی زاده
دکتر یاسر فیض الهی
دکتر محمد مهدی قلیان
دکتر علی کریم زاده میبدی
دکتر رضا مازندرانی
دکتر احمد مهربان
دکتر حسن یزدانی



با عرض سلام و آرزوی توفیق خدمت دوستان عزیز و همکاران محترم سخن آغاز می‌کنم.

انتشار هر شماره نشریه علمی، به سان 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 شماره هفتم 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.»

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 شماره هفتم 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.

نکته سوم: علی‌رغم همه مشکلات و کمبودها در انتشار نشریه، سعی مسئولان و هیئت تحریریه معطوف به انتشار نشریه‌ای علمی - تخصصی در حوزه نگهداشت دفاعی بوده است تا ضمن به‌کارگیری پژوهشگران جوان، از تجارب اساتید و بزرگان این رشته نیز کمال استفاده برده شود. هرچند قضاوت دقیق و همه‌جانبه درباره نشریه را زود هنگام می‌دانیم، اما خوشحالیم که به‌مرور دوفصلنامه جایگاه مناسبی را در میان پژوهشگران دانشگاه و صنعت یافته و تا حدی توانسته است خلأ نشریه‌ای اختصاصی در حوزه نگهداری و تعمیرات را پر نماید. البته متصدیان نشریه به بسیاری از نقایص و کاستی‌های واقف بوده و معترف‌اند که تا نقطه مطلوب و قابل قبول فاصله بسیار داریم. یکی از مشکلات اساسی در هر شماره، تهیه مقالات مناسب و دارای حداقل استانداردهای علمی است. بدیهی است که با شناخته شدن تدریجی نشریه در بین پژوهشگران موضوعی و همچنین مشوق‌های پژوهشی به‌مرور شاهد رفع این مشکل باشیم، اما باید اذعان کرد انتشار نشریه تخصصی آن‌هم در محدوده‌ای از تاریخ و نیز اجتناب از تاخیر تا حد زیادی دست ما را بسته است، هرچند ما ظرفیت و توان علمی جامعه پژوهشگران عرصه نگهداری و تعمیرات را بسیار بیشتر از این می‌دانیم و آرزو می‌کنیم که با مساعدت پژوهشگران بتوانیم ویژه‌نامه‌های تخصصی در هر یک از ابعاد موضوع منتشر کنیم. در پایان ضمن استقبال گرم و صمیمانه از مساعدت علمی محققان نام‌آشنا، تلاشمان را بیشتر در جهت شناسایی پژوهشگران و نویسندگان جوان و کم‌ادعا و تشکل علمی این طیف قرار داده ایم. با این امید که روز به روز بر غنای این رشته افزوده گردد.



۱. مقاله باید پژوهشی و حاصل تحقیق نویسنده در زمینه مهندسی نگهداشت دفاعی باشد.
۲. مقاله‌های ارسالی به نشریه، نباید پیش از این در هیچ‌یک 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 صاحب‌نظر 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 پیشنهادها و چشمانداز آینده و مسائل باقیمانده درباره موضوع در بخش نتیجه‌گیری مطرح می‌شود. این بخش یک پاراگراف تا یک صفحه باشد.



ارائه الگوی اولویت‌بندی تجهیزات حفاری نفت و گاز مبتنی بر روش‌های تحلیل ریسک بحرانیت (مطالعه

موردی: دکل حفاری جک آپ)

سعید رمضانی^۱، حمزه سلطانعلی^{۲*}، سعید بختیاری^۳^۱ استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.^۲ پژوهشگر گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۴

چکیده

اولویت‌بندی صحیح تجهیزات از جمله چالش‌های اصلی در عملیات‌های حفاری نفت و گاز به منظور ارتقاء برنامه‌های نگهداشت و مدیریت بهینه موجودی‌ها به شمار می‌رود. مطالعه حاضر به اولویت‌بندی تجهیزات در دکل‌های حفاری که نقش مهمی در فرآیندهای اکتشاف و استخراج نفت و گاز ایفا می‌نمایند، می‌پردازد. به منظور اولویت‌بندی تجهیزات از سه روش شناخته شده در زمینه تحلیل ریسک از قبیل روش پاپیونی، روش کرسپو مارکز و نیز روش ارائه شده در استاندارد Norsok Z ۰۰۸ استفاده شد. روش تحقیق به صورت بررسی کتابخانه‌ای و نیز طراحی پرسشنامه به منظور کسب نظرات خبرگان بود. تمرکز مطالعه حاضر بر روی دکل‌های حفاری نوع جک‌آپ که به طور گسترده در سواحل کشور در حال فعالیت بوده، می‌باشد. بر اساس نتایج روش پاپیونی، تجهیزاتی چون پمپ و مخزن گل، سیستم تصفیه گل، موتور دیزلی تامین نیروی دکل، لوله جداری دیواره چاه و تجهیزات سیمانکاری، بالاترین اولویت را از لحاظ بحرانیت به دست آوردند. بر اساس نتایج روش کرسپو مارکز تجهیزاتی چون موتور دیزلی تامین نیروی دکل، مجموعه تاپ درایو، جبران‌کننده رایزر، مته حفاری و رایز حفاری، و براساس استاندارد Norsok Z ۰۰۸، تجهیزاتی چون موتور دیزلی تامین نیروی دکل، مجموعه تاپ درایو، گردونه حفاری، جبران‌کننده رایزر، شلنگ و شیرهای فوران‌گیر، بالاترین اولویت را از لحاظ بحرانیت به خود اختصاص دادند. همچنین براساس نتایج اشتراکات سه روش، مجموعه موتور دیزل تامین نیروی دکل و جبران‌کننده رایزر، به عنوان بحرانی‌ترین تجهیزات در دکل حفاری نوع جک‌آپ شناخته شدند که نتایج حاصله می‌تواند در بهبود برنامه‌های نگهداشت و نیز بهینه‌سازی در خرید قطعات یدکی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی تجهیزات، دکل جک‌آپ، روش پاپیونی، مدیریت نگهداری و تعمیرات، تحلیل بحرانیت.





۱- مقدمه

محدودیت منابع یکی از چالش‌های اساسی در صنایع به شمار می‌رود که می‌تواند سبب مشکلات غیر قابل پیش‌بینی در انجام به موقع انواع عملیات‌های نگهداشت مانند تست و بازرسی، پایش مستمر و برنامه‌های پیشگیرانه شود. مضاف بر این، محدودیت منابع در کنار عدم وجود استراتژی مناسب جهت نگهداری و تعمیرات، احتمال رخداد خرابی‌ها و توقفات طی عملیات‌های بعدی را افزایش داده و در نتیجه ممکن است انجام مأموریت‌ها در نهایت با شکست مواجه شوند. با گذشت زمان این نوع از چالش‌ها، منجر به توسعه رویکردهای تکامل‌یافته‌ای از نگهداری و تعمیرات و توجه بیش‌تر بر بخشی از دارایی‌ها که به عنوان دارایی‌های "بحرانی" یا "حساس" سازمان نام گرفته‌اند، شد. مفهوم "بحرانیت" در بحث دارایی‌های بحرانی ممکن است با ملاحظات ایمنی (تجهیزات بحرانی ایمنی)، حفاظت از محیط‌زیست، ملاحظات امنیتی و یا تجاری همراه باشد [۱ و ۲]. دارایی‌های بحرانی در سازمان‌ها نقش مهمی در راهبری فرآیندهای پایه داشته، بنابراین نگهداری و تعمیرات آن‌ها در اولویت است. دارایی بحرانی در مدل $PSM-RBPS$ به صورت زیر تعریف می‌شود [۱]: "دارایی که نقص یا عدم عملکرد آن باعث یک خسارت اقتصادی یا یک رخداد ایمنی، زیست محیطی و یا امنیتی شود و یا به عبارتی عدم عملکرد صحیح آن مانع از پیشگیری یا کاهش اثرات هر یک از وقایع مذکور شود". از طرفی بسته به نوع سازمان یا صنعت نوع پیامدهای ناشی از نقص در عملکرد دارایی‌های بحرانی می‌تواند متفاوت باشد [۳]. اهمیت توجه به مقوله "بحرانیت" از جنبه‌هایی چون اولویت‌بندی فعالیت‌ها برای نگهداشت پیشگیرانه و پیش‌بینانه و نیز اولویت‌بندی تجهیزات به منظور انجام اقدامات نگهداشت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث (RC^A) با هدف افزایش قابلیت دسترسی، افزایش قابلیت اطمینان و نیز کاهش پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی و ایمنی مورد توجه بوده است.

بکارگیری تحلیل علل ریشه‌ای حوادث یا خرابی‌ها به منظور یافتن علل پنهان خرابی‌های تجهیزات نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی است و نمی‌توان آن را برای تمامی تجهیزات انجام داد که در این قسمت بحث دارایی‌های بحرانی مطرح می‌شوند. در نتیجه تمرکز بر روی قطعات و تجهیزات بحرانی ضروری بوده که پیش‌نیاز این امر شناسایی آن‌ها می‌باشد [۹ و ۴]. از طرفی رویکرد دارایی‌های بحرانی در مسائلی چون بهینه‌سازی در خرید تجهیزات یدکی و نیز بهینه‌سازی فرآیند مدیریت تغییر در صنایع مورد کاربرد در صنایع بوده است. برای مثال از آن‌جا که صنایع دارای منابع و امکانات محدود در همه‌ی بخش‌ها هستند، تخصیص کارآمد و بهینه این منابع از اهمیت بالایی برخوردار است. پر واضح است که به عنوان مثال در بخش خرید، اولویت با تامین تجهیزات یا قطعات یدکی بحرانی است [۱۴ و ۱۰]. استانداردها، دستورالعمل‌ها و قوانین قابل توجهی در طول سال‌های اخیر در زمینه توجه به "بحرانیت دارایی‌ها" تدوین و ارائه شده است که وظیفه عمده این ابزارها شناسایی، کنترل، پیشگیری و کاهش اثرات خرابی‌ها یا حوادث تعریف شده است. برای مثال اولین رویکرد برای رتبه‌بندی سیستماتیک بحرانیت تجهیزات توسط ارتش آمریکا در دهه ۱۹۴۰ با انتشار استاندارد حالت‌های شکست، اثرات و تحلیل بحرانیت ($FMECA$) برای ارزیابی تاثیر بالقوه هر شکست عملکردی با هدف ارتقاء مأموریت‌های ایمنی و نگهداشت شکل گرفت [۱۵]. به طوری که بعدها در دهه ۱۹۶۰ پیمانکاران ناسا از این روش استفاده کردند تا این‌که این روش در سال ۱۹۹۶ توسط سازمان ناسا توسعه پیدا کرد [۱۶ و ۱۸]. از طرفی امروزه روش $FMECA$ در قالب انواع استانداردهای اروپایی در تحلیل بحرانیت انواع دارایی‌ها در صنایع مورد استفاده هستند [۱۹ و ۲۰].

۱-۱- اهمیت اولویت‌بندی سطح بحرانییت تجهیزات در دکل‌های حفاری

اهمیت مبحث و جایگاه دارایی‌های بحرانی در پروژه‌های عملیاتی به ویژه پروژه‌های حفاری نفت و گاز در طی سال‌های اخیر مورد توجه در بخش‌های تولید و نگهداشت بوده است. در حقیقت یکی از مشکلات مهم موجود در مدیریت صنایع نفت و گاز، عدم ارائه ساختارهای نظام‌مند به منظور اولویت‌بندی مناسب تجهیزات است. با توجه به وجود شرایط بسیار پیچیده و متغیر در این صنایع، تکیه بر تجربه کافی نبوده و نیاز است که روش‌ها و دستورالعمل‌های سیستماتیک توسعه داده شوند. بدین منظور، برخی مراکز و موسسات در صنایع فرآیندی با توجه به فجایع و حوادثی که در سکوهای نفتی رخ داد، شروع به تعریف عناصر ایمنی و نیز تصویب قوانینی با هدف شناسایی و مدیریت عناصر بحرانی نمودند. برای مثال می‌توان به رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی با

^۱ Process Safety Management (PSM)-Risk-Based Process Safety (RBPS)

^۲ Reliability Centered Maintenance (RCM)

^۳ Root Cause Analysis (RCA)

^۴ Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)



هدف ایمنی فرآیندها اشاره کرد که در آن قوانینی با هدف برنامه‌ریزی و زمان‌بندی فعالیت‌هایی چون بازرسی، تست، نگهداشت و اقدامات پیشگیرانه (ITPM)^۱ برای دارایی‌های بحرانی پرداخته شده است [۲۱ و ۲۲]. همچنین موسسه انرژی انگلستان و انجمن اپراتورهای فراساحلی انگلستان (PFEER)^۲ قوانین ملی را در سال ۱۹۹۲ به دنبال فاجعه‌ی سکوی پایپر آلفا^۳ در سال ۱۹۸۸ تدوین نمودند. در این قوانین مستقیماً به عناصر بحرانی ایمنی و نحوه شناسایی و مدیریت آن‌ها اشاره شده و همچنین این قوانین مورد تأیید و استفاده بسیاری از شرکت‌های نفتی و سازمان‌های اروپایی می‌باشد [۲۳]. نتایج بکارگیری این قوانین و استانداردها در عملیات‌های حفاری نفت و گاز با هدف اولویت‌بندی مناسب دارایی‌ها می‌تواند نقش بسزایی در شناسایی و کنترل انواع مخاطرات غیرقابل پیش‌بینی داشته باشد.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در قالب مفهوم "بحرانیت" به منظور شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک دکل‌های حفاری در صنایع نفت و گاز، چه در داخل و خارج از کشور انجام شده است. نکته حائز اهمیت در این بین عدم استفاده از این مفاهیم در قالب شناسایی و اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی و دخیل کردن این مفاهیم در سیاست‌ها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بوده است. از آنجایی که تجهیزاتی از قبیل دکل‌های حفاری و مجموعه تشکیل‌دهنده آن دارای اهمیت فراوانی در صنایع نفت و گاز بوده و خرابی هر یک از اجزای بحرانی آن باعث ایجاد انواع پیامدهای عملیاتی و غیرعملیاتی زیان‌باری چون خسارت‌های اقتصادی، از دست رفتن تولید و درآمد، پیامدهای ناگوار ایمنی و زیست محیطی می‌گردد، لذا بحث اولویت‌بندی این نوع از تجهیزات به ویژه دکل‌های حفاری نوع جک‌آپ در سواحل کشور، از طریق ارتقاء برنامه‌های نگهداشت، به منظور مدیریت و کاهش پیامدهای مذکور بسیار حائز اهمیت است. به طور کلی صنعت حفاری در زمینه نفت و گاز در دو بخش جداگانه ساحلی و فراساحلی فعالیت می‌کنند. علاوه بر این، چاه‌های حفاری به لحاظ کارکردی به سه دسته: اکتشافی، توسعه‌ای و تعمیراتی تقسیم می‌شوند. فرآیند حفاری چاه نیز شامل پنج فاز عملیاتی مختلف از قبیل فاز حفاری، فاز پیمایش چاه، فاز استاتیک و فاز لوله جداری و سیمان کاری می‌باشد [۲۴]. اکتشاف و توسعه صنایع نفت و گاز همواره با ریسک‌های متعددی از قبیل تلفات نیروی انسانی، آلودگی‌های زیست محیطی و از بین رفتن تجهیزات و منابع همراه است. صنعت حفاری به دلیل مواجهه با مواد و شرایط خطرناک، مستعد حوادث مخرب و فاجعه بار می‌باشد. عملیات حفاری به دلیل شرایط ذاتی خود از قبیل پیچیدگی عملیات، تراکم زیاد تجهیزات و کارکنان، حجم قابل توجه مواد هیدروکربنی و شیمیایی، ناشناخته بودن سازندهای زمین شناختی و همچنین محدودیت زمانی پاسخگویی در شرایط اضطراری، بیشترین پتانسیل را برای بروز رویدادهایی با پیامدهای بسیار شدید و غیرمنتظره دارند [۲۴ و ۲۵].

یکی از خطرناک‌ترین و پرهزینه‌ترین رویدادهای صنعت حفاری، فوران است که می‌تواند باعث ایجاد پیامدهای جبران‌ناپذیری از قبیل آتش‌سوزی و انفجار چاه، تخریب مواد و تجهیزات، ایجاد مشکلات زیست محیطی با سرریز شدن میلیون‌ها بشکه مواد هیدروکربنی به محیط اطراف و تلفات شدید نیروی انسانی گردد. طبق تعریف فوران عبارت است از جریان کنترل نشده هیدروکربن (گاز، نفت و میعانات گازی) و یا آب شور از چاه به محیط اطراف که در اثر سیلان کنترل نشده رخ می‌دهد [۲۶]. فوران چاه به عنوان فاجعه‌بارترین حادثه صنعت حفاری شناخته شده است. براساس تجربیات از هر ۱۱۰ سیلان رخ داده، یک عدد آن منجر به فوران می‌شود. در صورتی که سیلان به موقع شناسایی و به درستی کنترل نگردد، پدیده فوران چاه دور از ذهن نیست. به همین دلیل کنترل سیلان نقشی حیاتی در پیشگیری از فوران دارد [۲۷]. به طور کلی فوران چاه در صنعت حفاری امری محتمل بوده و عوامل گوناگونی می‌توانند در وقوع آن دخیل باشند. حوادث فوران چاه به وفور در سطح جهان (فاجعه زیست محیطی خلیج مکزیک) و همچنین در میدان‌های مختلف نفتی ایران (فوران چاه شماره ۲۴ میدان نفت شهر و چاه شماره ۴۱ میدان نفت سفید) رخ داده است. طبق تقسیم‌بندی، فوران جزء حوادث نادر و بحرانی است و اغلب خسارات سنگینی به همراه داشته و به سختی قابل کنترل می‌باشد. در کل می‌توان گفت اصلی‌ترین ریسک صنعت حفاری، پدیده فوران است که کنترل آن نیز بسیار پیچیده، مشکل و زمان‌بر بوده و نیازمند توجه به نگهداشت مناسب تجهیزات بحرانی و سایر اقدامات هزینه بر فراوانی می‌باشد؛ به همین دلیل منجر به ایجاد خسارت‌های ملی و فراتر از ابعاد سازمانی می‌گردد [۲۸].

بنابراین مهم‌ترین هدف از مطالعه حاضر، بهره‌گیری از مفاهیم ریسک‌محور در شناسایی و اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی و استفاده از نتایج آن در بهبود برنامه‌های نگهداری و تعمیرات و نیز استراتژی‌های تأمین و خرید تجهیزات و قطعات یدکی مورد نیاز در دکل‌های حفاری است. بدین منظور انواع

^۱ Inspection, Test, Preventive, Maintenance (ITPM)

^۲ Prevention of fire and explosion, and emergency response (PFEER) on offshore installations

^۳ Piper Alpha Disaster



روش‌های تحلیل ریسک بحرانیت شناخته شده در حوزه نفت، گاز و پتروشیمی و مقایسه عملکرد آن‌ها در راستای شناسایی تجهیزات حفاری (مطالعه موردی: دکل حفاری جک‌آپ) و نیز اولویت‌بندی آن‌ها به کار گرفته شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

مطابق با بررسی‌های انجام شده روش‌هایی مختلفی به منظور تحلیل ریسک بحرانیت و اولویت‌بندی فعالیت‌ها در حوزه نفت، گاز و پتروشیمی بکار گرفته شده که از میان انواع روش‌های ابداعی و مرسوم می‌توان به روش‌های پرکاربردی مانند به ویژه در حوزه نفت، گاز و پتروشیمی شامل روش پایپونی^۱، روش کرسپو مارکز^۲ و نیز روش ارائه شده در استاندارد *Norsok 2008* اشاره کرد که نتایج هر یک در جدول (۱) ارائه شده است. برای مثال برودریب و فریبورگ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی اهمیت شناسایی تجهیزات ایمنی بحرانی پرداختند. آن‌ها یک روش کیفی در قالب درخت منطقی را برای شناسایی این تجهیزات پیشنهاد دادند [۲۹]. سوبرال و سوارز (۲۰۱۹) به منظور بررسی میزان کفایت تجهیزات ایمنی مورد استفاده برای یک رویداد خاص، یک روش جدید از ترکیب مفاهیم سطوح یکپارچگی ایمنی و ماتریس ریسک ارائه نمودند. در این مطالعه انواع شکست‌های دستگاه به صورت کیفی دسته‌بندی شده بود و سطوح یکپارچگی ایمنی تجهیز با توجه به نرخ شکست‌ها، برای آن دسته از شکست‌ها که جزو دسته خطرناک غیر کشف شده قرار گرفته بود، محاسبه گردید [۳۰]. در تحقیق دیگری جادری و ظهیری (۲۰۱۹) به بررسی میزان بحرانیات تجهیزات مورد استفاده قرار گرفته در فرآیندهای پتروشیمی براساس روش‌های ریسک مبتنی بر نگهداشت و نیز تلفیق آن با سیستم‌های فازی استنتاجی پرداختند [۳۱]. لافنی و وانگ (۲۰۱۸) در پژوهشی به مدل‌سازی یک شبکه بیزی^۳ برای بررسی اثرات عناصر بحرانی بر مدیریت یکپارچگی دارایی در یک سیستم تولید برق در نواحی سواحلی پرداختند. در این مطالعه از رویکرد نظرات خبرگان و نیز شبکه‌های بیزی به منظور برآورد نرخ خرابی تجهیزات بحرانی استفاده شد [۳۲]. لاندوچی و همکاران (۲۰۱۶) به کمک یک رویکرد کمی به دنبال بررسی عملکرد موانع ایمنی در پیشگیری از افزایش آتش‌سوزی‌ها و تبدیل آن به حوادث زنجیره‌ای نمودند. برای این کار آن‌ها یک سری شاخص‌های عملکرد کلیدی مهم را مشخص کردند و به کمک آن به بررسی احتمالاتی عملکرد تجهیزات بحرانی پرداختند. در ابتدا میزان اثرگذاری و قابلیت کارکردی تجهیزات تعیین شد و سپس با کمک آنالیز درخت رویداد (*ETA*)^۴ و محاسبات احتمالاتی، میزان تکرار پذیری حوادث زنجیره‌ای را محاسبه شد [۳۳]. ملاند و همکاران (۲۰۱۸) از تجزیه و تحلیل‌های مدل پایپونی به منظور تصویر کشیدن تهدیدات و پیامدهای مربوط به حوادث ناخواسته و نیز نشان دادن چگونگی ارائه راهکارهای پیشگیرانه استفاده کردند. در این پژوهش از طریق یک آزمایش کنترل شده، شواهد نشان داد مدل پایپونی دارای کارایی بسیار بالایی در ارزیابی نیازهای ایمنی و امنیت بوده است [۳۴]. ژنگ و گوان (۲۰۱۸) از مدل پایپونی به منظور انتخاب استراتژی‌های فعالانه و پیشگیرانه مبتنی بر ریسک استفاده کردند و بیان نمودند که در مدیریت ریسک پروژه، مدیران باید اقدامات پیشگیرانه را برای کاهش احتمال ریسک قبل از بروز خطر و یا اقدامات محافظتی برای کاهش تأثیر ریسک پیش از وقوع خطر را تعیین کنند [۳۵]. جاکینتو و سیلوا (۲۰۱۰) یک روش ارزیابی ریسک نیمه کمی مبتنی بر مدل پایپونی ارائه دادند که در آن طیف گسترده‌ای از خطرات مربوط به حوادث شغلی در یک محیط کشتی‌سازی لیست شده بودند. ساختار نمودار پایپونی به منظور شناسایی مسیرهای علت حادثه و پیامدهای آن و نیز شناسایی حمایت‌های ایمنی مورد نیاز، مورد استفاده واقع شد [۳۶]. در تحقیق دیگری گرکنسمیر و راتر (۲۰۱۸) آنالیز پایپونی را برای مدیریت ریسک در منطقه دریای وادان انجام دادند. آن‌ها این آنالیز را به عنوان ابزار بالقوه‌ای جهت تسهیل مشارکت ذینفعان و با هدف ادغام درک ذینفعان از ریسک و علاقه به فرآیندهای مدیریت ریسک ارائه نمودند. طبق نتایج حاصله مشخص شد که استفاده از آنالیز پایپونی چارچوب مناسبی را به منظور تقویت درک فرآیندهای مدیریت ریسک و رفع نگرانی‌های مختلف از مشکلات چند بعدی ریسک ارائه می‌کند [۳۷]. یزدی (۲۰۱۷) در پژوهشی به استفاده از روش پایپونی در مدیریت ریسک تولید هیدروژن سولفید (H_2S) تحت شرایط آنالیز لایه پوششی پرداختند. با توجه به غلظت بالای H_2S و همچنین فشار بسیار زیاد تزریق گاز، یک کارخانه فرآوری روغن و تزریق گاز به عنوان مورد مطالعه انتخاب شد که در آن مناطق خطرناک با توجه به منابع نشت گاز

^۱ Crespo Marquez method

^۲ Bow-Tie method

^۳ Bayesian network modelling

^۴ Event tree analysis (ETA)



IIoS، توسط ارزیابی ریسک پایبونی شناسایی شدند [۳۸]. در ادامه کاربردهای روش ریسک محور پایبونی و نیز رفع عدم قطعیت‌های موجود، زارعی و همکاران (۲۰۱۸) قابلیت ترکیب و مقایسه آن با شبکه‌های بیزین را مورد بررسی قرار دادند. ابتدا سناریوهای حوادث با استفاده از مدل پایبونی از نظر کمی، مدل‌سازی شده و سپس، مدل علت-پیامد سناریوهای حادثه در شبکه بیزین با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مدل شد [۳۹]. در تحقیق دیگری شهریار و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی خطرات مربوط به خط لوله گاز طبیعی با استفاده از معیارهای پایداری یعنی معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پرداختند. همچنین منطق فازی برای به دست آوردن احتمالات فازی از همه وقایع و پیامدها استفاده شد. در این مقاله، وابستگی متقابل بین وقایع مختلف ریسک با کمک مدل پایبونی معرفی تعیین شدند [۴۰]. میرزایی علی آبادی و همکاران (۲۰۱۸) به شناسایی و تحلیل علل اساسی ضربات و انفجار در صنعت حفاری اکتشافی ساحلی ایران با استفاده از آنالیز پایبونی و شبکه بیزین پرداختند [۴۱]. تانگ و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای در مورد روش تحلیل ریسک کمی برای سیستم مکانیکی پرخطر جهت به دست آوردن سطح خطر و توزیع اشیاء پرخطر براساس روش بیزین و پایبونی انجام دادند. امکان‌سنجی و عملی بودن این روش‌ها با یک مطالعه موردی در مورد تجزیه و تحلیل ریسک کمی از یک سیستم پمپ متقابل تأیید شد [۴۲]. پری هانتا و همکاران (۲۰۱۹) با توجه به پیچیدگی تجهیزات و تعداد قابل توجه قطعات بکار رفته در فرآیندهای استخراج و پالایش گاز، مطالعه‌ای با هدف تحلیل بحرانیت بر مبنای استاندارد *NORSOK standard Z-008* ارائه کردند. مطابق با نتایج به دست آمده قطعات تشکیل‌دهنده با سطح بحرانیت بالا و سطح بحرانیت متوسط و پایین به ترتیب اقدامات نگهداشت پیشگیرانه و اصلاحی پیشنهاد شد [۴۳]. در تحقیقی راتنایاکه با بهره‌گیری از استاندارد *NORSOK standard Z-008* به ارائه ماتریسی برای طبقه‌بندی قطعات در ماشین‌های دوار صنعتی پرداختند. با هدف رفع عدم قطعیت‌های موجود به ویژه در بخش کسب نظرات خبرگان روش‌های استنتاج فازی قاعده محور به صورت ترکیبی بکار گرفته شد [۴۴]. راتنایاکه و همکاران در مطالعه‌ای دیگر به کلاس‌بندی انواع حالات و مکانیزم‌های خرابی کارکردی در یک سیستم مانیفولد زیردریایی براساس استاندارد *NORSOK standard Z-008* پرداختند. این روش براساس اسناد داخلی موجود، داده‌ها، اطلاعات، و تجربیات افراد سیستم‌های زیردریایی و همچنین الزامات دیگر کار مشابه موجود و استانداردهای تثبیت شده توسعه یافته است که مطابق با آن یک چارچوب سلسله مراتبی ارائه شد [۴۵]. از طرفی سازمان استاندارد نروژ از مشتقات استاندارد *NORSOK standard Z-008* با هدف ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل ریسک‌پذیر با ارائه چارچوب‌های و دستورالعمل‌های تخصصی در صنایع حفاری نفت و گاز استفاده کرده‌اند [۴۶]. علاوه بر این مارکز یک مدل ابداعی با هدف ایجاد ماتریس اولویت‌بندی کارکرد تجهیزات و نیز تحلیل بحرانیت آن‌ها پیشنهاد داد که امروزه تحت عنوان مدل آدولفو کرسپو مارکز شناخته می‌شود. شاخص تحلیل ریسک و بحرانیت در این روش بر مبنای پارامترهایی چون قابلیت نگهداشت، ایمنی، محیط زیست، کیفیت، فرآیند تحویل، زمان کاری و قابلیت اطمینان می‌باشد که مشتمل بر پنج گام اساسی شامل تعریف و محدوده مساله، تشکیل کارگروه تحلیل بحرانیت، طراحی پرسشنامه‌های تحلیلی، تصمیم‌گیری در مورد وضعیت بحرانیت دارایی متناسب پارامترهای اشاره شده و نیز اولویت‌بندی دارایی‌ها در سه سطح غیربحرانی، نیمه بحرانی و بحرانی می‌باشد [۴۷].

جدول (۱). مروری بر انواع روش‌های مورد استفاده در تحلیل بحرانیت دارایی‌ها در صنایع مختلف

ردیف	محقق	روش	توضیحات	مرجع
۱	بروآدریب و فریبورگر	ابداعی کیفی	بررسی اهمیت شناسایی تجهیزات ایمنی بحرانی ارائه روش کیفی	[۲۹]
۲	سوبرال و سوارز	ابداعی ماتریس ریسک	ترکیب مفاهیم سطوح یکپارچگی ایمنی و ماتریس ریسک	[۳۰]
۳	جادری و همکاران	تبدیل روش کیفی به کمی به صورت فازی	بررسی میزان بحرانیت تجهیزات مورد استفاده قرار گرفته	[۳۱]
۴	لافنی و وانگ	شبکه بیزین	بررسی اثرات عناصر بحرانی بر مدیریت یکپارچگی دارایی در یک سیستم تولید برق	[۳۲]
۵	لاندوچی و همکاران	ابداعی کمی	بررسی عملکرد موانع ایمنی و میزان جلوگیری این تجهیزات از رخدادن حوادث زنجیره‌ای	[۳۳]

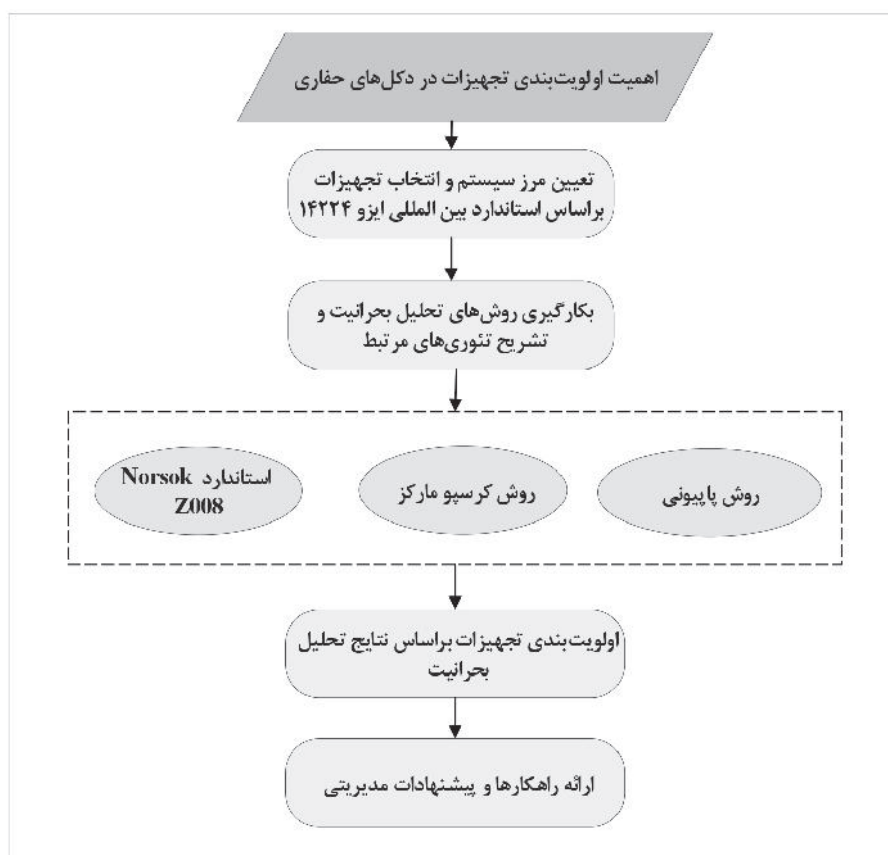




۳۴	استفاده از چند روش جهت بررسی ریسک	پاپیونی	ملاند و همکاران	۶
۳۵	عین استراتژی‌های پاسخ به ریسک از دیدگاه پیشگیرانه و محافظت	پاپیونی	ژنگ و گوان	۷
۳۶	شناسایی خطرات مربوط به حوادث شغلی در یک محیط کشتی سازی	ارزیابی ریسک نیمه کمی	جاکیتو و سیلوا	۸
۳۷	مدیریت ریسک در منطقه دریای وادان	پاپیونی	گرکنسمیر و راتر	۹
۳۸	مدیریت ریسک H_2S با استفاده از مدل پاپیونی	پاپیونی	یزدی	۱۰
۳۹	شناسایی و تجزیه و تحلیل دینامیکی دلایل اصلی حوادث فرایندی	پاپیونی و بیزین	زارعی و همکاران	۱۱
۴۰	ارزیابی خطرات مربوط به خط لوله گاز طبیعی با استفاده از معیارهای پایداری	فازی و پاپیونی	شهریار و همکاران	۱۲
۴۱	شناسایی و تحلیل علل اساسی ضربات و انفجار در صنعت حفاری اکتشافی ایران	بیزین و پاپیونی	میرزایی علی آبادی و همکاران	۱۳
۴۲	تحلیل ریسک برای سیستم مکانیکی پرخطر جهت تعیین سطح خطر	پاپیونی	تانگ و همکاران	۱۴
۴۳	تحلیل بحرانیت تجهیزات در شرکت گاز	NORSOK standard Z-008	پری هانتا و همکاران	۱۵
۴۴	ارزیابی سطح بحرانیت تجهیزات و ابزارهای دوار	NORSOK standard Z-008	راتنایاکه	۱۶
۴۵	کلاس بندی حالات و مکانیزم‌های خرابی کارکردی در یک سیستم مانیفولد زیردریایی	NORSOK standard Z-008	راتنایاکه و همکاران	۱۷
۴۶	ارزیابی ریسک در عملیات حفاری نفت و گاز	NORSOK Standard D-010	سازمان استاندارد نروژ	۱۸
۴۷	بررسی میزان بحرانیت در تجهیزات	مدل آدولفو کرسپو مارکز	کرسپو مارکز	۱۹

۳- روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، روش توصیفی-پیمایشی می‌باشد که با استفاده از تکنیک مصاحبه و پرسشنامه دنبال می‌گردد. از لحاظ زمانی این مطالعه از ابتدای سال ۱۳۹۹ تا انتهای آن در شرکت‌های فعال در صنعت حفاری و ارزیابی ریسک به نام‌های حفاری نفت شمال، اندیشه و عمران محیط و بام فرآیند سیستم انجام شده است. پژوهش حاضر از نظر موضوعی در زمینه اولویت‌بندی تجهیزات در دکل‌های حفاری موجود در کشور نوع جک‌آپ که دکل فراساحلی است و به طور گسترده در سواحل شمال و جنوب کشور در حال فعالیت بوده، متمرکز بوده است. در قدم اول اهمیت هر یک از تجهیز در فرآیند حفاری مشخص و براساس آن از سه روش مبتنی بر تحلیل ریسک بحرانیت شامل روش پاپیونی، روش کرسپو مارکز و نیز روش ارائه شده در استاندارد *NORSOK standard Z-008* به منظور اولویت‌بندی تجهیزات در دکل حفاری نوع جک‌آپ استفاده شد. الگوی پیشنهادی مطالعه حاضر در شکل (۱) ارائه شده است که در برگرفته مراحل چون اهمیت اولویت‌بندی تجهیزات در دکل‌های حفاری در حوزه صنعت نفت و گاز (توضیحات تفصیلی در بخش ۱-۱)، تعیین مرز سیستم و انتخاب تجهیزات براساس استاندارد بین المللی ایزو ۱۴۲۲۴، بکارگیری روش‌های تحلیل بحرانیت و تشریح تنوری‌های مرتبط شامل روش پاپیونی، روش کرسپو مارکز و نیز روش ارائه شده در استاندارد *Norsok Z 008*، اولویت‌بندی تجهیزات براساس نتایج تحلیل بحرانیت و نهایتاً ارائه راهکارها و پیشنهادات مدیریتی لازم در حوزه نگهداشت می‌باشند.



شکل (۱). ارائه الگوی پیشنهادی به منظور اولویت‌بندی تجهیزات در دکل‌های حفاری حوزه نفت و گاز

به منظور تعیین درجه بحرانیت و نیز تحلیل نتایج هر یک از روش‌های مورد استفاده در هر یک از تجهیزات، از نظر خبرگان و متخصصان فعال در حوزه صنعت حفاری که دارای سابقه فعالیت در زمینه‌های نگهداری و تعمیرات، عملیات و ایمنی بودند، استفاده شد که نحوه نمره‌دهی اطلاعات و سوابق هر یک در جدول (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول (۲). سیستم نمره‌دهی به کارشناسان بر اساس موقعیت شغلی، سابقه کاری و تحصیلات دانشگاهی

امتیاز	مشخصات خبرگان
۳	مدیر ارشد
۲	مدیر واحد/سرپرست
۱	کارشناس/اپراتور
۳	سابقه کار ≤ 15
۲	$15 < \text{سابقه کار} \leq 10$
۱	$10 < \text{سابقه کار}$
۳	دکتری
۲	کارشناسی ارشد
۱	کارشناسی / دیپلم



جدول (۳). اطلاعات و سوابق مربوط به خبرگان فعال در صنعت حفاری

شماره کارشناس	موقعیت شغلی		سابقه کاری		تحصیلات دانشگاهی		امتیاز کل
	جایگاه	امتیاز	سال	امتیاز	مدرک	امتیاز	
۱	مدیر ارشد عملیات	۳	۱۸	۳	دکتری	۳	۹
۲	کارشناس عملیات	۱	۱۱	۲	کارشناسی ارشد	۲	۵
۳	اپراتور فرآیند	۱	۵	۱	کارشناسی	۱	۳
۴	مدیر واحد HSE	۲	۱۴	۲	دکتری	۳	۷
۵	کارشناس HSE	۱	۱۳	۲	کارشناسی ارشد	۲	۵
۶	کارشناس HSE	۱	۱۰	۲	کارشناسی ارشد	۲	۵
۷	کارشناس HSE	۱	۱۰	۲	کارشناسی ارشد	۲	۵
۸	مدیر ارشد نت	۳	۲۲	۳	کارشناسی ارشد	۲	۸
۹	کارشناس نت	۱	۱۳	۲	کارشناسی ارشد	۲	۵
۱۰	کارشناس نت	۱	۱۰	۲	کارشناسی	۱	۴

۳-۱- انتخاب تجهیزات در فرآیند حفاری بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴

به منظور انتخاب تجهیزات مهم در فرآیند حفاری از استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ استفاده شد. استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴، یک استاندارد بین‌المللی است که اصولی جامع و اساس کلی برای جمع‌آوری داده‌های قابلیت اطمینان و مدیریت نگهداری و تعمیرات در یک قالب استاندارد را برای تجهیزات در همه شرایط و کارکرد در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در سیکل کارکرد بهره‌برداری تجهیزات ارائه می‌دهد. این استاندارد اصول جمع‌آوری داده‌ها و تعاریف و واژه‌های مرتبط با آن را شرح می‌دهد. استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ برای صنایع نفت، گاز و پتروشیمی توسعه داده شده است، همین روند می‌تواند در سایر سازمان‌ها اعمال و پیاده‌سازی شود. مطابق استاندارد تجهیزات که در چند سطح هرم تاکسونومی هستند، می‌توانند جهت بررسی بحرانیت معرفی شوند [۴۸ و ۴۹]. مطابق با هرم در شکل (۲)، سطوح یک تا پنج نشان‌دهنده یک طبقه‌بندی در سطح بالا است که مربوط به صنایع و برنامه‌های کاربردی کارخانه بدون در نظر گرفتن واحدهای تجهیزات درگیر است، اطلاعات طبقه‌بندی در این سطوح (یک تا پنج) باید در پایگاه داده برای هر واحد تجهیزات به‌عنوان «اطلاعات کاربرد / موقعیت» ایجاد شوند. سطوح شش تا نه مربوط به واحد تجهیزات (موجودی) همراه با بخش تقسیم شده در سطوح پایین‌تر است که مربوط به روابط والد-فرزندی دارایی‌ها و تجهیزات است. استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ بر روی سطح واحد تجهیزات (سطح شش) برای جمع‌آوری داده‌های قابلیت اطمینان و نگهداری و تعمیرات تمرکز می‌کند و همچنین به‌طور غیرمستقیم بر روی اجزای پایین‌تر، مانند زیرسیستم‌ها و آیتم‌های قابل نگهداری و تعمیر نیز متمرکز می‌شود [۵۰].



شکل (۲). طبقه‌بندی تجهیزات براساس استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴

از این رو، برای انتخاب تجهیزات جهت تحلیل بحرانیت آن‌ها از سطح شش استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ استفاده شده است. شرح این تجهیزات جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۴). دسته‌بندی تجهیزات حفاری در سطح شش استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴

ردیف	کلاس تجهیزات	ردیف	کلاس تجهیزات
۱	منجنیق حفاری	۱۲	لوله ایستاده (Stand pipe)
۲	پمپ گل	۱۳	شلنگ (Hose)
۳	سیستم تصفیه گل	۱۴	مته حفاری
۴	مجموعه تاپ درایو (Top Drive)	۱۵	شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer)
۵	مخزن گل	۱۶	تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment)
۶	سازه دکل (Derrick/Mast)	۱۷	رایزر حفاری (Drilling Riser)
۷	گردونه حفاری (Draw works)	۱۸	بالابرنده تکمیلی (Completion Riser)
۸	قرقره تاج دکل (Crown Block)	۱۹	پایپ رکینگ/هیدروورکر
۹	قرقره متحرک (Travelling Block)	۲۰	مانکی آرم
۱۰	جبران ساز رایزر (Riser Compensator)	۲۱	لوله جداری دیواره چاه (Casing)
۱۱	بالابر (Elevator)	۲۲	موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction Motor)





۳-۲- تئوری تحقیق: اولویت‌بندی براساس روش‌های تحلیل ریسک بحرانیت

۳-۲-۱- مراحل بکارگیری روش پاپیونی

مدل پاپیونی یکی از روش‌های مفید در حوزه مدیریت ریسک می‌باشد که ایده اولیه آن در دانشگاه کوئینزلند^۱ استرالیا و توسط هازن^۲ در سال ۱۹۷۹ ارائه شده است و بدون تردید شرکت چند ملیتی رویال داچ شل^۳ اولین شرکتی است که به طور کامل این متد را در تمامی ساختارهای خود استقرار داده است و پس از آن این روش در سراسر جهان بطور گسترده پیشرفت نموده است. با توجه به سوابق و تجارب مطروحه، نشان می‌دهد که از این روش می‌توان در مدیریت تمامی ریسک‌ها و برای تمامی خطرات استفاده کرد. روش پاپیونی درک واقعی‌تری از ارتباط میان عوامل موثر در بروز خطرات و وقایع، پیامدهای حاصل از آن و موانعی که می‌تواند در هر مرحله مانع از بروز رویداد مورد نظر شود، را ایجاد می‌کند. در این متد با ایجاد دیگرام پاپیونی برای یک فرآیند خاص مستندسازی لازم صورت می‌گیرد. بر این اساس هدف نهایی کنترل مخاطرات ایمنی، بهداشتی و زیست محیطی است. در نتیجه اولین قدم شناسایی خطرات می‌باشد. این فرآیند باید به صورت مداوم صورت پذیرد. دومین اقدام ارزیابی ریسک و تصمیم در رابطه با اقدامات لازم جهت کنترل خطرات می‌باشد. تفاوت عمده این روش با روش‌های دیگر از این مرحله صورت می‌گیرد که می‌بایست به این پرسش پاسخ دهیم که در صورت وقوع حادثه چه پیامدهایی به همراه خواهد داشت و چگونه می‌توان این پیامدها را کنترل نمود که از بروز خسارات و ضررهای بیش‌تر جلوگیری کرد [۵۱]. مدل آنالیز پاپیونی یک تکنیک یکپارچه برای آنالیز وقایع به کمک ارزیابی احتمالات و مسیر ایجاد نواقص و رخدادها با توجه موانع موجود در مسیر می‌باشد. به کمک این مدل می‌توان اولاً مسیر رخداد یک رویداد را به طور کامل از علل اولیه بروز رویداد تا پیامدهای مختلف ناشی رخداد آن رویداد مورد بررسی قرار داد و در نتیجه برای شناسایی علل رخداد، پیشگیری و کاهش اثرات ناشی از آن این روش بسیار کاربرد دارد. مدل پاپیونی از سه بخش آنالیز درخت خطا، رخداد نهایی و درخت رویداد تشکیل شده است:

✓ آنالیز درخت خطا یک نمودار گرافیکی برای نشان دادن علل اولیه در وقوع رخداد نهایی است که به کمک آن مسیر تبدیل شدن نواقص و عوامل اولیه به رخداد نهایی را نشان می‌دهد. در قسمت درخت خطا، علل اولیه به عنوان مهم‌ترین رکن قرار دارند که شامل نواقص، عدم عملکرد صحیح و خطاهای انسانی می‌باشد. همواره در مسیر رخداد رویداد نهایی عواملی وجود دارد که می‌توان از رخداد رویداد نهایی جلوگیری کند که به آن‌ها موانع پیشگیرانه گویند.

✓ رخداد نهایی در نتیجه وقوع علل اولیه و طی شدن مسیر درخت خطا ایجاد می‌شود.

✓ درخت رویداد، نشان دهنده مسیر رخداد هریک از پیامدهای احتمالی پس از وقوع رخداد نهایی است که هریک تحت شرایطی به وجود می‌آیند. همواره در مسیر وقوع پیامد ناشی از رخداد رویداد نهایی موانعی وجود دارد که مانع از کاهش اثر پیامد می‌شود. عملکرد صحیح/غیرصحیح این موانع می‌تواند پیامدهای مختلفی ایجاد شود. این موانع تحت عنوان موانع کاهش‌دهنده اثر نامیده می‌شوند. در این پژوهش مسیر رخداد پیامدهای احتمالی برای دکل حفاری جک آپ مورد بررسی قرار گرفته است و موانع و پیامدهای آن مورد بررسی قرار گرفته است. برای پیاده سازی مدل پاپیونی، ۵ مرحله اصلی (شناسایی رویداد اصلی، شناسایی تهدیدها یا علت‌ها، شناسایی موانع پیشگیری کننده یا روش‌های کنترلی، شناسایی پیامدها، شناسایی موانع کاهش‌دهنده یا اقدامات جبرانی) وجود دارد که در شکل (۳) شرح داده شده است [۵۲].

• **مرحله شناسایی رویداد اصلی:** در قسمت مرکزی پاپیونی که به نوعی گره پاپیون می‌باشد، رویداد اصلی قرار دارد. رویداد اصلی بعنوان آزاد شدن خطر تعریف می‌شود. بطور مثال مایع نفتی درون یک مخزن، یک خطر است. وقتی مایع نفتی دچار نشتی شود، به عنوان رویداد اصلی قلمداد می‌گردد. در روش مدل پاپیونی تعریف درست رویداد اصلی، یک نکته اساسی است چون بقیه اجزاء نمودار براساس آن تنظیم می‌شود.

^۱ University of Queensland

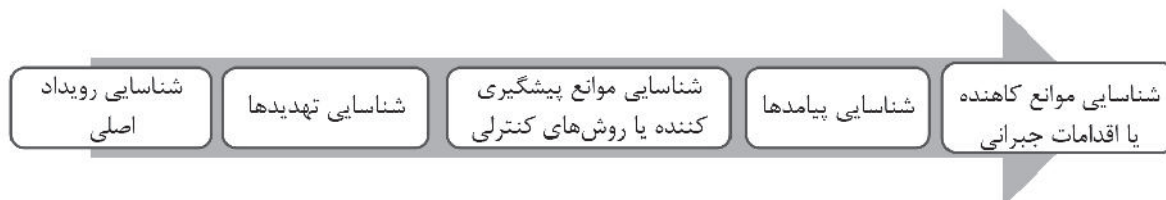
^۲ Hazen

^۳ Shell plc



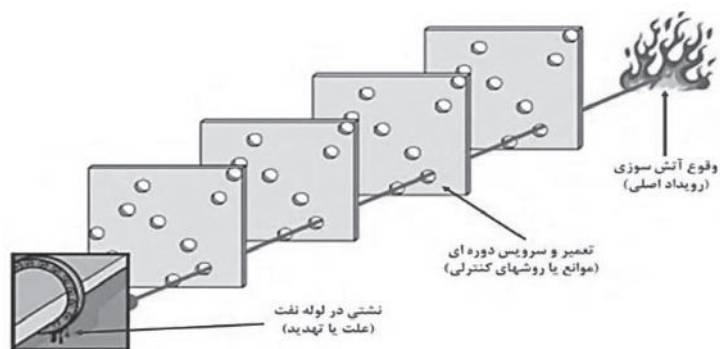


- **مرحله شناسایی موانع (روش‌های کنترل):** مانع اقدام کنترلی است که برای پیشگیری از وارد شدن آسیب، طراحی و اجرا می‌گردد. موانع یا روش‌های کنترلی در جلوی تهدیدها قرار می‌گیرند تا از ایجاد رویداد اصلی، جلوگیری شود. انواع موانع، کنترل‌ها و لایه‌های دفاعی به شرح ذیل هستند: موانع مبتنی بر اعمال انسان، موانع طبیعی، موانع فیزیکی.



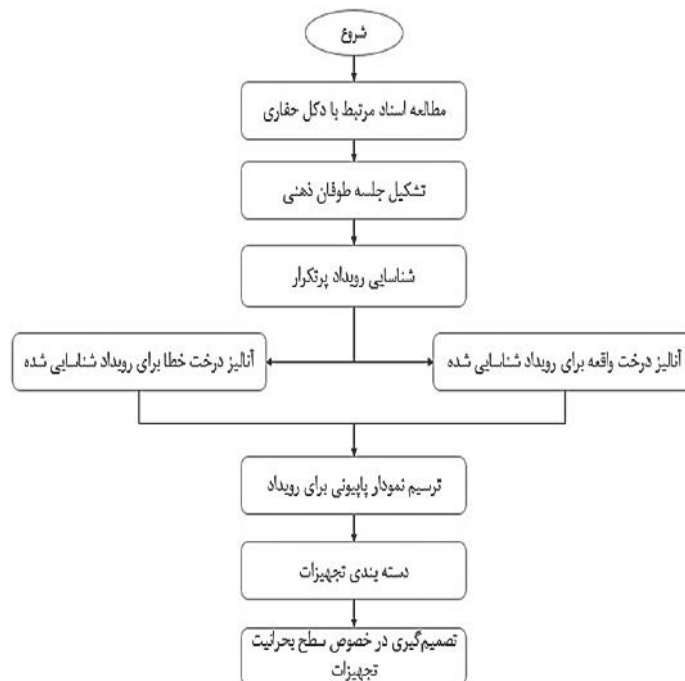
شکل (۳). گام‌های انجام مطالعات آنالیز بحرانیات تجهیزات براساس روش کرسپو مارکز و استاندارد NORSOK Z-008

- **مرحله شناسایی تهدیدها (علت‌ها):** هنگامی که رویداد اصلی استقرار یافت، تهدیدهای احتمالی شناسایی می‌گردد. یک تهدید، چیزی است که در نبود مانع، منجر به رویداد اصلی می‌شود. بهترین روش درک تهدیدها، روش طوفان ذهنی است. این سؤال را از خود بپرسید که چه علل احتمالی می‌تواند منجر به از دست رفتن کنترل‌ها یا نقص در موانع شود. تهدیدها یا علت‌ها در سمت چپ نمودار پاییونی قرار می‌گیرد. مسیر بین تهدیدها و رویداد نهایی به کمک آنالیز درخت خطا (FTA) ترسیم می‌شود.



شکل (۴). مثالی از موانع/روش‌های کنترلی در پیشگیری از حادثه

- **مرحله شناسایی پیامدها:** غالباً یک رویداد اصلی مهم منجر به چندین نوع خسارت می‌شود. ممکن است تولید متوقف شود، تجهیزات آسیب ببینند، آلودگی آب ایجاد شود، آتش‌سوزی رخ دهد، مرگ و میر رخ دهد. پیامدها در سمت راست نمودار پاییونی قرار می‌گیرد. برای مشخص کردن پیامدها در رویداد اصلی از آنالیز درخت رویداد (ETA) استفاده می‌شود.
- **مرحله شناسایی موانع کاهنده (اقدامات جبرانی):** موانع کاهنده یا اقدامات جبرانی بین رویداد اصلی و پیامد قرار می‌گیرد و با خطوط عمودی روی خطوط شعاعی نشان داده می‌شود. موانع کاهنده یا اقدامات جبرانی کمک می‌کنند تا احتمال و شدت پیامدها کاهش یابد. تمامی اقدامات فنی و مهندسی، عملیاتی و اداری که نقش کاهشی در تأثیرات و پیامدهای ناشی از رویداد اصلی را دارد جزء موانع کاهنده یا اقدامات جبرانی محسوب می‌شود.



شکل (۵). دیاگرام آنالیز بحرانیت تجهیزات به کمک مدل پایبونی

در این پژوهش به منظور انجام مطالعات آنالیز بحرانیت تجهیزات دکل حفاری به کمک مدل پایبونی در ابتدا مهم ترین رخداد ممکن در دکل حفاری شناسایی شد. برای شناسایی این رخداد از جلسات طوفان ذهنی و استفاده از تجربیات خبرگان استفاده شد. سپس به کمک مدل پایبونی مسیر رخداد این رویداد تا زمان پیامدهای آن شناسایی و ترسیم شد. پس از ترسیم مدل پایبونی مربوط به رخداد شناسایی شده، با توجه به توالی تعریف شده در طی وقوع رخداد عمده، بحرانیت تجهیزات از علل پایه ای به سمت ایجاد پیامدها کاهش می یابد. شکل (۵) دیاگرام آنالیز بحرانیت تجهیزات به وسیله مدل پایبونی را تشریح می کند:

- ✓ مطالعه اسناد مرتبط با دکل حفاری: در این مرحله بررسی اجزا دکل حفاری، نحوه کارکرد دکل، دستورالعمل های نگهداری و تعمیرات، عملیاتی و ایمنی آن پرداخته می شود و سپس با مراجعه به هرم تاکسونومی دسته بندی تجهیزات دکل حفاری صورت گرفت.
- ✓ تشکیل جلسه طوفان ذهنی: پس از بررسی اسناد مرتبط با دکل، جلساتی با حضور خبرگان صنعت حفاری اعم از نگهداری و تعمیرات و عملیات و ایمنی برگزار شد و روش پایبونی را برای آن ها تشریح شد. در این جلسه به بررسی اجزا مختلف دکل و نحوه کارکرد آنان و شناسایی گلوگاه ها پرداخته شد.
- ✓ شناسایی رویدادهای پرتکرار: پس از بررسی اجزا دکل و گلوگاه ها در جلسه طوفان ذهنی با توجه به سوابق دکل موجود در زمینه حوادث، به شناسایی حوادث پرتکرار و علل مطرح شده و اطلاعات مذکور مورد آنالیز قرار گرفت.
- ✓ آنالیز درخت رویداد برای رویدادهای شناسایی شده: در این بخش با خبرگان صنعت به بررسی علل حوادث پرتکرار پرداخته شد و مرحله به مرحله به علل رخدادها و احتمال آن ها، تجهیزات تاثیرگذار و نیز ریشه حادثه و موانع ایجاد رخداد اصلی را مورد شناسایی قرار گرفت.
- ✓ آنالیز درخت خطا برای رویدادهای شناسایی شده: در این گام به بررسی پیامدهای پس از رخداد و شناسایی تجهیزات حیاتی پس از رخداد پرداخته شد و به دنبال آن موانع آسیب به سایر تجهیزات و عملکردهای ایمنی شناسایی شد.
- ✓ ترسیم نمودار پایبونی برای رویداد: پس از بررسی های انجام شده در مراحل قبل با حضور خبرگان و نظرات آن ها نمودار پایبونی برای رخداد سیلان با استفاده از درخت های FTA و FTA رسم شد و تجهیزات به موانع تاثیرگذار بر پیامد هر رخداد شناسایی شد.
- ✓ دسته بندی تجهیزات: پس از رسم نمودار پایبونی، تجهیزات به دو دسته تاثیرگذار و بی تاثیر در رویداد سیلان، با توجه به هرم تاکسونومی دسته بندی شدند.



✓ تصمیم‌گیری در خصوص بحرانیات تجهیزات: پس از دسته‌بندی تجهیزات با بررسی هریک از آن‌ها، توسط خبرگان سطح بحرانیات هر یک از آن‌ها تعیین شد.

۳-۲-۲- مراحل بکارگیری روش‌های کرسپو مارکز و NORSOK Z-۰۰۸

در پژوهش حاضر جهت اولویت‌بندی تجهیزات سه معیار عملیات، ایمنی و نگهداری- تعمیرات در نظر گرفته شد. لذا متناسب با این سه معیار و روش‌های استفاده شده در پژوهش‌های پیشین که در پیشینه پژوهش ذکر شده است از روش‌های پاپیونی، کرسپو مارکز و استاندارد NORSOK Z-008 استفاده شد. هر یک از روش‌های مورد استفاده دارای ویژگی‌های مشترک و متفاوتی هستند که باعث شناخت بهتر تجهیزات و اولویت‌بندی بهتر آن‌ها می‌شوند. از آنجایی که روند بررسی تجهیزات در دو روش کرسپو مارکز و استاندارد NORSOK Z-۰۰۸ مشابه یکدیگر است در این قسمت به گام‌های این دو روش می‌پردازیم [۵۳]. (شکل ۶).

گام اول: تعیین ضرورت اولویت‌بندی: با توجه به محدودیت منابع در همه شرکت‌ها، بخش‌های مختلف ملزم به استفاده بهینه از تمامی امکانات موجود خود هستند. در شرکت‌های حفاری برای استفاده بهینه از منابع و برای حفظ وضعیت پایدار دکل حفاری و یا بهبود وضعیت آن که مهم‌ترین دارایی شرکت است، ابتدا باید تجهیزات بحرانی دکل را شناسایی و سپس سیاست‌های سازمانی خود را در قبال این تجهیزات پیاده سازی کنند.



شکل (۶). گام‌های انجام مطالعات آنالیز بحرانیات تجهیزات براساس روش کرسپو مارکز و استاندارد NORSOK Z-۰۰۸

گام دوم: تعیین محدوده و لیست تجهیزات دکل حفاری مطابق با استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴: در این گام ابتدا دکل حفاری مورد نظر که در این پژوهش دکل حفاری نوع جکاپ بود، انتخاب و سپس جهت گزینش تجهیزات بحرانی از بین تمامی تجهیزات باید از قاعده ذکر شده در ایزو ۱۴۲۲۴ استفاده شد. مطابق این قاعده تجهیزات که در سطح شش هرم تاکسونومی هستند، می‌توانند جهت بررسی بحرانیات معرفی شوند.

گام سوم: تهیه پرسشنامه متناسب برای هر تجهیز: بعد از تعیین محدوده و لیست تجهیزات حفاری نیاز به طراحی پرسشنامه‌ای برای هریک از روش‌های کرسپو مارکز و NORSOK Z-۰۰۸ است. با توجه به معیارهای بیان شده برای هر یک از روش‌ها، پرسشنامه‌ای طراحی شده و در اختیار خبرگان گرفت. جزئیات بیش‌تر در مورد نحوه طراحی پرسشنامه، در بخش پیوست‌ها آورده شده است. برای سنجش روایی پرسشنامه‌ها از نظر متخصصان و کارشناسان استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا برای شناسایی تجهیزات جلسه‌ای تشکیل و روش‌های مورد نظر آموزش داده شد و پس از مصاحبه با خبرگان و متخصصان جمع‌بندی نظرات آنها درباره میزان بحرانیات تجهیزات نمره‌گیری از پرسشنامه تهیه و با مشورت و تبادل نظر همگی آنها تکمیل گردید. بنابراین باید گفت چون اطلاعات از خبرگانی با تجربه و مهارت کافی بدست آمده است، تحقیق دارایی روایی و پایایی است. چون پرسشنامه‌ها طبق استاندارد NORSOK Z-۰۰۸ و روش کرسپو مارکز است، دارای روایی می‌باشد.

گام چهارم: ارائه پرسشنامه به کارشناس‌ها و خبرگان فعال در زمینه حفاری: در گام سوم، روش‌های مورد بررسی در پژوهش طی جلسه‌ای برای خبرگان تشریح شد و سپس پرسشنامه طراحی شده به کارشناسان و خبرگان صنعت حفاری که ویژگی‌های این خبرگان در قلمرو تحقیق تبیین شده است، ارائه گردید. پرسشنامه با مشارکت تمامی افراد پس از بحث‌های فراوان تکمیل گردید که در آن نمره‌دهی و میزان بحرانیات هر یک از تجهیزات مورد بررسی در دکل حفاری صورت گرفت.

گام پنجم: جمع‌آوری پرسشنامه و تحلیل نتایج: پس از انجام پرسشنامه توسط خبرگان و دریافت نتایج از ایشان پرسشنامه‌های طراحی شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و درجه بحرانیات آن‌ها تعیین شد.

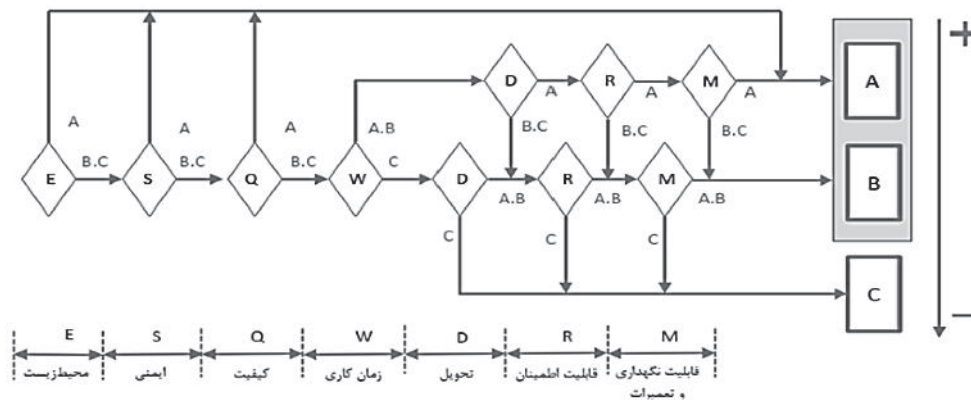




تکرار پذیری	تعداد تکرار در میانگین زمان بین دو نقص	ریسک
F ₄	بیشتر از ۱	متوسط
F ₃	بین ۰.۳ تا ۱	متوسط
F ₂	بین ۰.۱ تا ۰.۳	پایین
F ₁	کمتر از ۰.۱	پایین
از بین رفتن عملکرد باعث:		
دسته بندی پیامدی		
C ₃		
C ₂		
C ₁		
پیامد ایمنی		
پیامد حامل انرژی		
پیامد زیست محیطی (زمان بازگردانی)		
پیامدهای از منظر تولید		
پیامدهای دیگر		

شکل (۷). ماتریس شناسایی تجهیزات بحرانی به روش NORSOK Z-۲۰۰۸





شکل (۸). نمودار گردش کار روش کرسپو مارکز به منظور تحلیل بحرانیت

براساس استاندارد NOR-SOK Z-008، اولویت‌بندی تجهیزات از لحاظ بحرانیت با توجه به معیارهایی چون ریسک ایمنی، زیست محیطی، تولیدی، نگهداری و عملیاتی صورت می‌گیرد که نحوه برآورد آن در شکل (۷) ارائه شده است. همچنین معیار رتبه‌بندی و تحلیل بحرانیت تجهیزات در دکل حفاری براساس روش کرسپو مارکز براساس شکل (۸) می‌باشد. در این روش براساس پیامدهای احتمالی ایجاد شده ناشی از نقص تجهیز، در خصوص سطح بحرانی بودن آن تصمیم‌گیری می‌شود و در نهایت تجهیزات در سه سطح A، B و C دسته‌بندی می‌شوند. قسمت اصلی این روش تدوین نمودار جریان کار است تا بتوان به کمک آن در خصوص سطح بحرانیت تجهیزات تصمیم‌گیری نمود. نمودار جریان کار تعدادی از سوالاتی که برای ارزیابی مورد نیاز است را مشخص می‌کند تا مسیر اولویت‌بندی تجهیزات واضح‌تر شود. این سوالات باید تمامی پارامترهای مؤثر در سطح بحرانی بودن تجهیزات را شامل شود، عبارتند از محیط زیست، مسائل ایمنی، کیفیت، زمان کاری، جریان کاری، پایایی و نگهداری و تعمیرات، همان‌طور که در شکل (۸) نیز قابل مشاهده است.

۴- یافته‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش با استفاده از متد معرفی شده در بخش روش تحقیق، تجهیزات بحرانی دکل حفاری جکاپ مطابق با هر سه روش پایبونی، کرسپو مارکز و NOR-SOK Z008 شناسایی و اولویت‌بندی شده و سپس نتایج و خروجی‌های هر روش از لحاظ تعداد تجهیزات بحرانی و اولویت‌بندی آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند تا رویکرد دقیق شناسایی تجهیزات بحرانی توسط هر روش تعیین شود.

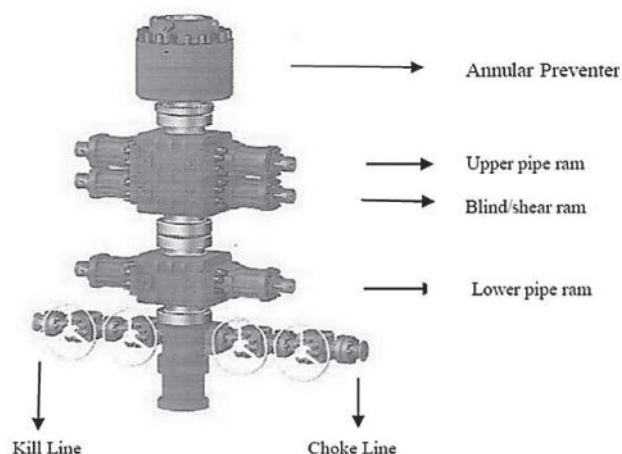
۴-۱- نتایج روش پایبونی

بنابر موارد مطرح شده در مورد روش پایبونی، در این روش ابتدا باید از نتایج حاصل از ارزیابی ریسک دکل حفاری برای شناسایی رویداد اصلی استفاده کرد. طبق ارزیابی ریسک‌های انجام گرفته در مورد دکل حفاری [۵۴] رویداد اصلی برای ترسیم نمودار پایبونی، رویداد سیلان است که در نهایت می‌تواند منجر به فوران چاه می‌شود. با در نظر گرفتن سیلان به عنوان رویداد اصلی نمودار پایبونی و استفاده از نتایج شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک و همچنین برگزاری جلسات طوفان ذهنی با متخصصین و خبرگان حوزه ریسک دکل حفاری، نمودار مورد نظر توسعه داده شد که شکل (۹) خروجی آن است. شایان ذکر است تمام تجهیزاتی که در نمودار پایبونی رسم شده و به نوعی نقشی در رخداد و یا پیشگیری از رخداد رویداد اصلی دارند، به عنوان تجهیز بحرانی شناسایی و معرفی می‌شوند. در واقع طبق روش پایبونی، تجهیزات بحرانی تجهیزاتی هستند که فارغ از امکان خرابی، در صورت خرابی و یا نقص در عملکرد منجر به بروز یک رویداد اصلی و یا حادثه‌ی عمده شوند که لیست آن‌ها در جدول (۵) آورده شده است. پایین آمدن فشار هیدرواستاتیک به میزان کمتر از فشار نفوذی سازنده، از بین رفتن یکپارچگی و استحکام چاه و مواجهه با لایه پرفشار در سازند حفاری دلایل اصلی برای رویداد سیلان به شمار می‌آیند. ستون گل یا سیال حفاری به عنوان مانع ایمنی اولیه در نظر گرفته می‌شود. این مانع فشار را در سطحی بالاتر از فشار نفوذی در کف چاه حفظ کرده و از وقوع سیلان جلوگیری می‌نماید. تجهیزات سرچاهی یا فوران‌گیر نیز به عنوان مانع ایمنی ثانویه، مانع از وقوع فوران می‌شوند. فوران‌گیر ابزاری است که از یک بدنه اصلی و تعدادی شیر کنترل تشکیل شده است و طی عملیات حفاری روی سر آخرین لوله جداری در چاه رانده شده بسته می‌شود و شامل دو عدد رم لوله‌ای، یک رم برشی یا کورکننده، یک مهارکننده حلقوی و شیرهای ورود و خروج گل می‌باشد. علاوه بر ستون گل و تجهیزات سرچاهی، تشخیص سیلان و لوله‌های جداری دیواره چاه از دیگر لایه‌های ایمنی به شمار می‌آیند.





که به طور مستقل بر عملکرد دیگر لایه‌های ایمنی تأثیر می‌گذارند.



شکل (۹). تجهیزات سرچاهی پیشگیری از فوران

جدول (۵). رویدادهای پایه شناسایی شده در روش پاپیونی برای رویداد اصلی سیلان در چاه

رویداد	توصیف رویدادهای پایه	تجهیزات بحرانی مرتبط
BE۰۱	مواجه با لایه پرفشار در سازند حفاری	
BE۰۲	وجود مقدار کافی از مواد هیدروکربنی در سازند حفاری	
BE۰۳	نقص در سیستم پمپاژ (Pump Failure)	پمپ گل، مخزن گل، سیستم تصفیه گل،
BE۰۴	نقص در سیستم برق (Power Failure)	سیستم تامین نیروی دکل
BE۰۵	بسته شدن فضای دالیز (Plug Annulus)	
BE۰۶	هرزروی سیال حفاری از طریق دالیز یا سازند حفاری (Annulus Loss)	
BE۰۷	هرزروی سیال در اثر شکست سازند	
BE۰۸	اثرات دما بر سیال حفاری	
BE۰۹	اثرات ورود نفت، آب و یا گاز به سیال حفاری (Cut Mud)	
BE۱۰	خطا در تجهیزات اندازه‌گیری چگالی	
BE۱۱	خطای اپراتور در مخلوط کردن صحیح چگالی سیال حفاری	
BE۱۲	طراحی ضعیف	
BE۱۳	رانندگی زمین	
BE۱۴	رانندگی نامناسب لوله‌های جداری	لوله جداری دیواره چاه
BE۱۵	خطا در بازرسی لوله‌های جداری	
BE۱۶	خطا در بازرسی از سیمان کاری	
BE۱۷	آلوده شدن مایع سیمان یا گل حفاری و یا سایر سیالات سازندی	تجهیزات سیمانکاری
BE۱۸	خطا در نوع کلاس سیمان	تجهیزات سیمانکاری
BE۱۹	خطا در مقدار مواد اضافه شده به سیمان	
BE۲۰	خطا در اندازه‌گیری صحیح وزن سیمان	
BE۲۱	آبرفتگی سیمان (Cement Shrinkage)	تجهیزات سیمانکاری
BE۲۲	ناکافی بودن گل حفاری جهت جایگزینی سیمان درون لوله جداری	
BE۲۳	هرزروی سیمان از طریق سازند حفاری	تجهیزات سیمانکاری
BE۲۴	خطا در مقدار سیمان مورد نیاز جهت لوله	تجهیزات سیمانکاری

در پژوهش حاضر درخت رویداد با توجه به اولویت فعال‌شدن هریک از لایه‌های ایمنی با هفت لایه حفاظتی مطابق با پیوست (۱)



ترسیم گردید. براساس شکل و طبق مدل پایبونی و برای دکل حفاری جکاپ، پمپ گل، مخزن گل، سیستم تصفیه گل، تجهیزات سیمان کاری، سیستم تامین نیروی دکل، لوله جداری دیواره چاه و جبران ساز رایزر در قسمت FTA نمودار و سیستم BOP در قسمت FTA نمودار به عنوان تجهیزات بحرانی معرفی شدند. طبق روش پایبونی و با استفاده از خروجی های جلسات ارزیابی ریسک، ۷ تجهیز (۳۳ درصد) از تجهیزات منتخب طبق استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ به عنوان تجهیزات بحرانی و ۱۵ تجهیز (۶۷ درصد) به عنوان تجهیز غیر بحرانی شناسایی شدند که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶). تفکیک تجهیزات از نظر بحرانیّت در روش پایبونی

تعداد تجهیزات بحرانی	تعداد تجهیزات نیمه بحرانی	تعداد تجهیزات غیر بحرانی
۷	۰	۱۵
لیست تجهیزات بحرانی	لیست تجهیزات نیمه بحرانی	لیست تجهیزات غیر بحرانی
پمپ گل	-	رایزر حفاری (Drilling Riser)
مخزن گل	-	سازه دکل (Derrick/Mast)
سیستم تصفیه گل	-	گروه حفاری (Draw works)
موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction Motor)	-	قرقره تاج دکل (Crown Block)
لوله جداری دیواره چاه (casing)	-	بالابر (Elevator)
تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment)	-	مته حفاری
جبران ساز رایزر (Riser Compensator)	-	لوله ایستاده (Stand pipe)
-	-	بالابرنده تکمیلی (Completion Riser)
-	-	پایپ رکنینگ/هیدروکرا
-	-	مانکی آرم
-	-	شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer)
-	-	شلنگ (Hose)
-	-	منجنیق حفاری
-	-	قرقره متحرک (Travelling Block)
-	-	مجموعه تاپ دراو (Top Drive)

نتایج مربوط به آنالیز بحرانیّت و اولویت بندی تجهیزات مربوط به دکل حفاری براساس روش کرسپو مارکز در جدول (۷) ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده از نظر جمیع خبرگان، تجهیزاتی چون موتور دیزلی تامین نیروی دکل، مجموعه تاپ دراو، جبران کننده رایزر، مته حفاری و رایزر حفاری به عنوان بحرانی ترین دارایی ها شناخته شدند. به عبارتی دیگر ۵ تجهیز (۲۳ درصد) از تجهیزات منتخب طبق استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ به عنوان تجهیزات بحرانی و ۹ تجهیز (۴۱ درصد) به عنوان تجهیزات نیمه بحرانی و ۸ تجهیز (۳۳ درصد) به عنوان تجهیز غیر بحرانی شناسایی و معرفی شدند.



جدول (۷). تفکیک تجهیزات از نظر بحرانیت در روش کرسپو مارکز

تعداد تجهیزات بحرانی	تعداد تجهیزات نیمه بحرانی	تعداد تجهیزات غیر بحرانی
۵	۸	۹
لیست تجهیزات بحرانی	لیست تجهیزات نیمه بحرانی	لیست تجهیزات غیر بحرانی
موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction Motor) مجموعه تاپ دراو (Top Drive) جبران ساز رایزر (Riser Compensator) مته حفاری رایزر حفاری (Drilling Riser)	منجنیق حفاری پمپ گل سیستم تصفیه گل مخزن گل شلنگ (Hose) شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer) تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment) لوله جداری دیواره چاه (Casing)	سازه دکل (Derrick/Mast) گردونه حفاری (Draw works) قرقره تاج دکل (Crown Block) قرقره متحرک (Travelling Block) بالابر (Elevator) لوله ایستاده (Stand pipe) بالابرنده تکمیلی (Completion Riser) پایپ رکینگ/هیدرورکر مانکی آرم

نتایج مربوط به آنالیز بحرانیت و اولویت‌بندی تجهیزات مربوط به دکل حفاری براساس روش NORSOK Z-۰۰۸ در جدول (۸) ارائه شده است. با استفاده از نظر جمیع خبرگان، ۶ تجهیز (۲۷ درصد) از تجهیزات منتخب طبق استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ به عنوان تجهیزات بحرانی و ۷ تجهیز (۳۲ درصد) به عنوان تجهیزات نیمه بحرانی و ۹ تجهیز (۴۱ درصد) به عنوان تجهیز غیر بحرانی شناسایی شدند. تجهیزاتی چون موتور دیزلی تامین نیروی دکل، مجموعه تاپ دراو، گردونه حفاری، جبران کننده رایزر، شلنگ و شیرهای فوران گیر، بالاترین اولویت را از لحاظ بحرانیت به خود اختصاص دادند.

جدول (۸). تفکیک تجهیزات از نظر بحرانیت در NORSOK Z-۰۰۸

تعداد تجهیزات بحرانی	تعداد تجهیزات نیمه بحرانی	تعداد تجهیزات غیر بحرانی
۶	۷	۹
لیست تجهیزات بحرانی	لیست تجهیزات نیمه بحرانی	لیست تجهیزات غیر بحرانی
موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction) Motor مجموعه تاپ دراو (Top Drive) گردونه حفاری (Draw works) جبران ساز رایزر (Riser Compensator) شلنگ (Hose) شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer)	منجنیق حفاری پمپ گل سیستم تصفیه گل قرقره تاج دکل (Crown Block) قرقره متحرک (Travelling Block) مته حفاری تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment)	مخزن گل سازه دکل (Derrick/Mast) بالابر (Elevator) لوله ایستاده (Stand pipe) رایزر حفاری (Drilling Riser) بالابرنده تکمیلی (Completion Riser) پایپ رکینگ/هیدرورکر مانکی آرم

در ادامه به مقایسه سه روش به منظور اولویت‌بندی دارایی‌ها در دکل حفاری نوع جک‌آپ پرداخته شده است که در آن‌ها تفاوت‌ها و شباهت‌های آن‌ها و همچنین رویکرد هر روش به طور دقیق مشخص شده است. با مشاهده نتایج حاصل از روش‌های پایبونی و کرسپو مارکر مشخص گردید در حالت کلی ۱۰ تجهیز مشترک براساس مقایسه دو روش وجود داشته که در آن ۲ تجهیز بحرانی (موتور دیزلی تامین نیروی دکل و جبران‌ساز بالابرنده) و ۸ تجهیز غیربحرانی (سازه دکل، گردونه حفاری، قرقره متحرک، بالابر، لوله ایستاده، بالابرنده تکمیلی، باب رینگ/هیدروکر و مانک، آرم) شناسایی شدند (جدول (۹)).

تعداد تجهیزات مشترک	تعداد تجهیزات مشترک
۱۲	۱۰
لیست تجهیزات غیر مشترک	لیست تجهیزات مشترک
	بحرانی مشترک
منجنیق حفاری	موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction Motor)
تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment)	جبران ساز رایزر (Riser Compensator)
لوله جداری دیواره چاه (Casing)	-
شلنگ (Hose)	-
فرقره تاج دکل (Crown Block)	-
پمپ گل	-
سیستم تصفیه گل	-
معزن گل	-
مجموعه تاپ درایو (Top Drive)	-
شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer)	-
مته حفاری	-

دوره ۴، شماره ۱، پیاپی ۷، بهار و تابستان ۱۴۰۱



جدول (۱۰). مقایسه تعداد و لیست تجهیزات مشترک و غیر مشترک از نظر بحرانیت در روش‌های پایبونی و NORSOK Z-۰۰۸

تعداد تجهیزات مشترک		تعداد تجهیزات غیر مشترک
۹		۱۳
لیست تجهیزات مشترک		لیست تجهیزات غیر مشترک
بحرانی مشترک	غیر بحرانی مشترک	
موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction Motor)	سازه دکل (Derrick/Mast)	گردونه حفاری (Draw works)
جبران ساز رایزر (Riser Compensator)	بالابر (Elevator)	قرقره تاج دکل (Crown Block)
-	لوله ایستاده (Stand pipe)	قرقره متحرک (Travelling Block)
-	بالابرنده تکمیلی (Completion Riser)	سیستم تصفیه گل
-	پایپ رکینگ/هیدرورکر	پمپ گل
-	مانکی آرم	منجنیق حفاری
-	رایزر حفاری (Drilling Riser)	مجموعه تاپ درایو (Top Drive)
-	-	مخزن گل
-	-	شلنگ (Hose)
-	-	مته حفاری
-	-	شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer)
-	-	تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment)
-	-	لوله جداری دیواره چاه (Casing)

با مشاهده نتایج حاصل از روش‌های کرسپومارکز و NORSOK Z-۰۰۸ مشخص شد (جدول (۱۱)) که این دو روش در ۳ تجهیز بحرانی (موتور دیزلی تامین نیروی دکل، مجموعه تاپ درایو و جبران ساز رایزر) و ۵ تجهیز نیمه بحرانی (قرقره تاج دکل، پمپ گل، سیستم تصفیه گل، منجنیق حفاری و تجهیزات سیمانکاری) و ۶ تجهیز غیر بحرانی (سازه دکل، بالابر، لوله ایستاده، بالابرنده تکمیلی، پایپ رکینگ/هیدرورکر و مانکی آرم) و مجموعاً ۱۴ تجهیز مشترک هستند که لیست تجهیزات مورد نظر به شرح جدول (۹) می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله از مقایسات بین روش‌های پایبونی و NORSOK Z-۰۰۸ و روش کرسپو مارکز، می‌توان دریافت که تفاوت عمده مدل پایبونی با دو مدل دیگر در این است که مدل پایبونی صرفاً به پیامد خرابی یا عدم عملکرد صحیح تجهیز توجه می‌کند و احتمال وقوع آن را لحاظ نمی‌کند. ولی طبق فرمول‌های دو روش NORSOK و کرسپو مارکز، آن‌ها احتمال یا فرکانس خرابی تجهیز را در محاسبات خود برای تعیین بحرانیت تجهیز لحاظ می‌کنند. این تفاوت ساختاری در تعیین تجهیزات مشترک بحرانی بین مدل پایبونی با دو مدل دیگر که در آن قواعد احتمالات خرابی در نظر گرفته شده است، باعث می‌شود که سخت‌گیری بیشتری در معرفی تجهیزات بحرانی داشته باشد. برای مثال در مقایسه مدل پایبونی با دو مدل دیگر، تنها ۲ تجهیز شامل موتور دیزلی تامین نیروی دکل و جبران ساز رایزر به عنوان دارایی‌های بحرانی معرفی شوند، حال آن‌که مدل پایبونی در حالت عادی بدون در نظر گرفتن شرایط احتمال خرابی‌ها و با اعمال سخت‌گیری کمتر، ۷ تجهیز شامل چون پمپ و مخزن گل، سیستم تصفیه گل، موتور دیزلی تامین نیروی دکل، لوله جداری دیواره چاه، جبران ساز رایزر و تجهیزات سیمانکاری را به عنوان دارایی‌های بحرانی معرفی شده است. همچنین نکته حائز اهمیت دیگر این است که مدل پایبونی به تنهایی قادر به اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی نبود و فقط در شناسایی آن‌ها مورد استفاده است. این در حالی که دو روش دیگر به دلیل استفاده از فرمول مشخص برای



تعیین سطح بحرانیت، علاوه بر شناسایی قادر به اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی نیز می‌باشند. همچنین براساس نتایج اشتراکات سه روش مذکور، مجموعه موتور دیزل تامین نیروی دکل و جبران‌ساز رایزر، به‌عنوان بحرانی‌ترین تجهیزات در دکل حفاری نوع جک‌آپ شناخته شدند که در نتیجه عمده باید تمرکزها بر روی بهبود برنامه نگهداشت و نیز دستور کارها در خرید قطعات یدکی این نوع از تجهیزات قرار گیرد.

جدول (۱۱). مقایسه تعداد و لیست تجهیزات مشترک و غیرمشترک از نظر بحرانیت در روش‌های کرسپو مارکز و NOR-SOK ٪۰۰۸

تعداد تجهیزات مشترک		تعداد تجهیزات غیر مشترک	
۹		۱۳	
لیست تجهیزات مشترک		لیست تجهیزات غیر مشترک	
بحرانی مشترک	نیمه بحرانی مشترک	غیر بحرانی مشترک	
موتور دیزلی تامین نیروی دکل (Traction Motor)	قرقره تاج دکل (Crown Block)	سازه دکل (Derrick/Mast)	گردونه حفاری (Draw works)
مجموعه تاپ درایو (Top Drive)	پمپ گل	بالابر (Liftvator)	قرقره متحرک (Travelling Block)
جبران ساز رایزر (Riser Compensator)	سیستم تصفیه گل	لوله ایستاده (Stand pipe)	لوله جداری دیواره چاه (Casing)
-	منجنیق حفاری	بالابر نه تکمیلی (Completion Riser)	مخزن گل
-	تجهیزات سیمانکاری (Cementing Equipment)	پایپ رینگ/هیدروورکر	شلنگ (Hose)
-	-	مانکی آرم	مته حفاری
-	-	-	رایزر حفاری (Drilling Riser)
-	-	-	شیرهای فوران گیر (Blow Out Preventer)

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از پژوهش حاضر شناخت انواع تجهیزات بحرانی و اولویت‌بندی آن‌ها در عملیات حفاری نفت و گاز به ویژه در دکل‌های حفاری نوع جک‌آپ در سواحل کشور، با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش انواع پیامدهای عملیاتی و غیرعملیاتی از طریق ارتقاء برنامه‌های مناسب ایمنی و نگهداشت است. در گام نخست به منظور شناسایی و انتخاب تجهیزات مهم در دکل حفاری از سطح شش استاندارد ایزو ۱۴۲۲۴ الگوبرداری شد. به دنبال آن با هدف اولویت‌بندی تجهیزات از سه روش شناخته شده در زمینه تحلیل ریسک بحرانیت شامل روش پایبونی، روش کرسپو مارکز و نیز روش ارائه شده در استاندارد NOR-SOK standard Z-۰۰۸ استفاده شد. روش تحقیق به صورت بررسی کتابخانه‌ای و نیز طراحی پرسشنامه به منظور کسب نظرات خبرگان بوده است. براساس نتایج به دست آمده، روش‌های کرسپو مارکز و NOR-SOK standard Z-۰۰۸ دارای شباهت‌های زیادی در شناسایی دارای-های بحرانی بودند، چرا که میزان بحرانیت هر تجهیز براساس میزان ریسک مشخص شده و نیز دارای دسته‌بندی‌های بحرانی، نیمه بحرانی و غیر بحرانی می‌باشند. اما در روش پایبونی تجهیزات تنها در دو دسته بحرانی و غیر بحرانی دسته‌بندی می‌شوند و میزان اشتراک کم‌تری با دو روش قبلی در فرآیند اولویت‌بندی تجهیزات دارد. همچنین مدل پایبونی به تنهایی قادر به اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی نبود و فقط در شناسایی آن‌ها مورد استفاده است. با توجه به نتایج به دست آمده از طریق بررسی اشتراک سه روش مذکور، مجموعه موتور دیزل تامین نیروی دکل و جبران‌ساز رایزر، به عنوان





بحرانیت‌ترین تجهیزات در دکل حفاری نوع جک‌آپ شناخته شدند. از این‌رو شناسایی تجهیزاتی که نیاز به هم‌افزونه دارند، اولویت‌بندی برای خرید قطعات یدکی مورد نیاز، ارائه برنامه نگهداری و تعمیرات مناسب جهت مراقبت و استفاده بهینه از سیستم و تجهیزات، و نیز ارائه سیاست‌های ایمنی جهت محافظت از سیستم، تجهیزات و نیروی انسانی برای بهبود عملکرد تجهیزات بحرانیت شناخته شده در دکل حفاری پیشنهاد می‌گردد. همچنین علاوه بر روش‌های بکار گرفته شده در این تحقیق، سایر روش‌های تحلیل ریسک به منظور اولویت‌بندی تجهیزات و نیز بکارگیری روش‌هایی چون فازی و شبکه‌های بیزین با هدف تقویت روش‌های مذکور در شرایط عملیات دینامیکی، برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

۶- منابع و مآخذ

1. Center for Chemical Process Safety (CCPS). (۲۰۱۰). *Guidelines for Risk Based Process Safety*. John Wiley & Sons.
2. Broadribb, M. P. (۲۰۲۱). *Guidelines for integrating process safety into engineering projects*. Process Safety Progress, ۴۰(۱), e۱۲۱۷۹.
3. Moteff, J. (۲۰۰۵). *Risk management and critical infrastructure protection: Assessing, integrating, and managing threats, vulnerabilities, and consequences*. Library of Congress Washington DC Congressional Research Service.
4. Lopes, I. D. S., Senra, P., Neto, B., Costa, R., Sousa, M., Cabo, T., & Oliveira, J. A. (۲۰۱۷, December). Multi-criteria classification for prioritization of preventive maintenance tasks to support maintenance scheduling. In ۲۰۱۷ IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. ۲۱۰۲-۲۱۰۶). IEEE.
5. Taghipour, S., Banjevic, D., & Jardine, A. K. (۲۰۱۱). Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. *Journal of the Operational Research Society*, ۶۲(۹), ۱۶۶۶-۱۶۸۷.
6. Scheu, M. N., Tremps, L., Smolka, U., Kolios, A., & Brennan, F. (۲۰۱۹). A systematic Failure Mode Effects and Criticality Analysis for offshore wind turbine systems towards integrated condition-based maintenance strategies. *Ocean Engineering*, ۱۷۶, ۱۱۸-۱۳۳.
7. Khanlari, A., Mohammadi, K., & Sohrabi, B. (۲۰۰۸). Prioritizing equipment for preventive maintenance (PM) activities using fuzzy rules. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۴(۲), ۱۶۹-۱۸۴.
8. Sifonte, J. R., & Reyes-Picknell, J. V. (۲۰۱۷). *Reliability Centered Maintenance-Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R®*. Productivity Press.
9. Chemweno, P., Morag, I., Sheikhalishahi, M., Pintelon, L., Muchiri, P., & Wakiru, J. (۲۰۱۶). Development of a novel methodology for root cause analysis and selection of maintenance strategy for a thermal power plant: A data exploration approach. *Engineering Failure Analysis*, ۶۶, ۱۹-۳۴.
10. Yang, S. C., & Du, Z. W. (۲۰۰۴). Criticality evaluation for spare parts initial provisioning. In *Annual Symposium Reliability and Maintainability*, ۲۰۰۴-RAMS (pp. ۵۰۷-۵۱۳). IEEE.
11. Molenaers, A., Bacts, H., Pintelon, L., & Waczenbergh, G. (۲۰۱۲). Criticality classification of spare parts: A case study. *International Journal of Production Economics*, ۱۴۰(۲), ۵۷۰-۵۷۸.
12. Antosz, K., & Ratnayake, R. C. (۲۰۱۹). Spare parts' criticality assessment and prioritization for enhancing manufacturing systems' availability and reliability. *Journal of Manufacturing Systems*, ۵۰, ۲۱۲-۲۲۵.
13. Silva, L. V., Anholon, R., Rampasso, I. S., Silva, D., Quelhas, O. L. G., Lcal Filho, W., & Santa-Eulalia, L. A. (۲۰۲۰). Critical analysis of organizational change process: evidence from a steel company. *Business Process Management Journal*, ۲۶(۶), ۱۵۲۵-۱۵۴۰.
14. Jansson, N. (۲۰۱۳). "Organizational change as practice: a critical analysis", *Journal of Organizational Change Management*, ۲۶(۶), ۱۰۰۳-۱۰۱۹.
15. MIL-STD-۱۶۲۹A. (۱۹۶۲). *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, U.S. Department of Defense, Washington, DC. ۲۰.
16. Neal, R. A. (۱۹۶۲). *Modes of failure analysis summary for the Nerva B-۲ reactor*. Westinghouse Electric Corporation Astronuclear Laboratory (Vol. ۱۵۶). WANL-TNR-۰۴۲.
17. Robert, D. (۲۰۱۰). *State of the art reliability estimate of Saturn V propulsion systems*. General Electric Company. RM۱۳TMP-۲۲.
18. *Procedure for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*. (۱۹۹۶). RA-۰۰۶-۰۱۳-۱A, National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC.
19. IEC ۶۰۸۱۲. (۲۰۰۶). *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*, International Electrotechnical Commission.
20. BS ۵۷۶۰-۵. (۱۹۹۱). *Reliability of Systems, Equipment and Components Part ۵: Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMEA and FMECA)*, British Standards Institute



۲۱. The Offshore Installations (Safety Case) Regulation. (۲۰۰۵). UK S.I. ۲۰۰۵/۳۱۱۷.
۲۲. ARP۹۲۶. (۱۹۹۷) Fault/Failure Analysis Procedure, SAE International, Warrendale, PA.
۲۳. UK Health & Safety Executive. (۲۰۱۵). The Control of Major Accident Hazards Regulations, Guidance on Regulations, Publication L۱۱۱ (Third edition).
۲۴. Mirzaie Aliabadi, M., & Mohammadfam, I. (۲۰۱۸). Risk Assessment of Oil and Gas Exploration Well Blowout in Drilling Operations Using Bow Tie Analysis and Bayesian Network. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, ۴(۴), ۵۹-۶۹.
۲۵. Tang, Y., Jing, J., Zhang, Z., & Yang, Y. (۲۰۱۷). A quantitative risk analysis method for the high hazard mechanical system in petroleum and petrochemical industry. *Energies*, ۱۱(۱), ۱۴.
۲۶. Aali Nasab, S. (۲۰۱۰). Drilling rig equipment. Praise Publishing Institute, Tehran, Iran.
۲۷. Tamim, N., Laboureur, D. M., Mentzer, R. A., Hasan, A. R., & Mannan, M. S. (۲۰۱۷). A framework for developing leading indicators for offshore drill well blowout incidents. *Process Safety and Environmental Protection*, ۱۰۶, ۲۵۶-۲۶۲.
۲۸. Liu, R., Hasan, A. R., Ahluwalia, A., & Mannan, M. S. (۲۰۱۶). Well specific oil discharge risk assessment by a dynamic blowout simulation tool. *Process Safety and Environmental Protection*, ۱۰۳, ۱۸۳-۱۹۱.
۲۹. Broadribb, M. P., & Freiburger, E. (۲۰۱۸). Do you feel lucky? or do you want to identify and manage safety critical equipment? *Process Safety Progress*, ۳۷(۳), ۳۴۰-۳۴۶.
۳۰. Sobral, J., & Soares, C. G. (۲۰۱۹). Assessment of the adequacy of safety barriers to hazards. *Safety science*, ۱۱۴, ۴۰-۴۸.
۳۱. Jaderi, F., Ibrahim, Z. Z., & Zahiri, M. R. (۲۰۱۹). Criticality analysis of petrochemical assets using risk-based maintenance and the fuzzy inference system. *Process Safety and Environmental Protection*, ۱۲۱, ۳۱۲-۳۲۵.
۳۲. Loughney, S., & Wang, J. (۲۰۱۸). Bayesian network modelling of an offshore electrical generation system for applications within an asset integrity case for normally unattended offshore installations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, ۲۳۲(۴), ۴۰۲-۴۲۰.
۳۳. Landucci, G., Argenti, F., Spadoni, G., & Cozzani, V. (۲۰۱۶). Domino effect frequency assessment: The role of safety barriers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, ۴۴, ۷۰۶-۷۱۷.
۳۴. Meland, P. H., Bernsmed, K., Frøystad, C., Li, J., & Sindre, G. (۲۰۱۸). An experimental evaluation of bow-tie analysis for cybersecurity requirements. In *Computer Security* (pp. ۱۷۳-۱۹۱). Springer, Cham.
۳۵. Zhang, Y., & Guan, X. (۲۰۱۸). Selecting project risk preventive and protective strategies based on bow-tie analysis. *Journal of Management in Engineering*, ۳۴(۳), ۰۴۰۱۸۰۰۹.
۳۶. Jacinto, C., & Silva, C. (۲۰۱۰). A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation. *Safety science*, ۴۸(۸), ۹۷۳-۹۷۹.
۳۷. Gerkenmeier, B., & Ratter, B. M. (۲۰۱۸). Multi-risk, multi-scale, and multi-stakeholder-the contribution of a bow-tie analysis for risk management in the trilateral Wadden Sea Region. *Journal of coastal conservation*, ۲۲(۱), ۱۴۵-۱۵۶.
۳۸. Yazdi, M. (۲۰۱۷). The application of bow-tie method in hydrogen sulfide risk management using layer of protection analysis (LOPA). *Journal of Failure Analysis and Prevention*, ۱۷(۲), ۲۹۱-۳۰۳.
۳۹. Zarei, E., Mohammadfam, I., Azadeh, M., & Mirzaei-Aliabadi, M. (۲۰۱۸). Dynamic process accident analysis: comparison of bow tie and Bayesian network models. *Safety promotion and injury prevention* (Tehran), ۵(۴), ۲۰۱-۲۱۲.
۴۰. Shahriar, A., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (۲۰۱۲). Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of loss prevention in the process Industries*, ۲۵(۳), ۵۰۵-۵۲۳.

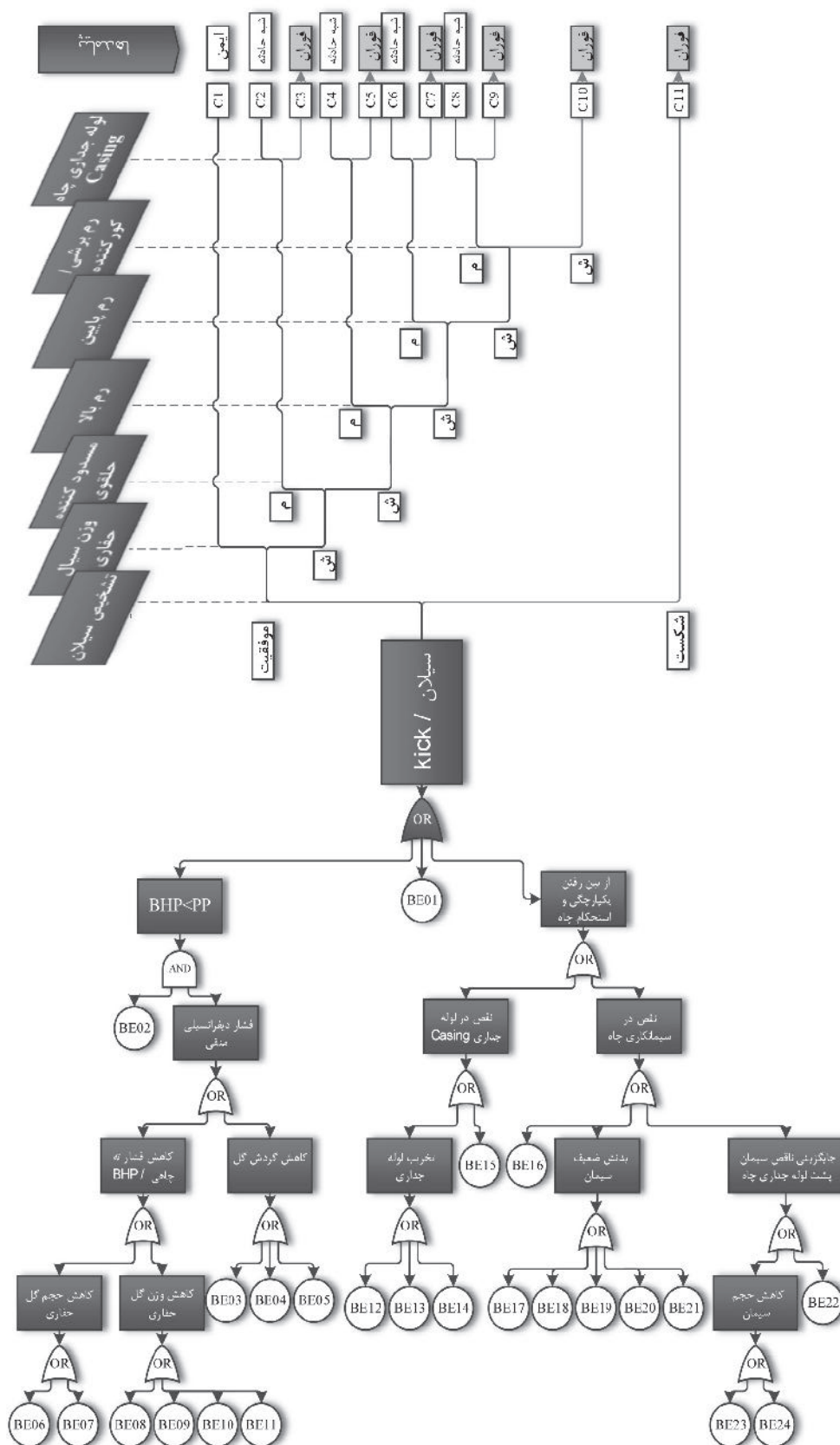




۴۱. Mirzaie Aliabadi, M., & Mohammadfam, I. (۲۰۱۸). Risk Assessment of Oil and Gas Exploration Well Blowout in Drilling Operations Using Bow Tie Analysis and Bayesian Network. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, ۴(۴), ۵۹-۶۹.
۴۲. Tang, Y., Jing, J., Zhang, Z., & Yang, Y. (۲۰۱۷). A quantitative risk analysis method for the high hazard mechanical system in petroleum and petrochemical industry. *Energies*, ۱۱(۱), ۱۴.
۴۳. Priyanta, D., Siswanto, N., Zaman, M. B., & Prasetyo, D. F. (۲۰۱۹). The Implementation of Norsok Z-۱۰۱ for Equipment Criticality Analysis of Gas Central Processing Plant. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, ۴(۱).
۴۴. Ratnayake, R. C. (۲۰۱۵). Use of a fuzzy inference system for criticality rank computation in NORSOK standard Z-۱۰۱: maintenance of rotating equipment and instrumentation. *International Journal of Computational Systems Engineering*, ۲(۱), ۴۳-۵۰.
۴۵. Ratnayake, R. C., Garten, T., & Barre, A. (۲۰۱۵, May). Subsea Systems Functional Failure Consequence Classification: A Case Study From a Subsea Manifold. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. ۵۶۴۹۹, p. ۷۰۰۳T۰۲A۰۷۴). American Society of Mechanical Engineers.
۴۶. NORSOK. (۲۰۱۳). NORSOK Standard D-۱۰: Well Integrity in Drilling and Well Operations. ۴th rev. ed. Lysaker: Standards Norway.
۴۷. Márquez, A. C. (۲۰۰۷). Criticality analysis for asset priority setting. *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*, ۱۰۷-۱۲۶.
۴۸. Chung, S., Kim, S., & Yang, Y. (۲۰۱۶). Use of hazardous event frequency to evaluate safety integrity level of subsea blowout preventer. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, ۸(۳), ۲۶۲-۲۷۶.
۴۹. Farajzadeh Dehkordi, A. R., & Kuti, S. (۲۰۱۰). Blowout and control of oil well blowout causes and methods of control wells. In *First International Conference inspection and safety in the oil and energy industries, Seminar Alchemy of Energy*, Tehran, Iran.
۵۰. ISO ۱۴۲۲۴. (۲۰۰۶). Petroleum, petrochemical, and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
۵۱. Pitblado, R., & Weijand, P. (۲۰۱۴). Barrier diagram (bow tie) quality issues for operating managers. *Process Safety Progress*, ۳۳(۴), ۳۵۵-۳۶۱.
۵۲. Baulch-Jonse, I. & McCulloch, P., (۲۰۱۵), "Creating an effective Bowtie barrier-based process safety management system", symposium series NO ۱۶۱.
۵۳. NORSOK standard Z-۱۰۱. (۲۰۱۱). Risk based maintenance and consequence classification. NORSOK standard
۵۴. Khakzad, N., Khan, F., & Amyotte, P. (۲۰۱۳). Quantitative risk analysis of offshore drilling operations: A Bayesian approach. *Safety science*, ۵۷, ۱۰۸-۱۱۷.



پيوست (الف): مراحل و رویدادهای پایه شناسایی شده در روش پاپیونی برای رویداد اصلی سیلان در چاه







تعیین وضعیت موتورهای دیزلی با به کارگیری شبکه عصبی و تحلیل نتایج آنالیز روغن

مهدی بهرام پور کورعباسلو^۱، هادی رحمتی^{۲*}

۱- پژوهشگر، گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۲- کارشناسی ارشد لجستیک و زنجیره تأمین، گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

چکیده

در فرآیند تحلیل و تفسیر نتایج آنالیز روغن، به مسائلی نظیر تحقیق و بررسی کارکرد فرسایشی موتورها و ارزیابی و تحلیل رابطه بین وضعیت نهایی موتور و وضعیت مؤلفه‌های مورد تحلیل در آنالیز روغن پرداخته می‌شود. در واقع در این تحلیل و بررسی، این موضوع که مؤلفه‌های مؤثر در تحلیل وضعیت موتور چیست و میزان تأثیر آن‌ها چقدر است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخص‌های مورد مطالعه در آنالیز روغن عبارتند از: فلزات فرسایشی نظیر آهن، آلومینیوم، سرب، مس، قلع، کروم، PQ، ویسکوزیته، سیلیسم. در این مقاله با جمع‌آوری منابع اطلاعات از نتایج آنالیز روغن موتور دیزلی، ابتدا با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون به پیش‌بینی وضعیت نهایی موتور پرداخته و سپس با توجه به نتایج آنالیز روغن، تحلیل و تشخیص خبره را برای هر نمونه به دست آورده و پس از باز کردن موتور و مشاهده وضعیت نهایی موتور، نتیجه گرفته شده است که نتایج تحلیل خبره و پیش‌بینی انجام شده به صورت معنی‌داری با وضعیت نهایی موتور مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، مراقبت وضعیت، آنالیز روغن، تحلیل خبره، شبکه عصبی.





۱- مقدمه

آنالیز روغن، تنها یک ابزار اختصاصی برای تحلیل و پایش روغن نیست؛ بلکه با کمک ابزار تشخیص، به خوبی می‌تواند در پایش وضعیت ماشین‌آلات و تجهیزات به کار رود. با بهره‌گیری سودمند از چنین ابزار پیشرفته‌ای، قابلیت اطمینان کارکرد ماشین‌آلات و تجهیزات روبه افزایش و در پی آن، خرابی‌های ناخواسته و زمان توقفات حاصل از آن کاهش خواهد یافت. مکانیزم‌های سایشی زیادی وجود دارند که منجر به فرسودگی و زوال اجزای دستگاه‌ها می‌گردند. مکانیزم‌هایی که منجر به سایش اجزاء می‌شوند عبارت‌اند از: ناهم‌محوری؛ عدم توازن و استفاده ناصحیح از ماشین‌آلات (نظیر بیش‌باری یا شرایط گرمای تسریع‌یافته) و روغن تجزیه‌شده و یا آلوده شده [۵].

در یک ماشین در حال کار، اصطکاک پیوسته‌ای بین اجزاء وجود دارد که منجر به تولید براده‌های سایشی می‌شود. روان‌کارها عموماً این گونه براده‌ها را حمل می‌کنند. شناسایی و تحلیل این براده‌ها می‌تواند به نوع و محل سایش، همچنین اجزای احتمالی که تحت سایش هستند اشاره دقیق داشته باشد. آنالیز روغن می‌تواند شرایط تشدید خرابی و یا اولویت‌بخشی جهت اقدامات اصلاحی به منظور جلوگیری از خرابی‌های احتمالی را مشخص نماید. از این رو، این علم (آنالیز روغن) از مهم‌ترین تکنیک‌های نت پیشگویانه به حساب می‌آید و می‌تواند در شناسایی نواقص و خرابی تجهیزات دوار، حتی قبل از آنالیز ارتعاشات به کار گرفته شود. آنالیز روغن خصوصاً برای دستگاه‌های با دور پایین و سطح بار زیاد، نظیر موتورهای دیزل کارایی بیشتری دارد. زمانی که برنامه پایش وضعیت به وسیله آنالیز روغن پیاده‌سازی می‌گردد، انتخاب آزمایش‌های مهم جهت شناسایی ذرات سایشی غیرعادی در روغن ضروری به نظر می‌رسد [۵]. در این مقاله تلاش شده است که با توجه به پیش‌بینی شبکه عصبی و تحلیل خبره و مشاهده نتایج حاصل از مشاهده موتور به پیش‌بینی درست وضعیت نهایی موتور توسط شبکه عصبی دست یابیم. نوآوری اصلی این مقاله که آن را از مقالات موجود متمایز می‌کند عبارت است از کنترل شواهد موجود پس از باز کردن موتور و رؤیت و مطابقت آن با نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی و تحلیل خبره.

در ادامه ساختار مقاله به صورت زیر تنظیم گردیده است که در ابتدا به مرور روش‌های پیش‌بینی وضعیت نهایی موتور پرداخته می‌شود. سپس بعد از جمع‌آوری اطلاعات آنالیز روغن با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون به پیش‌بینی وضعیت نهایی موتور پرداخته و در انتها چند نمونه از تحلیل و پیش‌بینی خبره و مشاهده وضعیت موتور پس از باز کردن موتور ذکر شده و در نهایت نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

۲-۱- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی (Neural Network) را می‌توان با اغماض زیاد، مدل‌های الکترونیکی از ساختار عصبی مغز انسان به شمار آورد. اساساً، مکانیزم فراگیری و آموزش مغز بر تجربه استوار است. مدل‌های الکترونیکی شبکه‌های عصبی طبیعی نیز بر اساس همین الگو بنا شده و روش برخورد چنین مدل‌هایی با مسائل، با روش‌های محاسباتی که به طور معمول توسط سیستم‌های کامپیوتری استفاده می‌شوند، تفاوت دارد. باید به این نکته توجه کرد که در برخی موارد، ساده‌ترین مغزهای جانوری، قادر به حل مسائلی هستند که اگر گفته نشود که کامپیوترهای امروزی قادر به حل آن‌ها نیستند، حداقل در حل آن‌ها دچار مشکل هستند. به عنوان مثال، مسائل مختلف شناسایی الگو، نمونه‌ای از مواردی هستند که روش‌های معمول محاسباتی برای حل آن‌ها به نتیجه مطلوب نمی‌رسند؛ در حالی که مغز ساده‌ترین جانوران، به راحتی از عهده چنین مسائلی برمی‌آید [۱].

۲-۲- انواع شبکه‌های عصبی

در حال حاضر تعداد بسیار زیادی از انواع مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی وجود دارند که خود این شبکه‌ها نیز با روش‌های مختلفی مانند روش پس‌خورد خطا، آموزش می‌پینند. برخی از شبکه‌های عصبی عبارت‌اند از:

- شبکه عصبی پرسپترون^۱
- شبکه عصبی هاپفیلد

^۱ Multi Layer Perceptron (MLP)



- شبکه عصبی رابینسن^۱
- شبکه عصبی المان^۲
- شبکه عصبی جردن^۳
- شبکه عصبی ترکیبی المان-جردن [۱۳].

۲-۲-۱- شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای

پرسپترون چندلایه‌ای یک مدل شبکه عصبی است که در آن تمام نرون‌های هر لایه به تمام نرون‌های لایه بعدی وصل هستند. همچنین اتصال فقط از سمت لایه ورودی به سمت لایه خروجی است. این شبکه یک شبکه تغذیه شونده روبه‌جلو هست. این شبکه می‌تواند الگوهای ورودی قابل قیاس را پردازش کند. یادگیری آن به روش هدایت‌شده و با به‌کارگیری الگوریتم بازگشت به عقب هست. نرون‌ها با یک عامل آستانه توسعه داده‌شده و تابع «سیگموید» به‌عنوان تابع انگیزش به‌کاررفته است. با توسعه الگوریتم بازگشت به عقب، رامل هارت و مک کلند^۴ توانستند یک قاعده تعدیل ارائه کنند که می‌تواند یک سیگنال خطا را برای لایه‌های پنهان از سیگنال خطای لایه خروجی تعمیم دهد [۲].

۲-۲-۲- کاربرد شبکه‌های عصبی

از شبکه‌های عصبی کوهون و آرت برای طبقه‌بندی و خوشه‌بندی و از پرسپترون عموماً برای طبقه‌بندی و تشخیص الگو استفاده می‌شود. از پرسپترون چندلایه‌ای می‌توان برای پیش‌بینی، مدل‌سازی فرایند، کنترل عملیات و پردازش تصویر استفاده کرد. همچنین پرسپترون چندلایه‌ای می‌تواند روابط غیرخطی را نیز تخمین بزند [۱۴].

در این مقاله به دلیل اجرای راحت‌تر و همچنین توانایی دسته‌بندی مسائل خطی و طبقه‌بندی و تشخیص الگو از شبکه عصبی پرسپترون استفاده شده است.

۳-۲- پیشینه تحقیق

محسن محمدی اصل (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به بررسی عملی روش پیش‌بینی و عیب‌یابی ماشین‌آلات قبل از خرابی آن‌ها به وسیله آنالیز روغن پرداخته است. وی هدف از انجام این کار را جلوگیری از ایجاد و گسترش عیوب در ماشین‌آلات دانسته که این امر نه تنها منجر به کاهش خرابی ماشین‌آلات خواهد شد بلکه با توجه به پیش‌بینی درست نسبت به خرید قطعات مورد نیاز در بازه زمانی مناسب، باعث کاهش قیمت تمام شده قطعات خواهد شد و همین‌طور با توجه به پیش‌بینی تعمیرات می‌توان زمان این تعمیرات را مدیریت کرد [۳].

مصطفی یوسفی طرزرجان و محسن دزفولی (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به بررسی رفتار فرسایشی موتورهای ماشین‌آلات راهسازی با توجه به وضعیت عناصر آنالیز روغن بر اساس خطوط مبنا پرداخته‌اند. این خطوط مبنا با روش داده‌کاوی نتایج آزمایش‌های آنالیز روغن بر اساس توزیع نرمال و روش‌های آماری در کنار خرابی‌های ثبت‌شده در واحد نگهداری و تعمیرات در مدت زمان حدود سه سال به‌دست آمده است. با توجه به آنالیز ذرات فرسایشی و عناصر موجود در قطعات مختلف موتور خصوصاً ساختار آلیاژی سیلندر و سرسیلندر، آلیاژ مورد استفاده در ساختار شاتون، جنس فلز پایه استفاده شده در یاتاقان‌ها، نوع روغن موتور و میزان کارکرد روغن، عیوب احتمالی و بررسی‌های محتمل تعیین می‌شوند. شاخص‌های مورد مطالعه در آنالیز روغن در این مقاله عبارت‌اند از: ویسکوزیته، سیلیسم، ذرات درشت آهنی، فلزات فرسایشی نظیر آهن، آلومینیوم، سرب، مس، قلع، کروم، سایر پارامترهایی که مدنظر قرار می‌گیرد عبارت‌اند از: استفاده و یا عدم استفاده از افزودنی‌های روغن، استفاده از خنثی‌کننده‌های اسیدی، پاک‌کننده‌ها، اکسیدکننده‌ها و واسطه‌های ضدسایش و ضدزنگ، مصرف ضد یخ و نوع آن، نوع سرویس و تعمیرات صورت گرفته روی دستگاه‌ها (در صورت تعمیر، اعلام مشکل و در صورت امکان، ارائه تصاویر از قطعاتی که دچار خرابی و آسیب شده‌اند) و در نهایت محیطی که دستگاه‌ها در آن به کارگیری می‌شوند (معدن، راهسازی، محیط‌های پر گردوغبار و ...). [۴].

^۱ Robinson neural network

^۲ Elman neural network

^۳ Jürgen neural network

^۴ Ramel Hart and Mak Kolnd





هوگو راپوزو و همکاران (۲۰۱۹) درباره پیش‌بینی عملکرد موتور دیزل اتوبوس‌های شهری با استفاده از آنالیز روغن مقاله ارائه داده‌اند. هدف آن‌ها از انجام این کار امکان دسترسی بیشتر اتوبوس‌ها و نظارت بر شرایط پیش‌بینی شده می‌باشد. در این مقاله از ۳۹ اتوبوس شهری استفاده کرده‌اند که طبق ویسکوزیته روغن موتور طبقه‌بندی شده‌اند. این مقاله نشان می‌دهد که نظارت بر وضعیت روغن می‌تواند در دسترس بودن تجهیزات را افزایش داده و جلوگیری از گسل را با اجازه مداخله زودهنگام در تخریب بهبود بخشد [۶].

یادآور و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی آزمایشگاهی خواص روان کاری روغن موتور پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در نمونه‌های روغن استفاده‌شده، مقدار آب، اسید و سطح آلودگی با افزایش مسافت طی شده افزایش یافت؛ که این شرایط باعث افزایش خوردگی و کاهش خاصیت ضدسایشی در نمونه روغن گردید [۷].

سج کورووا و گلوس (۲۰۱۷) به تجزیه و تحلیل افت روغن‌های موتور استفاده‌شده در تراکتورها پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد وقتی که تراکتور به یکباره تحت بار مضاعف، طی انجام عملیات پاییزه خود قرار می‌گیرد، خواص روان کاری روغن و فرآیند اصطکاک در موتورها تحت تأثیر بارهای منفی قرار می‌گیرد که منجر به افزایش سایش در موتور می‌شود. آن‌ها بیان کردند که تمدید زمان توصیه‌شده برای تعویض روغن توسط اپراتورها اقدام منطقی نبوده بلکه عمل به توصیه کارخانه تولیدکننده بهترین اقدام جهت بهره‌مندی مناسب از وسیله موردنظر می‌باشد [۸].

لی و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای در خصوص ارائه مدلی برای شناسایی و پیش‌بینی خرابی موتور بر اساس اطلاعات حاصل از پایش وضعیت روغن انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عناصر آهن، آلومینیوم و سرب به عنوان متغیرهای ورودی مطلوب انتخاب می‌شوند. این قضیه بیانگر این مطلب است که باید توجه ویژه‌ای به غلظت این عناصر جهت شناسایی و پیش‌بینی خرابی در موتور دیزل صورت پذیرد [۹].

کومر و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای را با عنوان استفاده از حسگر برای تعیین مقدار آلاینده‌های روغن روان‌کننده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پس‌انتشار انجام داده‌اند. آن‌ها از یک حسگر الکتروشیمیایی و شبکه عصبی پس‌انتشار برای تشخیص چهار ویژگی روغن روان کاری یعنی: آب، مقدار اسید کل، دوده و گوگرد استفاده کرده‌اند. در مجموع ۱۶ نمونه روغن حاوی مخلوطی از آب، دوده، گوگرد با غلظت‌های مختلف برای آزمایش تهیه کرده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند چهار نوع از خواص روغن روان کاری یعنی: آب، مقدار اسید کل، دوده و گوگرد را با حداکثر خطا تعیین کند. با گسترش این شبکه می‌توان به خوبی رابطه نزدیک بین هدف و مقادیر پیش‌بینی شده را مشاهده کرد. با توسعه این شبکه، این حسگر می‌تواند به طور بالقوه برای مراقبت وضعیت مستمر روغن روان‌کننده مورد استفاده قرار گیرد. [۱۰].

آکل و عبدالرحیم (۲۰۱۵) مطالعه‌ای در خصوص پایش وضعیت گیربکس با استفاده از تکنیک آنالیز ذرات سایشی انجام داده‌اند. همچنین آنالیز اسپکتروسکوپی نیز می‌تواند به طور وسیعی محتوای عناصر فلزی موجود در روغن مثل آهن، آلومینیوم، سرب و مس را به طور مستقیم شناسایی کند. این تکنیک‌ها از روش‌های ارزان، سریع و آسان در نگهداری و تعمیر هستند که می‌توانند جایگزین روش‌های معمولی دیگر گردند [۱۱].

راپاسو و همکاران ۱ (۲۰۱۹) یک مدل برای نظارت بر شرایط ارائه داده‌اند. با استفاده از داده‌های حاصل از روغن موجود در موتورهای دیزل ناوگان اتوبوس‌های شهری، روند تخریب را مطالعه کرده و سیاست تعمیر و نگهداری پیش‌بینی شده برای جایگزینی روغن را توسعه داده‌اند. بر اساس تجزیه و تحلیل شرایط روغن، می‌توان فواصل جایگزینی روغن را افزایش داد و این امکان را فراهم کرد تا در دسترس بودن افزایش یابد. آن‌ها پیش‌بینی سری زمانی را با رفتار آماری برخی پساب‌های روغن مانند دوده پیوند زده‌اند. این تمرین می‌تواند به سایر متغیرها نیز گسترش یابد و این مدل قابلیت استفاده در سایر دارایی‌های فیزیکی را دارد تا بهترین دسترسی را بر اساس سیاست نظارت بر شرایط به دست آورد [۱۲].

۳- روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از منظر هدف تحقیقی کاربردی می‌باشد؛ چرا که سعی می‌شود نتایج حاصل از این تحقیق مورد استفاده عملی قرار گرفته و با کمک نتایج آن، مشکلات سازمان رفع شود؛ اما این تحقیق از منظر گردآوری اطلاعات تحقیقی توصیفی-پیمایشی می‌باشد. هنگامی که در تحقیق سعی می‌شود با اتکا به مطالعات کتابخانه‌ای مدل اولیه سنجش سرمایه فکری ارائه گردد، تحقیق از نوع توصیفی می‌باشد؛ اما هنگامی که سعی می‌گردد با



کمک پرسشنامه خبرگی، نظر خبرگان در مورد مدل احصا گردیده و یا هنگامی که برای بررسی فرضیات تحقیق جهت آزمون روایی مدل از پرسشنامه استفاده می‌گردد، تحقیق از نوع پیمایشی می‌باشد.

۴- یافته‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- معرفی لودر چرخ لاستیکی کاتر پیلار ۹۶۶

مشخصات موتور مدل کاتر پیلار:

- ۳۱۷۶ سی سی
- توان خروجی موتور ۱۸۴ کیلووات (۲۴۶ اسب بخار)
- توان نهایی خروجی موتور ۱۹۴ کیلووات (۲۶۰ اسب بخار)
- وزن کاری ۲۲۸۷۰ تن
- ظرفیت باکت ۳.۵ - ۴.۲۵ مترمکعب
- عملکرد موتور به صورت الکترونیکی کنترل می‌شود و موتور با شش سیلندر، تزریق مستقیم، توربو شارژ، هوا پس از هوا و ۴ سوپاپ در هر سیلندر، قدرت خالص ۱۸۴ کیلووات را تأمین می‌کند که منجر به بهره‌وری بی‌همتا و کارایی بالای این موتور می‌شود.

۴-۲- جمع‌آوری اطلاعات

در این روش تحقیق، برای گردآوری داده‌ها از نمونه‌گیری روغن‌موتورهای دیزلی و فرم‌های مخصوص آنالیز روغن که توسط افراد مجرب و دستگاه‌های آزمایشگاهی تنظیم شده است، استفاده شده است. نحوه جمع‌آوری بخشی از اطلاعات در جدول (۱) مشخص شده است.

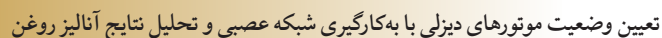
جدول (۱): نمونه اطلاعات جمع‌آوری شده از قسمت موتور لودر کاتر پیلار ۹۶۶ (روغن ۱۵W۴۰)

کد دستگاه	مدت زمان کارکرد (ساعت)	PQ	Fe	Cr	Al	Cu	Pb	Na	Si	VIS ϵ_{40}	آلودگی آب	آلودگی سوخت	آلودگی دوده	حالت وضعیت	شماره وضعیت
۰۳۱۱۷	۱۵	۱۰	۲۶.۸	۳.۵	۱۲.۳	۲.۱	۴.۴	۲۵	۱۴.۵	۱۴۲	ندارد	ندارد	ندارد	عادی	۱
۰۳۱۱۷	۱۰	۱۶	۳۳.۱	۲.۳	۱۳.۸	۱۲	۹.۶	۴.۹	۱۱۱	۱۴۳	ندارد	ندارد	ندارد	مرزی	۲
۰۳۱۱۷	۱۳	۴۰	۷۶	۷.۴	۲۴.۷	۱۹.۵	۱.۶	۸۹	۶۸	۱۶۶	ندارد	ندارد	ندارد	بحرانی	۴
۰۳۱۳۷	۲۶	۱۶	۲۳.۸	۳.۳	۴.۶	۲	۲.۳	۳.۱	۱۰.۸	۱۳۹	ندارد	ندارد	ندارد	عادی	۱
۰۳۱۳۷	۸	۲۳	۳۰.۹	۴.۹	۶.۲	۱.۲	۴.۲	۳	۱۷.۶	۱۴۷	ندارد	ندارد	ندارد	مرزی	۲
۰۳۱۳۷	۷	۷۵	۸۲	۳.۴	۹.۸	۱۳۱	۳۰.۵	۸۹	۳.۲	۱۶۰	ندارد	ندارد	ندارد	بحرانی	۴
۰۳۱۰۳	۰	۱۹	۱۱.۵	۳.۲	۳	۷	۸.۹	۱.۱	۸.۶	۱۴۰	ندارد	ندارد	ندارد	عادی	۱
۰۳۱۰۳	۰	۳۶	۳۰.۹	۸.۱	۵.۵	۹.۳	۹.۴	۲.۹	۲۰.۵	۱۴۳	ندارد	ندارد	ندارد	مرزی	۲
۰۳۱۰۳	۰	۴۲	۵۷.۲	۹.۸	۴.۶	۹.۷	۱۰	۶	۳۶.۸	۱۴۹	ندارد	ندارد	ندارد	بحرانی	۴

۴-۳- اجرای شبکه عصبی

در تحقیق حاضر از نرم‌افزار متلب و شبکه عصبی پرسپترون برای تخمین روابط غیرخطی بین مقادیر عناصر فرسایشی، وضعیت فعلی موتور و پیش‌بینی وضعیت نهایی تجهیز (۱۰۰ موتور) استفاده شده است. شبکه عصبی با ۹ لایه ورودی، ۲ لایه پنهان و یک لایه خروجی که به ترتیب تابع تبدیل خطی، سیگموئید خطی بر آن اعمال شده است، جواب بهتر و سریع‌تری می‌دهد. از آنجایی که در عمل با افزایش تعداد نورون‌های هر یک از لایه‌های پنهان تغییر مؤثری در کاهش خطا، مشاهده نشده است، لذا برای افزایش سرعت از شبکه عصبی با ۹ نورون در لایه ورودی، ۱۰ نورون در لایه پنهان اول و یک نورون در لایه پنهان دوم و یک نورون در لایه خروجی استفاده می‌شود. پس از حدود یک میلیون مرحله ریشه میانگین مربعات خطای





The figure displays four scatter plots arranged in a 2x2 grid, each showing the relationship between Target and Output for different datasets. Each plot includes a legend with 'Data' (open circles), 'Fit' (solid line), and 'Y = T' (dashed line).

- Top Left (Training):** R=0.86639. The y-axis is labeled 'Output $\sim 0.74 * \text{Target} + 0.025$ '. The x-axis is 'Target' (0 to 0.2). The y-axis ranges from 0 to 0.2.
- Top Right (Validation):** R=0.85929. The y-axis is labeled 'Output $\sim 0.68 * \text{Target} + 0.038$ '. The x-axis is 'Target' (0 to 0.15). The y-axis ranges from 0 to 0.15.
- Bottom Left (Test):** R=0.86851. The y-axis is labeled 'Output $\sim 1.2 * \text{Target} + 0.024$ '. The x-axis is 'Target' (0 to 0.15). The y-axis ranges from 0 to 0.15.
- Bottom Right (All):** R=0.84823. The y-axis is labeled 'Output $\sim 0.72 * \text{Target} + 0.028$ '. The x-axis is 'Target' (0 to 0.2). The y-axis ranges from 0 to 0.2.

شکل (۱): نتایج حاصل از آموزش شبکه عصبی

بدین صورت مشاهده می‌شود که داده‌ها تقریباً بر روی خط اصلی افتاده که نشان از آموزش خوب است. به عبارت بهتر با توجه به اینکه تقریباً بیش از پنجاه درصد داده‌ها بر روی خط افتاده است، در نتیجه این برنامه پردازش خوبی در متلب داشته است.

جدول (۲): نمونه‌های از پیش‌بینی وضعیت نهایی موتور توسط شبکه عصبی پرسپترون

نمونه	PQ	Fe	Cr	Al	Cu	Pb	Na	Si	۴۰VIS	آلودگی آب	آلودگی سوخت	آلودگی دوده	نتیجه شبکه عصبی	حالت وضعیت
۱-۱	۱۰	۲۶.۸	۳.۵	۱۲.۳	۲.۱	۴.۴	۲۵	۱۴.۵	۱۴۲	ندارد	ندارد	ندارد	۱	عادی
۲-۱	۱۶	۳۳.۱	۲.۳	۱۳.۸	۱۲	۹.۶	۴.۹	۶۸	۱۴۹	ندارد	ندارد	ندارد	۲	مرزی
۳-۱	۴۰	۷۶	۷.۴	۲۴.۷	۱۹.۵	۱.۶	۸۹	۱۱۱	۱۶۶	ندارد	ندارد	ندارد	۴	بحرانی
۱-۲	۱۹	۱۷.۹	۲.۵	۳	۷	۸.۹	۱.۱	۸.۶	۱۴۰	ندارد	ندارد	ندارد	۱	عادی
۲-۲	۳۶	۳۰.۹	۸.۱	۵.۵	۹.۳	۹.۴	۲.۹	۲۰.۵	۱۴۳	ندارد	ندارد	ندارد	۲	مرزی
۳-۲	۴۲	۵۷.۲	۹.۸	۴.۶	۹.۷	۱۰	۶	۳۶.۸	۱۵۴	ندارد	ندارد	ندارد	۴	بحرانی
۱-۳	۹	۱۱.۵	۰.۶	۵.۳	۳۰.۸	۵.۶	۷۱۹	۹.۸	۱۰۶	دارد	ندارد	ندارد	۴	بحرانی



۳-۴- تجزیه و تحلیل یافته‌ها

نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز روغن توسط خبره‌های این حوزه که مدیران نت و کارشناسانی که به طور مستقیم با این موضوع در ارتباط بودند، مورد تحلیل قرار گرفته و علت‌های عیوب دیده‌شده در هریک از نمونه‌ها مورد بحث قرار گرفته است که در ادامه ۳ نمونه از نتایج آنالیز روغن همراه با تحلیل خبرگان آورده شده است.

۳-۴-۱- نمونه یک

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز روغن طی سه مرحله تشخیص خبره به این نحوه می‌باشد که:

- در حالت عادی کمی آلودگی سیلیس در روغن دیده می‌شود؛
 - در حالت مرزی آلودگی سیلیس همراه با آثار فرسایش مس مشاهده می‌شود و فرسایش آهن روبه افزایش است. احتمال فرسایش بوش‌ها و سیلندرها وجود دارد و همچنین در هنگام دور آرام موتور، صدای کوبش شنیده می‌شود؛
 - در حالت بحرانی آلودگی سیلیس، مس و آهن افزایش یافته است. فرسایش آهن و مس خیلی زیاد است. همچنین کوبش موتور بیشتر شده است. در این حالت احتمال شکست قطعات متحرک و گیرپاژ موتور وجود دارد که این حالت موتور را در حالت بحرانی قرار می‌دهد.
- با توجه به بحرانی شدن موتور و باز شدن موتور مشخص گردید که گزن پین‌ها به شدت ساییده شده است. علت ساییده شدن گزن پین‌ها در مرحله اول با قرار گرفتن سیلیس بین فاصله فضایی که گزن پین و شاتون‌ها روی هم منطبق شده‌اند، سیلیس مانند سمباده عمل کرده و باعث خوردگی گزن پین می‌شود. در مرحله بعد به علت خوردگی زیاد گزن پین و شاتون، فاصله‌ها بیشتر از حد استاندارد ایجاد شده که باعث شنیده شدن صدای کوبش از موتور می‌گردد.

۳-۴-۲- نمونه دوم

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز روغن طی سه مرحله تشخیص خبره به این نحوه می‌باشد که:

- در حالت عادی کمی آلودگی سیلیس و کروم در روغن دیده می‌شود؛
- در حالت مرزی، آلودگی سیلیس همراه با آثار فرسایش آهن و کروم مشاهده می‌شود. فرسایش آهن و کروم روبه افزایش است. احتمال این که رینگ‌ها شکسته یا ضعیف شده باشد وجود دارد. در این حالت موتور کمی روغن‌سوزی دارد و دودهای خروجی از اگزوز آبی‌رنگ است. پس از بررسی و بازدید از موتور، روغن موتور کم شده است.
- در حالت بحرانی آلودگی آهن، کروم خیلی زیاد شده است و موتور خیلی روغن‌سوزی دارد. احتمال فرسایش در رینگ‌ها و سوپاپ‌ها و سیلندر وجود دارد. با توجه به شرایط موجود موتور در حالت بحرانی قرار می‌دهد.

با توجه به بحرانی شدن موتور و باز شدن موتور مشخص گردید که رینگ‌های پیستون و راهنمای سوپاپ‌ها به شدت فرسوده و شکسته شده است.

۳-۴-۳- نمونه سوم

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز روغن طی یک مرحله تشخیص خبره به این نحوه می‌باشد که در حالت بحرانی، سدیم موجود در روغن خیلی زیاد شده است و این نشان‌دهنده این است که داخل روغن ضدیخ وارد شده است و آب موجود در روغن با بالا رفتن درجه حرارت موتور تبخیر می‌شود و از اگزوز به صورت دود سفیدرنگ بیرون می‌آید و یکی از مشخصه‌های کم شدن آب رادیاتور در موتور همین می‌باشد.

نشتی آب در موتور باعث احتراق ناقص و لرزش موتور می‌شود و راندمان حداکثری تولید نمی‌شود. احتمال این که آب به داخل محفظه احتراق راه پیدا کرده باشد وجود دارد و خود این موضوع باعث می‌شود آب در محفظه سیلندر زنگ بزند و فرسایش شدید ایجاد کند و این فرسایش شدید سیلندر و پیستون را از حالت هم‌مرکز بودن درآورده و سیلندر بیضی شکل شده و معایب دیگری ایجاد می‌شود.

با توجه به کم شدن بیش از حد آب سطح رادیاتور و بررسی لازم از عدم نشتی مدار خنک کاری، موتور را در حالت بحرانی قرار می‌دهد که پس از توقف و باز شدن مشاهده شد و اثر سر سیلندر در دو ناحیه سوخته و دچار خوردگی شده است. جهت رفع خرابی موجود باید سر سیلندر کف تراشی شود.





با توجه به نتایج خروجی شبکه عصبی در جدول (۲) و تحلیل خبره‌ها و در انتها مشاهده نتایج حاصل از مشاهده موتور، نتیجه گرفته می‌شود که نتایج تحلیل خبره و پیش‌بینی انجام‌شده به‌صورت معنی‌داری با وضعیت نهایی موتور مطابقت دارد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

پایش وضعیت از طریق آنالیز روغن روشی بسیار تأثیرگذار در جهت حفظ آماده‌بکاری تجهیزات بوده و دارای مزایای زیادی از جمله کاهش توقفات تولید، بهبود مستمر سیستم و کاهش محسوس در هزینه‌ها می‌باشد. همچنین کاراترین و مؤثرترین پایش وضعیت از طریق آنالیز روغن زمانی محقق می‌گردد که تحلیل دقیقی بر روی نتایج آنالیز روغن آزمایشگاه صورت پذیرفته و سپس نتیجه این تحقیق با تجربیات حاصل از شناخت دقیق سامانه مکانیکی تلفیق گردد که این کار می‌تواند نتایج بسیار مطلوبی از وضعیت سامانه موردنظر اعم از وضعیت سایش قطعات، نیازمندی‌های نگهداری و تعمیرات و غیره ارائه نماید. در این مقاله ما ابتدا با جمع‌آوری منابع اطلاعات ۱۰۰ نمونه از نتایج آنالیز روغن موتور دیزلی (کاترپیلار) با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون به پیش‌بینی وضعیت نهایی موتور پرداخته و سپس با توجه به نتایج آنالیز روغن، تحلیل و تشخیص خبره را برای هر نمونه به دست آورده و پس از باز کردن موتور و مشاهده وضعیت نهایی موتور نتیجه گرفته می‌شود که نتایج تحلیل خبره و پیش‌بینی انجام شده به‌صورت معنی‌داری با وضعیت نهایی موتور مطابقت دارد.

۶-مراجع

۶-۱-مراجع فارسی

- [۱] خاشعی، محمد، و بیجاری، مهران، "بهبود عملکرد پیش‌بینی‌های مالی با ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی خود رگرسیون فصل میانگین متحرک انباشته و شبکه‌های عصبی مصنوعی"، تربیت مدرس، (۱۳۹۶).
- [۲] بیرانوند، شاهین و صحرايان، کیانا، انواع شبکه‌های عصبی و کاربرد آن‌ها، سومین همایش بین‌المللی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی، (۱۳۹۷).
- [۳] محمدی اصل، محسن، عیب‌یابی ماشین‌آلات با استفاده از آنالیز روغن، بیستین همایش صنایع دریایی، تهران، (۱۳۹۷).
- [۴] یوسفی طرزرجان، مصطفی و دزفولی، محسن، ۱۳۹۸، پیش‌بینی فرسایش و خرابی ماشین‌آلات راهسازی با استفاده از نتایج آنالیز روغن، دو فصلنامه پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی، دوره: ۱، شماره: ۲، (۱۳۹۸).

۶-۲-مراجع انگلیسی

- [5] V. Macian, B. Tormos, P. Olmeda, L. Montoro, Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis, *Tribology International*, (۲۰۰۳).
- [6] Raposo H, Farinha José Torres, Fonseca Iná, Galar D, Predicting condition based on oil analysis A case study, *Tribology International*, (۲۰۱۹).
- [7] Yadav, G., Tiwari, S., Jatola, R., & Jain, M. L. Experimental Investigation of Lubricating Properties of Engine Oil. *International Journal of Engineering Science*, (۲۰۱۷).
- [8] Sejkorová, M., & Glos, J. Analysis of Degradation of Motor Oils Used in Zetor Tractors. *Acta Universitatis Agriculturae ET Silviculturae Mendelianae Brunensis*, ۶۵(۱), ۱۷۹-۱۸۷, (۲۰۱۷).
- [9] Li, L., Chang, W., Zhou, S., & Xiao, Y. An identification and prediction model of wear-out fault based on oil monitoring data using PSO-SVM method. In *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) Annual* (pp. ۱-۶). IEEE, (۲۰۱۷).





- study. *Industrial Lubrication and Tribology*, ٦٨(٦), ٧١٨-٧٢٢, (٢٠١٦).
- [11] Akl, S. Y., & Abdel-Rehim, A. A. Condition Monitoring of a Gearbox Using Wear Particle Analysis Technique. In *Advanced Materials Research* (Vol. ١١٢٥, pp. ٥١١-٥١٥). Trans Tech Publications, (٢٠١٥).
- [12] H. Raposo, J.T. Farinha, I. Fonseca, D. Galar. (٢٠١٩). Predicting condition based on oil analysis—A case study. *Tribology International*, ١٣٥, ٦٥-٧٤.
- [13] Parker JR B. E., Ware H. A., Wipe D. P., Tompkins W. R., Clark B. R. and Larson E. C., Fault Diagnostics using statistical change detection in the bi-spectral domain, *Mechanical systems and Signal Processing*, vol. ١٤(٤), pp. ٥٦١-٥٧٠, (٢٠٠٠).
- [14] MathWorks. Neural Network Toolbox ٤ for Designing and Simulating Neural Network [cited. Available from <http://www.Math Works.com>] , (٢٠٠٠).







زمان بندی فعالیت ها در پروژه های تعمیرات دکل حفاری در شرایط عدم قطعیت زمان اجرای

فعالیت ها (مطالعه موردی: بخشی از دکل حفاری سینا ۱)

حسینعلی حسن پور^{۱*}، مصطفی زارعی^۲، جعفر فهیمی سیوکی^۳

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع و لجستیک، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۲ پژوهشگر گروه مهندسی نت و بهینه سازی انرژی، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

چکیده

در سال های اخیر کشورمان تحت شدیدترین تحریمات اقتصادی قرار گرفته و حوزه صنعت نفت نیز از این تحریمات در امان نبوده است، به طوری که امکان خرید یا نوسازی تجهیزات این صنعت در شرایط تحریم با مشکل مواجه شده است. فرآیند بازسازی و تعمیرات یکی از بهترین گزینه های جایگزین محسوب می گردد. همچنین عدم قطعیت زمان اجرای فعالیت ها خود درک صاحبان پروژه را از زمان بندی فعالیت ها افزایش داده و دید وسیع تری نسبت به پروژه و فعالیت های پیش رو باز نموده است. در این تحقیق، به طراحی مدل یکپارچه زمان بندی فعالیت ها و زنجیره تأمین پروژه های بازسازی دکل های حفاری تحت شرایط عدم قطعیت زمان اجرای فعالیت ها پرداخته شده و هزینه های پیمانکار و تأمین کنندگان همزمان دیده شده و زمان بندی غیرقطعی فعالیت ها و برنامه ریزی سفارشات به گونه ای صورت می پذیرد که مجموع هزینه های کل زنجیره کمینه گردد. با توجه به تعداد متغیرها و محدودیت های مدل، مسئله موردبررسی از نوع مسائل NP-hard می باشد. به همین خاطر برای حل این گونه مسائل از روش های فراابتکاری استفاده می شود که در زمان معقولی نسبت به روش های دقیق، جواب های نزدیک بهینه تولید می کنند. در این پژوهش از الگوریتم های فراابتکاری EM و GA در یک پروژه واقعی، بخش Leg دکل حفاری سینا ۱ به کارگیری شده است. به منظور اعتبارسنجی الگوریتم های پیشنهادی، ابتدا چند مسئله در ابعاد مختلف توسط روش دقیق حل شده است. با مقایسه نتایج حل دقیق و الگوریتم های فراابتکاری مشخص شد که با بزرگ شدن ابعاد مسئله، زمان حل روش دقیق به صورت نمایی افزایش می یابد ولی زمان حل توسط الگوریتم فراابتکاری روند ثابتی داشته که نشان دهنده کارایی و کارآمدی الگوریتم های پیشنهادی است.

واژه های کلیدی: پروژه تعمیرات، عدم قطعیت، برنامه ریزی سفارشات، الگوریتم الکترومغناطیس، ژنتیک

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hahassan@ihu.ac.ir





مقدمه

سازمان‌های امروزی برای بدست آوردن مزیت رقابتی و بالفعل کردن جایگاه خود در بین رقبای بازار، دیگر نمی‌توانند فقط بر مدیریت کیفیت جامع، سیستم تولید به موقع و ... متمرکز شوند؛ چرا که رقبای هم این رویکردها را بکار میگیرند؛ و رفته رفته سازمانها مزیت رقابتی خود را از دست داده و تبدیل به یک نیاز برای بقا می‌گردد؛ لذا سازمانها باید همه عواملی که در تولید محصول و ارائه خدمات از ماده خام تا محصول نهایی و مشتری را در نظر بگیرند. به عبارت دیگر اهتمام سازمانها در جهت بهینه نمودن فرآیندهای سازمان بدون مد نظر قرار دادن شرکت‌های بیرونی، الخصوص مشتریان و تأمین‌کنندگان، اقدامی بیهوده و بی ارزش بوده و سازمان‌هایی که با همیاری همدیگر در راستای هدفهای مشترک فعالیت می‌کنند، نتیجه و کارکرد خوبی دارند. در این موقع بود که مفهوم زنجیره تأمین به وجود آمد [۳۰]. زنجیره تأمین پروژه، زنجیره‌ای است متشکل از سطوح مختلف (شامل تأمین‌کننده مواد اولیه، تولیدکننده، توزیع‌کننده و...) که باهدف تأمین اقلام موردنیاز فعالیت‌های پروژه باهم در ارتباطند [۱۸]. به تعبیر دیگر می‌توان زنجیره تأمین پروژه را یک ترکیب از زنجیره تأمین و مجموعه فعالیت‌های پروژه دانست [۳]. در یک زنجیره تأمین خاص، مواد مصرفی موردنیاز فعالیت‌های پروژه از طریق زنجیره تأمین مواد تهیه و یا تولیدشده و برای پروژه ارسال می‌شوند. انجام فعالیت‌های پروژه در زمان تعیین‌شده، منوط به تأمین به‌موقع و به‌اندازه مواد مصرفی است [۳۹]. برای ایجاد هماهنگی در زنجیره تأمین پروژه نیز می‌توان از برنامه‌ریزی موجودی یکپارچه بهره برد. در این حالت باید سیاست‌های موجودی و سفارش دهی طوری تعریف شوند که هزینه‌های تمام اعضا در نظر گرفته شود. برای تدارک مواد مصرفی پروژه می‌توان دو حد بالا و پایین در نظر گرفت. در یک‌سو می‌توان تمام مواد مصرفی را در قبل از شروع پروژه تهیه نمود که این امر انجام به‌موقع فعالیت‌ها را تضمین می‌کند ولی موجب تحمیل هزینه نگهداری بالا می‌گردد. در سوی دیگر می‌توان مواد مصرفی هر فعالیت را درست قبل از آغاز آن فعالیت تأمین نمود که این امر هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد؛ ولی به علت امکان عدم تأمین به‌موقع موجب تأخیر در انجام فعالیت‌ها و در نتیجه افزایش زمان اجرای پروژه می‌شود. تخمین زمان موردنیاز برای انجام هر یک از فعالیت‌ها، میزان منابع موردنیاز برای ارضای تقاضای فعالیت‌ها و بعضاً پیش‌بینی تأثیر وقایع احتمالی که می‌توانند تأثیرات مهمی در روند اجرای پروژه داشته باشند، می‌تواند ریسک برنامه‌ریزی‌ها را کاهش دهد. لیکن ارزیابی آنان از اتفاقات آینده همواره با درجه‌ای از ابهام مواجه است و جز در برخی شرایط استثنایی نمی‌توان با قطعیت در رابطه با وقایع آینده قضاوت کرد. لذا در نظر گرفتن این ابهام و عدم قطعیت در برنامه‌ریزی‌ها ضروری به نظر می‌رسد. اکثر کارهای مشابه در زمینه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه، با فرض وجود اطلاعات کامل و قطعی در مدت‌زمان انجام فعالیت‌ها و میزان منابع موردنیاز آن انجام شده است. در صورتی که در دنیای واقعی، عدم قطعیت در زمان اجرای فعالیت‌ها، میزان منابع موردنیاز هر فعالیت و ... وجود دارد که به‌تدریج با اجرای پروژه به وقوع می‌پیوندد. لذا در این تحقیق، عدم قطعیت زمان اجرای فعالیت‌ها که درواقع یکی از خصوصیات پروژه‌های واقعی است، در ساختار مسئله ملاحظه و سپس یک روش کارا برای حل مسئله ارائه می‌گردد.

پیشینه پژوهش

جزء اولین تحقیقات صورت گرفته در این زمینه مقاله آکیوانو و اسمیت می‌باشد [۱۰]. آن‌ها مدلی به نام برنامه ریزی منابع تولیدی (MRP) / روش مسیر بحرانی (CPM) را ارائه نمودند که روش مسیر بحرانی و برنامه ریزی منابع تولیدی را به یکدیگر متصل و با در نظر گرفتن روابط پیش‌نیازی و زمان تدارک منابع و در نظر گرفتن محدودیت منابع، با استفاده از الگوریتم زمان‌بندی دیرترین آغاز و الگوریتم زمان‌بندی زودترین آغاز زمان‌بندی فعالیت‌ها و احتیاجات مواد را تعیین می‌کند. استینبرگ و خومه‌والا یک سیستم برنامه‌ریزی احتیاجات را برای زمان‌بندی محیط‌های چندپروژه‌ای ابداع نمودند که برای پروژه پرتاب چندین شاتل در سال، توسط ناسا استفاده شده است. آن‌ها زمان‌بندی را بر اساس محدودیت منابع انجام داده و زمان تدارک مواد و بحث موجودی‌ها را در نظر نگرفتند [۳۱]. اسمیت دنیلز با معرفی مسئله زمان‌بندی پروژه و سفارش مواد، آن را با در نظر گرفتن پرداخت به پیمانکار در انتهای پروژه و بدون محدودیت سرمایه، به‌صورت MIP فرموله نموده، به‌صورت مجزا با تقسیم مسئله به دو قسمت زمان‌بندی و سپس تعیین اندازه دسته حل نمودند [۲۷]. کمینه کردن هزینه‌های جریمه به خاطر تأخیر، هزینه‌های نگهداری مواد و فعالیت‌های تمام‌شده و نیز هزینه‌های سفارشات، اجزای تابع هدف آن‌ها بود. آن‌ها ثابت نمودند که زمان‌بندی بهینه با استفاده از زمان‌بندی دیرترین آغاز و اندازه دسته‌های سفارش با استفاده از الگوریتم اندازه دسته واگتر ویتن به دست می‌آید. آنان مجدداً تلاش کردند تا با تعیین مناسب زمان آغاز فعالیت‌ها و سفارش دهی‌ها، در حالت وجود جریمه تأخیر و محدودیت سرمایه، ارزش فعلی خالص پروژه را بیشینه نمایند [۳۲]. رون و تریسج مدل پسر روزنامه‌فروش را برای زمان‌بندی سفارشات خرید در پروژه‌های بزرگ بکار بردند. آنان با در نظر گرفتن هزینه‌های جریمه ناشی از تأخیر و نیز نگهداری فعالیت‌ها و با یک روش حل ابتکاری نشان دادند چگونه می‌توان هزینه را کاهش داد. در مدل آن‌ها، زمان تدارکات اقلام سفارش داده‌شده، به‌صورت احتمالی در نظر گرفته شده است [۲۹]. یئو و نینگ با استفاده از تکنیک "مدیریت زنجیره تأمین بحرانی" در سال ۲۰۰۶ برای





تدارک تجهیزات بزرگ در پروژه‌ها با تمرکز بر اهمیت و ویژگی‌های خاص آن (مثل قیمت بالا و زمان تدارک طولانی این کالاها) شرح دادند [۳۸]. در همان سال، آلاریسکو و همکارش سعی در ارائه راه‌حل بالقوه‌ای برای مدیریت لجستیک مواد در پروژه دارند. راه‌حل ارائه شده شامل یک رویکرد ارسال بر مبنای ردیابی، برای ایجاد شفافیت موجودی و یک رویکرد جدید تحویل مواد، برای در دسترس بودن به موقع مواد می‌باشد [۱۱]. آنان با توجه به لزوم دریافت بازخورد از محیط و وضعیت فعلی پروژه، لزوم تغییرات در برنامه پروژه را لازم می‌دانند. در سال ۲۰۰۷، پارود و همکارانش با استفاده از یک شبیه‌سازی، تأثیر عملکرد هر یک از اجزای زنجیره تأمین پروژه و سیاست‌های همکاری آنان را بر ریسک و نیز زمان‌های تأخیر زنجیره بررسی کردند و یک سیستم پشتیبان تصمیم برای کمک به مدیریت زنجیره برای اتخاذ بهترین سیاست ارائه دادند [۲۸]. در تحقیق حاضر، با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین پروژه دوسطحی شامل پیمانکار و تأمین کنندگان، هزینه‌های مربوط به پروژه و موجودی برای هر دو عضو زنجیره کمینه‌سازی خواهد شد. با این فرض که زمان اجرای فعالیت‌ها غیرقطعی و خود فعالیت نیز دارای عدم قطعیت بوده و حالت روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها (GERT) دارد. همچنین پروژه دکل حفاری سینا ۱ نیز به عنوان موضوع مورد مطالعه انتخاب شد و در ادامه دو الگوریتم الکترومغناطیس و ژنتیک برای زمان‌بندی فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی موجودی در زنجیره تأمین پروژه پیاده‌سازی می‌شود. در جدول (۱) دسته‌بندی و خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته پیرامون موضوع بیان شده ارائه گردید.

جدول ۱- دسته‌بندی و خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته پیرامون موضوع

ردیف	سال	نویسندگان	جنبه مساله			رویکرد مدل سازی			پارامتر غیر قطعی		رویکرد حل		
			زمانبندی پروژه	زمانبندی زنجیره تامین	زمانبندی زنجیره تامین پروژه	قطعی	مسأله			مدت زمان دقیق	ابتکاری	فرآیندکاری	
							غیر قطعی	احتمالی	فازی				
	۲۰۱۱	برنی و همکاران [۱۲]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	
	۲۰۱۱	باسکار و همکاران [۱۳]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	
	۲۰۱۱	چانگسیو دینگ و همکاران [۱۶]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Method GA
	۲۰۱۰	برادران و همکاران [۱۴]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	TS
	۲۰۱۰	چی لیو و همکاران [۲۶]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	-
	۲۰۱۱	ژو [۳۶]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	MOACO
	۲۰۰۷	سلطانی و همکاران [۳۳]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	
	۲۰۰۵	هایکه و همکاران [۲۳]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	GA
	۲۰۰۱	دودین و الیم [۲۰]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	
۱	۲۰۰۸	لی یو و همکاران [۳۷]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	
۱	۲۰۱۲	زورقی و همکاران [۳۹]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	هیبرید SA و GA
۱	۲۰۰۹	سجادیه و همکاران [۳۴]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	GA
۱	۲۰۱۰	چن و ژائو [۱۸]	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	DP
۱	۲۰۰۵	چان و همکاران [۱۹]	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	GA
۱	۲۰۰۴	چانگ و لی [۱۷]	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	-
۱	۱۳۹۱	توکلی مقدم و همکاران [۴]	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	GA و VNS
۱	۲۰۱۲	لی و ومر [۲۴]	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	الگوریتم بندرز
۱	۲۰۱۳	راستی و همکاران [۵]	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	GA
۱	۲۰۱۳	بورچ [۳۵]	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	GA
۲	۲۰۱۳	الیم و دودین [۲۱]	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	
۲	۲۰۱۴	فو و همکاران [۲۲]	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	هیبرید GA و HS





ردیف	سال	نویسندگان	جنبه مساله			رویکرد مدل سازی مسأله			پارامتر غیر قطعی		رویکرد حل			
			زمانبندی پروژه	زنجیره تامین زمانبندی	زنجیره تامین پروژه	قطعی	احتمالی	فازی	استوار	فعالیت	مدت زمان	دقیق	ابتکاری	فرایندکاری
۲	۱۳۹۱	تیموری و موسوی [۹]	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	Lingo,GA
۲	۱۳۹۳	پرویزی و همکاران [۲]	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	(SA و GA)
۲	۱۳۹۴	تحقیق جاری	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	EM و GA

برای مسئله بیان شده در این پژوهش، مدل ریاضی در نظر گرفته شد که مدل سازی این مساله مبتنی بر فرض‌هایی شامل موارد زیر است:

(۱) پروژه به پیمانکار واگذار شده است. (۲) برای اتمام فعالیت‌های پروژه هم منابع کاری و هم منابع مصرفی نیاز است. (۳) منابع مصرفی پروژه را تعدادی تأمین‌کننده با سقف تولید مشخص در روز می‌توانند تأمین کنند. (۴) پیمانکار برای هر روز دیرتر یا زودتر تحویل دادن پروژه، با جریمه یا تشویق از سوی کارفرما همراه خواهد شد. (۵) انجام پروژه هزینه‌هایی را برای پیمانکار در پی دارد، این هزینه شامل سفارش دهی مواد و قطعات، هزینه‌های خرید مواد و قطعات، هزینه به‌کارگیری منابع برای انجام فعالیت‌ها می‌باشد. (۶) پرداخت‌های کارفرما به‌صورت مستمر می‌باشد. در روش پرداخت‌های کارفرما به‌صورت مستمر، بدون توجه به مهلت تحویل پروژه در قرارداد، در بازه‌های مشخص و مساوی، وضعیت پروژه بررسی شده و با توجه میزان پیشرفت پروژه و فعالیت‌های صورت گرفته در هر بازه، کارفرما مبلغی مرتبط با آن را به پیمانکار پرداخت می‌نماید. (۷) طول دوره فعالیت‌ها غیرقطعی است.

در مدل ارائه شده در این تحقیق از مدل زنجیره تأمین پروژه موسوی و همکاران [۹] و پرویزی و همکاران [۲] استفاده شده است. با این تفاوت که به دلیل دوباره‌کاری‌ها، شبکه زمان‌بندی گرت است و همچنین زمان اجرای فعالیت‌ها فازی است و نیز زمان خروجی زمان‌بندی فعالیت‌ها با رویکردی فازی به نمایش گذاشته می‌شود. متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در مدل در زیر خلاصه می‌شوند:

الف) مجموعه‌ها و شمارنده‌ها

منابع: $k = 1, 2, \dots, K$

مواد مصرفی: $m = 1, 2, \dots, M$

فعالیت‌ها: $j, jz = 1, 2, \dots, N$

سایر مشتریان: $i = 1, 2, \dots, I$

زمان پیمانکار: $t, tt = 1, 2, \dots, GCHorizon$

زمان تأمین‌کننده: $st, stt = 1, 2, \dots, SupHorizon$

ب) پارامترها و متغیرهای مرتبط با پروژه

$\tilde{z}_j$ = پارامتر مربوط به زمان فازی فعالیت j .

$PredList$ = ماتریس صفر و یک پیش‌نیازی بوده و درایه‌های این پارامتر بدین صورت تعریف می‌گردند.

$$PredList_{j,jz} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } j \text{ پیشنیاز } jz \text{ باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (1)$$

$ResUse_{j,k}$ = پارامتر میزان نیاز فعالیت j به منبع کاری k در هر واحد زمانی.





$ResMax_k$ = پارامتر حداکثر سطح موجود از منبع کاری k در واحد زمان.

$ResCost_k$ = پارامتر هزینه بکارگیری هر واحد از منبع کاری k در واحد زمان.

$MatUse_{j,m}$ = پارامتر میزان مصرف ماده m توسط j در هر واحد زمانی.

$MatCost_m$ = پارامتر قیمت هر واحد از ماده m .

h = پارامتر مربوط به درصد هزینه نگهداری سالیانه موجودی نزد پیمانکار.

hm_m = پارامتر مربوط به هزینه یک واحد زمانی نگهداری هر واحد از ماده m نزد پیمانکار.

Gm = پارامتر هزینه هر بار سفارش دهی پیمانکار.

$\overline{Earl}_j$ = پارامتر مربوط به زودترین زمان فازی ممکن برای پایان فعالیت j است که این میزان با فرض شروع پروژه در زمان $t=1$ و بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع با استفاده از محاسبات رو به جلو بدست می‌آید.

$\overline{Late}_j$ = پارامتر مربوط به دیرترین زمان فازی ممکن برای پایان فعالیت j است که این میزان با فرض اتمام پروژه در زمان $t=Horizon$ یعنی افق زمانی و بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع با استفاده از محاسبات رو به عقب بدست می‌آید.

w_j = پارامتر بیانگر ارزش فعالیت j پس از اتمام آن فعالیت که می‌توان آن را برابر هزینه تمام مواد و منابع کاری درگیر در آن فعالیت در نظر گرفت:

$$w_j = \left(\sum_{k=1}^K ResUse_{j,k} \times ResCost_k + \sum_{m=1}^M MatUse_{j,m} \times MatCost_m \right) \times Z_j \quad (2)$$

s = پارامتر درصد هزینه نگهداری سالیانه فعالیت‌های تمام شده است.

$Deadline$: پارامتر مربوط به زمان مقرر تحویل پروژه بدین معنی که پروژه می‌بایست در ابتدای دوره زمانی $Deadline$ ام آماده شود.

$Penalty$ = پارامتر مربوط به میزان جریمه در صورت هر واحد زمانی تأخیر در تحویل پروژه.

$Reward$ = پارامتر مربوط به میزان پاداش به ازای هر واحد زمانی تسریع در تحویل پروژه.

$X_{j,t}$ = متغیر تصمیم‌باینری بیانگر اتمام فعالیت j در پایان دوره t است:

$$X_{j,t} = \begin{cases} 1 & \text{اگر فعالیت } j \text{ در انتهای دوره } t \text{ پایان یابد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (3)$$

$\lambda_{m,t}$: متغیر تصمیم‌باینری و بیانگر سفارش دادن ماده m در ابتدای دوره t توسط پیمانکار است:

$$\lambda_{m,t} = \begin{cases} 1 & \text{اگر ماده } m \text{ در ابتدای دوره } t \text{ سفارش داده شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (4)$$

$q_{m,t}$: متغیر تصمیم عدد صحیح نامنفی و بیانگر میزان ماده m سفارش داده شده در ابتدای دوره t .

$l_{m,t}$: متغیر عدد صحیح نامنفی و بیانگر سطح موجودی ماده m در انتهای دوره t نزد پیمانکار.

WW_t : متغیر نامنفی و بیانگر ارزش پروژه در انتهای دوره t .

ج) پارامترها و متغیرهای مربوط به تأمین کنندگان

Cap_m : پارامتر مربوط به ظرفیت تأمین‌کننده m در هر واحد زمانی.





$Oq_{i,m}$: پارامتر بیانگر میزان سفارش i امین مشتری از سایر مشتریان تامین‌کننده m .

$ODeadline_{i,m}$: پارامتر بیانگر موعد تحویل مقرر سفارش مشتری i ام. بدین معنی که سفارش مشتری i ام تامین‌کننده m می‌بایست در ابتدای دوره $ODeadLine$ آماده باشد.

$OPenalty_{i,m}$: پارامتر بیانگر جریمه ناشی از هر واحد زمانی تاخیر در تحویل هر واحد از سفارش مشتری i ام تامین‌کننده m .

$GCPenalty_m$: پارامتر جریمه ناشی از هر واحد زمانی تاخیر در تحویل هر واحد از سفارش پیمانکار.

hsm_m : پارامتر بیانگر هزینه هر واحد زمانی نگهداری یک واحد موجودی نزد تامین‌کننده m .

$TransCost_m$: هزینه حمل و نقل تامین‌کننده m است که مانند مدل ارائه شده در مرجع [۶۳] فرض می‌شود اگر تامین‌کننده سفارشات را به‌موقع آماده نماید، هزینه حمل بر عهده‌ی خریدار است، اما در صورت وجود تاخیر، حمل بر عهده‌ی تامین‌کننده خواهد بود.

$Alloc_{m,t,st}$: متغیر تصمیم عدد صحیح نامنفی و بیانگر میزان اختصاص یافته از ظرفیت تامین‌کننده m در زمان st به سفارش مورد نیاز در زمان t . این مقدار در انتهای دوره st آماده ارسال می‌شود.

$OAlloc_{m,t,st}$: متغیر تصمیم عدد صحیح نامنفی و بیانگر میزان اختصاص یافته از ظرفیت تامین‌کننده m در زمان st به سفارش مشتری i ام. این مقدار در انتهای دوره st آماده می‌شود.

(د) پارامترها و متغیرهای مالی

$PrePayment$: پارامتر مربوط به میزان پیش‌پرداختی که قبل از شروع پروژه، کارفرما به پیمانکار پرداخت می‌نماید.

اگر پرداخت در حالت PP باشد، پیمانکار و کارفرما در طی مذاکراتی دوره زمانی ($Step$ پارامتر) را مشخص می‌نمایند و بدون توجه به زمان مقرر تحویل پروژه، در طول اجرای پروژه در بعد از گذشت این دوره زمانی، وضعیت پروژه را بررسی و با توجه به پیشرفت پروژه در آن دوره، پرداخت‌هایی صورت می‌پذیرد. این روند تا پایان پروژه ادامه می‌یابد که بعد از اتمام پروژه بدون در نظر گرفتن $Step$ ، وضعیت پروژه را بررسی و آخرین پرداخت را انجام می‌دهند.

$$Set f = \{t \in GCTime | t = n \times Step; n = 1, 2, \dots\}$$

CF_j : پارامتر بیانگر میزان پرداخت به ازای اتمام فعالیت j است که این پارامتر در حالت PP کاربرد دارد.

O_f : متغیر صحیح نامنفی میزان پرداختی در انتهای دوره زمانی f از مجموعه زمان‌های پرداخت است که این متغیر بدین ترتیب محاسبه می‌شود:

در حالت PP، O_f برابر است با مجموع جریان مالی مثبت مرتبط با فعالیت‌هایی که از زمان پرداخت قبلی تا این دوره پرداخت، به اتمام می‌رسند. این متغیر این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$O_f = \sum_{t=(f-1)}^f \sum_{j=1}^N X_{j,t} \times CF_j \quad (5)$$

WF : پارامتر مربوط به حداکثر وامی است که پیمانکار می‌تواند دریافت نماید.

$Rate$: هزینه‌ای که هر واحد وام گرفتن به پیمانکار تحمیل می‌کند.

U_t : متغیر تصمیم عدد صحیح نامنفی و بیانگر میزان وام دریافتی در ابتدای دوره t .

B_t : متغیر عدد صحیح نامنفی بیانگر نقدینگی پیمانکار در انتهای زمان t است.

(و) متغیرهای مربوط به تابع هدف

$pANDr$: هزینه پیمانکار ناشی از جریمه تأخیر در اتمام به موقع پروژه و یا تسریع در انجام آن که بدین ترتیب محاسبه می‌گردد:



$pANDr = Penalty$

$$\times \left(\sum_{t=Deadline}^{GCHorizon} X_{N,t} \times (t - Deadline + 1) \right) - Reward \times \left(\sum_{t=1}^{Deadline-2} X_{N,t} \right) \times (Deadline - t - 1) \quad (6)$$

CompActHolding = هزینه نگهداری فعالیت‌های تمام شده و به عبارتی هزینه نگهداری ارزش قسمت‌های انجام شده پروژه برای پیمانکار. داریم:

$$CompActHolding = \sum_t^{GCHorizon-1} s \times WW_t \quad (7)$$

OrderingCost = هزینه سفارش دهی پیمانکار. داریم:

$$OrderingCost = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^{GCHorizon-L_m} \lambda_{m,t} \times G_m \quad (8)$$

GC_HoldingCost = هزینه نگهداری موجودی پیمانکار، داریم:

$$GC_HoldingCost = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^{GCHorizon-1} hm_m \times I_{m,t} \quad (9)$$

FinCost = هزینه پیمانکار ناشی از وام‌های دریافتی، داریم:

$$FinCost = \sum_{t=1}^{GChorizon} Rate \times U_t \quad (10)$$

Sup_HoldingCost = هزینه نگهداری موجودی تأمین کننده. هزینه نگهداری موجودی تأمین کننده در صورتی ایجاد می‌گردد که برای سفارشی که در روز مشخص مورد نیاز است، زودتر موجودی تولید و نگهداری شود، داریم:

$$\begin{aligned} Sup_DelayCost = & \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{st=Odeadline_{i,m}-L_m}^{SupHorizon-L_m} (OAlloc_{m,i,st} \times OPenalty_{i,m} \\ & \times (st + L_m - ODeadLine_{i,m} + 1) + TransCost_m) + \sum_{m=1}^M \sum_{tt=1}^{GCHorizon-L_m} (\lambda_{m,tt} \\ & \times \sum_{st=tt-L_m}^{SupHorizon-L_m} (Alloc_{m,tt,st} \times GCpenalty \times (st + L_m - tt + 1) \\ & + TransCost_m)) \end{aligned} \quad (11)$$

در رابطه بالا، جمله اول مربوط به تأخیر/تعجیل در سفارشات سایر مشتریان و جمله دوم مربوط به تأخیر در سفارشات پیمانکار است.





مدل ریاضی پیشنهادی

با توجه به تعاریف و مفروضاتی که ذکر گردید، مدل ریاضی مساله بشرح زیر می‌باشد.

تابع هدف

$$\begin{aligned} \text{Min } TC = & pANDr + CompActHolding + OrderingCost + GC_IHoldingCost + FinCost \\ & + Sup_IHoldingCost + Sup_DelayCost \end{aligned} \quad (12)$$

محدودیت‌ها

S.T:

$$\sum_{t=Earl_j}^{\bar{Late}_j} t \times X_{j,t} + \bar{Z}_{jj} - \sum_{t=Earl_{jj}}^{\bar{Late}_{jj}} t \times X_{jj,t} \leq 0 \quad \forall (j, jj) | PredList_{j,jj} = 1 \quad (13)$$

$$\bar{Z}_{Act \setminus} - \sum_{t=Earl_{Act \setminus}}^{\bar{Late}_{Act \setminus}} t \times X_{Act \setminus, t} \leq 0 \quad (14)$$

$$\sum_{t=Earl_j}^{Late_j} X_{j,t} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{tt \geq t}^{tt < t+Z_j} ResUse_{j,k} \times X_{j,tt} \leq ResMax_k \quad \forall t, k \quad (16)$$

$$WW_t \geq WW_{t-1} + \sum_{j=1}^J w_j \times X_{j,t} \quad t = 1, 2, \dots, Horizon \quad (17)$$

$$WW_t \geq WW_{t-1} + \sum_{j=1}^J w_j \times X_{j,t} - \sum_{j=1}^J \left(w_j \times \sum_{tt=Earl_j}^t X_{j,tt} \right) \quad t = Earl_j + 1, \dots, GCHorizon \quad (18)$$

$$\begin{aligned} I_t \geq I_{t-1} + \sum_{stt=1}^{L_m-1} \lambda_{m,t} \times Alloc_{m,t,stt} + \sum_{\substack{tt=1 \\ tt \leq t+Z_j-1}}^{t-1} \lambda_{m,tt} \times Alloc_{m,tt,t-L_m-1} \\ - \sum_{j=1}^J \left(Muse_{j,m} \times \sum_{tt \geq t} X_{j,tt} \right) \quad \forall t, m \end{aligned} \quad (19)$$

$$Big \times \lambda_{m,t} - q_{m,t} \geq 0 \quad (20)$$





$$- \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \left(ResCost(k) \times ResUse(j, k) \times \sum_{tt \geq t}^{tt \leq t+Z_j-1} X_{j,tt} \right) \quad \forall t \quad (21)$$

$$B_{t=1} = Prepayment + O_{t=1} + U_{t=1} - \sum_{m=1}^M \lambda_{m,t=1} * Gm - \sum_{m=1}^M MatCost(m) \times q(m, t=1) - \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \left(ResCost(k) \times ResUse(j, k) \times \sum_{tt \geq t=1}^{tt \leq t=1+Z_j-1} X_{j,tt} \right) \quad (22)$$

$$\sum_{t=1}^{GCHorizon} U_t \leq WF \quad (23)$$

$$\sum_{st=1}^{SupHorizon} OAlloc_{m,i,st} = Oq_{i,m} \quad \forall i, m \quad (24)$$

$$\sum_{stt=1}^{SupHorizon} Alloc_{m,t,stt} = q_{m,t} \quad \forall t, m \quad (25)$$

$$\sum_{tt=1}^{GCHorizon} Alloc_{m,tt,st} + \sum_{i=1}^I OAlloc_{m,i,st} = Cap_m \quad \forall st, m \quad (26)$$

$$\lambda_{m,t}, X_{j,t} = \{., \cdot\} \quad (27)$$

$$OAlloc_{m,i,st}, Alloc_{m,tt,st}, q_{m,t}, U_t = \{., \cdot, \cdot, \dots\} \quad (28)$$





رابطه (۱۲) بیانگر تابع هدف بوده و اجزای آن به ترتیب عبارت‌اند از هزینه تأخیر در تحویل پروژه، هزینه نگهداری فعالیت‌های تمام‌شده، هزینه سفارش دهی، هزینه نگهداری موجودی و هزینه تأمین مالی برای پیمانکار و هزینه نگهداری موجودی و تأخیر در سفارشات برای تأمین‌کننده که مقادیر آن‌ها در روابط (۶) تا (۱۱) محاسبه می‌شود. محدودیت (۱۳) بیانگر محدودیت روابط پیش‌نیازی است. برای فعالیت‌های بدون پیش‌نیاز که با توجه به مفروضات، تنها فعالیت بدون پیش‌نیاز فعالیت اول است، محدودیت (۱۴) طرح‌شده است. محدودیت (۱۵) تضمین‌کننده این است که هر فعالیت یک‌بار و فقط یک‌بار به اتمام رسد. محدودیت (۱۶) بیانگر رعایت محدودیت منابع کاری است. برای محاسبه ارزش پروژه در هر دوره زمانی محدودیت (۱۷) و برای جلوگیری از محاسبه چندباره ارزش پروژه بعد از اتمام پروژه، رابطه (۱۸) تعریف‌شده است. محدودیت (۱۹) بیانگر محدودیت مربوط به تعادل موجودی نزد پیمانکار است. محدودیت تعادل موجودی نزد پیمانکار بدین‌صورت تعریف می‌شود که موجودی دوره t برابر است با موجودی دوره قبل بعلاوه آنچه در این دوره به دست پیمانکار می‌رسد، منهای میزان مصرف روزانه‌ی فعالیت‌هایی که در این دوره جریان دارند. آنچه به دست پیمانکار می‌رسد برابر است با میزان تولید تأمین‌کننده اختصاص‌یافته به سفارش برای همین دوره و میزان تولید تأمین‌کننده اختصاص‌یافته به سفارشات برای دوره‌های قبل از این دوره که برای دوره موردنظر آماده نشده‌اند و با تأخیر در این دوره به دست پیمانکار می‌رسند. محدودیت (۲۰) بیانگر این مطلب است که $q_{m,t}$ زمانی می‌تواند مقدار بزرگ‌تر از صفر بگیرد که $\lambda_{m,t}$ برابر یک باشد، به عبارت دیگر $q_{m,t}$ زمانی مقدار می‌گیرد که در زمان t سفارشی داده شود. محدودیت (۲۱) بیانگر محدودیت‌های مالی پیمانکار است، بدین ترتیب که نقدینگی پیمانکار در انتهای دوره t برابر است با نقدینگی در دوره قبل بعلاوه میزان دریافتی از کارفرما و وام منهای خرید و سفارش مواد و هزینه منابع کاری فعالیت‌های جاری در دوره t . برای اولین دوره با توجه به پیش پرداختی که کارفرما به پیمانکار می‌دهد محدودیت بودجه به صورت (۲۲) بازنویسی می‌شود. محدودیت (۲۳) محدودیت میزان وام دریافتی پیمانکار را در طی دوره اجرای پروژه بیان می‌کند. برای اطمینان از اینکه تأمین‌کننده سفارشات سایر مشتریان خود را تأمین نماید، محدودیت (۲۴) ایجاد گردیده است. همین امر برای سفارشات پیمانکار در قالب محدودیت (۲۵) بیان‌شده است. میزان تولید اختصاص‌یافته به سفارشات پیمانکار و سایر مشتریان تأمین‌کننده نباید از ظرفیت تأمین‌کننده تجاوز نماید. این موضوع به وسیله محدودیت (۲۶) تضمین شده است.

روش شناسی تحقیق

از آنجایی که مدل پایه مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود (RCPSP) از دسته مسائل NP-Hard بوده [۱] و مدل ارائه‌شده در این تحقیق گسترشی از مدل پایه است، لذا نتیجه گرفته می‌شود که این مدل نیز جزء مسائل NP-Hard محسوب می‌شود. حل این گونه مسائل در ابعاد بزرگ، از طریق برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزارهای موجود امکان‌پذیر نبوده و یا به مدت زمان و حافظه بالایی نیاز دارند [۳]، [۶]. به همین دلیل برای حل این مدل، از روش‌های فراابتکاری استفاده می‌شود.

ساختار پیشنهادی روش بهینه سازی الگوریتم

الگوریتم الکترومغناطیس

برای اولین بار الگوریتم الکترومغناطیس توسط بیربیل و فنگ (۲۰۰۳) ارائه شد. این روش مانند الگوریتم ژنتیک، روشی بر مبنای جمعیت می‌باشد. در این الگوریتم، هر نقطه مانند یک ذره باردار در فضا در نظر گرفته می‌شوند. میزان بار ذره بر پایه مقدار تابع هدف مشخص می‌شود. بعد از مشخص شدن بار هر نقطه از جمعیت، نتیجه نیروی وارد شده بر نقاط و حرکت آن‌ها در هر بار دوباره انجام دادن تعیین می‌شود. مثل نیروهای الکترومغناطیس، حاصل جمع نیروی وارد شده بر هر نقطه، از مجموع برداری همه نیروهای وارد شده بر آن مشخص می‌شود. مراحل انجام این الگوریتم عبارتند از راه‌اندازی، جستجوی محلی، محاسبه نیروی وارده بر ذره و حرکت در بردار نیرو می‌باشد که در ادامه به تشریح هر مرحله خواهیم پرداخت [۱۵].

(۱) راه‌اندازی: در ابتدا m نقطه تصادفی از فضای شدنی مسئله مورد نظر تعیین می‌گردد. برای ایجاد یک نقطه تصادفی فرض می‌گردد که هر مؤلفه نقطه، متغیری تصادفی دارای تابع توزیع یکنواخت بین حد بالا و پایین خود می‌باشد. و در گام بعدی یک مقدار تصادفی برای هر مؤلفه انتخاب می‌شود. بعد از ساخت این مجموعه، برای هر نقطه مقدار تابع هدف محاسبه و برترین نقطه به عنوان x^{best} در نظر گرفته می‌شود.



(۲) جستجوی محلی: در این گام برای مشخص نمودن فضای اطراف هر یک از نقاط ایجاد شده صورت می‌پذیرد. بیریل و فنگ (۲۰۰۳) الگوریتم ساده ای برای جستجوی محلی ارائه کرد. به این صورت که یک حرکت تصادفی به منظور کاهش یا افزایش هر یک از ابعاد نقاط مورد نظر صورت می‌گیرد. بعد از انجام این گام، اگر نقطه جدید در مقایسه با نقطه قبلی تابع هدف بهتری را ایجاد کند، این نقطه با نقطه قبلی جایجا شده و سپس فرایند جستجو برای بعد بعدی صورت می‌گیرد، وگرنه نقطه اولیه نگه داشته شده و جستجو برای همین بعد مجدداً انجام می‌شود.

(۳) محاسبه بردار نیروی کل: بر مبنای الگوریتم الکترومغناطیس، وقتی دو ذره باردار بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند، این نیرو با مجذور فاصله دو ذره نسبت عکس و با میزان بار هریک از دو ذره نسبت مستقیم دارد. در هر مرحله، بار نقاط بر طبق رابطه (۲۹) مشخص می‌شود:

$$q^i = \exp\left(-n \frac{f(x^i) - f(x^{best})}{\sum_{k=1}^m (f(x^k) - f(x^{best}))}\right), i = 1, 2, \dots, m \quad (29)$$

در این رابطه q^i مقدار بار نقطه i ام، n تعداد اندازه مساله، $f(x^i)$ مقدار تابع هدف نقطه i ام و $f(x^{best})$ بهترین مقدار کسب شده تابع هدف در هر تکرار می‌باشد. قدرت جاذبه یا دافعه هر نقطه توسط بار آن نقطه مشخص می‌گردد و اگر نقطه ای مقدار تابع هدف بهتری داشته باشد، نشان می‌دهد که بار بیشتری دارد. بنابراین بین هر جفت نقطه، نقطه‌ای که تابع هدف برتری داشته باشد، نقطه مقابل را جذب و نقطه‌ای که تابع هدف بدتری داشته باشد، نقطه مقابل را دفع مینماید و اگر تابع هدف هر دو نقطه با یکدیگر برابر شود، هیچ نیرویی به همدیگر وارد نمی‌کنند. میزان نیروی وارد شده از نقطه j به نقطه i براساس رابطه (۳۰) می‌باشد:

$$F^{i,j} = \begin{cases} (x^j - x^i) \frac{q^i q^j}{\|x^i - x^j\|^r} & f(x^j) < f(x^i) \\ (x^i - x^j) \frac{q^i q^j}{\|x^i - x^j\|^r} & f(x^i) < f(x^j) \end{cases} \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, m \quad (30)$$

در نهایت بردار نیروی کل وارد شونده بر هر نقطه، از مجموع برداری نیروهای وارد شونده بر آن نقطه از سوی نقاط دیگر، بدست می‌آید:

$$F^i = \sum_{j \neq i}^m F^{i,j} \quad f \quad i = 1, \dots, m \quad (31)$$

(۴) حرکت نقاط در جهت بردار نیروی کل: بعد از مشخص شدن بردار نیروی کل برای همه نقطه ها، هر کدام از نقاط در راستای نیروی وارده (به میزانی که به شیوه تصادفی انتخاب می‌گردند)، حرکت می‌کنند. مختصات نقطه های جدید براساس فرمول زیر بدست می‌آید.

$$x^i = x^i + \alpha(RNG) \frac{F^i}{\|F^i\|}, i = 1, \dots, m \quad (32)$$

در فرمول (۳۲)، بردار راستای حرکت نقطه از تقسیم بردار نیروی کل وارد بر هر نقطه به اندازه آن، بدست می‌آید که مقدار آن برابر با یک هست. اندازه تصادفی بردار حرکت نیز از ضرب α و RNG بدست می‌آید. α متغیر تصادفی دارای تابع توزیع یکنواخت بین صفر و یک و RNG هم براساس فرمول (۳۳) حاصل می‌شود.

$$RNG_k = \begin{cases} u_k - x_k^i & F_k^i > 0 \\ x_k^i - l_k & F_k^i < 0 \end{cases} \quad k = 1, \dots, n \quad (33)$$

هر کدام از مؤلفه‌های بردار RNG حداکثر حرکت مجاز به سمت u_k یا l_k را برای بعد مربوطه به منظور جلوگیری از تجاوز نقاط از حدود بالا و پایین مشخص می‌کنند. اگر $F_k^i = 0$ باشد، حرکتی در بعد مورد نظر نخواهم داشت. حاصل ضرب α و RNG برداری است تصادفی که حرکت نقطه با آن، شدنی بودن نقطه جدید را ضمانت می‌کند. برای اینکه همه نقاط در جهت نیرو شانس بررسی داشته باشند، انتخاب مقدار جایجایی نقاط در راستای نیرو، به صورت تصادفی صورت می‌گیرد. تنها نقطه‌ای که در هر تکرار عیناً به تکرار بعد انتقال یافته و جایجا نشده، x^{best} می‌باشد؛ لذا می‌توان از محاسبه نیروهای وارد بر این نقطه صرف نظر کرد. شبه کد الگوریتم الکترومغناطیس طراحی شده مطابق شکل (۱) می‌باشد.





شروع

به تعداد m ذره n بعدی (به تعداد بعد فضای حل) جواب اولیه تولید کن.

تابع هدف هر ذره محاسبه شود.

ذره با بهترین تابع هدف انتخاب شود.

جستجوی محلی در اطراف هریک از ذرات باهدف یافتن بهترین ذره هم‌جوار انجام گیرد.

بار هر ذره محاسبه شود.

بردار نیروی کل وارد بر هر ذره محاسبه گردد.

حرکت ذرات در جهت بردار نیروی وارده به‌اندازه طول گام تصادفی

ادامه الگوریتم تا رسیدن به شرط توقف

پایان

بهترین جواب را چاپ کن

شکل ۱- الگوریتم الکترومغناطیس ارائه شده

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو و بهینه‌سازی قوی با کاربرد وسیع است که بر اساس اصولی از تئوری تکامل بنانهاده شده است. این تکنیک با توجه به سرعت زیاد و همچنین قابلیت یافتن نقطه بهینه مطلق برای طیف وسیعی از توابع، کاربرد زیادی در مدیریت و مباحث بهینه‌سازی دارد. اصول اساسی این روش برای اولین بار توسط هالند و همکارانش در سال ۱۹۶۲ مطرح شد. الگوریتم‌های ژنتیک بر پایه قاعده بقای برازندگی می‌باشند که سعی دارد اطلاعات ژنتیکی بیشتری را از نسلی به نسل دیگر حفظ کند. از دلایل استفاده از الگوریتم ژنتیک، توانایی الگوریتم در جست و جوی همزمان نواحی مختلف یک فضای جست و جو، یافتن یک مجموعه گسترده از جواب‌ها را برای مسائل دشوار با فضای جواب نامحدوب، ناپیوسته و ... امکان پذیر ساخته است. الگوریتم ژنتیک به جای یک جواب منفرد با مجموعه‌ای از جواب‌ها (جمعیت) کار می‌کند. بنابراین با نگه داشتن جمعیتی از حالات مناسب و نیز عملگرهایی نظیر تقاطع و جهش، احتمال گرفتاری در تله مینیمم محلی بسیار کاهش می‌یابد. از سوی دیگر در ادبیات موضوع نیز از این الگوریتم برای حل مسائل زمان‌بندی به وفور استفاده شده است [۳۵].

شبه کد الگوریتم ژنتیک طراحی شده مطابق شکل (۲) است.

شروع

به تعداد جمعیت نسل ($popsiz$) جواب اولیه تصادفی ایجاد کن.

بهترین جواب جمعیت را در $bestSol$ قرار بده.

به تعداد ماکزیمم نسل ($maxiter$) مراحل زیر را تکرار کن (حلقه اصلی):

به تعداد مشخص شده برای تقاطع، تقاطع انجام شود.

به تعداد مشخص شده برای جهش، جهش انجام شود.

مجموع نسل کنونی و فرزندان حاصل از تقاطع و جهش را بر حسب برازندگی مرتب کن.

اگر بهترین جواب این مجموعه از $bestSol$ بهتر است، $bestSol$ را جایگزین کن.

به تعداد جمعیت از ابتدای مجموعه مرتب شده برای نسل جدید انتخاب کن.

پایان حلقه اصلی

$bestSol$ را چاپ کن.

شکل ۲- الگوریتم ژنتیک طراحی شده





عملگر تقاطع

در الگوریتم ارائه شده از تقاطع یک نقطه ای استفاده شده است. برای کروموزوم ترتیب، این فرآیند بدین صورت است که ابتدا یک عدد تصادفی صحیح از بازه $[1, nACT]$ انتخاب می شود. در کروموزوم لاندای برای هر ماده این روال تکرار می گردد. ابتدا یک عدد تصادفی بین $[1, GCHorizon]$ تولید می شود. برای کروموزوم درصد نیز از همین روش تقاطع استفاده می شود. برای کروموزوم کاهش بدین صورت عمل می شود که کروموزوم کاهش فرزند اول از والد دوم و کروموزوم کاهش فرزند دوم از والد اول گرفته می شود. در رتبه بندی والدین برای عمل تقاطع از روش رتبه بندی مبتنی بر تناسب برازندگی و برای مشخص شدن والدینی که در عمل تقاطع حضور دارند از روشی مشابه الگوریتم چرخ رولت استفاده شده است. در این روش به ازای هر عضو جمعیت، مقادیر تابع هدف محاسبه می شود. چون مساله کمینه سازی تابع هدف است، این مقادیر معکوس شده و به ازای هر عضو جمعیت یک f_i محاسبه می شود. سپس برای هر عضو جمعیت i مقادیر $prob_i = \frac{f_i}{\sum f_i}$ محاسبه می شود. آنگاه برای هر عضو جمعیت، احتمال حضور در فرآیند تقاطع با استفاده از رابطه (۳۵) محاسبه می شود.

$$a_i = \sum_{j=1}^i prob_j \quad (34)$$

اکنون عددی تصادفی بین صفر و یک تولید می شود و اولین عضوی که a_i آن بزرگتر از عدد تصادفی بود، به عنوان والد انتخاب می شود. برای هر عمل تقاطع دوبار این عمل را تکرار می کنیم تا دو والد مورد نیاز انتخاب شود. تعداد تقاطعی که در هر نسل انجام می شود ضربی از تعداد جمعیت هر نسل بوده و از رابطه (۳۵) محاسبه می شود که pc در آن احتمال تقاطع است.

$$ncross = 2 \times round(popSize \times pc) \quad (35)$$

عملگر جهش

در الگوریتم ارائه شده، برای هر یک از بخش های جواب، یک نوع جهش ارائه شده است. برای کروموزوم ترتیب از جهش جابجایی استفاده شده است. برای کروموزوم لاندای جهش بدین صورت انجام می شود که برای هر ماده بصورت تصادفی یک سلول از آرایه مربوطه انتخاب می شود و مقدار آن معکوس می شود. در کروموزوم درصد، جهش بدین صورت است که یکی از درایه ها به تصادف انتخاب و آن درایه بصورت تصادفی مقداردهی می شود. مقدار کروموزوم کاهش نیز بصورت تصادفی مقداردهی می شود. انتخاب والد برای اجرای جهش تصادفی بوده و تعداد جهش هایی که در هر نسل انجام می شود نیز ضربی از تعداد جمعیت هر نسل بوده و از این رابطه محاسبه می شود که pm در آن احتمال جهش است:

$$ncross = round(popSize \times pm) \quad (36)$$

مکانیزم تصحیح

ممکن است چه در الگوریتم فراابتکاری و چه در مرحله ایجاد جواب تصادفی اولیه، جواب هایی حاصل گردد که از لحاظ منطقی، شدنی نباشند. لذا قبل از آنکه مقادیر سایر متغیرها بر اساس کروموزوم ها محاسبه شوند، فرایند تصحیح اجرا می گردد. برای هر کروموزوم (یا آرایه) ترتیب، دو موضوع باید بررسی گردد. اول اینکه نباید فعالیتی بیش از یکبار تکرار گردد. برای این امر، کروموزوم ترتیب بررسی شده و اگر فعالیتی بیش از یکبار تکرار شده بود، تکرار آن حذف و جای آن فعالیتی که از لیست جا مانده است وارد می شود. موضوع دومی که باید برای کروموزوم (یا آرایه) ترتیب بررسی گردد، رعایت مسایل پیشینازی است. در این الگوریتم رویه ای برای این منظور ایجاد گردیده است که اگر فعالیتی زودتر از پیشنیازهای خود در لیست قرار گیرد، اصلاح شود. برای هر کروموزوم (یا آرایه) لاندای، برای هر ماده پس از آنکه زمان شروع فعالیت ها با استفاده از کروموزوم ترتیب و محدودیت منابع محاسبه گردید، این موارد بررسی می گردد: ابتدا بررسی می شود که قبل از اولین سفارش، زمان لازم برای تولید و تدارک آن سفارش وجود داشته باشد. یعنی از اولین دوره تا $L_m + 1$ ، لاندای نباید مقادیر یک داشته باشد. سپس بررسی می شود که پس از شروع آخرین فعالیت نیز سفارشی داده نشود و در آخر بررسی می شود که اگر در هیچ دوره ای سفارشی داده نشده است، اصلاح گردد.





تشریح مسئله مورد مطالعه

پروژه بازسازی دکل حفاری سینا ۱ پروژه‌ای عظیم بود و بنابر عظیم بودن کل پروژه و فعالیت‌های بسیار زیاد و بنابر تأکید پیمانکار بر اهمیت بخش leg پروژه، این بخش انتخاب گردید. وضعیت تأمین در این پروژه از نوع زنجیره تأمین ساخت و ساز (CSC) می‌باشد. بخش بازسازی Leg دکل حفاری، شامل ۳۹ فعالیت است. منابع این مسئله را نیروی انسانی تشکیل می‌دهد که حداکثر میزان در دسترس آن ۱۰۰ واحد می‌باشد. داده‌ها و اطلاعات مربوط به مطالعه موردی در جداول (۲) تا (۵) داده شده است.

جدول ۲- داده‌ها و اطلاعات مالی مطالعه موردی

زمان تداوم	تعداد روز	تعداد ساعت	s	H	Gm	rate	پیش پرداخت
۵۵۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۰.۱	۰.۱	۲۰۰	۰.۲۳	۵۰۰۰۰۰

جدول ۳- داده‌ها و اطلاعات مواد مربوط به مطالعه موردی

ظرفیت	جریمه تأخیر	hsm	هزینه هر حمل	زمان تدارکات
ماده ۱	۲۵	۱۰۰	۱	۲
ماده ۲	۲۵۰	۱۰۰	۱	۲

جدول ۴- داده‌ها و اطلاعات سفارش مشتریان مربوط به مطالعه موردی

مشتری	۱		۲		۳	
	ماده ۱	ماده ۲	ماده ۱	ماده ۲	ماده ۱	ماده ۲
میزان سفارش	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰
موعد تحویل	۴۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۰۰	۴۰۰

از آنجاکه تعداد محدودیت‌ها و متغیرهای این مدل زیاد است، در نظر گرفتن همه آن‌ها در یک الگوریتم بسیار دشوار است، لذا در این تحقیق از رویه مشابه مراجع [۳] و [۲] و [۲۵] استفاده شده است. برای حل مدل از دو الگوریتم الکترومغناطیس و ژنتیک استفاده شده است.

تحلیل نتایج محاسباتی

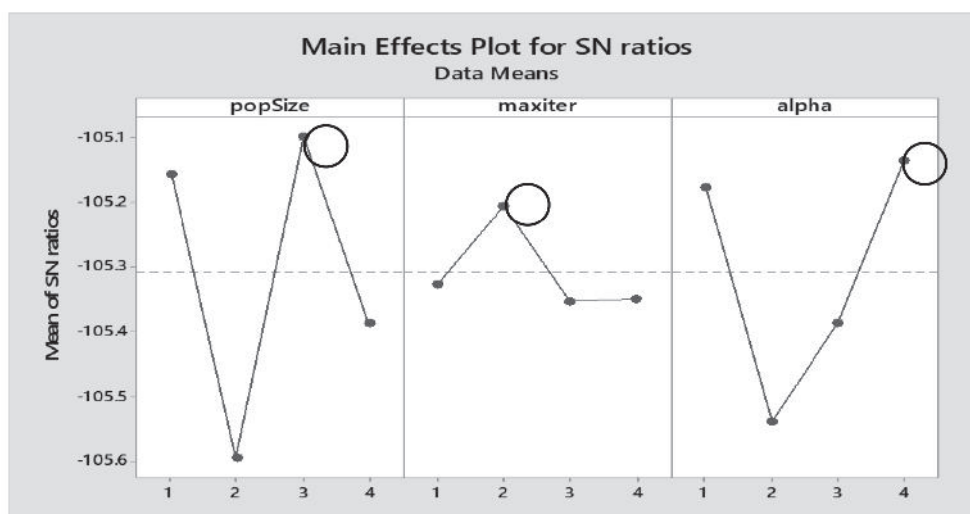
مدل ریاضی ارائه شده در این تحقیق، با استفاده از الگوریتم الکترومغناطیس و ژنتیک در محیط نرم‌افزار متلب نسخه R۲۰۱۳a کد نویسی شده و اجرا گردید. در این بخش، ابتدا پارامترهای ورودی مسئله و پارامترهای کنترلی الگوریتم و سپس نتایج حل ارائه می‌گردد. برای تنظیم پارامترهای کنترلی الگوریتم‌ها، با مراجعه به تحقیقات پیشین (به‌مانند [۷] و...) و نیز بر اساس سعی و خطا، سطوح مختلفی برای پارامترهای الگوریتم آرایه شد که در جدول (۵) آمده است:



جدول ۵- پارامترهای احصا شده برای الگوریتم الکترومغناطیس

ردیف	پارامترهای کنترلی الگوریتم الکترومغناطیس		
	اندازه جمعیت	حداکثر تکرار	شعاع حرکتی
۱	۵۰	۱۰۰	۰.۸
۲	۲۰	۵۰	۰.۵
۳	۱۰۰	۲۰	۰.۱
۴	۱۰	۱۰۰	Rand(۱)

سپس با استفاده از طراحی آزمایشات و روش تاگوچی، طرح آزمایش مناسبی (طرح L_{16}) برای بررسی تأثیر پارامترها بر جواب الگوریتم‌ها ایجاد گردید. پس از چندین بار اجرای الگوریتم با سطوح پارامتر مختلف، برای تحلیل نتایج و جهت تعیین ترکیبی که بهترین نتیجه را می‌دهند، از نسبت S/N و روش بی‌مقیاس سازی درصد/انحراف نسبی (RPD) استفاده گردید [۲۶]. برای اجرای این روش، ابزار طراحی آزمایشات تاگوچی نرم‌افزار مینی‌تب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمایشات تاگوچی مطابق شکل (۴) و جدول (۶) می‌باشد.



شکل ۴- نتایج نرم‌افزار مینی‌تب برای پارامترهای الگوریتم الکترومغناطیس

جدول ۶- پارامترهای کنترلی نهایی الگوریتم الکترومغناطیس

۱۰۰	اندازه جمعیت
۵۰	حداکثر تکرار
Rand(۱)	شعاع حرکتی





نتایج حل مدل

زمان‌بندی فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی سفارشات به‌دست‌آمده توسط الگوریتم الکترومغناطیس، به ترتیب مطابق جداول (۷) تا (۹) می‌باشد.

جدول ۷- نتایج زمان‌بندی فعالیت‌های مطالعه موردی توسط الگوریتم الکترومغناطیس

فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع
۱	[۴۰۴ و ۴۰۴]	۱۴	[۱۷۵ و ۱۳۶ و ۱۰۱ و ۶۵]	۲۷	[۳۱ و ۲۶ و ۱۸۶ و ۱۱۹]
۲	[۵۰ و ۴۰ و ۳۵ و ۲۵]	۱۵	[۲۱۲ و ۱۶۴ و ۱۲۰ و ۷۵]	۲۸	[۳۶ و ۳۱ و ۲۶ و ۱۸۹ و ۱۲۱]
۳	[۵۸ و ۴۶ و ۴۰ و ۲۸]	۱۶	[۲۱۷ و ۱۶۸ و ۱۲۳ و ۷۷]	۲۹	[۳۵۷ و ۲۸۱ و ۲۰۰ و ۱۲۷]
۴	[۵۰ و ۴۰ و ۳۵ و ۲۵]	۱۷	[۲۲۴ و ۱۷۴ و ۱۲۷ و ۸۰]	۳۰	[۳۶۲ و ۲۸۵ و ۲۰۳ و ۱۲۹]
۵	[۵۰ و ۴۰ و ۳۵ و ۲۵]	۱۸	[۲۳۰ و ۱۷۹ و ۱۳۰ و ۱۸۳]	۳۱	[۳۶۵ و ۲۸۸ و ۲۰۵ و ۱۳۱]
۶	[۵۵ و ۴۴ و ۳۸ و ۲۷]	۱۹	[۲۳۶ و ۱۸۴ و ۱۳۳ و ۸۶]	۳۲	[۳۶۸ و ۲۹۰ و ۲۰۷ و ۱۳۳]
۷	[۸۱ و ۶۵ و ۵۳ و ۳۵]	۲۰	[۲۶۱ و ۲۰۴ و ۱۴۶ و ۹۴]	۳۳	[۳۷۱ و ۲۹۲ و ۲۰۹ و ۱۳۵]
۸	[۱۱۲ و ۸۶ و ۶۶ و ۴۳]	۲۱	[۲۶۶ و ۲۰۸ و ۱۴۹ و ۹۶]	۳۴	[۳۸۱ و ۳۰۰ و ۲۱۵ و ۱۳۹]
۹	[۱۱۷ و ۹۰ و ۶۹ و ۴۵]	۲۲	[۲۹۵ و ۲۳۱ و ۱۶۴ و ۱۰۵]	۳۵	[۳۸۶ و ۳۰۴ و ۲۱۸ و ۱۴۱]
۱۰	[۱۲۶ و ۹۷ و ۷۴ و ۴۸]	۲۳	[۳۰۰ و ۲۳۵ و ۱۶۷ و ۱۰۷]	۳۶	[۳۹۸ و ۳۱۳ و ۲۲۴ و ۱۴۵]
۱۱	[۱۳۳ و ۱۰۳ و ۷۸ و ۵۱]	۲۴	[۳۰۵ و ۲۳۹ و ۱۷۰ و ۱۰۹]	۳۷	[۴۲۹ و ۳۳۷ و ۲۴۴ و ۱۶۱]
۱۲	[۱۴۰ و ۱۰۹ و ۸۲ و ۵۴]	۲۵	[۳۰۹ و ۲۴۳ و ۱۷۳ و ۱۱۱]	۳۸	[۴۶۲ و ۳۶۳ و ۲۶۶ و ۱۷۸]
۱۳	[۱۷۰ و ۱۳۲ و ۹۸ و ۶۳]	۲۶	[۳۱۳ و ۲۶۱ و ۱۸۶ و ۱۱۹]	۳۹	[۴۹۷ و ۳۹۰ و ۲۸۸ و ۱۹۶]

جدول ۸- نتایج برنامه‌ریزی سفارشات ماده ۱ در مطالعه موردی توسط الگوریتم الکترومغناطیس

$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش
۱	۷۹	۲۰	۴	۲۰۴	۷
۲	۱۴۶	۱۵	۵	۲۴۵	۳
۳	۲۰۲	۳	۶	۲۴۷	۲

جدول ۹- نتایج برنامه‌ریزی سفارشات ماده ۲ در مطالعه موردی توسط الگوریتم الکترومغناطیس

$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش
۱	۲۷۰	۱۰	۱۱	۳۰۳	۶	۲۱	۳۲۱	۷
۲	۲۷۳	۱۰	۱۲	۳۰۴	۶	۲۲	۳۲۲	۱۴
۳	۲۷۵	۴۰	۱۳	۳۰۵	۶	۲۳	۳۲۴	۲۱
۴	۲۸۳	۲۰	۱۴	۳۰۶	۱۲	۲۴	۳۲۷	۴۲
۵	۲۸۷	۵	۱۵	۳۰۸	۱۲	۲۵	۳۳۳	۷
۶	۲۸۸	۵	۱۶	۳۱۰	۱۲	۲۶	۳۳۴	۷
۷	۲۸۹	۲۰	۱۷	۳۱۲	۱۸	۲۷	۳۳۵	۲۱
۸	۲۹۴	۲۴	۱۸	۳۱۵	۱۲	۲۸	۳۳۸	۱۴
۹	۲۹۸	۱۲	۱۹	۳۱۷	۶	۲۹	۳۴۰	۲۳۶
۱۰	۳۰۰	۱۸	۲۰	۳۱۸	۱۴			

میزان تابع هدف به‌دست‌آمده توسط الگوریتم الکترومغناطیس در مدت حدود ۲۳۱۰ ثانیه برابر ۱۷۹۵۰۶ واحد پولی می‌باشد.



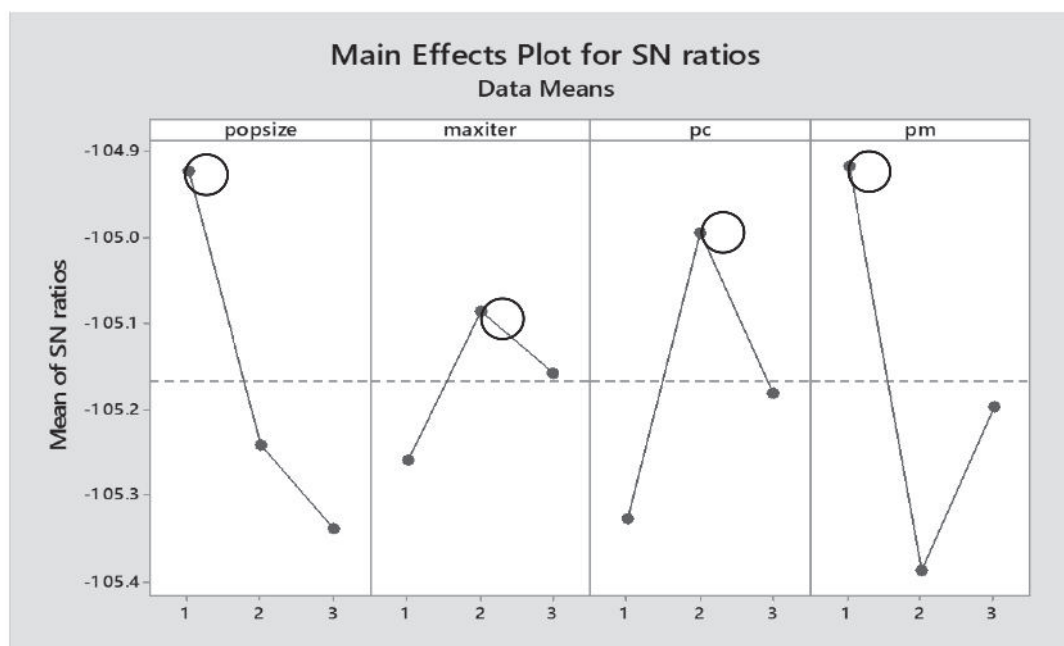
پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک

برای تنظیم پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک، با مراجعه به تحقیقات پیشین (نظیر مراجع [۹] و [۶] و [۸] و [۴] و ...) و نیز بر اساس سعی و خطا، سطوح مختلفی برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک شناسایی شد که در جدول (۱۰) آمده است.

جدول ۱۰- پارامترهای احصا شده برای الگوریتم ژنتیک

ردیف	پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک			
	اندازه جمعیت	حداکثر تکرار	احتمال تقاطع	احتمال جهش
۱	۴۰	۴۵۰	۰.۷	۰.۳
۲	۱۰۰	۵۰۰	۰.۸	۰.۲
۳	۳۰	۲۰۰	۰.۶	۰.۱

سپس با استفاده از طراحی آزمایشات و روش تاگوچی، طرح آزمایش مناسبی (طرح L_9) برای بررسی تأثیر پارامترها بر جواب الگوریتم‌ها ایجاد گردید. پس از چندین بار اجرای الگوریتم با سطوح پارامتر مختلف، برای تحلیل نتایج و جهت تعیین ترکیبی که بهترین نتیجه را می‌دهند، از نسبت S/N و روش بی‌مقیاس سازی درصد / انحراف نسبی (RPD) استفاده گردید [۴]. برای اجرای این روش، ابزار طراحی آزمایشات تاگوچی نرم‌افزار مینی‌تب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمایشات تاگوچی مطابق شکل (۵) و جدول (۱۱) می‌باشد.



شکل ۵- نتایج نرم‌افزار مینی‌تب برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک

جدول ۱۱- پارامترهای کنترلی نهایی الگوریتم ژنتیک

۴۰	اندازه جمعیت
۵۰۰	حداکثر تکرار
۰.۸	احتمال تقاطع
۰.۳	احتمال جهش





نتایج حل مدل

زمان‌بندی فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی سفارشات به‌دست‌آمده توسط الگوریتم ژنتیک، مطابق جداول (۱۲) تا (۱۴) می‌باشد.

جدول ۱۲- نتایج زمان‌بندی فعالیت‌های مطالعه موردی توسط الگوریتم ژنتیک

فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع
۱	[۴۰۴ و ۴۰۴]	۱۴	[۱۷۶ و ۱۳۷ و ۱۰۲ و ۶۶]	۲۷	[۳۳۲ و ۲۶۲ و ۱۸۷ و ۱۲۰]
۲	[۵۱ و ۴۱ و ۳۶ و ۲۶]	۱۵	[۲۱۳ و ۱۶۵ و ۱۲۱ و ۷۶]	۲۸	[۳۳۷ و ۲۶۶ و ۱۹۰ و ۱۲۲]
۳	[۶۰ و ۴۸ و ۳۰ و ۳۰]	۱۶	[۲۱۸ و ۱۶۹ و ۱۲۴ و ۷۸]	۲۹	[۳۵۸ و ۲۸۲ و ۲۰۱ و ۱۲۸]
۴	[۵۰ و ۴۰ و ۳۵ و ۲۵]	۱۷	[۲۲۵ و ۱۷۵ و ۱۲۸ و ۸۱]	۳۰	[۳۶۳ و ۲۸۶ و ۲۰۴ و ۱۳۰]
۵	[۵۰ و ۴۰ و ۳۵ و ۲۵]	۱۸	[۲۳۱ و ۱۸۰ و ۱۳۱ و ۸۴]	۳۱	[۳۶۶ و ۲۸۹ و ۲۰۶ و ۱۳۲]
۶	[۵۵ و ۴۴ و ۳۸ و ۲۷]	۱۹	[۲۳۷ و ۱۸۵ و ۱۳۴ و ۸۷]	۳۲	[۳۶۹ و ۲۹۱ و ۲۰۸ و ۱۳۴]
۷	[۸۱ و ۶۵ و ۳۵ و ۳۵]	۲۰	[۲۶۲ و ۲۰۵ و ۱۴۷ و ۹۵]	۳۳	[۳۷۲ و ۲۹۳ و ۲۱۰ و ۱۳۶]
۸	[۱۱۳ و ۸۷ و ۷۰ و ۴۴]	۲۱	[۲۶۷ و ۲۰۹ و ۱۵۰ و ۹۷]	۳۴	[۳۸۲ و ۳۰۱ و ۲۱۶ و ۱۴۰]
۹	[۱۱۸ و ۹۱ و ۷۰ و ۴۶]	۲۲	[۲۹۶ و ۲۳۲ و ۱۶۵ و ۱۰۶]	۳۵	[۳۸۷ و ۳۰۵ و ۲۱۹ و ۱۴۲]
۱۰	[۱۲۷ و ۹۸ و ۷۵ و ۴۹]	۲۳	[۳۰۱ و ۲۳۶ و ۱۶۸ و ۱۰۸]	۳۶	[۳۹۹ و ۳۱۴ و ۲۲۵ و ۱۴۶]
۱۱	[۱۳۴ و ۱۰۴ و ۷۹ و ۵۲]	۲۴	[۳۰۶ و ۲۴۰ و ۱۷۱ و ۱۱۰]	۳۷	[۴۳۰ و ۳۳۸ و ۲۴۵ و ۱۶۲]
۱۲	[۱۴۱ و ۱۱۰ و ۸۳ و ۵۵]	۲۵	[۳۱۰ و ۲۴۴ و ۱۷۴ و ۱۱۲]	۳۸	[۴۶۳ و ۳۶۷ و ۲۶۷ و ۱۷۹]
۱۳	[۱۷۱ و ۱۳۳ و ۹۹ و ۶۴]	۲۶	[۳۱۴ و ۲۴۸ و ۱۷۷ و ۱۱۴]	۳۹	[۴۹۸ و ۳۹۱ و ۲۸۹ و ۱۹۷]

جدول ۱۳- نتایج برنامه‌ریزی سفارشات ماده ۱ در مطالعه موردی توسط الگوریتم ژنتیک

$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش
۱	۸۱	۸	۶	۱۵۰	۴
۲	۸۳	۸	۷	۲۰۳	۷
۳	۸۵	۴	۸	۲۰۵	۳
۴	۱۴۷	۷	۹	۲۴۶	۵
۵	۱۴۹	۴			

جدول ۱۴- نتایج برنامه‌ریزی سفارشات ماده ۲ در مطالعه موردی توسط الگوریتم ژنتیک

$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{Q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش
۱	۲۷۰	۵	۱۲	۲۹۶	۱۲	۲۳	۳۲۸	۲۸
۲	۲۷۲	۳۵	۱۳	۲۹۸	۱۸	۲۴	۳۳۲	۷
۳	۲۷۹	۲۰	۱۴	۳۰۱	۱۲	۲۵	۳۳۳	۷
۴	۲۸۳	۵	۱۵	۳۰۳	۳۰	۲۶	۳۳۴	۷
۵	۲۸۴	۵	۱۶	۳۰۸	۶	۲۷	۳۳۵	۱۴
۶	۲۸۵	۱۰	۱۷	۳۰۹	۴۸	۲۸	۳۳۷	۷
۷	۲۸۷	۱۰	۱۸	۳۱۷	۶	۲۹	۳۳۸	۱۴
۸	۲۸۹	۱۰	۱۹	۳۱۹	۷	۳۰	۳۴۰	۷
۹	۲۹۱	۱۰	۲۰	۳۲۰	۷	۳۱	۳۴۱	۲۲۹



$\hat{q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش	$\hat{q}_i$	زمان سفارش	مقدار سفارش
۱۰	۲۹۴	۶	۲۱	۳۲۱	۱۴			
۱۱	۲۹۵	۶	۲۲	۳۲۳	۳۵			

میزان تابع هدف به دست آمده توسط الگوریتم GA در مدت حدود ۱۹۹۵ ثانیه برابر ۱۷۶۳۴۹ واحد پولی می باشد.

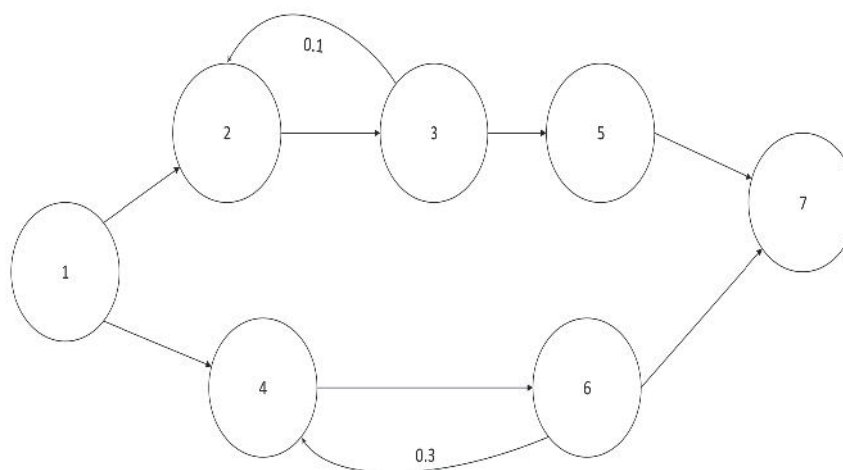
با توجه به نتایج حل دو الگوریتم و مطابق جدول (۱۵) مشاهده می شود که جواب به دست آمده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، ۱/۷٪ بهتر از جواب الگوریتم الکترومغناطیس می باشد و زمان محاسباتی آن ۱۳٪ کاهش یافته است.

جدول ۱۵- مقایسه کیفیت و زمان حل مدل مطالعه موردی با الگوریتم های الکترومغناطیس و ژنتیک

	GA	EM	اختلاف عملکرد EM نسبت به GA
مقدار تابع هدف (هزینه)	۱۷۶۳۴۹	۱۷۹۵۰۶	۱/۷٪ افزایش
زمان حل (ثانیه)	۱۹۹۵	۲۳۱۰	۱۳٪ افزایش

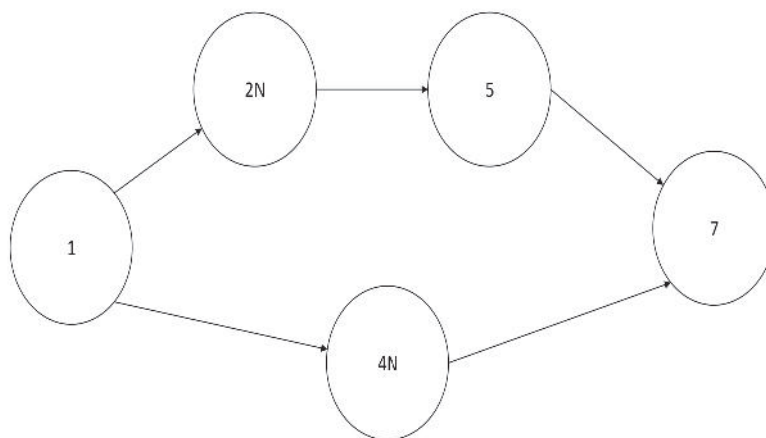
اعتبار سنجی الگوریتم

به منظور اثبات کارایی و کارآمدی الگوریتم الکترومغناطیس و ژنتیک طراحی شده، چند مسئله با ابعاد مختلف انتخاب گردید. ابتدا با استفاده از نرم افزار ایمز جواب دقیق برای مسائل به دست آمده است، سپس جواب ها و زمان حل به دست آمده از الگوریتم ژنتیک با آن مقایسه شد. در اینجا روال کار با سه مسئله با اندازه های مختلف تشریح می شود. ابتدا به بررسی مسئله با ابعاد کوچک پرداخته می شود.



شکل ۶- شبکه پروژه مسئله اول اعتبار سنجی الگوریتم فراابتکاری





شکل ۷- شبکه پروژه مسئله اول اعتبار سنجی الگوریتم فراابتکاری پس از حذف دوباره‌کاری

جدول ۱۶- اطلاعات مالی مسئله اول اعتبار سنجی

پیمانکار	افق زمانی	کننده	افق زمانی تأمین	زمان تحویل	تاریخ تأخیر	پاداش تسریع	S	h	GM	rate	واحد زمانی	منابع کاری در دسترس	میزان حداکثر
۳۰	۳۰	۳۰	۲۸	۱۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱	۱	۱	۵۰۰	۲	۱۱		

جدول ۱۷- اطلاعات فعالیت‌ها و منابع مسئله اول اعتبار سنجی

فعالیت	زمان		میزان استفاده از منابع کاری در هر واحد زمانی			میزان نیاز به ماده اولیه در واحد زمانی
	فازی	قطعی	منبع کاری ۱	منبع کاری ۲	منبع کاری ۳	
۱	(۱۲ و ۳ و ۴)	۳	۳	۴	۶	۷۰
۲.N	(۱۲ و ۹ و ۷ و ۴)	۸	۲	۵	۲	۱۰۰
۴.N	(۱۴ و ۱۱ و ۹ و ۴)	۹	۰	۶	۰	۵۰
۵	(۵ و ۴ و ۳ و ۲)	۴	۵	۴	۰	۹۰
۷	(۵ و ۴ و ۳ و ۱)	۳	۳	۵	۸	۸۰
هزینه هر واحد						
			۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰

جدول ۱۸- اطلاعات مربوط به سایر مشتریان تأمین کننده

مشتری	۱	۲	۳
میزان سفارش	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
موعد تحویل	۳۰	۳۰	۳۰

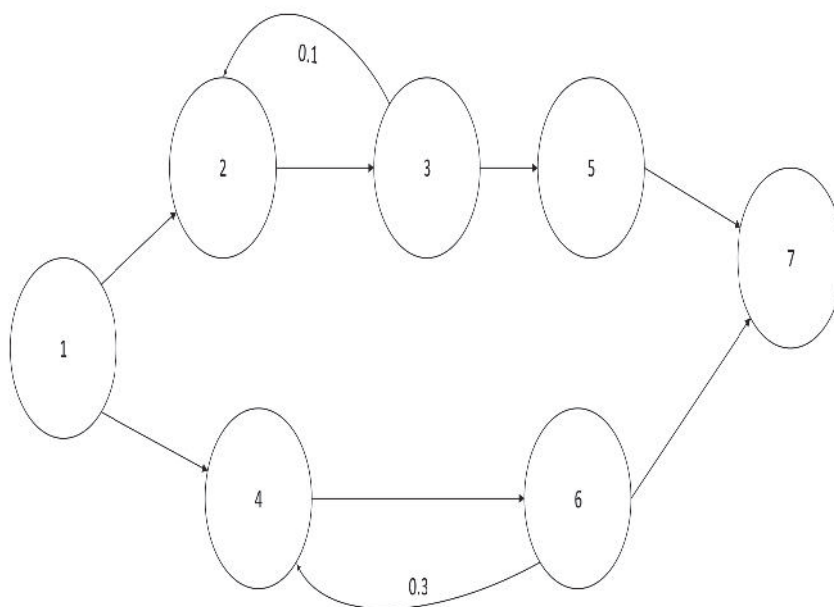
میانگین نتایج حل این مسئله با نرم‌افزار ایمز و الگوریتم‌های الکترومغناطیس و ژنتیک در جدول (۱۹) آورده شده است.



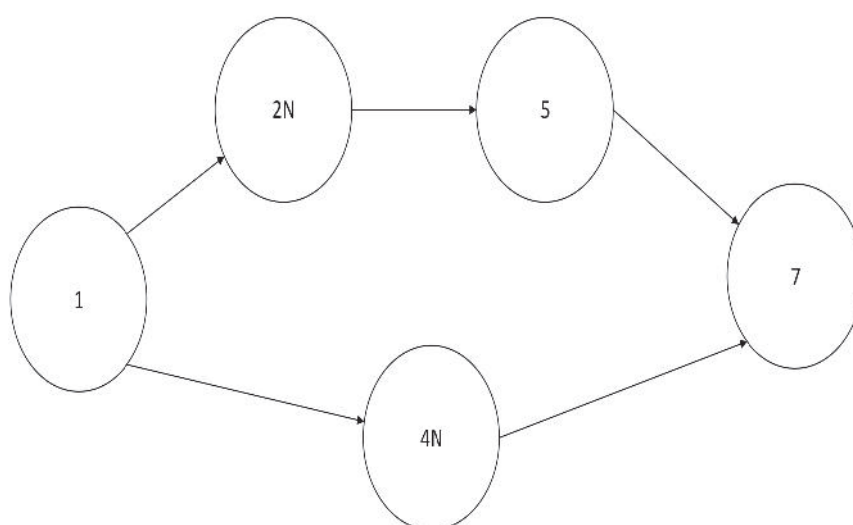
جدول ۱۹- مقایسه عملکرد الگوریتم‌های الکترومغناطیس و ژنتیک و حل دقیق در مسئله اول

مقادیر هدف	تابع	AIMMS	میانگین EM	اختلاف نسبی	میانگین GA	اختلاف نسبی
زمان حل (ثانیه)	۱۴.۱۳	۳۳	۲۹	۰.۰۰۶	-۸۲۲۲۹۷۰	۰.۰۰۴

اکنون ابعاد مسئله را بزرگ‌تر می‌کنیم. در این مسئله تعداد تأمین‌کنندگان ۲ برابر شده است.



شکل ۸- شبکه پروژه مسئله اعتبار سنجی الگوریتم فراابتکاری



شکل ۹- شبکه پروژه مسئله اعتبار سنجی الگوریتم فراابتکاری پس از حذف دوباره‌کاری





جدول ۲۰- اطلاعات مالی مسئله دوم اعتبار سنجی

پیمانکار	افق زمانی	تأمین کننده	افق زمانی	زمان تحویل	هزینه تأخیر	پاداش تسریع	S	h	GM	rate	واحد زمانی	منابع کاری در دسترس	حداکثر میزان
۳۰	۳۰	۳۰	۲۸	۱۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۱	۱	۱	۵۰۰	۲	۱۱		

جدول ۲۱- اطلاعات فعالیت‌ها و منابع مسئله دوم اعتبارسنجی

فعالیت	زمان		میزان استفاده از منابع کاری در هر واحد زمانی			ماده اولیه	
	فازی	قطعی	منبع کاری ۱	منبع کاری ۲	منبع کاری ۳	ماده ۱	ماده ۲
۱	(۱و۳و۴)	۳	۳	۴	۶	۷۰	۷۰
۲.N	(۴و۹و۱۲)	۸	۲	۵	۲	۱۰۰	۱۰۰
۴.N	(۴و۹و۱۱و۱۴)	۹	۰	۶	۰	۵۰	۵۰
۵	(۲و۳و۴و۵)	۴	۵	۴	۰	۹۰	۹۰
۷	(۱و۳و۴و۵)	۳	۳	۵	۸	۸۰	۸۰
هزینه هر واحد			۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰	۲۰

جدول ۲۲- اطلاعات مربوط به سایر مشتریان تأمین کننده

مشتری	۱		۲		۳	
	ماده ۱	ماده ۲	ماده ۱	ماده ۲	ماده ۱	ماده ۲
میزان سفارش	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
موعد تحویل	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰

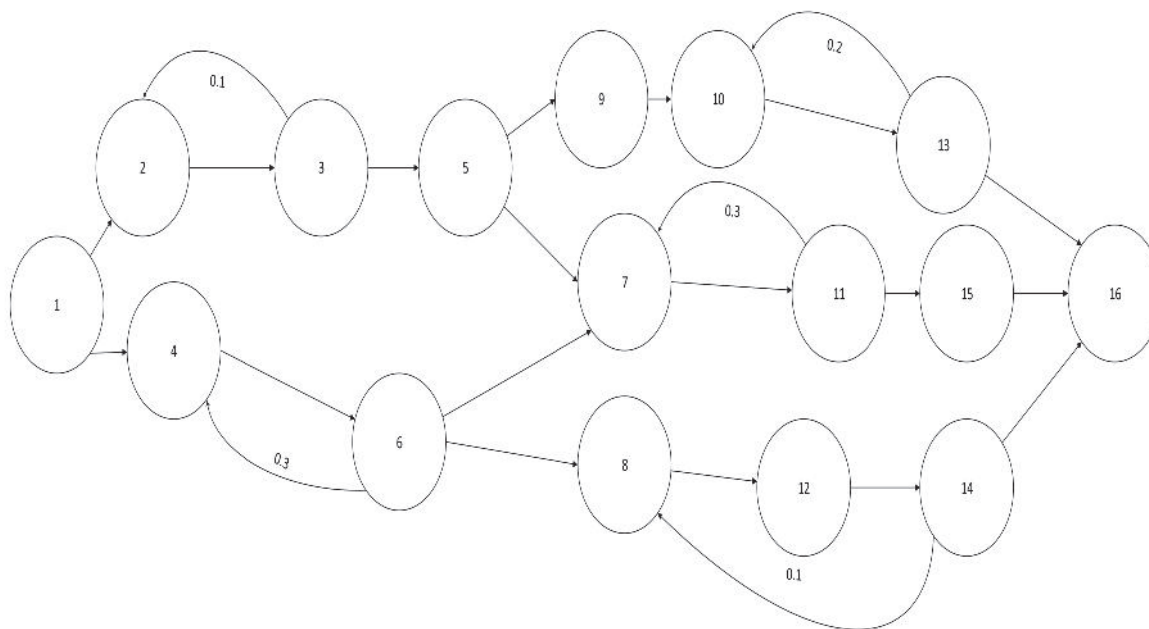
میانگین نتایج حل این مسئله با نرم‌افزار ایمز و الگوریتم‌های الکترومغناطیس و ژنتیک در جدول (۲۳) آورده شده است.

جدول ۲۳- مقایسه عملکرد الگوریتم‌های الکترومغناطیس و ژنتیک و حل دقیق در مسئله دوم

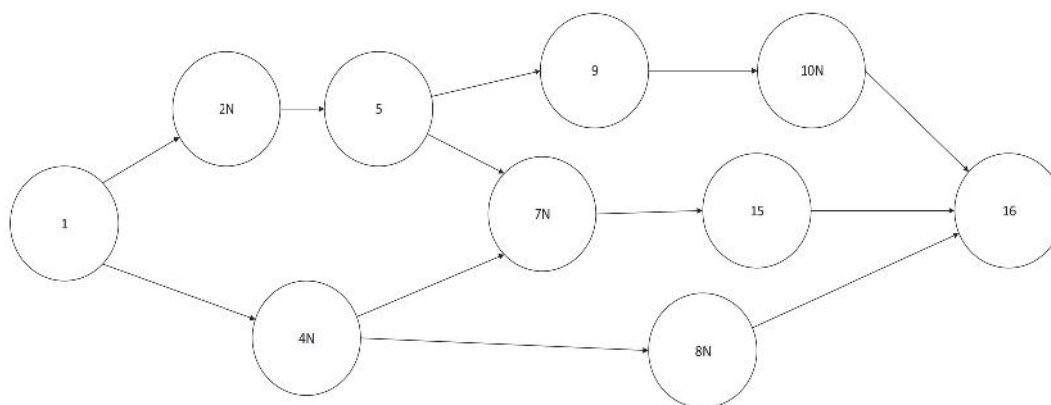
مقادیر	تایم	AIMMS	میانگین EM	اختلاف نسبی	میانگین GA	اختلاف نسبی
هدف		-۷۹۱۱۲۰۰	-۷۹۹۶۸۸۰	۰.۰۱	-۷۹۹۷۴۹۰	۰.۰۱
زمان حل (ثانیه)	۵۲.۲۶	۳۸	۳۴			



مسئله سوم با اندازه بزرگتر بررسی می‌شود. در مسئله سوم، شبکه پیچیده‌تری را در نظر می‌گیریم. نمودار شبکه مسئله در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نمایش داده شده است. اطلاعات مالی، مشتریان و داده‌های تکمیلی فعالیت‌های این مسئله نیز در جداول (۲۴) تا (۲۶) آورده شده است.



شکل ۱۰- شبکه پروژه مسئله سوم اعتبار سنجی الگوریتم فرا ابتکاری



شکل ۱۱- شبکه پروژه مسئله سوم اعتبار سنجی الگوریتم فرا ابتکاری پس از حذف دوباره کاری

جدول ۲۴- اطلاعات مالی مسئله سوم اعتبار سنجی

پیمانکار	افق زمانی	کننده	افق زمانی تأمین	زمان تحویل	بهره پایه تأمین	پاداش تسریع	S	h	GM	rate	واحد زمانی	منابع کاری در دسترس	حداکثر میزان
۴۰	۵۰	۴۵	۱۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱	۱	۵۰۰	۲	۱۶				





جدول ۲۵- اطلاعات فعالیت‌ها و منابع مسئله سوم اعتبارسنجی

ردیف	زمان		میزان استفاده از منابع کاری در هر واحد زمانی			ماده اولیه	
	فازی	قطعی	زمان کاری ۱	زمان کاری ۲	زمان کاری ۳	ماده ۱	ماده ۲
۱	(۱و۳و۴و۲)	۳	۳	۴	۶	۷۰	۷۰
۲.N	(۱۲و۹و۷و۴)	۸	۲	۵	۲	۱۰۰	۱۰۰
۴.N	(۱۴و۱۱و۹و۴)	۹	۰	۶	۰	۵۰	۵۰
۵	(۵و۴و۳و۲)	۴	۵	۴	۰	۹۰	۹۰
۷.N	(۱۳و۱۰و۷و۳)	۳	۳	۵	۸	۸۰	۸۰
۸.N	(۱۶و۱۲و۹و۴)	۱۰	۳	۴	۶	۷۰	۷۰
۹	(۵و۳و۲و۱)	۳	۲	۵	۲	۱۰۰	۱۰۰
۱۰.N	(۱۵و۱۳و۱۰و۶)	۱۱	۰	۶	۰	۵۰	۵۰
۱۵	(۴و۳و۲و۱)	۳	۵	۴	۰	۹۰	۹۰
۱۶	(۵و۳و۲و۱)	۳	۳	۵	۸	۸۰	۸۰
هزینه هر واحد							۲۰

جدول ۲۶- اطلاعات مربوط به سایر مشتریان تأمین‌کننده

مشتری	۱		۲		۳	
	ماده ۱	ماده ۲	ماده ۱	ماده ۲	ماده ۱	ماده ۲
میزان سفارش	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
موعد تحویل	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰

میانگین نتایج حل این مسئله با نرم‌افزار ایمز و الگوریتم‌های الکترومغناطیس و ژنتیک در جدول (۲۷) آورده شده است.

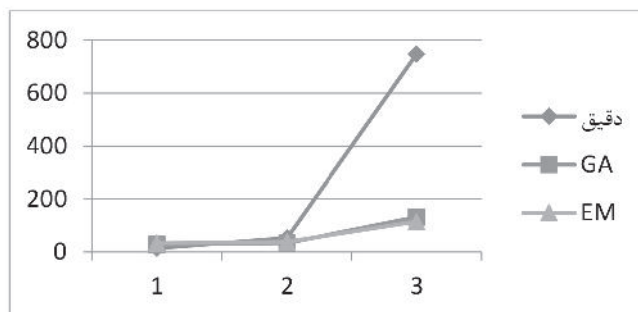
جدول ۲۷- مقایسه عملکرد الگوریتم‌های الکترومغناطیس و ژنتیک و حل دقیق در مسئله سوم

میانگین AIMMS	میانگین EM	اختلاف نسبی	میانگین GA	اختلاف نسبی
۲۴۶۸۸۱۳۴	۲۴۳۸۲۶۸۴	۰.۰۱۲	۲۳۵۴۷۹۰۸	۰.۰۴۶
زمان حل (ثانیه)	۱۱۵		۱۳۲	

همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود الگوریتم‌های ارائه‌شده با توجه به زمان حل، عملکرد قابل قبولی را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج جداول (۱۹)، (۲۳) و (۲۷) زمان جواب الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل سه مسئله نمونه بین ۲۹ تا ۱۳۲ ثانیه است ولی زمان رسیدن



به جواب توسط نرم افزار دقیق ایزم به ترتیب برابر ۱۴.۱۳ ثانیه، ۵۲.۲۶ ثانیه و ۷۴۷.۳۷ ثانیه است. یعنی با افزایش ابعاد مسئله، زمان رسیدن به جواب توسط این نرم افزار به طور نمایی افزایش پیدا می کند همچنین نتایج جداول (۱۹)، (۲۳) و (۲۷) نشان می دهد که اختلاف نسبی الگوریتم های فراابتکاری نسبت به نرم افزار دقیق ایزم بین ۰.۰۰۴ تا ۰.۰۴۶ (یعنی بین ۰.۴ درصد تا ۴.۶ درصد) می باشد.



شکل ۱۱- مقایسه زمان حل الگوریتم های الکترومغناطیس و ژنتیک و حل دقیق در سه مسئله

نتیجه گیری

در این پژوهش، مدل سازی و حل مسئله زنجیره تأمین پروژه دوسطحی شامل پیمانکار و تأمین کنندگان ارائه شده است که هزینه های مربوط به پروژه و موجودی برای هر دو عضو زنجیره کمینه سازی خواهد شد، با این فرض که زمان اجرای فعالیت ها غیرقطعی است و همچنین انجام خود فعالیت نیز دارای عدم قطعیت می باشد از رویکرد فازی برای مقابله با این عدم قطعیت استفاده شده است. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، مسائلی در ابعاد مختلف تولید شده است و در نهایت با استفاده از نرم افزار AIMMS، حل شده است. از آنجاکه مسئله موردنظر از پیچیدگی بالایی برخوردار است برای حل آن در ابعاد بزرگ و نزدیک به دنیای واقعی، دو الگوریتم فراابتکاری الکترومغناطیس و ژنتیک برای حل آن در نظر گرفته شد. که برای ارزیابی اعتبار دو الگوریتم، مقایسه ای بین نتایج بدست آمده از حل دو الگوریتم با روش دقیق برای مسائل مختلف با اندازه های کوچک و متوسط انجام شده که نتایج بیانگر کارایی الگوریتم های فراابتکاری الکترومغناطیس و ژنتیک پیشنهادی می باشد. زمان و پیچیدگی حل مسائل توسط الگوریتم های فرا ابتکاری در مقایسه با حل دقیق به مراتب کمتر است و متوسط درصد اختلاف جواب الگوریتم های فراابتکاری الکترومغناطیس و ژنتیک با حل دقیق بیانگر این است که یافته های الگوریتم های فراابتکاری و روش دقیق دارای اختلاف کمتر از پنج درصد و نزدیک به هم می باشد. از طرفی با افزایش اندازه مساله، در نرم افزار AIMMS مدت زمان لازم برای بدست آوردن جواب به صورت قابل ملاحظه ای رشد کرده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که الگوریتم های الکترومغناطیس و ژنتیک پیشنهادی برای این مساله، الگوریتم هایی موثر و دارای همگرایی به جواب بهینه می باشند.



منابع

منابع فارسی

- [۱] آجورلو، م. مدیریت پروژه، انتشارات دانشگاه پیام نور، (۱۳۸۷).
- [۲] پرویزی، م. حسن‌پور، ح. و نورنگ، ا. "برنامه‌ریزی موجودی و زمان‌بندی فعالیت‌ها در زنجیره تأمین پروژه و حل آن با یک روش کارا (مطالعه موردی: بخش محدودی از پروژه احداث پالایشگاه میعانات گازی بندرعباس)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، مهندسی لجستیک و زنجیره تأمین، دانشگاه جامع امام حسین، (۱۳۹۳).
- [۳] تیموری، ا. موسوی، ف. "ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای مدل برنامه‌ریزی موجودی در زنجیره تأمین پروژه" نشریه تخصصی مهندسی صنایع، شماره ۴۵، ۴۸-۵۸، (۱۳۹۰).
- [۴] توکلی‌مقدم، ر. یزدانی، م. و ملاعلیزاده، ص. "زمان‌بندی تولید و حمل‌هوایی در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی"، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، (۱۳۹۱).
- [۵] رضایی، ف. "مدلسازی ریاضی یک شبکه زنجیره تأمین چهارسطحی مکانیابی - موجودی با در نظر گرفتن قیمت قطعات و مواد متغیر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نراق، (۱۳۹۵).
- [۶] زارعی، م. حسن‌پور، ح. مصدق‌خواه، م. "ارائه مدل ریاضی زمان‌بندی پروژه با اهداف چندگانه بر مبنای الگوهای پرداخت هزینه و ملاحظه محدودیت منابع و حل آن با استفاده از یک روش فرا ابتکاری (مطالعه موردی: بخش محدودی از پروژه احداث پالایشگاه میعانات گازی بندرعباس)". دانشگاه جامع امام حسین (ع)، (۱۳۹۲).
- [۷] ستاری، م. حسن‌پور، ح. "ارائه مدل زمان‌بندی عمل جراحی تحت عدم قطعیت و حل آن با یک روش کارآمد". پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع مؤسسه آموزش عالی ایوانکی، (۱۳۹۴).
- [۸] کاظمی، ف. س. توکلی‌مقدم، ر. "حل مسأله زمان‌بندی پروژه چند هدفه با در نظر گرفتن محدودیت منابع با استفاده از الگوریتم تکاملی چند هدفه"، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده فنی، گروه مهندسی صنایع، (۱۳۸۹).
- [۹] موسوی، ف. ا. تیموری، ا. و برزین‌پور، ف. "ارائه مدل برنامه‌ریزی موجودی در زنجیره تأمین پروژه و حل آن توسط الگوریتم ژنتیک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۸۷).

منابع انگلیسی

- [۱۰] Aquilano N. J. and Smith D. F., "A formal set of algorithms for project scheduling with critical path scheduling/material requirements planning," J Oper. Manag., vol. ۱, (۱۹۸۰).
- [۱۱] Ala-Risku T. and Kärkkäinen M., "Material delivery problems in construction projects: A possible solution," Int. J. Prod. Econ., vol. ۱۰۴, no. ۱, pp. ۱۹-۲۹, (۲۰۰۶).
- [۱۲] Bruni M, Beradli P, Guerriero F, Pinto F., "A heuristic approach for resource-constrained project scheduling with uncertain activity durations", Computers & Operations Research ۳۸, ۱۳۰۵-۱۳۱۸, (۲۰۱۱).
- [۱۳] Bhaskar T, Manabendra N, Asim K, "A heuristic Method for RCPSP with Fuzzy activity times", European Journal Of Operational Research ۲۰۸, ۵۷-۶۶, (۲۰۱۱).
- [۱۴] Bradaran S, Fatemi Ghomi S, Mobini M, Hashemin S, "A hybrid scatter search approach for resource-constrained project scheduling problem in PERT-type networks", Advances in Engineering Software ۴۱, ۹۶۶-۹۷۵, (۲۰۱۰).
- [۱۵] B.TRB II.S, FANG. S, "An Electromagnetism-like Mechanism for Global ptimization", Journal of Global Optimization, Vol ۲۵, pp ۲۶۳-۲۸۲, (۲۰۰۳).
- [۱۶] Chanxio D, Xingfang Z., "Project Scheduling Problem with Uncertain Activity Duration Times", (۲۰۱۱).
- [۱۷] Chang Y. C. C. and Lee C. Y. Y., "Machine scheduling with job delivery coordination," Eur. J. Oper. Res., (۲۰۰۴).
- [۱۸] Chen C, Zhao Y., "Integrating Inventory Planning with Project Management in Project-Driven Supply Chains", Zhao Rutgers edu, no. ۰۷۴۷۷۷۹, pp. ۱-۳۲, (۲۰۰۹).
- [۱۹] Chan F. T. S. T. S., Chung S. H. H., and Chan P. I. Y. I. Y., "An adaptive genetic algorithm with dominated genes for distributed scheduling problems," Expert Syst. Appl., (۲۰۰۵).
- [۲۰] Dodin B. and Elimam A. A., "Integrated project scheduling and material planning with variable activity duration and rewards," IIE Trans., (۲۰۰۱).
- [۲۱] Elimam.E, Dodin.B, "Project scheduling in optimizing integrated supply chain operations". European Journal of Operational Research , vol.۲۲۴, ۵۳۰-۵۴۱, (۲۰۱۲).
- [۲۲] Fu F., "Integrated scheduling and batch ordering for construction project," Appl. Math. Model., vol. ۳۸, no. ۲, pp. ۷۸۴-۷۹۷, (۲۰۱۴).
- [۲۳] Ilapke A, Slowinski R, "Fuzzy Set Approach to Multi-objectiv and Multi- mode Project scheduling under Uncertainty. In: Slowinski and Ilapke M, scheduling under fuzziness, physical Verlag, Heidelberg, pp. ۱۹۷-۷۵۰, (۲۰۰۰).
- [۲۴] Li H. and Womer K., "Optimizing the supply chain configuration for make-to-order manufacturing," European Journal of Operational Research, vol. ۲۲۱, pp. ۱۱۸-۱۲۸, (۲۰۱۲).
- [۲۵] Leu. S.S., Chen A.T., and Yang. C.H., "A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade-off," Int. J. Proj. Manag., (۲۰۰۱).



- [۲۶] Liu Y, Yang S, Lin Y, "Fuzzy Finish Time Modeling for Project Scheduling", The ۱۱ th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, (۲۰۱۰).
- [۲۷] O'Brien W. J., Formoso C. T., Vrijhoef R., and London K. A., Construction supply chain management handbook. CRC, (۲۰۰۸).
- [۲۸] Parrod N., Thierry C., Fargier H., and Cavaille J. B., "Cooperative subcontracting relationship within a project supply chain: A simulation approach," Simul. Model. Pract. ..., vol. ۱۵, no. ۲, pp. ۱۳۷-۱۵۲, (۲۰۰۷).
- [۲۹] Ronen B. and Trietsch D., "Optimal scheduling of purchasing orders for large projects," Eur. J. Oper. Res., vol. ۲۸, pp. ۱۸۵-۱۹۵, (۱۹۹۳).
- [۳۰] Stavoulaki E., Davis M., "Aligning products with supply chain processes and strategy," The International Journal of Logistics Management, vol ۲۱, pp ۱۲۷- ۱۵۱, (۲۰۱۰).
- [۳۱] Steinberg E., Lee W. B., and Khumawala B. M., "A requirements planning system for the space shuttle operations schedule," J. Oper. Manag., vol. ۱, no. ۲, pp. ۶۹-۷۶, (۱۹۸۰).
- [۳۲] Smith-Daniels D. E. and Smith-Daniels V. L., "Maximizing the net present value of a project subject to materials and capital constraints," J. Oper. Manag. vol. ۷, no. ۱-۲, (۱۹۸۷).
- [۳۳] Soltani A, Ilaji R., "A Project Scheduling Method Based on Fuzzy Theory", Journal of System Engineering, Vol. ۱, No. ۱, pp. ۷۰-۸۰, (۲۰۰۷).
- [۳۴] Sheikh Sajadieh, M. Shadrokh, Sh. J. Hassanzadeh, F. "Concurrent Project Scheduling and Material Planning: A Genetic Algorithm Approach", Scientia Iranica, PP ۹۱-۹۹, (۲۰۰۹).
- [۳۵] Ullrich C. A., "Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows," Eur. J. Oper. Res., (۲۰۱۳).
- [۳۶] Xu X. and Zhao Y., "Incentives and Coordination in Project-Driven Supply Chains," zhao.ruigers.edu, pp. ۱-۴۲, (۲۰۰۹).
- [۳۷] Yu.M., Zuo.M., "An Estimating Method for IT Project Expected Duration Oriented to GERT", Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems II, Volume ۲۵۵ of the series IFIP International Federation for Information Processing, ۱۵۵۷-۱۵۶۶, (۲۰۰۸).
- [۳۸] Yeo K. T. T. and Ning J. H. H., "Managing uncertainty in major equipment procurement in engineering projects," Eur. J. Oper. Res., vol. ۱۷۱, no. ۱, pp. ۱۲۳-۱۳۴, (۲۰۰۶).
- [۳۹] Zoraghi N, Najafi A., Niaki A., "An Integrated Model of Project Scheduling and Material Ordering: A Hibryd Simulated Annealing and Genetic Algorithm," J. Optim. Ind. Eng, vol ۵, no ۱۰, pp ۱۹-۲۷, (۲۰۱۲).







شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت هزینه پروازهای بالگردی با استفاده از برنامه‌ریزی

پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی

محمود تقی زاده^{۱*}، حسن قدرتی^۲، علی اکبر فرزین فر^۳، حسین جباری^۳، میثم عرب زاده^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، کاشان، ایران.

۲- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، کاشان، ایران.

۳- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، کاشان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

چکیده

مقاله حاضر، با هدف شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت هزینه پروازهای بالگردی با استفاده از برنامه‌ریزی پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی بر اساس سه مؤلفه اصلی: در دسترس بودن، قابلیت سرویس‌دهی، پایدار بودن صورت گرفته است؛ که این موضوع به روش توصیفی-تحلیلی مبتنی بر مبانی نظری، تجربیات گذشته و مطالعه بر روی عملکرد چند سایت پروازی یک بالگرد ترابری بکارگیری شده در امورات نظامی دفاعی، امنیتی و غیرنظامی با استفاده از احصاء پارامترهای فنی و پروازی و... اولویت‌بندی برای تعیین هزینه‌ها، بر اساس الگوی مدل F.M.P^۲ و ریاضی موردتحقیق قرار گرفته است. بدین گونه که جهت مدیریت زمان کار فنی، انجام چک‌های دوره‌ای تعیین شده برای بالگرد، در قالب: زمان سر رسید قطعات زمان‌دار و نیز قطعات تقویمی، بالگرد تحت مدت زمان مشخص، غیرعملیاتی و زمین‌گیر می‌باشد. در پایان مقاله نتایج عملکرد سه ساله چند سایت مختلف پروازی بالگردهای ترابری موجود کشور (نظامی- غیرنظامی) با نگاه وضعیت سوددهی منطقی به‌صورت نمودار نشان داده شده و نیز نتیجه، همراه با تجزیه‌وتحلیل، راهکارها و پیشنهاد برای اقدامات اصلاحی جهت افزایش درآمد، موردتحقیق و پژوهش قرار گرفته است.

از این‌رو امروزه به‌منظور حفظ و ارتقاء توان عملیات بالگردی، با استفاده از نتایج فوق می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب، مدیریت هزینه‌ها و برآورد اعتباری دقیق و صحیح در شرایط امنیت اقتصادی حال جهان، یک سازمان فعال پروازی راه‌اندازی و هر سال تجهیزات پروازی را به‌روز و کارکنان پروازی، فنی و اداری از توان و انگیزه خدمتی بهتری برخوردار و آن سازمان منظور به‌صورت مداوم سوددهی اقتصادی بهتری داشته و برای دیگر شرکت‌های پروازی تعمیم داد.

واژگان کلیدی: هزینه، نگهداری و تعمیرات، صنعت دفاعی، پرواز.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.taghizadeh01058@gmail.com

^۲ Flight and maintenance planning





۱- مقدمه

صنعت هوایی امروزه در زندگی روزمره بشر نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. این صنعت در بخش تجاری، با فراهم نمودن امکانات بسیار مناسب توانسته است، نیازهای بشر را برای حمل‌ونقل‌های طولانی مدت مرتفع سازد؛ اما در حوزه نظامی، ایجاد بسترهای صنعت بالگردی در اولویت اول، موجب افزایش امنیت پایدار برای خود آن کشور و نیز کشورهای موردنظر می‌باشد.^۱ مسئله بسیار مهم در ارتباط با هر دو بخش از صنعت، داشتن آمادگی عملیات پروازی مناسب برای برطرف کردن نیازهای پروازی می‌باشد. به عبارتی در حوزه تجاری آمادگی عملیاتی اقدام به فراهم نمودن امکانات مناسب جهت انجام پروازها به گونه‌ای که بیشترین اقدام منجر به انتقال بار و مسافر در حداقل زمان است. این آمادگی در بخش نظامی به منظور حداکثر نمودن توان عملیاتی در سال تولید، دانش‌بنیان، اشتغال آفرین برای پاسخ دادن به تهدیدها در هر زمان و همچنین آمادگی جهت کمک به سازمان‌های حمایتی مانند هلال احمر و... در برمی‌گیرد.^۲

به‌منظور افزایش توان آمادگی عملیاتی انجام پرواز، کارهای مختلفی انجام گردیده است. از آنجایی که در دنیای امروز بخش تجاری صنعت هوایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد، لذا بیشتر کارهای انجام گرفته برای افزایش آمادگی عملیاتی روی این بخش متمرکز شده است.^۳ به همین دلیل وجود سرمایه بسیار بالا در موضوعات تجاری، تمرکز در این بخش افزایش یافته است. علاوه بر این نیازمندی‌های بسیار بالایی در حوزه تجاری وجود دارد که در بخش نظامی کمتر مواجه می‌شویم؛ اما بلبیده این نکته توجه کرد که افزایش درخواست بسیار بالای انجام پرواز در بخش‌های حمل‌ونقل تجاری به دلیل وجود امنیت پایدار منطقه‌ای، فعالیت پروازی صورت می‌پذیرد.

حال اگر امنیت پایدار وجود نداشته باشد تقاضا برای حمل بار یا مسافر و... بسیار کاهش می‌یابد. لذا به‌منظور تداوم عرضه و تقاضای امورات پروازی بلیط همواره آمادگی عملیاتی در بخش‌های نظامی به گونه‌ای باشد که امنیت پایدار هوایی تأمین گردد. برای مثال در زمان جنگ ایران و عراق پرواز هواپیماهای جنگنده یا شکاری ایران به‌صورت مداوم بر فراز خلیج فارس یا تنگه هرمز جهت حفاظت از کشتی‌های حمل مواد خام نفتی از زمان ورود به مرزهای آبی ایران تا بارگیری نفت خام، خروج از منطقه و رسیدن به منطقه آبی امن، هواپیماها اقدام به پرواز گشت و شناسایی نموده تا تجارت پایدار صورت پذیرد. امروزه نیز با شروع جنگ نظامی میان روسیه و اوکراین و پشتیبانی نظامی بعضی کشورهای دنیا که دارای ماهیت و ابعاد نظامی گسترده و تأثیرگذاری آن در کل جهان منجر به ناپایداری مؤلفه‌های اقتصادی، امنیتی، سیاسی و... در سطح بین‌الملل گردیده است که عامل اصلی این ناپایداری عدم توازن قدرت نظامی می‌باشد لذا کارهای صورت گرفته در این بخش، توسط محققین و کارشناسان خبره امر بر اساس سه عامل اصلی، شامل: در دسترس بودن، قابلیت سرویس دهی و نیز پایدار بودن برای کلیه پروازها می‌باشد. این سه عامل در بیشینه کردن آمادگی عملیات پرواز تأثیر بسزایی دارد.

۱-۱ ادبیات پژوهش

اهمیت آمادگی نیروهای نظامی یک کشور برای ایجاد امنیت پایدار بر هیچ‌کس پوشیده نیست. لذا این موضوع ریشه در این حقیقت دارد که هر آنچه نیروهای نظامی یک کشور از آمادگی بیشتری برخوردار باشند، امنیت پایدار آن کشور بیشتر تأمین می‌گردد. این آمادگی در بخش تجهیزات پروازی نظامی نیز از اهمیت بیشتری برخوردار است.^۴

از آنجایی که این تجهیزات به‌منظور داشتن برتری در جنگ‌های هوایی بسیار حائز اهمیت هستند، باید به بررسی بیشتری نسبت به این موضوع پرداخته شود. از طرفی این تجهیزات هزینه بسیار زیادی را به دنبال خواهند داشت که بخشی از این هزینه‌ها در قسمت‌های مختلف از جمله انجام پرواز، نگهداری، تعمیر و غیره، صرف می‌شوند.

۱. Fourer, R., Gay, D. M., & Kernighan, B. W. ۲۰۰۲.

۲. M. Verhoeffa, W.J.C. Verhagenb,*, R. Curranb ۲۰۱۵.

۳. Feo, T. A. & Bard, J. F. ۱۹۸۹.

۴. Gurobi Optimization Inc. ۲۰۱۵



با توجه به بررسی هزینه با استفاده از پارامترهای مشخص و معین به منظور تبیین الگوی عملیاتی هر مؤلفه را به صورت جداگانه تعریف می‌شود: در دسترس بودن^۱ زمانی که بالگرد آماده انجام مأموریت پرواز می‌باشد^۲ و تحت کنترل عملیاتی یک مجموعه لشگری یا کشوری جهت انجام مأموریت است. این موضوع، مستلزم رسیدن به ساعت آموزش کروی پروازی و انجام عملیات پرواز موردنظر از پیش تعیین شده است.

به عبارتی در دسترس بودن یعنی یک ظرفیت کلی، با در نظر داشتن برنامه‌ریزی کامل برای انجام پرواز در آینده نزدیک^۳. سرویس‌دهی^۴ بخشی از توانمندی مأموریت وسیله در یک زمان معین است؛ بنابراین توانایی تشریح اندازه‌گیری سریع برای ایجاد مأموریت‌های پروازی در زمان مشخص می‌باشد. به عبارتی سرویس‌دهی یعنی وسیله‌ای که تحت چک‌های فنی قرار گرفته و به مدت مشخصی کلیه موارد تعویض قطعه، بازدید یا بازرسی تخصصی از تمامی تجهیزات یا لوازم آن به عمل آمده و بعد از مدت معین وسیله دوباره به چرخه عملیاتی بودن یعنی در دسترس یا OR قرار می‌گیرد. از آنجا که مقدار انجام پروازها با توانمندی وسایل پروازی قابل سرویس‌دهی در طول مدت زمان می‌باشد این سرویس‌دهی ممکن، کافی بوده ولی قابل شناخت نیست، لذا اگر موضوع محاسبه زمان از دست رفته، باقی بماند، الزامات مأموریت تحقق نمی‌یابد^۵. پایداری^۶ کل مدت زمان پروازی هدر رفته یا غیرموثر یک ناوگان یا یک سازمان پروازی در بازه زمانی مشخص با یک اندازه‌گیری آنی یا لحظه‌ای و به صورت معین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد در حالی که این کمبود مربوط به قابلیت سرویس‌دهی است که انجام نگردیده است. به هر حال پایداری و سرویس‌دهی تمديد عمر تعیین می‌کند چه مدت یک وسیله پروازی قابلیت انجام یک مأموریت، در شرایط خاص، وقتی که هیچ‌گونه منابع تعمیراتی در دسترس نیست را دارد.^۷ [۲۱].

در ادامه موارد فوق در خصوص پارامتر در دسترس بودن، می‌توان با اضافه کردن تجهیزات پروازی و... مؤلفه‌ها را افزایش داد. همچنین با تقویت تعداد کارکنان متخصص فنی می‌توان عوامل پلیدار بودن و قابلیت سرویس‌دهی را افزایش داد. لذا با انجام تغییرات ابتدایی می‌توان آمادگی عملیاتی را بالا برد؛ اما مشکلی که در این کار وجود دارد این است که افزایش هریک از عوامل یاد شده، نیازمند هزینه بسیار بالایی است. با توجه به ساختارهای اقتصادی هر کشور، کاهش دادن هزینه‌ها در هر بخش امری بسیار حیاتی برای بقای اقتصاد آن کشور می‌باشد. لذا کارهای فوق درصدد افزایش آمادگی عملیاتی برای سیستم‌های موجود مورد نیاز می‌باشند. در این مقاله ابهامات و یا سؤالاتی برای محاسبه هزینه‌ها جهت آمادگی عملیاتی توان بالگردی می‌تواند تأثیری داشته باشد. به شرح ذیل عنوان و مورد تحقیق و پژوهش قرار می‌گیرد.

کاهش هزینه‌ها، چه تأثیری در آمادگی عملیاتی می‌تواند داشته باشد. افزایش هزینه‌ها، چه تأثیری در آمادگی عملیاتی می‌تواند داشته باشد. به عبارت دیگر می‌خواهیم بدانیم که آیا بررسی هزینه‌ها در افزایش آمادگی عملیاتی در مقیاس اهمیت آمادگی عملیاتی چرخه پرواز بالگرد، مؤثر است یا خیر؟

و نیز اینکه، آیا عامل هزینه می‌تواند در آمادگی عملیاتی پرواز بالگرد، تأثیری داشته باشد یا خیر؟ حال آنچه که در بیان مسئله تحقیق در مقاله عنوان شده، پژوهش حاضر در راستای پاسخ به پرسش اصلی ذیل به انجام خواهد رسید: "با هدف شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت هزینه پروازهای بالگردی با استفاده از برنامه‌ریزی پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی" چه نتایجی را در بردارد؟

۱ - Availability

۲ - operation ready (OR)

۳. Cho, P. Y. ۲۰۱۱.

۴ - Serviceability

۵. Cho, P. Y. ۲۰۱۱. Feo, T. A. & Bard, J. F. ۱۹۸۹.

۶ - Sustainability

۷. Fourer, R., Gay, D. M., & Kernighan, B. W. ۲۰۰۲.





۱-۲ مدل بهینه‌سازی F.M.P^۱ برای حداکثر نمودن توان عملیاتی

همان‌طور که بیان شد، اهمیت نیروی نظامی در تأمین پایدار امنیت یک جامعه اجتناب‌ناپذیر است. موضوع مهم در این رابطه اینکه نیروی هوایی یک کشور دارای ساختار و سازمان طویل بوده که نیروهای انسانی و ازدیاد تجهیزات پروازی بسیار پرهزینه می‌باشند. لذا جهت مدیریت هزینه‌ها در بخش آمادگی عملیاتی می‌توانیم به نتایج زیر دست یابیم. در صورتی که مدیریت و بهینه‌سازی منجر به کاهش هزینه‌ها شود، می‌تواند صرف تأمین نیازهای اصلی آمادگی عملیاتی گردد که شامل: افزایش تجهیزات، افزایش کیفیت آموزش کارکنان فنی و خلبان باعث ارتقاء مهارت تخصصی و نیز بهینه‌سازی هر کدام از سه شاخصه اصلی که در بخش بالا به آن پرداخته شد، همراه داشته باشد. [۱۵].

در صورتی که بهینه‌سازی منجر به استفاده درست از منابع گردد، راندمان کاری در بخش آمادگی عملیاتی افزایش می‌یابد. به عنوان مثال: هزینه‌هایی که باید برای تأمین آموزش کارکنان فنی و خلبان صرف شود، در بخش تخصیص اعتبارت به منظور خرید تجهیزات تخصصی شامل سامانه‌های جدید پروازی، ابزار مخصوص، تسترها و ... هزینه می‌شود.

در صورتی که بهینه‌سازی منجر به افزایش هزینه شود، این افزایش هزینه لازم‌ه تأمین امنیت پایدار در یک کشور و یا محدوده سرزمینی می‌باشد، بنابراین لازم است هزینه‌های ناشی از تجهیزات پروازی و نیروی انسانی باید متناسب با اهداف سازمان باشد. این بدان معناست، در صورتی که قصد ما افزایش آمادگی عملیاتی برای سیستم‌های هوایی است، باید بدانیم درست هزینه کردن در جای مناسب خود، می‌تواند ما را در این رابطه بسیار کمک کند.

نکته دیگر اینکه، اهمیت ضرورت بررسی آمادگی عملیاتی در دو بخش، خود را نمایان می‌کند: بخش اول در ناوگان هواپیمایی کشوری که اقدام به جابجایی مسافر و کالا فعالیت می‌نماید، ولی بخش دوم شامل: فعالیت‌های شبانه‌روزی ناوگان هوایی نظامی در راستای ایجاد و حفظ امنیت پایدار کشور و منطقه با هدف پیشگیری از تهدیدات و آسیب‌ها می‌باشد.

مهم‌ترین تفاوت این دو بخش، فعالیت در سامانه‌های هوایی مختلف می‌باشند. به این صورت که در سیستم‌های حمل‌ونقل هوایی کشوری در مسیرهای مشخص با یک ظرفیت معین اقدام به انتقال بار یا مسافر و... صورت می‌گیرد، اما در سیستم‌های هوایی نظامی بخصوص بالگرد به فراخور نوع کار و هدف از انجام پرواز که بعد نظامی و نماد قدرت بوده اقدام به یک فعالیت پروازی هدفمند است، لذا از اهمیت و ضرورت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. بدین منظور نتیجه کار با استفاده از برنامه F.M.P که زمینه اولیه آن در حوزه فعالیت پروازی در صنایع هوایی متمرکز شده است. فرهنگ F.M.P در سیستم حمل‌ونقل هوایی نظامی در اولویت اول تمرکز نسبت به نگهداری و تعمیرات و انجام چک بازرسی فنی گسترده دوره‌ای روی هواپیماها یا بالگردهای نظامی که پیچیده‌ترین و کامل‌ترین مراحل جهت پیشگیری از هرگونه رویدادها و مخاطرات پروازی و همچنین سوانح هوایی را برنامه‌ریزی نموده است. در نهایت مسئله بررسی هزینه‌های آمادگی عملیاتی مورد نیاز سیستم‌های نظامی برای داشتن بیشینه توان آمادگی عملیاتی را فراهم خواهد کرد. علاوه بر این موضوع، با به کارگیری این عامل در داشتن آمادگی برای کشوری چون ایران که تحت فشارهای اقتصادی بین‌المللی و همچنین تهدیدهای روزافزون نظامی از جانب کشورهای مختلف قرار دارد، می‌توان علاوه بر داشتن آمادگی عملیاتی حداکثری، هزینه‌ها را نیز کنترل کرد. این دو عوامل در ایران بسیار تأثیرگذار می‌باشند زیرا بودجه‌های نظامی بسیار محدود بوده و نیز تهدیدات امنیتی بسیار زیادی متوجه کشور ایران است.

۲- روش اجرای پژوهش

انتخاب روش مناسب پژوهش جهت دستیابی به نتایج واقعی و مطلوب از اهمیت زیادی برخوردار است که بر اساس شرایط و اقتضای محیطی روش پژوهش مناسب برای انجام کار انتخاب می‌شود؛ بنابراین هر پژوهش می‌تواند یک روش پژوهشی متفاوت از تحقیقات به نظر مشابه داشته باشد (مطالعه کلیه منابع ذکر شده در پژوهش). برای کسب آگاهی از نحوه انتخاب روش تحقیق در یک پژوهش، منجر به انتخاب بهترین روش با علم روز

۱. Flight and maintenance planning.



مورد نیاز می‌باشد. لذا پژوهشگر باید از مبانی نظری و پیشینه مطالعات انجام گرفته در آن زمینه و نتایج مطالعات مشابه آگاهی کافی داشته باشد. در ادامه روش پژوهش به کار گرفته شده در این مقاله از کلیه موارد پژوهشی شامل: نوع پژوهش، حوزه تخصصی پژوهش، نمونه‌های آماری در سطح دنیا و نحوه گردآوری داده‌های عنوان شده که به صورت یک مدل با متغیرهای مختلف پرداخته می‌شود.

با عنایت به اینکه داده‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های عملکردی مربوط به آخرین مقاطع زمانی دوره‌ای بوده و به‌طور کلی بازه زمانی گذشته می‌باشد. طرح پژوهش از نوع پس رویدادی، گذشته نگر یا توصیفی-تحلیلی مبتنی بر تجربیات گذشته^۱ خواهد بود. با عنایت به اینکه داده‌های آماری و متغیرهای مورد استفاده در تعیین فضای تصمیم‌گیری و در تبیین الگوی آمادگی عملیاتی در صنایع بالگردی با استفاده از مدل پیشنهادی برای برنامه‌ریزی پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی، نیز از روش‌های بهینه‌سازی ریاضی استفاده شده است، روش کلی یا نوع پژوهش از جهت ماهیت و نوع داده‌ها و روش‌های مورد استفاده از نوع "کمی" یا "غیر قضاوتی" خواهد بود. این پژوهش دارای دو بعد محاسباتی و جمع‌آوری داده می‌باشد. در فاز محاسبات متغیرهای مورد بررسی تحلیل می‌شوند تا تأثیر آن‌ها روی مدل و بهبود عملکردی بررسی شود. در فاز جمع‌آوری اطلاعات کلیه داده‌های پروازی، اطلاعات فنی و تعمیراتی از نمونه بالگرد MI-171 در یک سازمان نظامی داخل کشور و نیز مقایسه آن با اطلاعات داده از نمونه بالگرد MI-171 در دیگر سیستم غیرنظامی (شرکت هلال احمر ایران) بر اساس استانداردهای دنیا مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت. [۱].

۲-۱ متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و شرح چگونگی بررسی و اندازه‌گیری متغیرها:

از آنجایی که آمادگی عملیاتی تشکیل شده از سه مؤلفه اصلی: در دسترس بودن، قابل سرویس بودن و پایداری می‌باشد، این سه مؤلفه در ابتدا به صورت مدل‌های ریاضی مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر عوامل ذکر شده، بررسی هزینه در سیستم‌های هوایی شامل: هزینه نگهداری و تعمیرات، کارکنان پروازی، نیروی انسانی و... در بخش‌های مختلف نیز مورد بحث قرار خواهند گرفت. با ترکیب عامل هزینه و عوامل ذکر شده در بالا قصد داریم با ارائه یک مدل آمادگی عملیاتی هزینه محور، علاوه بر افزایش آمادگی عملیاتی، هزینه‌ها نیز مدیریت شوند. بخشی از پارامترهای مربوطه که تأثیر مستقیم در آمادگی عملیاتی پرواز دارد، در ابتدا شناسایی و درجه اهمیت آن‌ها را مشخص نموده و پارامترهای به صورت هزینه هم مورد بررسی قرار گرفته که بخشی از شاخصه‌های مهم به شرح ذیل اعلام و توسط کارشناسان خبره هم مورد نظر کارشناسی قرار گرفته و اعلام می‌گردد که در ادامه تشریح می‌گردد. [۱۲].

۲-۲ ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

کلیه پارامترهای تأثیرگذار مانند وضعیت حاضر بالگردها، وضعیت کارکنان پروازی، نوع مأموریت ابلاغی، سوخت مورد نیاز، مشخصات قطعات مصرفی با تعداد آن و نیز قطعات زمان‌دار بالگرد مورد نظر، انجام پرواز در شب یا روز، مکان انجام پرواز، نیروی پشتیبانی از ابتدای ابلاغ مأموریت، حین کار پرواز و نیز کارکنان خدمات فرودگاهی و... به صورت یک مدل ریاضی ارائه می‌شود که این اطلاعات با استفاده از ابزارهای شبیه‌ساز مثل Mat lab، Simulink و... مورد بررسی قرار خواهیم داد تا بتوانیم نتیجه پردازش این اطلاعات با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط ابزارهای منظور مورد بررسی قرار دهیم که چه تأثیری در بهینه‌سازی ارتقاء آمادگی عملیاتی پروازی بر اساس محاسبه هزینه‌ها دارد و اهمیت موضوع با توجه به اینکه هزینه یک پرواز بسیار گران‌قیمت می‌باشد، به صورت ضریب اهمیت نسبی ارجحیت بندی، مقایسه و محاسبه می‌شود و در پایان کلیه یافته‌ها بر اساس یک الگوی مشخص به سازمان‌های مربوطه برای کنترل هزینه‌هایشان ارائه خواهد شد. [۱۰].

^۱ Ex-post factor





۳-۲ جامعه آماری و روش اندازه‌گیری

از آن جهت که جامعه آماری در این پژوهش به‌طوری که متعاقباً مورد بحث کارشناسی قرار گرفته، بر نمونه آماری منطبق و در اجرای الگوی پیشنهادی پژوهش جهت تعیین سطح بهینه آمادگی عملیاتی صنایع هوایی نظامی از روش‌های بهینه‌سازی ریاضی بهره گرفته شده است. بر همین مبنا طی استنتاج هدف، تعمیم و تسری نتایج نبوده و ابزارهای مورد استفاده از نوع توصیفی و به عبارتی روش استنتاج توصیفی خواهد بود. علاوه بر این از آن جهت که با تمایز بین مرحله تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در انتخاب ترکیب بهینه سرمایه‌گذاری به توسعه ادبیات پژوهش در این زمینه خواهد انجامید، نوع پژوهش را از جهت هدف می‌توان توسعه‌ای نیز نامید.

۴-۲ حجم نمونه

در اجرای پژوهش در سطح آزمایشی بر روی نوع بالگرد MI-۱۷۱ از سازمان‌های پروازی نظامی با استفاده از اسناد موجود آن سازمان به‌صورت یک جامعه آماری و حجم نمونه مشخص با استفاده از مدل ریاضی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه می‌توان به سایر ناوگان بالگردهای نظامی کشوری و لشگری تعمیم داده شود. [۱].

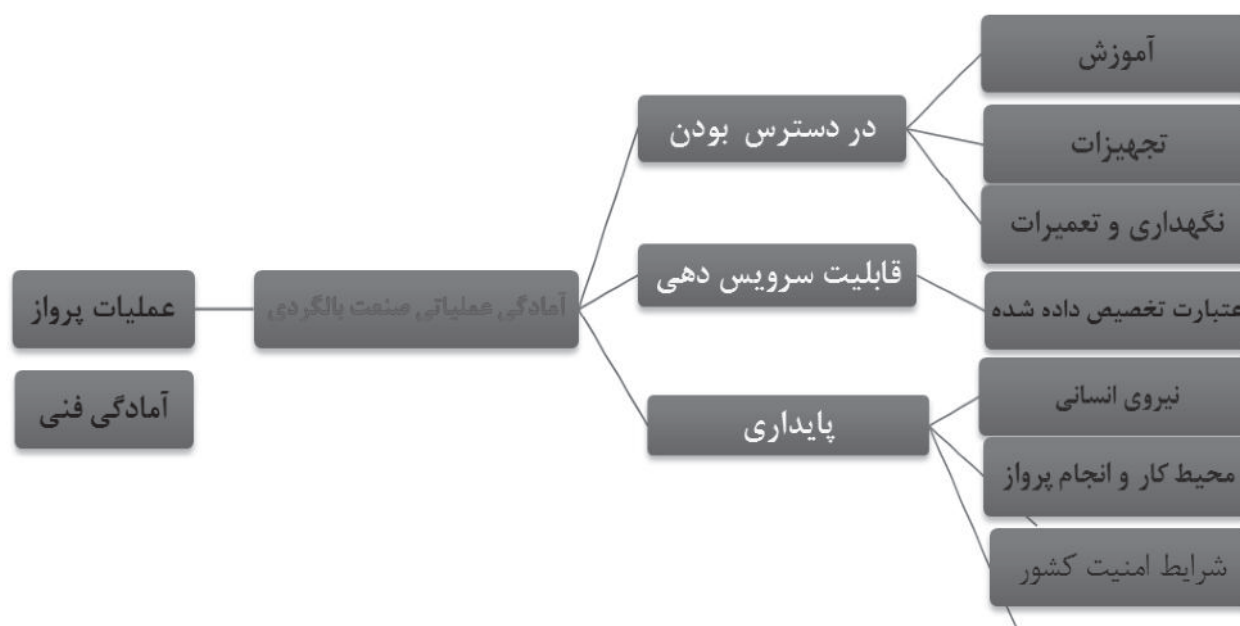
جدول شماره (۱) شاخصه‌های مؤثر بر آمادگی عملیاتی پرواز بالگرد MI-۱۷۱ جهت محاسبه تعیین هزینه‌ها

ردیف	امتیاز	ضریب اهمیت	مؤلفه‌ها
۱			وجود تحریم ظالمانه در کشور جهت تأمین قطعات فنی و تخصصی
۲			وجود اعتبارات لازم اولیه، به‌موقع و به‌اندازه جهت مدیریت زنجیره تأمین، تهیه و توزیع یک سیستم پروازی
۳			شرایط و جو سیاسی کشور
۴			انجام تعمیرات سبک، نیمه سنگین و یا سنگین (O.I.D)
۵			وجود برنامه جامع تخصصی فنی و سیستمی برای محاسبه هزینه‌ها
۶			وضعیت ارائه خدمات آموزش تخصصی فنی، مراقبت پرواز، خدمات فرودگاهی و... و همچنین بازآموزی
۷			وضعیت ارائه خدمات آموزش تخصصی خلبانی و همچنین بازآموزی
۸			تعداد تجهیزات و نگاه به افزایش آن و تلاش و وجود برنامه برای جابجایی بالگرد و استفاده از علم روز دنیا
۹			وضعیت تهیه، تأمین و نگهداری سوخت هوایی بر اساس مبنای انجام پرواز
۱۰			وضعیت تهیه، تأمین و نگهداری قطعات زمان‌دار بالگرد و یا ساخت برخی از آنان
۱۱			وضعیت تهیه، تأمین و نگهداری قطعات مصرفی مانند اورینگ، پکینگ، و...
۱۲			ادامه دارد...





جدول شماره (۲) مدل مفهومی پژوهش



۳- یافته‌های پژوهش

۳-۱ یافته‌های توصیفی برنامه‌ریزی امورات فنی و پروازی^۱ (FMP)

در بررسی کارهای انجام شده در زمینه FMP که به‌منظور حداکثر رساندن آمادگی عملیاتی در سیستم‌های هوایی می‌باشند، قبلاً بیشتر بر روی صنعت هواپیمایی کشوری تمرکز شده بود که این موضوعات پیچیده توسط محققین: فوا و برد در سال ۱۹۸۹ جهت حداکثر سازی آمادگی عملیاتی سیستم‌های هواپیمایی در شبکه‌های بسیار پیچیده مورد بررسی قرار گرفته بود^۲ [۱۰].

از آنجایی که در بخش ناوگان کشوری امروزه تردد بسیاری از مردم، تمایل به استفاده از وسیله هوایی برای حمل‌ونقل می‌باشد. همچنین این افزایش تقاضا برای شرکت‌های خطوط هوایی افزایش هزینه‌های ناشی از نگهداری و تعمیرات را نیز به دنبال دارد لذا ناوگان پروازی نمی‌تواند این افزایش هزینه‌های ناشی از نگهداری و تعمیرات را از مسافری وصول نمایند، بنابراین باعث نارضایتی مردم جهت استفاده از صنعت حمل‌ونقل هوایی می‌گردد. پس مدیران اجرایی شرکت‌های هوایی باید توجه بیشتری به بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات داشته باشند تا بتوانند هزینه‌ها را در این بخش مدیریت کنند. برای مدیریت نگهداری و تعمیرات، محققین فوق اقدام به ارائه روشی جهت برنامه‌ریزی دقیق چک‌های فنی به‌صورت متمرکز در زمان انجام کار فنی، پیش‌بینی و به‌صورت یک دستورالعمل اجرا نموده‌اند. [۲].

همچنین بر اساس مطالعات منابع ذکر شده، یک برنامه منظم متناسب با محدودیت‌های نگهداری و تعمیرات در سطوح مختلف فنی توسط کارشناسان خبره مربوطه جهت انجام پرواز مورد بررسی قرار گرفته است. لذا محقق یک برنامه منظم پروازی از مجموع تعداد بالگردهای در اختیار، بر اساس تعریف وظیفه هر گروه پروازی منظور بر روی چه وسیله‌ای پرواز نماید، شاخص‌ها را ارائه نموده است.^۳

^۱ - Flight and Maintenance Planning

^۲ - Cho, P. Y. ۲۰۱۱.

^۳ . Clarke, L., Hanc, C., Johnson, E. & Nemhauser, G. ۱۹۹۶.





در این مقاله نحوه انجام پروازهای محلی، مأموریتی، تست‌های فنی و پروازی توسط چه اشخاصی با چه تخصصی انجام شود؟ و یا به عبارتی در اصطلاح امروزی به صورت یک دستورالعمل برای هر سازمان پروازی تعیین گردیده است. برای حل این مسائل از تکنیک‌های مختلفی شامل: الگوریتم نقطه میانی، جمع‌آوری مدل و آشفستگی هزینه‌ها استفاده شده است و در نهایت هدف اصلی از این کار حداکثر کردن آمادگی عملیاتی پرواز منهای محاسبه هزینه‌های آن می‌باشد.

۳-۲ انجام چک‌های فنی بالگردها:

امروزه کلیه چک‌های فنی به صورت دو بخش به صورت تقویمی^۱ و یا زمان‌دار^۲، به استناد کتاب^۳ مربوطه صادره شرکت تولیدی بالگرد مشخص می‌شود و چک‌های فنی زمان‌دار مانند: ۱۰۰، ۵۰۰، ۳۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵ تا ۲۰۰۰ انجام و نیز چک‌های تقویمی بر اساس آیتم‌های مشخص در فرم مربوطه ۱۸-۲۸۰۴ به صورت سه سال، ۴۸ ماهه، یا ۵ سال و... مانند تعویض تیغه‌های کمپرسور، ملخ بالگرد و... انجام می‌شود.

هر نوع چک فنی بر اساس ریل مربوطه کلیه موارد مشخص برای رده و یا سطح انجام آن معین و مدت‌زمان انجام نفر ساعت کار فنی هم معین می‌شود. برای مثال: چک‌های زمان‌دار بر اساس جدول زیر انجام و جهت برنامه‌ریزی عملیات پرواز مشخص می‌شوند. [۲].

جدول شماره (۳)، محاسبه زمان چک‌های فنی

رده تعمیراتی	مدت انجام ساعت کار فنی	چک فنی بر حسب ساعت پرواز
O	۵	۲۵
O	۳ روز	۵۰
O Limit	۴ روز	۱۰۰
I	۳ هفته کاری	۳۰۰
I	یک ماه کاری	۵۰۰
I Limit	دو ماه کاری	۱۰۰۰
D	۶ تا ۸ ماه کاری	۲۰۰۰

مدت‌زمان محاسبه‌شده جهت کار فنی، بر اساس کتاب مربوطه یادداشت گردیده است، ولی شرایط کار، انگیزه خدمتی، توان نیروی متخصص و... قابل تغییر می‌باشد.

پس از انجام چک ۲۰۰۰ که بنام بازسازی تعریف شده. در شناسنامه بالگرد تعیین و از صفر دوباره ادامه می‌یابد.

نکته ۱: در زمان بروز هرگونه رویداد یا شرایط بحران کلیه چک‌های فنی پس از تشکیل برد تخصصی فنی و پروازی معین و کار فنی مخصوص خود انجام می‌شود.

نکته ۲: چک فنی بدنه بالگرد هم بر اساس کتاب مربوطه توسط کارشناسان خبره در مدت‌زمان تعیین‌شده انجام می‌شود و بالگرد به چرخه پرواز برگشت و برای عملیات برنامه‌ریزی می‌گردد.

نکته ۳: بر اساس ریل تعمیراتی هنگام چک فنی اگر قطعه‌ای توسط بازرس فنی تشخیص داده شود که می‌بایستی تعمیر یا تعویض گردد. خارج از زمان سر رسید اقدام و زمان آن در شناسنامه فنی بالگرد ثبت می‌گردد.

نکته ۴: با توجه به اینکه قطعات بالگرد بیشتر چرخنده یا چرخشی می‌باشند. قطعات مصرفی زیاده داشته و روغن و یا گریس مخصوص زیادی را مصرف می‌شود که در بخش فنی موردتوجه زیادی قرار می‌گیرد.

۱ - calendar

۲ - time

۳ Maintenance schedule Manual



نکته ۵: همچنان که رده تعمیراتی در جدول فوق متفاوت بوده، بازرس فنی و بازرس کنترل کیفیت هر تخصص و بازرس رده دیو (D) از شرایط و مجوزهای خاصی متفاوت می‌باشند.

نکته ۶: آشیانه‌ها یا رده تعمیراتی موجود برای نگهداری و تعمیرات مشخص گردد.

نکته ۷: نیازمندی‌های تعمیراتی، تجهیزاتی و یا نیروی انسانی متخصص با سطح بازرسی قبل از هر چک فنی می‌بایستی موردتوجه و پیش‌بینی قرار می‌گیرد.

نکته ۸: قطعات اویونیک و... در بازرسی‌های سنگین مانند چک ۱۰۰۰ ساعته مورد بازرسی کامل قرار می‌گیرند.

حال با مطالعه اطلاعات فوق و انجام چک فنی موردنظر تلاش برای افزایش آمادگی و بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات برابر زمان و دستورالعمل از قبل معین شده و زمان را مدیریت و بخشی هزینه‌ها را می‌توان برآورد نمود. [۱].

۳-۳ تجزیه و تحلیل کلی

بر اساس تحلیل پارامترهای بیان شده فوق‌الذکر کلیه مؤلفه‌ها جهت افزایش آمادگی عملیاتی پرواز متناسب با نیاز و شرایط پرواز ابلاغی و رویارویی با هر نوع تهدید خارجی می‌باشد و این تحلیل عوامل موردبررسی توجه قرار گرفته است، مانند زمان تلف شده^۱ می‌باشد. همان‌طور که در بخش‌های مختلف هم اشاره شد این مقدار به بازه زمانی گفته می‌شود که بالگرد، قابلیت سرویس‌دهی داشته تا به مرحله نگهداری و تعمیرات برسد. برای تحلیل مفهومی موضوع به‌صورت FMP سیستم‌های نظامی عمدتاً بر روی فاز نگهداری و تعمیرات متمرکز می‌شود. این بخش نیازمند انجام چک‌های فنی، بسیار پرهزینه (زمان و پول) می‌باشد. فاز دیگر در واقع ضروری است بالگرد برای مدت چند هفته‌ای زمین گیر گردد تا بازرسی یا چک‌های دورهای و یا زمان‌دار بر روی آن انجام شود. ابزار اصلی استفاده شده برای محاسبه دستی (FMP) در بسیاری از سازمان‌ها به‌عنوان فاز جریان شناخته می‌شود. این فاز عملکرد وسیله پروازی را در واحد پرواز به نسبت زمان نمایش می‌دهد. این موضوع به زمان کلی پروازی یک وسیله قبل از رسیدن فاز نگهداری و تعمیرات گفته می‌شود که در ادامه با بررسی‌ها و مطالعه بر روی چند سازمان پروازی در این زمینه جدول زیر ارائه شده است. [۱].

جدول شماره (۴): بررسی عملکرد سایت‌های پروازی

رده‌های پروازی	هدف	رویکرد	محدودیت‌ها
مالیت بالگرد MI-۱۷۱ در سایت ۱	انجام پروازهای مختلف،	انجام نگهداری و تعمیرات بالگرد در شرایط آمادگی عملیاتی و اعلام در دسترس ۱۰۰ در صد بالگردها	زمان تعمیر نگهداری در طول پروازها و محدودیت (آشیانه، تجهیزات فنی، تجهیزات تخصصی)،
مالیت بالگرد MI-۱۷۱ در سایت ۲	افزایش تعداد بالگرد موجود با بهینه‌سازی حالت سکون جریان	طرح‌ریزی برای در نظر گرفتن اختلاف از فاز جریان و کمینه کردن اختلاف	محدودیت (آشیانه، تجهیزات فنی، تجهیزات تخصصی)،
مالیت بالگرد MI-۱۷۱ در سایت ۳	انجام پرواز با رعایت بیشینه افزایش آمادگی عملیاتی بالگردها (در دسترس بودن) در طول برنامه ابلاغی پرواز ریزی برای یک ناوگان	بهره‌گیری از زمان Residual برای انجام نگهداری و تعمیرات بالگرد در شرایط آمادگی عملیاتی و بیان نمودن در دسترس ۱۰۰ در صد بالگردها	برنامه‌ریزی مناسب برای تقسیم یا توزیع مدت‌زمان Residual برای کل بالگردها در طول مدت پرواز
لیت بالگرد MI-۱۷۱ در سازمان هلال‌احمر ایران (شرکت نوید)	مدیریت اعزام بالگردها برای مأموریت انجام کار فنی با ساعت کار و مدت‌زمان تعمیرات	مدیریت زمان Residual برای انجام نگهداری و تعمیرات بالگرد در شرایط آمادگی عملیاتی و بیان نمودن در دسترس ۱۰۰ در صد بالگردها	برنامه‌ریزی مناسب برای تقسیم یا توزیع مدت‌زمان Residual

^۱ - flight time Residual





حال با وجود داشتن یک برنامه پروازی اطلاعات مورد نیاز برای عملیاتی نمودن بالگرد MI-۱۷۱ مورد استفاده قرار گرفته است. به عبارتی دیگر تحلیل بخش‌های مختلف رده‌ها از نظر کارشناسان خبره بر اساس فاکتورهای اصلی مدل مفهومی هم به صورت مدل ریاضی مورد بررسی قرار می‌گیرد و برای این موضوع می‌بایستی فرایند یک پرواز به صورت کامل برای تمامی سایت پلن‌های منظور مانند درخواست مأموریت، محاسبه اولیه هزینه صرف شده، محاسبه ظرفیت انتقال بار و مسافر، هزینه سوخت، تعداد خدمه پروازی، قابلیت دسترسی برای ارائه سرویس و نگهداری و تعمیرات در مبدأ و مقصد، برای انجام پرواز به صورت هر متغیر، مورد بررسی و تحلیل ریاضی قرار می‌گیرد.

۳-۴ مدل ریاضی

بررسی کلیه پارامترهای فوق با استفاده از یک مدل‌های ریاضی تعریف و سپس کلیه متغیرهای تابع و نیز متغیرهای وابسته در این مدل مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد که با تعریف هر یک از پارامترها با استفاده از روابط ریاضی و نسبت آن با هزینه هم در ارائه یک مدل بهینه انجام خواهد گرفت. در ادامه با اندازه‌گیری هر یک از عوامل در یک سیستم نظامی هوایی، مدل ارائه شده را مورد تست قرار خواهیم داد. [۱۶].

الف) در دسترس بودن

زمان کلی که یک وسیله قادر به انجام پرواز جهت انجام مأموریت باشد؛ به عبارت دیگر در دسترس بودن دوره زمانی مطلق که یک بالگرد دارای عملکرد پروازی است.

$$\text{scheduled total fleet availability} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^{M1} TBM_{mi}, n = 1 \dots AC \quad (1)$$

در اینجا M تعداد برنامه‌های انجام نگهداری و تعمیرات که برای یک وسیله پروازی و بر اساس ریل تعمیراتی انجام می‌شود. همچنین T.B.M m زمان بین چک‌های فنی نگهداری و تعمیرات در بازه $M, M-1$.

ب) قابل سرویس بودن

به تعداد وسیله پروازی قابلیت پرواز در یک بازه زمانی مشخص را گویند. در واقع تعداد پرنده‌هایی که دارای عملکرد پروازی هستند قابلیت سرویس بودن تعریف می‌شود.

$$\text{scheduled serviceability}(t) = SoFu_{sched}(t) = SoFu(t) + SoFa(t) - SoFa_{sched}(t) \quad (2)$$

$SoFu(t)$ تعداد بالگردهایی که در آمادگی و قابلیت پرواز در بازه زمانی خاصی هستند را ارائه می‌کند. $SoFa(t)$ تعداد بالگردهایی که در حالت غیر پروازی قرار دارند یعنی آماده جهت انجام مأموریت پروازی نمی‌باشد. $SoFa_{sched}(t)$ تعداد پرنده‌هایی که در حال انجام تعمیرات فنی می‌باشند.

ج) پایداری

به مدت زمان پروازی که هر وسیله پروازی قابلیت انجام پرواز با شرایط محدود را دارد و نیز می‌توان برای هر نوع مأموریت پروازی برنامه‌ریزی کرد.

$$\text{scheduled sustainability}(t) = \sum_{i=1}^n RFT_i(t), n = 1 \dots, AC \quad (3)$$

طبق تعاریف بالا، مدل ارائه شده برای آمادگی عملیاتی بدون در نظر گرفتن عامل هزینه به شرح زیر است. در ابتدا باید پارامترها و متغیرهای مربوط به مسئله را تعریف کنیم. [۱۵].





جدول شماره (۵): تعاریف متغیر و پارامترها

متغیرها	پارامترها
$RFT_{n,l}$ زمان Residual برای وسیله n در شروع دوره l $RMT_{n,l}$ زمان نگهداری و تعمیرات Residual برای وسیله n در شروع دوره l $SVC_{n,l}$ پارامترهای باینری (۱ برای زمانی که وسیله در ابتدای بازه l در دسترس است و ۰ اگر در دسترس نباشد) $OPR_{n,l}$ متغیر باینری (۱ برای زمانی که پرند n در ابتدای شروع دوره l عملیاتی باشد و در غیر این صورت ۰) $FT_{n,l}$ زمان اختصاص داده شده به وسیله n در دوره پروازی برنامه‌ریزی شده $MT_{n,l}$ زمان اختصاص داده شده به وسیله n در بازه پروازی برنامه‌ریزی شده $MS_{n,l}$ متغیر باینری (۱ برای زمانی که وسیله n شروع به دریافت خدمات نگهداری و تعمیرات در بازه l می‌کند، در غیر این صورت ۰) $MR_{n,l}$ متغیر باینری (۱ برای زمانی که وسیله n دریافت سرویس نگهداری و تعمیرات را به پایان می‌رساند) $SuSt_{min}$ کمینه پایداری برای زمان برنامه‌ریزی شده $P_{n,l}$ عدد باینری اختصاص داده شده به وسیله n در دوره l $R_{n,l}$ عدد باینری اختصاص داده شده به وسیله n در دوره l	A/C مجموعه وسیله‌ها که با شاخص n مشخص می‌شود. T طول برنامه‌ریزی پروازی که با شاخص t مشخص می‌شود. RFT_{max} حداکثر زمان Residual برای یک وسیله پروازی. RFT_{min} حداقل زمان Residual برای یک وسیله پروازی. FHR_{tot} ساعت‌های پروازی لازم برای پرواز در کل زمان برنامه‌ریزی شده FHR_t ساعت‌های پروازی لازم برای پرواز در بازه زمانی برنامه‌ریزی شده t $ToIFHR$ تلورانس زمان پروازی مورد نیاز ACR_i نیازمندی‌های عملیاتی پرند برای زمان برنامه‌ریزی شده M_{max} حداکثر تعداد وسیله‌هایی که می‌توانند هم‌زمان مورد عملیات نگهداری و تعمیرات قرار گیرند MT_{max} حداکثر زمان لازم برای تعمیر نگهداری هر وسیله در بازه زمانی مشخص $SVC_{n,l}$ پارامترهای باینری (۱ برای زمانی که بالگرد در ابتدای بازه l در دسترس است و ۰ اگر در دسترس نباشد) $RFT_{n,l}$ زمان Residual برای وسیله n در شروع دوره $RMT_{n,l}$ زمان نگهداری و تعمیرات Residual برای وسیله n در شروع دوره K یک عدد دلخواه بسیار بزرگ

۳-۵ یافته‌های مربوط به فرضیه مدل نویسی و مدل شبکه‌ای:

رابطه ۴ حداقل زمان پایداری برنامه‌ریزی شده را ماکزیمم می‌کند.

این رابطه توسط معادله ۵ محدود شده است. [۱۵].

$$\begin{aligned}
 & \text{maximize: } SuSt_{min} \quad (4) \\
 & \text{subject to: } SuSt_{min} \leq \sum_n RFT_{n,l} \quad (5) \\
 & RFT_{n,l} + k \cdot P_{n,l} \leq k, \quad \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (6) \\
 & SVC_{n,l+1} \leq (RFT_{n,l} - FT_{n,l}) \cdot K + K \cdot P_{n,l}, \quad \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (7) \\
 & RMT_{n,l} + k \cdot R_{n,t} \leq k, \quad \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (8) \\
 & 1 - SVC_{n,l+1} \leq (RMT_{n,l} - MT_{n,l}) \cdot k + k \cdot R_{n,l}, \quad \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (9)
 \end{aligned}$$

محدودیت‌ها در معادلات شماره ۶ تا ۹ قابل سرویس‌دهی بودن در شروع دوره بعدی را نتیجه می‌دهند. زمانی که بازه زمانی تلف شده بیشتر از صفر باشد، محدودیت شماره ۶ متغیر $P_{n,l}$ را صفر می‌کند. به همین ترتیب، محدودیت شماره ۷ اطمینان حاصل می‌کند که قابلیت سرویس‌دهی در شروع دوره بعدی صفر است مادامی که $P_{n,l} = 0$ و زمان تلف شده برابر است با زمان اختصاص داده شده به پرواز در دوره کنونی به طریق مشابه معادلات ۸ و ۹ قابل سرویس‌دهی بودن در شروع دوره بعدی را یک می‌کنند وقتی که زمان تلف شده بزرگ‌تر از صفر است و زمان اختصاص داده شده برای نگهداری و تعمیرات برابر زمان نگهداری و تعمیرات در دوره کنونی می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 RFT_{n,l+1} &= RFT_{n,l} - FT_{n,l} + MR_{n,l+1} \cdot RFT_{max}, \quad \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (10) \\
 MR_{n,l+1} &\geq SVC_{n,l} - SVC_{n,l+1}, \quad \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (11)
 \end{aligned}$$





مجموعه معادلات ۱۰-۱۲ زمان تلف شده شرایط اطمینان با شروع دوره بعدی بر پایه زمان تلف شده و زمان پروازی اختصاص داده شده در دوره کنونی تغییر می‌کند. با یک رویکرد مشابه معادلات ۱۳-۱۵ زمان تلف شده نگهداری و تعمیرات در شروع دوره بعدی بر مبنای زمان تلف شده نگهداری و تعمیرات در دوره کنونی به‌روزرسانی می‌شود.

$$RMT_{n,l+1} = RMT_{n,l} - MT_{n,l} + MS_{n,l+1} \cdot RMT_{max}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (13)$$

$$MS_{n,l+1} \geq SVC_{n,l} - SVC_{n,l+1}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (14)$$

$$0.1 \leq SVC_{n,l} - SVC_{n,l+1} + 1.1 \cdot (1 - MS_{n,l+1}), \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (15)$$

مجموعه معادلات ۱۶-۲۰ محدودیت‌هایی را برای متغیرهای مدل اصلی بیان می‌کنند. به گونه‌ای که آن‌ها را درون محدوده‌های دینامیکی مدل نگه دارد.

$$RFT_{n,l} \leq SVC_{n,l} \cdot RFT_{max}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (16)$$

$$FT_{n,l} \leq RFT_{n,l}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (17)$$

$$RMT_{n,l} \leq (1 - SVC_{n,l}) \cdot RMT_{max}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (18)$$

$$MT_{n,l} \leq RMT_{n,l}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (19)$$

$$1 - SVC_{n,l} \leq MT_{n,l}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (20)$$

مجموعه معادلات ۲۱-۲۸ محدودیت‌های اضافی تعریف شده توسط استفاده‌کنندگان را وارد مسئله می‌کند که برای پویایی مدل بسیار مهم هستند. محدودیت شماره ۲۱ زمان برنامه‌ریزی شده کلی را برابر با نیازمندی‌های پروازی در نظر می‌گیرند. همچنین معادله شماره ۲۴ تضمین می‌کند که تعداد وسیله‌های عملیاتی برابر با تعداد نیازمندی وسیله‌های پروازی می‌باشد.

$$\sum_{t=1}^T \sum_n FT_{n,l} \geq FHR_{tot}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (21) \quad (1 - tol_{PHR}) \cdot FHR_t$$

$$\leq \sum_n FT_{n,l} \leq (1 + tol_{PHR}) \cdot FHR_t, \forall t \in [1, T] \quad (22)$$

$$0.1 \leq FT_{n,l} + k \cdot (1 - OPR_{n,l}) \leq k, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (23)$$

$$\sum_n OPR_{n,l} \geq ACR_l, \forall t \in [1, T] \quad (24)$$

$$FT_{n,l} \leq OPR_{n,l} \cdot \frac{FHR_l}{ACR_l}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (25)$$

$$\sum_n (1 - SVC_{n,l}) \leq M_{max}, \forall t \in [1, T] \quad (26)$$

$$MT_{n,l} \leq MT_{max}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (27)$$

$$RFT_{n,l} \geq SVC_{n,l} \cdot RFT_{min}, \forall n \in AC, t \in [1, T] \quad (28)$$

۳-۶ محدودیت‌ها و فرضیات:

فرمول‌های ریاضی، یک پایه قوی و محکمی برای رشد و توسعه بیشتر از ترکیبات مدل‌های برنامه‌ریزی فنی و پروازی در شرایط واقعی مدل‌ها، محدودیت و فرضیاتی دارند.

مدل‌ها می‌توانند مقادیر به دست آمده را به‌عنوان پایه فنی از زمانی که تنها بخش فنی نسبت به فضا و ظرفیت کار می‌تواند محاسبه نمایند. این نتایج نشان می‌دهند که حوزه فنی می‌تواند بر اساس یک برنامه‌ریزی ثابت برای امورات کار خود داشته باشد.



این مدل می‌تواند برنامه‌ریزی تمامی نیازهای بخش فنی یعنی زمان بین کار فنی و زمان برنامه‌ریزی انجام کار به‌صورت ثابت و معین گردد. در نتیجه این مدل می‌تواند به‌صورت یک کار فنی استاندارد، برنامه‌ریزی گردد.

این مدل می‌تواند مدت زمانی که بالگرد از بخش پروازی جدا و زمین‌گیر است را معین کند. در نتیجه سرویس‌های فنی در مدت‌زمان معین مشخص شده، انجام و توانایی عملیاتی بالگرد، ثابت و مشخص گردد.

ناوگان پروازی به‌صورت مشابه برای همه بالگردها در نظر گرفته می‌شود.

ایجاد مدل، اگر به‌صورت الگوی تصادفی صریح و واضح نباشد را می‌توان در مجموعه‌های نظامی یا تجاری مورد برنامه‌ریزی و اجرا قرار گیرد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

به‌منظور ارائه توانایی مدل‌ها، دو مدل به‌صورت مجزا، از تایپ پروازی بالگرد MI-171 به‌کارگیری شده در سازمان نظامی و شرکت خدمات هوایی، از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ برای مدل واقعی لحاظ گردیده است که این موضوع به‌صورت واقعی و سالیانه در شکل نمایش داده شده است. مدل نمودار دوم، به‌صورت بخش‌بندی برای هر سال محاسبه گردیده است این روش در قسمت اول به‌صورت موج دندان‌ارمای مقدار را مشخص و در قسمت بعدی با جریان بسیار آرام از عدد ۲۰۱ به ۳۶ رسیده است. بیشتر برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ به‌صورت سالیانه خروجی گرفته شده است و به‌صورت یک FMP دائمی شبیه‌سازی گردیده است. [۲].

فرمول‌های مدل و پارامترهای ورودی به‌صورت یک مدل ریاضی^۱ MPL برنامه‌ریزی و به‌وسیله مدل کمپلکس^۲ بهینه شده است. در رایانه های خانگی هم همین را نشان می‌دهد. برای برنامه مدل دوم به دقت تشریح شده است.

برنامه‌ریزی خروجی مدل که در کل سازمان نشان داده شده است برای مطابقت کل مقدار واقعی توانایی بالگردهای نظامی برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ می‌باشد. جدول ۷ مقدار نتیجه بررسی عملکرد مؤلفه در دسترس بودن شامل: تجهیزات، نیروی انسانی فنی، پروازی و... برای مدت زمان معین در یک بازه در سال ۲۰۲۱ نشان داده شده است. [۲].

با استفاده از مدل F.M.P انجام کار فنی و نیز مدت زمان ساعت پرواز می‌توان رفتار پارامتر در دسترس بودن را بروی یک سایت پروازی به‌صورت یک مدل نشان داد و در ادامه بررسی مدل شبیه‌سازی طول سه سال اخیر، با استفاده از برنامه مؤلفه پایداری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

برای این منظور، با استفاده از اطلاعات عملکردی فنی و پروازی در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ بر روی بالگرد مذکور در جدول ۶ به دست آمده است.

در مقایسه اطلاعات دریافتی مقادیر ۴-۱۵٪ بین سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ به دلیل تأثیرات برنامه‌ریزی بهتر را نشان می‌دهد و در حالی که در ادامه این اختلاف اعداد به مقدار ۶-۴۲٪ می‌باشد. تحلیل این موضوع اختلاف تغییرات، نتیجه نوسانات زمان شروع می‌باشد، به عبارتی زمان انجام کار تأثیر زیادی در عملکرد دارد. در بخش دوم مقدار نوسانات پایداری به مقدار ۲۰-۲۶٪ در سال ۲۰۲۲ می‌باشد ولی در مقایسه با عملکرد با سال ۲۰۲۱ (بین ۲۵ تا ۳۱) کاهش یافته است و این نشان‌دهنده اقدامات اصلاحی در کلیه پارامترهای پروازی یا داده‌های تأثیرگذار به یک ثبات بهتر رسیده و مقادیر به هم نزدیک‌تر شده و شرکت مذکور دارای سودهای اقتصادی بهتری را نشان می‌دهد و پایه‌ای برای ادامه تصحیح پارامترهای انتخابی اقدام می‌گردد [۲].

جدول (۶) نتیجه مدل F.M.P با در نظر گرفتن برنامه پارامتر پایداری بر روی بالگرد MI-171 در ایران [۲].

پارامتر	۲۰۲۰			۲۰۲۱			۲۰۲۲		
	شرایط واقعی	بخش اول	بخش دوم	شرایط واقعی	بخش اول	بخش دوم	شرایط واقعی	بخش اول	بخش دوم
پایداری	—	+۱۲.۹٪	+۱۰.۸٪	—	+۲.۸٪	+۲۰.۱٪	—	+۷.۱٪	+۱۸.۶٪
درصد تغییرات	—	-۴.۸٪	+۲۶.۳٪	—	-۳۰.۰٪	-۳۱.۱٪	—	-۱۵.۰٪	-۲۳.۸٪

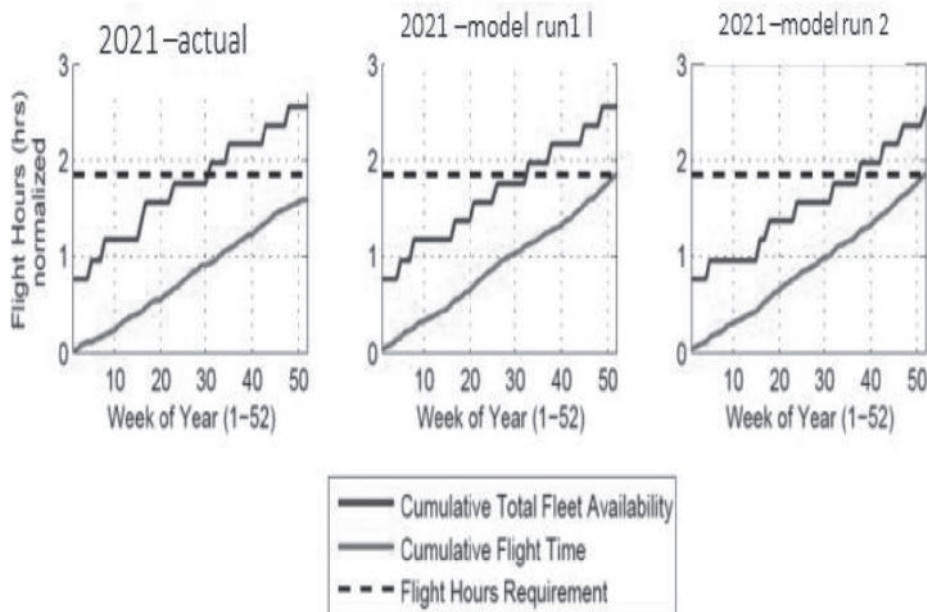
۱ - mathematical programming language

۲ - complex

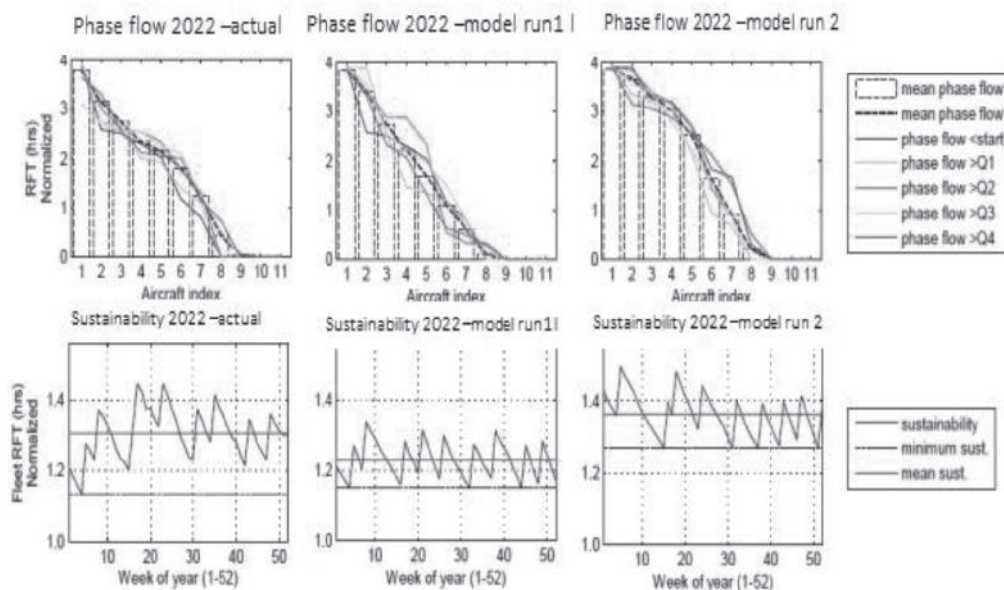




جدول (۷) بررسی عملکرد برنامه‌ریزی انجام پرواز و نگهداری و تعمیرات (F.M.P) در یک سایت پروازی با استفاده از مؤلفه در دسترس بودن



جدول (۸) نتیجه یک برنامه‌ریزی انجام پرواز و نگهداری و تعمیر (F.M.P) با استفاده از پارامتر پایداری



آنچه نشان داده شد شرح مختصری در خصوص مدل پیشنهادی جهت بهینه‌سازی آمادگی عملیاتی برای برنامه‌ریزی فنی و پروازی جهت بالگرد MI-۱۷۱ بوده است به‌طوری‌که به‌آسانی قابل اجرا می‌باشد و بروی دیگر بالگردهای ترابری که در دیگر شرکت‌های خدمات هوایی مانند بالگردهای ۴۱۲، ۲۱۲ و یا شینوک بکار گیری شده‌اند، می‌توان تعمیم داد. لذا این موضوع به‌صورت خودکار در زمانی که تمامی نیازها مشخص و معین به‌صورت دقیق احصاء گردد، قابل محاسبه ریاضی بوده و برای بهینه‌سازی آمادگی تجهیزات می‌توان افزایش داده است؛ بنابراین کاهش هزینه نمی‌تواند باعث کاهش آمادگی بالگرد باشد، بلکه با مدیریت هزینه‌ها می‌توان کاهش هزینه‌های توان عملیاتی را بالا برد... و یا اینکه افزایش هزینه باعث افزایش آمادگی می‌شود یا نه؟ جواب آن است با مدیریت، می‌توان همان افزایش هزینه را صرف آمادگی عملیاتی به‌صورت افزایش تعداد تجهیزات نموده و توان عملیاتی



برنامه‌ریزی مناسب با استفاده از احصاء دقیق پارامترهای مؤثر در هزینه‌ها و زمان مشخص از کلیه حوزه‌های خدماتی، فنی و نیز عملیاتی برای یک پرواز در آینده بتوانیم کلیه هزینه‌های سازمان را با توجه به شرایط امنیتی و برآورد اعتباری محاسبه و مدیریت بهینه اقتصادی به‌منظور انجام پروازهای ایمن داشته باشیم. [۲].





۵- منابع و مآخذ:

۵-۱- فارسی

[۱]. کتب و مستندات فنی و نشریات کارخانه‌ای شرکت اسپارک روسیه سازنده بالگرد MI-۱۷۱

[۲]. روش جاری تعمیرات فنی بالگرد بر اساس MAC CHART شرکت اسپارک روسیه سازنده بالگرد MI-۱۷۱

۵-۲- انگلیسی

- [۱]. Arguello, M.F., Bard, J.F. and Yu, G. (۱۹۹۷) "Models and methods for managing airline irregular Operations aircraft routing" Operations Research in the Airline Industry. G. Yu, pp. ۱-۴۵. Kluwer Academic Publishers Boston.
- [۲]. Gopalan, R. and Talluri, K.T. (۱۹۹۸) "Mathematical models in airline schedule planning: A survey" Annals of Operations Research, ۷۶, ۱۵۵-۱۸۵.
- [۳]. Barnhart, C., Belobaba, P. and Odoni, A.R. (۲۰۰۳) "Applications of operations research in the air Transport industry" Transportation Science, ۳۷(۴), ۳۶۸-۳۹۱.
- [۴]. Clarke, L., Hane, C., Johnson, E. & Nemhauser, G. ۱۹۹۶. Maintenance and Crew Considerations in Fleet Assignment. Transportation Science, ۳۰, ۲۴۹-۲۶۰.
- [۵]. Cho, P. Y. ۲۰۱۱. Optimal Scheduling of Fighter Aircraft Maintenance. M.Sc. thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- [۶]. Feo, T. A. & Bard, J. F. ۱۹۸۹. Flight scheduling and maintenance base planning. Management Science, ۳۵, ۱۴۱۵- ۱۴۳۲.
- [۷]. Fourer, R., Gay, D. M., & Kernighan, B. W. ۲۰۰۲. AMPL - A Modeling Language for Mathematical Programming (۲nd Ed.). Cengage Learning.
- [۸]. Fourer, R., Gay, D.M. and Kernighan, B.W. (۲۰۰۲) AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programm Duxbury Press.
- [۹]. Gavranis, A. & Kozanidis, G. ۲۰۱۵. An exact solution algorithm for maximizing the fleet availability of a unit of aircraft subject to flight and maintenance requirements. European Journal of Operational Research, ۲۴۲, ۶۳۱-۶۴۳.
- [۱۰]. Hane, C., Barnhart, C., Johnson, E., Marsten, R., Nemhauser, G. & Sigismondi, G. ۱۹۹۵. The fleet assignment problem: Solving a large-scale integer program. Mathematical Programming, ۷۰, ۲۱۱-۲۳۲.
- [۱۱]. Gurobi Optimization Inc. ۲۰۱۵. Gurobi Optimizer - State of the Art Mathematical Programming Solver. Available from <http://www.gurobi.com/products/gurobi-optimizer/gurobi-overview>.
- [۱۲]. IBM. ۲۰۱۴. IBM ILOG CPLEX Optimizer. Available from <http://www-۱.ibm.com/software/commerce/optimization/cplex-optimizer/>.
- [۱۳]. Knezevic, J. ۱۹۹۳. Reliability, Maintainability and Supportability: A Probabilistic Approach, London, McGraw- Hill.
- [۱۴]. Kozanidis, G. & Skipis, A. (۲۰۰۶). Flight and Maintenance Planning of Military Aircraft for Maximum Fleet Availability: A Bi-objective Model Proceedings of International Conference on Multiple Criteria Decision Making.
- [۱۵]. Kozanidis, G. (۲۰۰۸). A Multi objective Model for Maximizing Fleet Availability under the Presence of Kumar, U., Crocker, J., Knezevic, J. & El-Haram, M. ۲۰۰۰. Reliability, Maintainability and Logistic Support - A
- [۱۶]. Lifecycle Approach, Boston, Kluwer Academic Publishers Flight and Maintenance Requirements Journal of Advanced Transportation, ۴۳, ۱۵۵-۱۸۲.



- [۱۷]. Pippin, B. ۱۹۹۸. Allocating Flight Hours to Army Helicopters. M.Sc. thesis, Naval Postgraduate School.
- [۱۸]. Steiner, A. ۲۰۰۶. A Heuristic Method for Aircraft Maintenance Scheduling under Various Constraints. Proceedings of the ۶th Swiss Transport Research Conference. Ancona, Italy.
- [۱۹]. Raju, V. R. S., Gandhi, O. P., & Deshmukh, S. G. ۲۰۱۲. Maintenance, Repair, and Overhaul Performance Indicators for Military Aircraft. Defence Science Journal, ۶۲, ۸۳-۸۹
- [۲۰]. Steuer, R. E. (۱۹۸۶) Multiple Criteria Optimization: theory, computation and application, New York: Wiley.
- [۲۱]. Maximizing operational readiness in military aviation by optimizing flight and maintenance planning. M. Verhoeffa W.J.C. Verhagenb,*, R. Curranb ۲۰۱۵ Available online at <http://www.sciencedirect.com>.







Critically risk analysis methods for prioritizing the oil and gas drilling equipment (Case study: Jakap drilling rig)

Saeed Ramezani¹, Hamzeh Soltanali^{2*}, Saeed Bakhtiari³

¹ Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

² Researcher, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

³ MSc graduated, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

Received: ۲۰۲۲/۱۰/۰۶

Accepted: ۲۰۲۲/۱۰/۰۴

Abstract:

Proper equipment prioritization is one of the most important challenges in oil and gas drilling operations to improve maintenance programs and optimal inventory management. Therefore, the present study prioritizes the types of equipment in drilling rigs that play an important role in oil and gas exploration and extraction processes. In order to prioritize the equipment, three well-known methods of risk analysis were used, such as the Bow-Tie method, the Crespo Marquez method, and the method presented in the Norsok Z-101 standard. The research method was a library survey, and a questionnaire was designed to obtain expert opinions. The focus of the present study is on jack-up type drilling rigs that have been widely used in the coasts of the country. Based on the results of the bow tie method, equipment such as pump and mud tank, mud purification system, diesel engine, power supply rig, well wall pipe and cementing equipment, received the highest priority in terms of crisis. According to the results of Crespo Marquez method, equipment such as diesel engine, power supply rig, top drive set, riser compensator, drilling drill and drilling rim, and according to Norsok Z-101 standard, equipment such as diesel engine, rig power supply, top drive set, drill wheel, compensation Riser, hose and burst valves were given the highest priority in terms of criticality. Based on the results of the three methods, the diesel engine set of power supply rig and riser compensator were recognized as the most critical equipment in the jack-up type drilling rig.

Keywords:

Equipment prioritization, Jack-up rig, Bow-tie method, Crespo Marquez method, Critically analysis.

* Corresponding Author mail: soltanali.hamzeh@yahoo.com.





Determining the Status of Diesel Engines Using Neural Network and Analyzing the Results of Oil Analysis

Mehdi Bahrapour kor abbas loo^۱, Hadi Rahmati^{۲*}

۱- Researcher, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

۲- MSc graduated, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

Received: ۱۴۰۲/۰۳/۱۲

Accepted: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

Abstract:

It should be noted that in the process of analyzing and interpreting the results of oil analysis, issues such as research and study of engine erosion performance and evaluation and analysis of the relationship between the final state of the engine and the status of components analyzed in oil analysis, are addressed. The analysis examines the components that are effective in analyzing the condition of the engine, what they are and how effective they are. Indicators studied in oil analysis are: Erosive metals such as iron, aluminum, lead, copper, tin, chromium, PQ, viscosity, silicon. Perceptron predicted the final condition of the engine, then according to the results of oil analysis, obtained expert analysis and diagnosis for each sample, and after opening the engine and observing the final condition of the engine, it was concluded that the results of expert analysis and forecast Significantly corresponds to the final state of the engine.

Keywords:

Maintenance, Condition Monitoring, Oil Analysis, Expert Analysis, Neural Network.

*Corresponding Author mail: hadirahmati73@gmail.com



Scheduling of Activities in the drilling rig repairs projects under uncertain conditions of implementation time (case study: part of Sina's drilling rig)

Hossein Ali Hassanpour^{1*}, Mostafa Zareii², Jafar Fahimi Siouki³

¹ Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

² Researcher, Department of Maintenance and Optimization Energy Engineering, Faculty of Defense Science and Engineering, Imam Hussein Officer Training University, Tehran, Iran.

³ MSc graduated, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

Received: 1402/12/20

Accepted: 1403/02/09

Abstract

In recent years, our country has been subject to the most severe economic sanctions, and the oil industry has not been immune from these sanctions, so that it is difficult to purchase or renovate equipment in the boycott. The reconstruction and repair process is one of the best alternatives. Also, the uncertainty of the time of the implementation of activities has increased the understanding of project owners from the scheduling of activities and opened up a broader view of the project and the upcoming activities. In this research, the design of an integrated schedule of activities and supply chain for reconstruction projects of drilling rigs under conditions of uncertainty of the time of implementation of activities is presented and the costs of the contractor and suppliers have been observed, and the uncertain scheduling of activities and planning of orders have been made in such a way that the total cost The whole chain is minimized. Given the number of variables and model constraints, the problem is NP-hard. Therefore, to solve such problems, the meta-heuristic methods are used, which produces near optimal solutions in a reasonable time than the exact methods. In this study, the EM and GA meta-heuristic algorithms were used in a real project, the Leg section of Sina's drill rig. In order to validate proposed algorithms, at first several problems in different dimensions have been solved by a exact method. By comparing the results of exact resolution and meta-heuristic-algorithms, it was found that with increasing problem dimensions, the exact solution time is exponentially exponentially, but the solving time by the meta-heuristic-algorithm has a steady trend that indicates the efficiency and effectiveness of the proposed algorithms.

Keywords: Repairs Project, Uncertainty, Order Planning, Electromagnetic Algorithm, Genetics

* Corresponding Author mail: hahassan@ihu.ac.ir





Identification Factors Effects to Leadership Management for a Helicopter Flight Operational by calculating costs for flight and maintenance planning

Mahmood taghizadeh^{*}, Hasan Ghodrati[✓], Aliakbar Farzinfar[✓], Hossein Jabbary[✓], Meysam Arab zadeh[✓]

1- PhD student, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Kashan Branch, Kashan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Kashan Branch, Kashan, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Kashan Branch, Kashan, Iran.

Received: ۲۰۲۲/۱۲/۰۴

Accepted: ۲۰۲۲/۰۱/۰۹

Abstract

At last time for using helicopter very difficult due to lack of identification but today's the helicopter very well for transport, any things. The main Identification Factors Effects to Leadership Management for a Helicopter Flight Operational by calculating costs for flight and maintenance planning. For this purpose, to management flight operation, maintenance by availability, sustainability, serviceability factors. In this regard, increasing the capability of operational readiness is one of the most important characteristics for this goal by Flight and maintenance planning model. Diverse factors effect on the operational readiness in helicopter flight systems, for example, availability of the aircrafts and other important components. Scheduling the aircrafts flight aims to manage different components influencing the operational readiness. Scheduling includes the maintaining process to A study on the different models by experiment. Expert method in term of operational readiness in helicopter flight systems are proposed in this paper. The proposed models cover the issue in diverse topics. Today's for maintain and promotion flight operation by management flight operation. Management cost and evaluation credit. security at world will activity company air lines by active flight crew, capability helicopters and pension or emolument.

Keywords:

Cost. Maintenance. Defense Industry. Flight.

^{*} Corresponding Author mail: m.taghizadeh01058@gmail.com



Bi- Quarterly Journal of Research in
Defense Maintenance Engineering
**Journal of the Faculty of Defense Science &
Engineering**

Editorial Board

Professor Iran University of Science and Technology	Seyed Mohammad Seyed-Hosseini
Associate Professor 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 Imam Hussein University	Massoud Mosadegh Khah
Associate Professor Imam Hussein University	Seyedziaedin Ghazizadeh Fard
Associate Professor Imam Hussein University	Ardeshir Ahmadi
Associate Professor Imam Hussein University	Mohsen Shahrezai
Associate Professor Islamic Azad University, Firoozkooh Branch	Naghei Shoja

Reviewers:

Youssef Anousheh, Ahmed Bitarf, Seyed Ayub Hosseini, Hassan Radmard, Davood Zarei, Azim Zarei, Hamed Sadeghi Alavi, AliReza Safaei, Javad Gholamei, Farshid Farkhizadeh, Mohammad Reza Kalaei, Hossein Nazari, Hassan Yazdani.

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

Print Version Price: 550,000 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: 2qdmej@gmail.com, dmej@ihuo.ac.ir

Web : dmej.ihuo.ac.ir

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



1986

Imam Hussein Officer and Guard
Training University (AS)

Bi- Quarterly Journal
Research in Defense Maintenance Engineering
Volume 4, issue 1, Summer and Autumn 2022
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:

Yaser Emamifarz



Advisory Board:

Mehdi Ebrahimi

Ahmad Betaraf

Bitra Tabrizian

Seyed Ayoub Hosseini

Mohssen Dezfouli

Reza Radfar

Saeed Ramezani

Abbas Toloie Eshlaghy

Saeed Farokhizadeh

Yasser Faizolahy

Mohammad Mehdi Gholeyan

Ali Karimzadeh Meybodi

Reza Mazandarani

Ahmad Mehraban

Hassan Yazdani





Bi- Quarterly
Scientific Journal
Volume 4
issue 1
Summer and Autumn 2022

8 Critically risk analysis methods for prioritizing the oil and gas drilling equipment
Saeed Ramezani, Hamzeh Soltanali, Saeed Bakhtiari

34 Determining the Status of Diesel Engines Using Neural Network and Analyzing the Results of Oil Analysis
Mehdi Bahrapour kor abbas loo, Hadi Rahmati

44 Scheduling of Activities in the drilling rig repairs projects under uncertain conditions of implementation time
Hossein Ali Hassanpour, Mostafa Zareii , Jafar Fahimi Siouki

72 Identification Factors Effects to Leadership Management for a Helicopter Flight Operational by calculating costs for flight and maintenance planning
Mahmood taghizadeh, Hasan Ghodrati, Aliakbar Farzinfar, Hossein Jabbary, Meysam Arab zadeh