

بهینه‌سازی چندهدفه برنامه‌ریزی تولید و نگهداری دقیق با استفاده از الگوریتم PSO، به منظور کاهش هزینه‌های تولید و انبارداری

مهدی حاتمی^۱، مهدی کبیری نائینی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، پیام نور عسلویه (نویسنده مسئول)

^۲ استادیار، پیام نور یزد

چکیده

برنامه‌ریزی تولید یکی از عوامل اصلی مؤثر بر بهره‌وری و کارایی واقعی است. برنامه‌های مؤثر زمان‌بندی عملکرد سیستم‌های تولید را بسیار بهبود می‌بخشد. نگهداری دقیق، با در نظر گرفتن کلیه حالت‌های احتمالی، استراتژی پویا را به همراه دارد. در این تحقیق، یک مدل توسعه‌یافته بهینه‌سازی چندهدفه تعریف می‌شود. مدل پیشنهادی شامل حداقل کردن زمان سرویس‌دهی، هزینه تولید و حداقل کردن هزینه تعمیر و نگهداری است. مزیت مدل پیشنهادی آن است که بر مبنای توزیع پواسن کاهش تعداد خرابی‌ها تعریف شده، همچنین مدل گوسی تعریفی می‌تواند با توجه به داده‌های قبلی، ظرفیت تولید بهینه را مشخص کند. در همین راستا تابع هدف دوم به‌منظور، کاهش هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد. انباشت بالای موجودی، باعث افزایش هزینه سازمان یا کارخانه صنعتی شده و نگاه داشت موجودی در سطح بهینه باعث آشکار شدن مشکلات مدیریتی قابل اصلاح در سازمان و تولید می‌گردد. مدل پیشنهادی، در نهایت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات معلق و ژنتیک برای یک مثال عددی حل و مقایسه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، انبارداری، نگهداری و تعمیر، الگوریتم MPSO، الگوریتم ژنتیک

مقدمه

یکی از موضوعات مهمی که واحدهای تولیدی با آن مواجهه هستند، کاهش هزینه‌های تولید و نگهداری است. به دلیل اینکه خرابی سیستم‌های تولیدی به صورت قطعی قابل پیش بینی نیست، بنابراین نیاز است تا روش‌های احتمالی، مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر آن، نگهداری کالا در انبار نیز دارای پیچیدگی‌های زیادی است زیرا، برخی از انبار در حقیقت، واسطه‌ای بین تولید و مصرف است و در فرمول سازی آن باید هر دو جنبه تولید و مصرف را در نظر گرفت. هر دو موضوع تولید و نگهداری ارتباط تنگاتنگی با هم دارند و نیاز است تا این موضوع به طور جامع و همزمان بررسی شود.

برنامه‌ریزی تولید یکی از عوامل اصلی مؤثر بر بهره‌وری و کارایی واقعی می‌باشد. برنامه‌های مؤثر زمانبندی عملکرد سیستم‌های تولید را بسیار بهبود می‌بخشد. فرسودگی‌ها، آسیب دیدن دستگاه با استفاده مداوم از آن، اجتناب ناپذیر است. تعمیر و نگهداری فقط در صورتی که خرابی اتفاق افتاده باشد، نیاز به اقدام دارد. بنابراین، مطالعات کمی در مورد این استراتژی به دلیل خسارات اقتصادی جبران ناپذیر وجود دارد.

برنامه‌ریزی و تعمیر و نگهداری دقیق نقش بسیار مهمی در تولید دارند زیرا می‌توانند به افزایش کارایی تولید و کیفیت محصول کمک کنند. نگهداری انبار سبب می‌شود که مرکز تولیدی بتواند بهتر نیازهای کاربران را تامین کند. در تحقیق حاضر، یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود که در دو پارامتر مهم در نظر گرفته شود؛ اول: کاهش زمان تعمیر و نگهداری، دوم: کاهش هزینه تعمیر و نگهداری. در رابطه تعریف شده، عمر دستگاه نیز به عنوان یک متغیر احتمالی در نظر گرفته که سبب می‌شود، تعمیر و نگهداری به طور دقیق و مؤثر انجام شود. علاوه آن، یک تابع به‌منظور کاهش تعداد خرابی‌ها در طول عمر دستگاه معرفی می‌گردد.

مرور ادبیات

حسینی و همکاران (۱) مساله یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و تعمیرات و نگهداری مورد مطالعه قرار دادند. این مساله دارای دو تابع هدف می‌باشد. تابع هدف اول عبارتست از هزینه‌های کل سیستم که همه عوامل هزینه‌ای تولید را شامل می‌شود. تابع هدف دوم نیز میزان نارضایتی مشتریان است که در اثر تاخیر در تامین به موقع تقاضاها افزایش می‌یابد. سپس با توجه به اینکه این مساله از نوع NP-Hard بود، یک روش حل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با رتبه بندی نامغلوب - بازنگری ارائه گردید.

ساجدی نژاد و همکاران (۲) یک مدل بهینه زمانبندی نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه غیر ادواری برای سیستم‌های چند جزئی (سری - موازی)، بر مبنای حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم ارائه دادند. همچنین در آنجا که مدل پیشنهادی دارای ساختاری پیچیده است، به‌منظور حل آن از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک استفاده شد.

غلامرضایی و همکاران (۳) یک مدل برنامه‌ریزی تولید چند محصولی و چندهدفه با پارامترهای فازی و ارزش زمانی پول را بر اساس سطح موجودی، سطح نیروی کار، ظرفیت ماشین آلات و فضای انبار معرفی کردند. مدل پیشنهادی سود حاصل از فروش را حداکثر، هزینه نگهداری و سفارش‌های تأخیر شده و هزینه تغییر در سطوح نیروی انسانی را حداقل می‌کند.

احمدی نژاد و همکاران (۴) مدل کاربردی برنامه‌ریزی خطی جهت کمینه کردن هزینه‌های تولید در کارگاه تولیدی مبل آذرنک بررسی کردند. تابع هدف، کاهش هزینه‌های تولید مبل بود.

یانگ^۱ و همکاران (۵) یک سیستم تحت دو حالت خرابی معمول، خرابی مبتنی بر تخریب و خرابی ناگهانی بررسی کردند. این

^۱Yang

سیستم در یک محیط تصادفی کار می‌کند که در آن شوک‌های خارجی بر اساس فرآیند پواسون وارد می‌شوند. تأثیر آسیب شوک بر خرابی سیستم دو برابر است: (الف) افزایش میزان خطر خرابی ناگهانی؛ (ب) باعث افزایش ناگهانی تخریب شود. هدف مقاله بهینه‌سازی مشترک فاصله جایگزینی، نظارت بر فاصله و معیار قابلیت اطمینان به گونه‌ای است که هزینه مورد انتظار برای واحد زمان به حداقل برسد.

پوپ^۲ و همکاران (۶) به بررسی تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط را در یک مولفه (تحت نظارت) با نگهداری دوره‌ای پیشگیرانه و نگهداری اصلاحی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. برای تعیین زمان سرویس‌دهی، دو آستانه در سطح تخریب پیاده سازی شد. هر دو آستانه برای به حداقل رساندن کل هزینه‌های پیش بینی شده تعمیر و نگهداری از مانیتور نظارت شده یا به حداقل رساندن زمان خرابی دستگاه به دلیل تعمیر و نگهداری در مولفه نظارت شده، بهینه شده‌اند.

مارتینود^۳ و همکاران (۷) یک مدل بهینه‌سازی تصادفی به‌منظور کاهش هزینه تعمیر و نگهداری کل سیستم‌های پیچیده در طولانی مدت پیشنهاد دادند. کار پیشنهادی مبتنی بر رویکردهای زیر است: و یک روش خوشه بندی برای اقدامات نگهداری برای کاهش هزینه کل تعمیر و نگهداری سیستم پیچیده. این کار هر سیاست نگهداری را ارزیابی می‌کند و اثرات آن را در اقدامات نگهداری ناقص ارزیابی می‌کند. سرانجام، مدل بهینه‌سازی پیشنهادی به یک مثال عددی اعمال می‌شود که بر سیستم‌های حمل و نقل طناب هوایی شهری مسافر متمرکز است، که در آن سیاست تعمیر و نگهداری فعلی ارزیابی شد.

یانگ و همکاران (۸) یک سیاست تعمیر و نگهداری پیشگیرانه جدید دو فاز برای یک سیستم تک جزئی با هدف به حداکثر رساندن درآمد حاصل از پیمانکاری مبتنی بر عملکرد بررسی کردند. این سیستم قبل از خرابی دچار یک حالت معیوب می‌شود و سیگنالی را تولید می‌کند که به آن اشاره می‌کند. نتایج نشان داد که سیاست تعمیر و نگهداری پیشنهادی از نظر درآمد خالص از برخی سیاست‌های موجود نگهداری بهتر می‌باشد.

ریفای^۴ و همکاران (۹) یک بهینه‌سازی مبتنی بر زیست جغرافیایی مرتب‌سازی غیر مسلط برای زمانبندی منمو دار چند بارگیری-تخلیه و میان‌برهای تزریق شده در ویژگی‌های مجدد ارائه دادند. این مدل برای شناسایی نزدیک‌ترین راه حل‌های تجارت بهینه که بتواند اهداف دو جانبه را برای به حداقل رساندن میزان تولید و زود هنگام کامل داشته باشد، فرموله شد. هدف این بود که به طور همزمان بهترین انتساب ماشین و تعیین توالی شغل را تعیین تا هر دو هدف را برآورده شود. مجموعه‌ای از مشکلات آزمون برای تجزیه و تحلیل اثر بخشی، کارایی و تنوع رویکردهای پیشنهادی در مقایسه با استاندارد NSBBO و NSGA-II مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ذوزنقه‌ای NSBBO عملکرد مطلوبی دارد و با مدل‌های فعلی قابل مقایسه است. بنابراین می‌توان گفت که NSBBO توسعه‌یافته و انواع آن روش‌های جایگزین مناسبی برای دستیابی به رضایت دو هدفه از مسئله برنامه‌ریزی مجدد FMS می‌باشد.

یو^۵ و همکاران (۱۰) یک چارچوب نگهداری فرصت طلبانه دو فازی را بر اساس اطلاعات نقص طراحی کردند، که ویژگی‌های انتظارات تولید را در روند تصمیم‌گیری ادغام کند. در مرحله اول، تعداد محدودی از بازرسی‌ها برای آشکار کردن وضعیت معیوب و به دنبال آن ترمیم پیشگیرانه ناقص انجام شد. در مرحله دوم، تا رسیدن به یک پنجره تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده (نگهداری به تعویق افتاده) یا انتظارات تولید (نگهداری فرصت طلبانه) هیچگونه اقدام تعمیر و نگهداری انجام نمی‌شود.

² Poppe

³ Martinod

⁴ Rifai

⁵ Yu

بیان مسأله

با توجه به اینکه برنامه‌ریزی دقیق برای کاهش هزینه‌های تولید و انبار داری هر دو از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند، این تحقیق، تلاش کرد تا خلاء موجود را بر طرف و یک راه‌حل بهینه برای برنامه‌ریزی دقیق به‌منظور کاهش هزینه‌های تولید و انبار داری ارائه دهد.

در تحقیق حاضر، یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفته شد، که توابع هدف آن زمان، هزینه، تعمیر و نگهداری و همچنین تعداد دفعات خرابی سیستم‌ها در طول زمان هستند. موضوع مهمی که مورد توجه قرار گرفته است، نگهداری دقیق است. در نگهداری دقیق، استراتژی‌های پویا در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، عمر دستگاه نیز به عنوان یک متغیر در نظر گرفته می‌شود و در محاسبات لحاظ می‌شود. هر چه عمر یک دستگاه بیشتر باشد، نگهداری آن نیز دارای هزینه بیشتری خواهد شد. همچنین، احتمال خرابی تصادفی نیز در محاسبات در نظر گرفته می‌شوند. به این منظور، از تابع تعمیم یافته ویبول استفاده می‌گردد. تفاوت این تابع با تابع ویبول استاندارد در این است که در تابع تعمیم یافته، یک متغیر جدید نیز به مسئله اضافه شده است و در نتیجه کنترل بیشتری بر روی مسئله می‌باشد. اضافه شدن یک پارامتر به تابع توزیع سبب می‌شود که بتوان مسئله نگهداری را به طور دقیق‌تری تعریف کرد.

تابع هدف، تعداد خرابی‌ها در یک بازه زمانی می‌باشد. هر چه تعداد خرابی‌ها کم‌تر باشد، برنامه‌ریزی تولید با بهره‌وری بیشتری انجام می‌شود و در نتیجه کارایی مدل نیز بهبود می‌یابد. تابع پیشنهادی با توجه به توزیع پواسن تعریف شده است. فرایند پواسن یک فرایند نقطه‌ای شمارشگر است که پیرامون وقوع رخدادها تصادفی بر روی یک طول زمانی، یا یک فاصله مکانی تعریف می‌شود. در بررسی این فرایند زمان بین دو پیشامد متوالی را یک توزیع نمایی مشخص می‌کند و بازه‌های زمانی مجزا مستقل از هم در نظر گرفته می‌شوند.

اگر چه کاهش زمان و حجم تولید می‌تواند سبب بهبود نگهداری کالا در انبار شود، اما این موضوع باید با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد. بنابراین یک تابع بهینه‌سازی جدید برای این منظور تعریف می‌شود. در انبارداری تعداد و تنوع کالاهای قطعات اولیه و قطعه تولیدی یکسان نیست. به طور مثال، ممکن است که برای تولید یک محصول، نیاز به M کالای اولیه باشد که وجود همه آن‌ها برای تولید ضروری است. بنابراین باید یک رابطه کلی برای این موضوع توسعه داد که فارغ از هر محصولی، معتبر باشد. در روش پیشنهادی، فرض می‌شود که تولید بهینه دارای توزیع گوسی است. به عبارت دیگر، با توجه به اطلاعات موجود از قبل، مقدار تولید بهینه محصول در یک کارخانه برابر با K خواهد بود. در صورتی که تولید کارخانه از این مقدار بیشتر باشد، ممکن است که در انبار داری آن دچار مشکل شود. در تحقیق حاضر، ایجاد فضای بیشتر انبار در نظر گرفته نمی‌شود زیرا این موضوع فراتر از جنبه‌های مختلف باید بررسی شود. از طرف دیگر، تابع توزیع گوسی بکار برده شده، یک راه حل مؤثر برای این موضوع می‌باشد که می‌توان تولید بهینه را در یک بازه تعریف کرد.

مدل سازی ریاضی

مدل پیشنهادی، به شرح زیر است: مجموعه‌ای از n شغل که با مجموعه J نشان داده می‌شود $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ و مجموعه‌ای از m دستگاه‌ها که با M نشان داده می‌شود و $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$. هر شغل J_i دارای یک توالی از عملیات π_i است $\{O_{i,1}, O_{i,2}, \dots, O_{i,n_i}\}$. پردازش یکی پس از دیگری با توجه به محدودیت اولویت از پیش تعیین شده انجام می‌شود. مدل دارای خصوصیات یک مسیر پردازش انعطاف پذیر است، به این معنی که حداقل یک عملیات را می‌توان

روی چندین ماشین پردازش کرد و زمان پردازش همان عملیات در ماشین‌های مختلف متفاوت است. بنابراین، دو زیرمسئله مدنظر است:

- (۱) مسئله انتخاب ماشین (M_s): انتخاب یک ماشین مناسب M_k برای عملیات O_i ، J از مجموعه دستگاه اختیاری M_{opt}
- (۲) مسئله توالی کار: از آنجا که حداقل یک ماشین می‌تواند چندین کار یا عملیات را پردازش کند، توالی پردازش عملیات روی دستگاه باید بهینه شود. هنگام تغییر کار با ماشین (جایگزینی شغل یا عملیات مختلف یک کار)، کار به طور کلی مراحل تخلیه، حمل و نقل، بارگیری، کالیبراسیون و غیره را طی می‌کند. به زمان اشغال شده در اینجا زمان تنظیم گفته می‌شود. هنگام تنظیم دستگاه برای کارهای مختلف، متفاوت فرض می‌شود و زمان تنظیم نباید در زمان کار دستگاه در نظر گرفته شود. علاوه بر این، طول زمان تنظیم عملیات مجاور بر روی یک ماشین به شباهت آن‌ها بستگی دارد، یعنی هر چه شباهت دو قطعه کار بیشتر باشد، زمان تنظیم کوتاه‌تر (ترسیم زمان تنظیم در آغاز عملیات بعدی). این بدان معنی است که توالی پردازش بر روی مدت زمان تنظیم تأثیر می‌گذارد و سپس بر کل برنامه زمان‌بندی و نگهداری تأثیرگذار می‌باشد.

نگهداری دقیق بر اساس فواصل قابلیت اطمینان

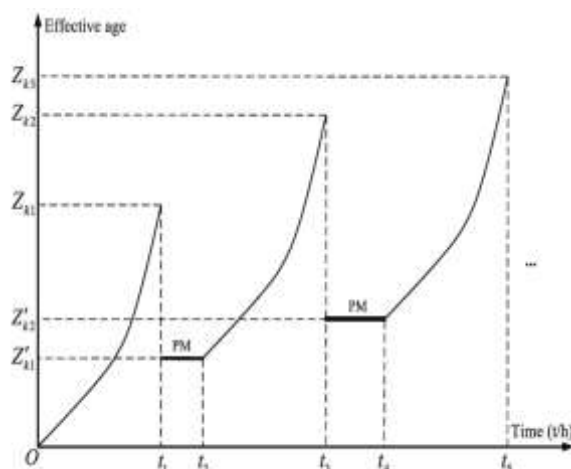
قابلیت اطمینان شاخص مهمی برای ارزیابی توانایی ماشین در انجام یک عملیات است. تخریب، یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر قابلیت اطمینان دستگاه است، با افزایش سن دستگاه اجتناب ناپذیر می‌باشد. برای جلوگیری از خرابی دستگاه، قابلیت اطمینان برای انجام فعالیت نگهداری مربوطه باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. فعالیت تعمیر و نگهداری، نقش مهمی در تولید دارد. به عبارت دیگر، فعالیت تعیین کننده زمان شروع خاص و مدت زمان مورد نیاز برای نگهداری در فواصل مختلف قابلیت اطمینان (به عنوان مثال، نگهداری دقیق) است. توزیع احتمال خطا در انواع مختلف ماشین آلات به دلیل ویژگی‌های خاص آن‌ها از یکدیگر متفاوت است. بیشتر ماشین آلات برای پردازش قطعه کار در تحقیق حاضر تجهیزات الکترومکانیکی هستند که احتمال خرابی آن‌ها نزدیک به توزیع ویبول است. تابع تراکم احتمال خرابی $f_k(Z_k)$ دستگاه M_k در زمان کار Z_k به شرح زیر است [۱]:

$$f_k(Z_k) = \frac{\beta_k}{\eta_k} \left(\frac{Z_k}{\eta_k} \right)^{\beta_k-1} \exp \left(- \left(\frac{Z_k}{\eta_k} \right)^{\beta_k} \right) \quad Z_k \geq 0 \quad (1)$$

$$R_k(Z_k) = 1 - \int_0^{Z_k} f_k(Z_k) dZ_k \quad (2)$$

از آنجا که β_k و η_k مربوط به سن مؤثر دستگاه (زمان کارکرد) است، Z_{ik} باید قبل از بررسی قابلیت اطمینان تجزیه و تحلیل شود. پس از تعمیر و نگهداری نمی‌توان دستگاه را به حالت مطلوب جدید برگرداند. بنابراین، فرض می‌شود که فاکتور کاهش سن p_k از M_{ik} ثابت است. اگر قبل از انجام دوره نگهداری y_k سن مؤثر M_{ik} ، Z_{iky} باشد، سن مؤثر Z_{ik1} برای اولین نگهداری (یعنی $y = 1$) مجموع زمان پردازش عملیات روی دستگاه است، پس از نگهداری y سال، سن مؤثر ماشین را می‌توان به صورت $Z_{ky} = (1-p_k) Z_{ky}$ بیان کرد. علاوه بر این، منحنی‌های سن مؤثر Z_{ik} ماشین با زمان تقویم t در نمودار (۱) نشان داده شده است. با توجه به پدیده فیزیکی خراب شدن دستگاه، پیشنهاد می‌شود که قابلیت اطمینان را می‌توان به سه قسمت Y ، R و G با فرکانس یا احتمال خرابی مختلف در نظر گرفت. در هر منطقه، فعالیت نگهداری متفاوت است، همانطور که در نمودار (۲) نشان داده شده است، که در آن آستانه‌های اطمینان برای مناطق Y و R به ترتیب R_y و R_r هستند. فعالیت‌های دقیق نگهداری با استفاده از استراتژی پویا در برنامه اعزام وارد می‌شوند. هنگام در نظر گرفتن پردازش O_i ، J زمان پردازش به سن

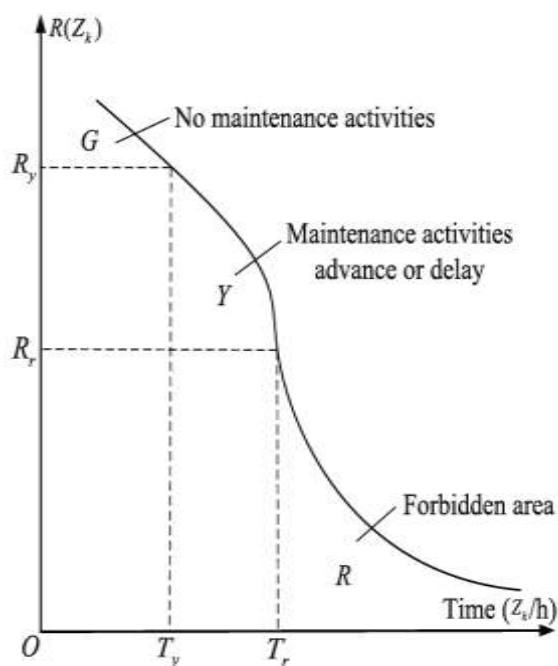
فعلی دستگاه (سن مجازی، به نام t) اضافه می‌شود تا مقدار قابلیت اطمینان $(R_k(t))$ محاسبه شود.



نمودار (۱): منحنی عمر مؤثر دستگاه

در کل، سه سناریو برای مقادیر قابلیت اطمینان مختلف مربوط به فعالیت‌های دقیق نگهداری وجود دارد:

- (۱) اگر قابلیت اطمینان $R_k(t')$ در ناحیه G سقوط کند، هیچ فعالیت نگهداری انجام نمی‌شود.
- (۲) اگر قابلیت اطمینان $R_k(t')$ در Y قرار گیرد، فاکتور انتخاب پیشروی تعمیر و تأخیر Y_Z معرفی می‌شود که یک عدد رندم بین صفر تا یک است. فعالیت AM قبل از O_i انجام شد. در غیر این صورت، فعالیت پس از O_i انجام می‌شود. Y_Z می‌تواند انعطاف پذیری فعالیت‌های نگهداری را نزدیک‌تر به تولید واقعی کند.
- (۳) اگر قابلیت اطمینان $R_k(t')$ در R قرار گیرد، فعالیت AM باید قبل از O_i انجام شود، j سپس مقدار اطمینان R را پس از اتمام ماشین با O_i محاسبه می‌شود.



نمودار (۲): سیاست نگهداری در فواصل زمانی مختلف

اگر $R < R_r$ ، این امر ممنوع است. در این شرایط بخاطر محاسبه، زمان نگهداری (قبل از O_i ، j) مقدار بی‌نهایت a_0 باشد و سن

مؤثر دستگاه صفر باشد (یعنی $Z_{ky} = 0$). بنابراین مقدار اطمینان مدت زمان تعمیر و نگهداری را تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، هرچه فرکانس خرابی بیشتر باشد، آسیب جدی‌تری به دستگاه وارد می‌شود، بنابراین مدت زمان نگهداری بیشتر است. اگر مقدار قابلیت اطمینان قبل از پردازش O_i ، J (به نام R_b) باشد و در ناحیه G قرار داشته باشد، زمان نگهداری قبل از پردازش O_i ، J که یک تابع خطی از اختلاف سن است، کوتاه‌تر از زمان نگهداری اولیه a_k است (که می‌تواند در سناریو ۲، هنگامی که R_y و R_b در منطقه Y قرار می‌گیرند، رخ دهد یا در سناریوی ۳ رخ دهد، در حالی که R_y و R_b و R اگر مقدار اطمینان $(R_k(t'))$ در ناحیه Y قرار داشته باشد، زمان که یک تابع درجه دوم از اختلاف سن است، بیشتر از a_k است (که می‌تواند در سناریو ۲ و $R_y < R_b$ یا تعمیر و نگهداری عقب باشد، یا در سناریوی ۳ رخ دهد). بر این اساس، زمان واقعی برای نگهداری y -th به عنوان محاسبه می‌شود:

$$MT_k(y) = \begin{cases} a_k - b(T_y - Z_k) & 0 \leq Z_k \leq T_y \\ a_k + b(T_y - Z_k)^2 & T_y < Z_k \leq T_r \\ a_0 & R' < R_r \end{cases} \quad (3)$$

که در آن a_k زمان اصلی نگهداری M_k است و b ضریب نسبت است. T_y و T_r به ترتیب به ترتیب R_y و R_r دارای سن اطمینان هستند. علاوه بر این، Z_k سن موثری است که نگهداری دقیق انجام شود. (۲)، (۳) مدل بهینه‌سازی چندهدفه یکپارچه از برنامه‌ریزی تولید و نگهداری دقیق در این بخش، فرضیات مدل ریاضی و نمادهای مربوطه را نشان می‌دهیم. سپس، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه یکپارچه با ترکیب برنامه‌ریزی تولید با AM ایجاد شده است.

مفروضات و نشانه‌ها مدل بهینه‌سازی چندهدفه یکپارچه در نظر گرفته شده در این مقاله بر اساس فرضیات زیر است:

- (۱) همه مشاغل اولویت یکسانی دارند و زمان پردازش هر عملیات از پیش تعیین شده است.
- (۲) هنگامی که یک عملیات تعمیر را شروع می‌کند، باید بدون وقفه به پایان برسد.
- (۳) در یک زمان خاص، هر دستگاه فقط می‌تواند یک عملیات را پردازش کند. در همین حال، یک عملیات فقط توسط یک دستگاه در مجموعه دستگاه جایگزین M_{opt} قابل پردازش است.
- (۴) سن مؤثر دستگاه با توجه به تأثیر سایر عوامل (به عنوان مثال، زمان بیکار) با زمان پردازش / کار تعیین می‌شود.
- (۵) پس از نگهداری ناقص دستگاه، سن مؤثر آن می‌تواند به حالت فرض Z_{ky} بازگردد. بنابراین، علامت گذاری‌های استفاده شده در مدل ریاضی به شرح زیر خلاصه می‌شود.

مولفه‌های مدل

مولفه‌های مدل نیز به شرح زیر هستند:

n : تعداد کل مشاغل.

متر: تعداد کل ماشین آلات.

n_i : تعداد کل عملیات شغل J_i .

u_k : کل زمان نگهداری ماشین M_k .

Z_k : سن مؤثر / عملکرد دستگاه M_k .

- g : تعداد کل اهداف .
- C_i : زمان اتمام عملیات O_i . J .
- A_i : زمان رسیدن شغل J_i .
- $O_{i,j}$: j -th عملیات شغلی J_i .
- spt_{ijk} : زمان شروع پردازش O_i ، J روی دستگاه M_k .
- p_{ijk} : زمان تعمیر O_i ، J روی دستگاه M_k .
- ept_{ijk} : زمان پایان پردازش O_i ، J روی دستگاه M_k .
- s_{itk} : زمان شروع بیکار ماشین M_k .
- sat_{ijk} : زمان تنظیم شروع کار O_i ، J روی دستگاه.
- eat_{ijk} : زمان تنظیم پایان کار O_i ، J روی دستگاه M_k .
- w_k : هزینه نگهداری در واحد زمان دستگاه M_k .
- c_k : هزینه راه اندازی در واحد زمان دستگاه M_k .
- MT_k : آرایه ای از زمان نگهداری ماشین M_k .

متغیر تصمیم‌گیری

x_{ijk} : متغیر ۰-۱، آیا O_i ، J بر روی M_k پردازش شود.

توابع و محدودیت‌ها

مدل بهینه‌سازی چندهدفه دارای دو تابع هدف است. تابع هدف اول، f_1 ، نشان دهنده زمان تعمیر و تنظیم دستگاه آسیب دیده است و تابع f_2 ، نشان دهنده هزینه تعمیر و راه‌اندازی سیستم خواهد بود. بنابراین با مینیمم کردن این دو تابع، می‌توان زمان و هزینه تعمیرات و نگهداری را کاهش داد که این موضوع خود سبب خواهد شد تا هزینه تولید کاهش پیدا کند. با کاهش هزینه و زمان تعمیر و نگهداری، دستگاه‌ها سریع‌تر به خطوط تولید بازمی‌گردد. این توابع عبارتند از:

$$\min\{f_1, f_2\} \quad (۴)$$

$$f_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^m (at_{ijk} \cdot x_{ijk}) \quad (۵)$$

$$f_2 = \sum_{k=1}^m \sum_{y=1}^{u_k} (w_k MT_k(y)) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^m (c_k \cdot p_{ijk} \cdot x_{ijk}) \quad (۶)$$

$$spt_{i(j-1)} + x_{i(j-1)} \cdot p_{i(j-1)k'} \leq sat_{ijk}, \quad \forall i \in J', \forall \{j, j-1\} \subseteq I_i, \forall \{k, k'\} \subseteq M' \quad (۷)$$

$$spt_{i(j-1)} + x_{i(j-1)} \cdot p_{i(j-1)k'} \leq sat_{ijk}, \quad \forall i \in J', \forall \{j, j-1\} \subseteq I_i, \forall \{k, k'\} \subseteq M' \quad (۸)$$

$$spt_{ijk} + x_{ijk} \cdot p_{ijk} \leq ept_{ijk}, \quad (9)$$

$$\forall i \in J', \forall j \in I_i, \forall k \in M'$$

$$sat_{ijk} \geq \max \{ sit_k, ept_{i(j-1)k} \}, \quad (10)$$

$$\forall i \in J', \forall \{j, j-1\} \subseteq I_i, \forall \{k, k'\} \subseteq M'$$

$$(11) sit_k = \begin{cases} ept_{i'jk} + MT_k(y), & \text{maintenance before } O_{i,j} \\ ept_{i'jk} & O.W \end{cases}, \quad \forall i \in J', \forall j \in I_i, \forall k \in M'$$

$$(12) sat_{i,j,k} + at_{i,j,k} \leq eat_{i,j,k}, \quad \forall i \in J', \forall j \in I_i, \forall k \in M'$$

$$eat_{i,j,k} \leq spt_{i,j,k}, \quad \forall i \in J', \forall j \in I_i, \forall k \in M' \quad (13)$$

$$0 < R_r \leq R_k(Z_k) \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^m x_{i,j,k} = 1, \quad \forall i \in J', \forall j \in I_i \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{i,j,k} = 1, \quad \forall k \in M' \quad (16)$$

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & O_{i,j} \text{ is processed on } M_k \\ 0, & O.W \end{cases}, \quad \forall i \in J', \forall j \in I_i, \forall k \in M' \quad (17)$$

$$C_{i,j} \geq 0, A_i \geq 0, \quad \forall i \in J', \forall j \in I_i \quad (18)$$

$$(19) c_k \geq 0, w_k \geq 0, u_k \geq 0, s_{itk} \geq 0, \quad \forall k \in M'$$

محدودیت (۷) محدودیت تقدم عملیات است، یعنی یک عملیات باید پس از اتمام عملیات قبلی شروع به تنظیم کند. محدودیت (۸) بیان می‌کند که زمان شروع پردازش O_i ، j باید کمتر از زمان پردازش پایان آن باشد. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که زمان تنظیم شروع O_i ، j باید بزرگتر یا مساوی با زمانی باشد که دستگاه شروع به کار می‌کند و زمان پردازش پایان کار قبلی در همان دستگاه است. محدودیت (۱۰) شروع زمان بیکار بودن ماشین را تعیین می‌کند (O_i ، j یک فعالیت قبلی فوری O_i ، j در دستگاه M_k است). محدودیت (۱۱) محدودیت زمان تنظیم را برای O_i ، j نشان می‌دهد. محدودیت (۱۲) رابطه بین زمان تنظیم نهایی و زمان پردازش شروع O_i ، j را تعریف می‌کند. محدودیت (۱۳) بیانگر این است که قابلیت اطمینان $R_k(Z_k)$ نباید کمتر از آستانه اطمینان منطقه قرمز R_r باشد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که هر عملیات فقط می‌تواند به یکی از ماشین‌های موجود / مناسب اختصاص یابد. محدودیت (۱۵) اعمال می‌کند که یک ماشین فقط می‌تواند همزمان یک عملیات را پردازش کند. قید (۱۶) نشان می‌دهد که x_{ijk} یک متغیر باینری است. محدودیت‌ها (۱۷) - (۱۹) محدودیت‌های غیر منفی هستند.

انبارداری:

بین کالاهای مختلف موجود در انبار و مورد استفاده سازمان می‌تواند وابستگی وجود داشته باشد، در نتیجه معمولاً سیاست‌های اتخاذ شده برای یک کالا بر سایر کالاهای انبار تأثیرگذار خواهند بود. در این بخش، یک تابع بهینه‌سازی جدید معرفی شده که هدف آن کاهش هزینه نگهداری قطعات در انبار می‌باشد. این هزینه، همان هزینه نگهداری موجودی است که شامل هزینه

درگیر در موجودی، مالیات، بیمه و نظایر آن می‌باشد. هزینه ترتیب دادن یک سفارش از یک تأمین کننده برای تعدادی محصول متفاوت از دو جزء زیر تشکیل می‌شود:

هزینه کلی سفارش دهی که از تعداد محصولات مختلف در یک سفارش مستقل است.

هزینه جزئی سفارش دهی که به تعداد محصولات مختلف در یک سفارش بستگی دارد.

به علت وجود هزینه کلی سفارش دهی، به کارگیری سفارش دهی گروهی ممکن است منجر به صرفه جویی معنی داری در هزینه‌ها شود. این صرفه جویی به طور قابل توجهی وقتی تقاضای بین اقلام به طور نزدیکی به هم مرتبط هستند، افزایش می‌یابد.

همانند بخش قبلی، برای توسعه مدل انبار داری، باید فرضیاتی را در نظر گرفته شد و بر مبنای آن‌ها مدل توسعه یافت. فرضیات عبارتند از:

■ وجود تقاضای قطعی و یکنواخت.

■ خطی بودن هزینه نگهداری.

■ مجاز نبودن کمبود.

■ محدودیت فضای انبار.

مشاهده می‌شود که در فرضیات بالا، جهت کاربردی‌تر شدن مدل، محدودیت فضای انبار نیز که در عمل اکثر سیستم‌های کنترل موجودی با آن مواجه هستند، به مدل اضافه شده است. بنابراین تابع بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$f_4 = \frac{\sum_{j=1}^n (k_j D_j h_j)}{2} T + \frac{S + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{k_j}}{T} \quad (20)$$

$$f_5 = T \sum_{j=1}^n (c_j k_j D_j) \quad (21)$$

که در آن تابع f_4 نشان دهنده هزینه کل سفارش دهی و نگهداری موجودی در واحد زمان و تابع هدف f_5 ، هزینه کل سرمایه درگیر در موجودی هستند. محدودیت مسئله بهینه‌سازی نیز به شرح زیر است:

$$\sum_{j=1}^n k_j D_j v_j \leq \frac{V}{T} \quad (22)$$

که در روابط فوق داریم:

n : تعداد محصولات.

$i: 1, \dots, n$: اندیس محصولات

D_i : تقاضای سالیانه محصول i ام.

h_i : هزینه نگهداری سالیانه برای محصول i ام.

S : هزینه کلی سفارش دهی در هر بار سفارش.

S_i : هزینه جزئی سفارش دهی که در صورت سفارش محصول i ام سفارش داده شود پرداخت می‌شود.

C_i : هزینه خرید یک واحد محصول i ام.

V : ماکزیمم فضای انبار.

V_i : فضای لازم برای انبار کردن یک واحد کالای i ام.

متغیرهای تصمیم گیری نیز شامل T ، زمان بین دو سفارش متوالی و k_i ، ضریب عدد صحیح سفارش دهی محصول i ام هستند. الگوریتم بهینه سازی باید با انتخاب بهینه این دو پارامتر، میزان هزینه انبارداری را کاهش دهد.

مثال عددی

برای بهینه سازی، علاوه بر روش MPSO، از روش بهینه سازی NSGA-III نیز استفاده می شود. بنابراین در ابتدا این روش را شرح خواهیم داد. لازم به ذکر است که شبیه سازی ها در محیط نرم افزار MATLAB 2014a و بر روی یک لپ تاپ Core i5 با پردازنده ۲،۳۳ گیگاهرتز و 4 گیگابایت انجام شده است.

به منظور شبیه سازی الگوریتم ها، داده های از مقاله ایکسیاهوو^۶ و همکاران (۱۱) انتخاب شد. فرض می شود که تعداد دستگاه ها و وظایف برابر با ۴ است. به عبارت دیگر در خط تولید چهار دستگاه داریم که هر کدام یک وظیفه را انجام می دهند. جداول (۱) تا (۳)، پارامترهای شبیه سازی را نشان می دهند:

جدول (۱): پارامترهای شبیه سازی زمان بر حسب شغل

J_1	O	M_1	M_2	M_3	M_4	J	M_1	M_2	M_3	M_4
J_3	$O_{1,1}$	-	8	12	13	J_4	-	6	9	15
	$O_{1,2}$	16	-	15	7		5	2	-	14
	$O_{1,3}$	15	16	3	6		6	6	-	12
	$O_{1,4}$	8	15	-	8		14	-	4	13
J_2	$O_{4,1}$	13	20	15	5	J_1	14	8	9	11
	$O_{4,2}$	18	20	3	15		10	2	5	4
	$O_{4,3}$	13	8	6	15		18	11	16	8
	$O_{4,4}$	5	2	10	15		3	7	12	12

جدول (۲): پارامترهای شبیه سازی هزینه بر حسب دستگاه

M	J	J_1	J_2	J_3	J_4	M	J	J_1	J_2	J_3	J_4
M_1	J_1	1	2	1	3	M_3	J_1	1	2	1	3
	J_2	1	1	3	2		J_2	2	1	3	2
	J_3	1	1	1	2		J_3	1	1	1	1
	J_4	3	1	1	1		J_4	3	1	1	1
M_2	J_1	1	2	1	3	M_4	J_1	1	2	1	3
	J_2	1	1	3	2		J_2	1	1	1	3
	J_3	2	1	1	1		J_3	2	1	1	1
	J_4	3	2	2	1		J_4	2	2	2	3

⁶ Xiaohui

جدول (۳): پارامترهای شبیه سازی

Parameter	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
β_k	1.6	1.7	1.6	1.8
η_k	78	75	73	77
a_k	4	3	2	3
p_k	0.65	0.63	0.7	0.75
w_k	18	20	19	17
c_k	8	5	10	9

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم، نتایج را در سه سناریو شبیه سازی شد، که جزییات آن در ادامه شرح داده خواهند شد. جدول (۴) نیز پارامترهای شبیه ساز را نشان می دهند.

جدول (۴): پارامترهای الگوریتم MPSO

نام پارامتر	مقدار
تعداد متغیرها	۴
حداکثر تکرارهای مسئله	۱۰۰
تعداد توابع هدف	۳
جمعیت ذره ها	۲۰۰
تعداد مخازن	۱۰۰
ضریب اینرسی ذرات	۰,۵
ضریب دمپینگ اینرسی ذرات	۰,۹۹
ضریب یادگیری محلی	۱,۵
ضریب یادگیری سراسری	۱,۵
نرخ رشد	۰,۱

در مسائل چندهدفه، معمولاً چند پاسخ بهینه داریم که هر کدام از آنها، یکی از توابع را بهینه می کند. این موضوع را انتخاب پاسخ های غالب می نامند. در تحقیق حاضر، پاسخی را به عنوان پاسخ بهینه در نظر گرفته شد، که زمان تعمیر را مینم می کند. هرچه یک دستگاه سریع تر به خط تولید برگردد، راندمان شرکت بهبود بخشیده می شود و در نتیجه می تواند محصولات بیشتری تولید کند.

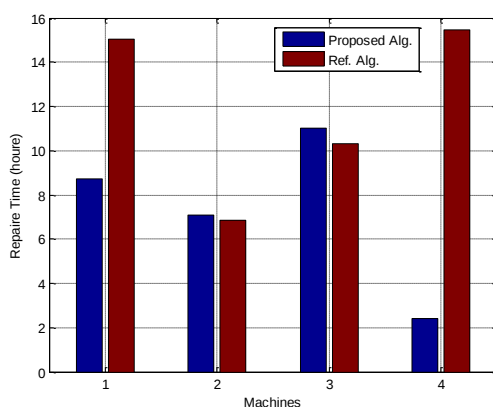
تفاوت ها در مسئله بهینه سازی و الگوریتم بهینه سازی که به جای استفاده از MPSO، از NSGA II استفاده شد که یک ورژن بهبود یافته از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک است.

نمودارهای (۳) تا (۵)، خروجی شبیه سازی ها را نشان می دهد. در نمودار (۳)، خروجی زمان تعمیر دستگاه ها برای چهار

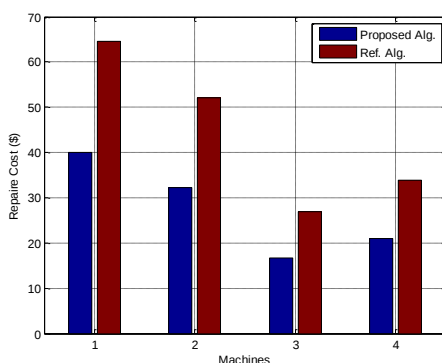
دستگاه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که به جز برای دستگاه شماره ۳، در سایر دستگاه‌ها، روش استفاده شده پیشنهادی، بهتر از روش مرجع (۱۱) است. در این نمودار مشاهده می‌شود که برای دستگاه شماره ۲، روش مرجع، اندکی بهتر از روش پیشنهادی است. با این وجود، این نمودار نشان می‌دهد که برای دستگاه‌های شماره ۱ و ۴، کارایی الگوریتم پیشنهادی بهتر بوده است.

در نمودار (۴) نیز خروجی دو الگوریتم برای هزینه دستگاه‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای هر چهار دستگاه، روش پیشنهادی دارای کارایی بهتری است و در نتیجه هزینه تعمیر کاهش پیدا می‌کند. به این دلیل است که از تابع ویبول برای مدل‌سازی خرابی قطعات مکانیکی استفاده می‌شود. یک تابع جدید در مسئله در نظر گرفته که مربوط به تعداد خرابی‌ها است که به طور غیرمستقیم به هزینه تعمیر و نگهداری ارتباط دارد.

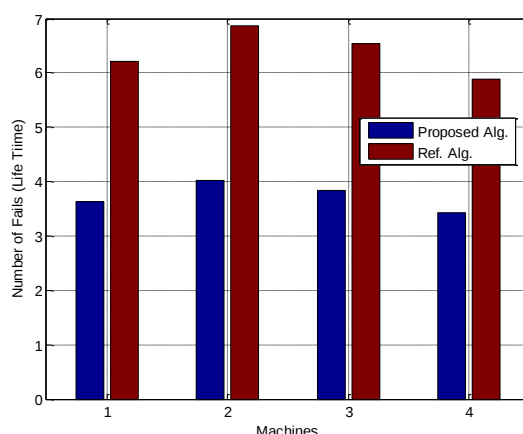
نمودار (۵) نیز خروجی دو الگوریتم را برای تابع هدف سوم نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که کارایی الگوریتم پیشنهادی برای هر چهار دستگاه، به مراتب بهتر بوده است و احتمال اینکه دستگاه در عمر خود، کمتر خراب شود، بیشتر است. بنابراین این نمودار به خوبی نشان می‌دهد که استفاده از یک تابع هدف جدید، می‌تواند سبب بهبود کارایی مسئله شود.



نمودار (۳): زمان تعمیر دستگاه‌ها در سناریو اول

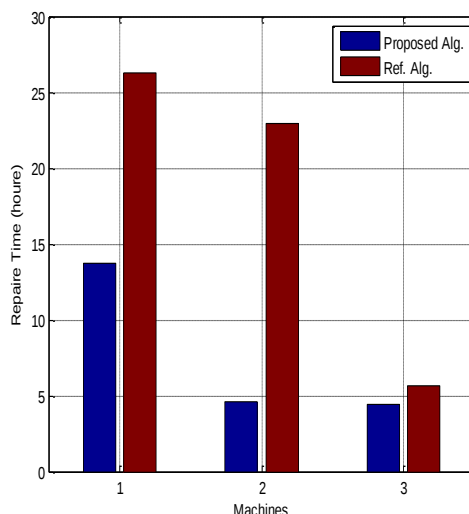


نمودار (۴): هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها در سناریو اول

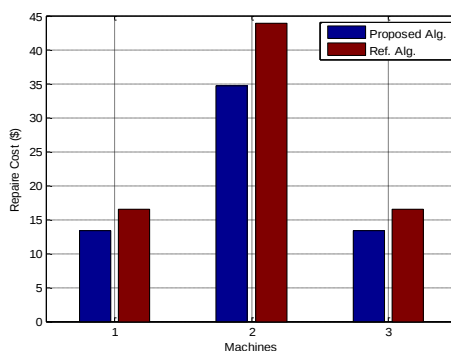


نمودار (۵): تعداد متوسط خرابی در طول عمر مفید دستگاه سناریو ۱

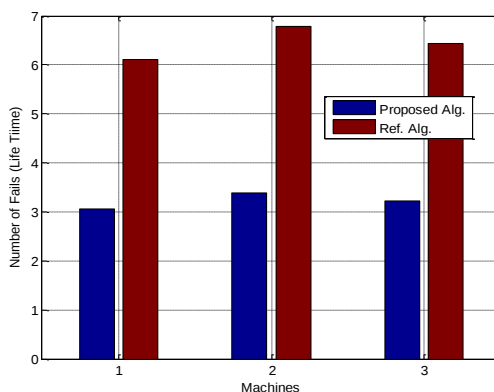
در سناریو دوم، فرض شد که تعداد دستگاه‌ها و وظایف سه است. به عبارت دیگر، وظیفه و دستگاه چهارم را حذف شد. نتایج به دست آمده در نمودارهای (۶) تا (۸) نشان داده شده‌اند. در نمودار (۶)، خروجی زمان تعمیر دستگاه‌ها برای سه دستگاه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برخلاف سناریو قبلی، کارایی روش استفاده شده پیشنهادی، برای تمام دستگاه‌ها، بهتر از روش مرجع است. در نمودار (۷) نیز خروجی دو الگوریتم برای هزینه دستگاه‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای هر سه دستگاه، روش پیشنهادی نسبت به روش پیشنهادی مقاله مرجع، دارای کارایی بهتری است و در نتیجه هزینه تعمیر کاهش پیدا می‌کند. نمودار (۸) نیز خروجی دو الگوریتم را برای تابع هدف سوم نشان می‌دهد. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود که کارایی الگوریتم پیشنهادی برای هر سه دستگاه، به مراتب بهتر بوده است و احتمال اینکه دستگاه در عمر خود، کمتر خراب شود، بیشتر می‌باشد.



نمودار (۶): زمان تعمیر دستگاه‌ها در سناریو دوم



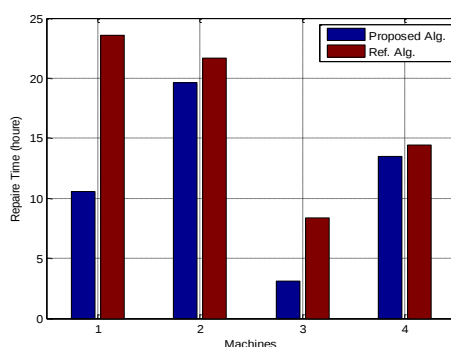
نمودار (۷): هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها در سناریو ۲



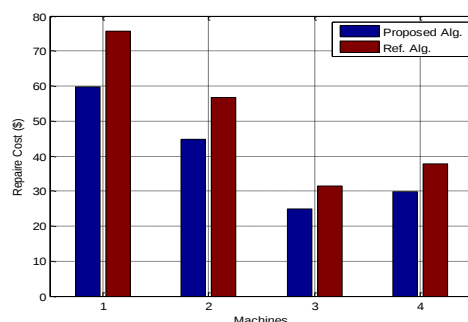
نمودار (۸): تعداد متوسط خرابی در طول عمر مفید دستگاه سناریو ۲

در سناریو سوم، تعداد دستگاه‌ها را همانند سناریو اول برابر با چهار در نظر گرفته شد. با این وجود، این سناریو یک تفاوت با سناریو اول دارد. این تغییر، تغییر فرمول ۳ است که در آن به صورت تک جمله‌ای استفاده و فرض شد که تعمیر و نگهداری در آن مستقل از عمر دستگاه است. تاثیر نگهداری دقیق را در نظر نگرفته‌ایم. نتایج در نمودارهای (۹) تا (۱۱) نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که در هر سه نمودار، کارایی روش پیشنهادی بهتر از روش مرجع بوده است. علاوه بر آن، این نمودارها به خوبی نشان می‌دهند که نگهداری دقیق نسبت کاهش هزینه و زمان تعمیر می‌شود اگرچه این مقدار خیلی بر روی تعداد خرابی‌ها در طول عمر دستگاه تاثیر زیادی ندارد.

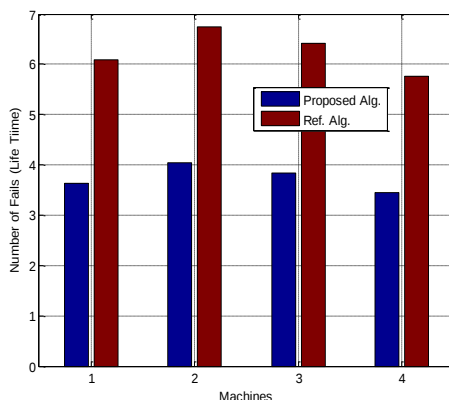
در نمودار (۹)، خروجی زمان تعمیر دستگاه‌ها برای چهار دستگاه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برخلاف سناریو قبلی، کارایی روش استفاده شده پیشنهادی، برای تمام دستگاه‌ها، بهتر از روش مرجع است. در نمودار (۱۰) نیز خروجی دو الگوریتم برای هزینه دستگاه‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که همانند سناریو قبلی، برای هر چهار دستگاه، روش پیشنهادی نسبت به روش پیشنهادی مقاله مرجع، دارای کارایی بهتری است و در نتیجه هزینه تعمیر کاهش پیدا می‌کند. دلیل آن پیش از این شرح داده شده است. نمودار (۱۱) نیز خروجی دو الگوریتم را برای تابع هدف سوم نشان می‌دهد. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود که کارایی الگوریتم پیشنهادی برای هر چهار دستگاه، به مراتب بهتر بوده است و احتمال اینکه دستگاه در عمر خود، کمتر خراب شود، بیشتر بوده است.



نمودار (۹): زمان تعمیر دستگاه‌ها در سناریو ۳

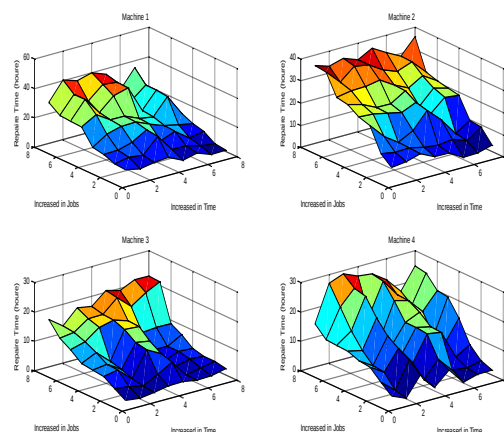


نمودار (۱۰): هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها در سناریو ۳



نمودار (۱۱): تعداد متوسط خرابی در طول عمر مفید دستگاه سناریو ۳

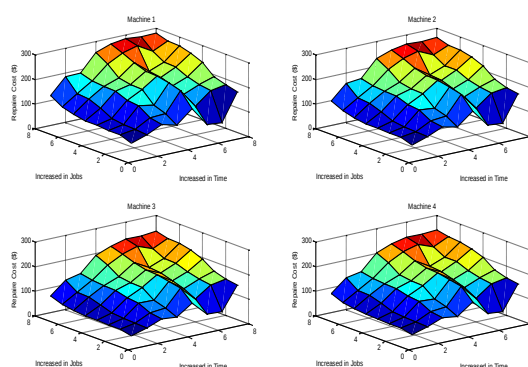
به منظور ارزیابی دقیق‌تر، به بررسی تغییرات پارامترهای مختلف خواهیم پرداخت. این بررسی تنها بر روی روش پیشنهادی خود انجام می‌گیرد زیرا پارامترهای مورد بررسی و توابع هدف، بر اساس روش پیشنهادی انتخاب شده‌اند. برای این منظور، به بررسی تغییرات پارامترهای مختلف پرداخته و تاثیر آن‌ها را بر روی مقادیر توابع هدف سنجیدیم. تغییرات همزمان دو پارامتر مورد توجه قرار گرفته شدند. فرض کردیم که مقادیر زمان‌ها در جدول (۱) در حال افزایش است و به ازای افزایش هر یک واحد، مقدار خروجی را محاسبه می‌شود. این جدول نشان دهنده زمان است. لازم به ذکر است که برای مقادیری که در این جدول تعریف نشده است، این افزایش واحد اعمال نشده است. دومین متغیری که در نظر گرفته شد، تغییرات در تعداد وظایف بود که در جدول (۲) نشان داده شده است. بنابراین ما نتایج را به صورت توابع سه بعدی محاسبه و آن‌ها رسم شد.



نمودار (۱۲): تاثیر پارامترهای مختلف بر روی تابع هدف اول

نمودار (۱۲)، مقادیر به دست آمده برای هر چهار دستگاه مفروض را برای تابع هدف زمان تعمیر و نگهداری نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای هر چهار ماشین، مقدار تابع هدف، یعنی زمان تعمیر و نگهداری تغییر می‌کند و این برای ماشین سوم بیش از سایر ماشین‌ها است. از این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که زمان مفروض و هم تعداد وظایف می‌تواند بر روی عملکرد سیستم‌ها تاثیر بگذارد. در نتیجه زمان تعمیر و نگهداری را نیز بیشتر کند. علاوه بر آن، این نمودار نشان می‌دهد که بین ماشین‌های مختلف، ممکن است که کارایی سیستم‌ها متفاوت باشد.

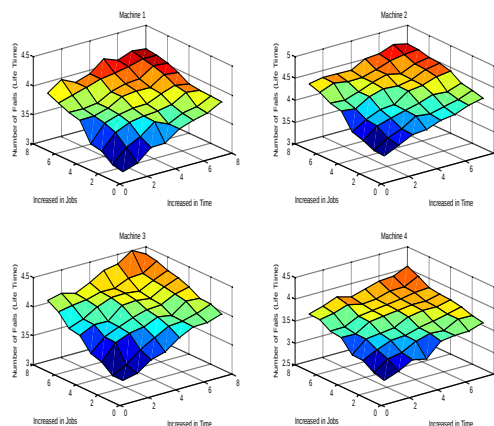
نمودار (۱۳) نیز عملکرد هر چهار دستگاه را بر حسب تابع هدف دوم، یعنی هزینه تعمیر را نشان می‌دهد. این نمودار نیز به خوبی نشان می‌دهد که برای دستگاه‌های مختلف، تاثیر تغییرات زمان اجرای وظایف و تعداد وظایف، متفاوت است. به عبارت دیگر، در این نمودار مشاهده می‌شود که برای هر چهار دستگاه، با افزایش متغیرهای ورودی، هزینه نیز تغییر خواهد کرد. نتیجه آن که نمی‌توان برای تمام دستگاه‌ها سناریوهای یکسانی در نظر گرفت و باید هر دستگاه با توجه به مفروضات خود، بررسی شود. علاوه بر آن، این نمودار نیز نشان می‌دهد که هزینه تعمیر و نگهداری در دستگاه‌های اول و دوم بیش از دو دستگاه دیگر است.



نمودار (۱۳): تاثیر پارامترهای مختلف بر روی تابع هدف دوم

نمودار (۱۴) نیز عملکرد هر چهار دستگاه را بر حسب تابع هدف سوم، یعنی تعداد خرابی‌ها در عمر دستگاه را نشان می‌دهد. همانند دو نمودار قبلی مشاهده می‌شود که برای دستگاه‌های مختلف، تاثیر تغییرات زمان اجرای وظایف و تعداد وظایف بر روی عمر مفید دستگاه، متفاوت است. به عبارت دیگر، در این نمودار مشاهده می‌شود که برای هر چهار دستگاه، با افزایش

متغیرهای ورودی، تعداد دفعات خرابی دستگاه نیز تغییر خواهد کرد.



نمودار (۱۴): تاثیر پارامترهای مختلف بر تابع هدف سوم

مسئله بهینه‌سازی انبارداری:

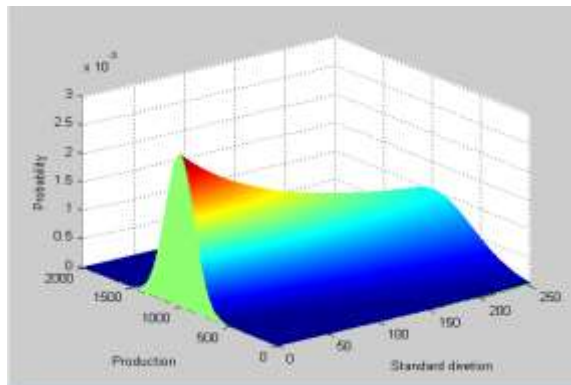
همان‌گونه که گفته شد، در تحقیق حاضر، مقادیر شبیه‌سازی در جدول (۵) نشان داده شده‌اند. مقادیر الگوریتم‌ها نیز همانند مسئله قبلی است زیرا بررسی‌ها نشان دادند که با استفاده از این مقادیر نیز می‌توان مسئله مورد نظر را بهینه کرد. در این شبیه‌سازی‌ها فرض می‌شود که سفارش در دو مرحله انجام می‌گیرد و در مجموع ۴ محصول باید خریداری شود. برای سادگی نیز هزینه را برابر واحد در نظر گرفته‌ایم که این هزینه می‌تواند متفاوت باشد. در حقیقت، با توجه به اینکه انتخاب محصول بر اساس نیاز انجام می‌گیرد نه هزینه، قیمت هزینه بر روند الگوریتم تاثیری ندارد. همچنین در این شبیه‌سازی فرض کرده‌ایم که فقط یک انبار برای نگهداری داریم که این فرض برای بسیاری از سازمان‌ها و ادارات صحیح است.

در بررسی تابع هدف قبلی، فرض شد که پاسخ بهینه نهایی برای، پاسخی است که کمترین زمان تعمیر و نگهداری را محاسبه کند، زیرا در این حالت، هزینه خط تولید کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند. در این مسئله، که در این بخش بررسی می‌شود، به دلیل اینکه هر دو تابع مورد بررسی، از یک جنس و نشان دهنده هزینه هستند، باید مجموعه پاسخ‌ها را انتخاب شد. دو الگوریتم MPSO و NSGAI را در نظر گرفته و آن‌ها با هم مقایسه می‌شود.

جدول (۵): پارامترهای شبیه‌سازی

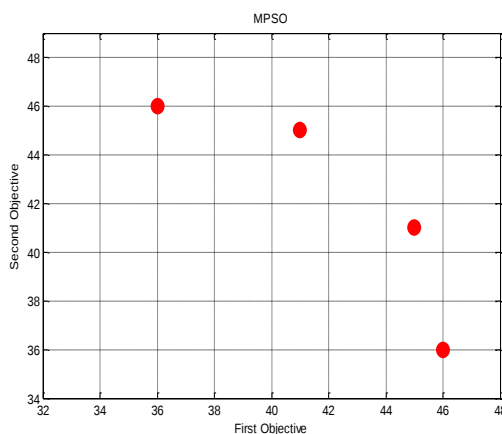
پارامتر	مقادیر
تقاضا	100,250
هزینه کلی سفارش دهی	5,10,15,20
هزینه سفارش دهی جزئی	[0. 5,5]
تعداد محصولات	10,20,30,50
هزینه نگهداری	[0. 2,3]
فضای مورد نیاز جهت انبار هر قلم کالا	1
قیمت خرید هر قلم کالا	1

نمودار (۱۵)، خروجی تابع ارزیابی انبار داری را نشان می‌دهد. در این تابع مشاهده می‌شود که هرچه باز محدوده قابل قبول تولید بهینه بیشتر باشد، تابع هدف دارای فرم نرم‌تری است و در نتیجه بهتر می‌توان، برنامه‌ریزی تولید کرد زیرا ظرفیت انبارهای مختلف شرکت دارای انعطاف بیشتری است.

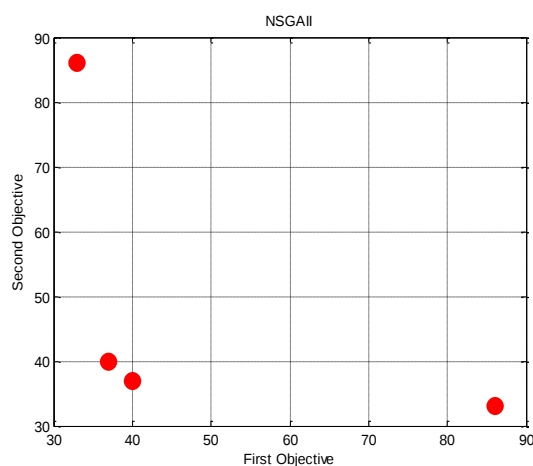


نمودار (۱۵): ظرفیت انبار داری

نمودارهای (۱۶) و (۱۷) به ترتیب نشان دهنده مجموعه پاسخ‌های غالب برای هر دو الگوریتم مورد بررسی است. با بررسی این دو نمودار مشاهده می‌شود که پراکندگی پاسخ‌ها در الگوریتم MPSO کمتر از الگوریتم NSGAI است و این نشان دهنده یکی از برتری‌های الگوریتم MPSO است. زیرا در یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، هر چه پراکندگی پاسخ‌ها کمتر باشد، کارایی الگوریتم نیز بهتر خواهد بود. این دو نمودار نشان می‌دهند که مقادیر به دست آمده برای متغیرها بر اساس الگوریتم MPSO، کمتر از الگوریتم دیگر است و بنابراین هم زمان سفارش‌ها و هم تعداد سفارش‌ها کاهش پیدا کرده است. در هر دو نمودار، منظور از تابع اول، میزان سفارش‌ها و منظور از تابع دوم، زمان دو سفارش متوالی است.

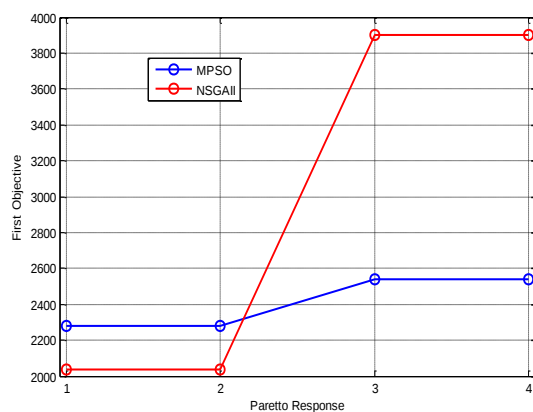


نمودار (۱۶): پاسخ بهینه پاراتو برای الگوریتم MPSO

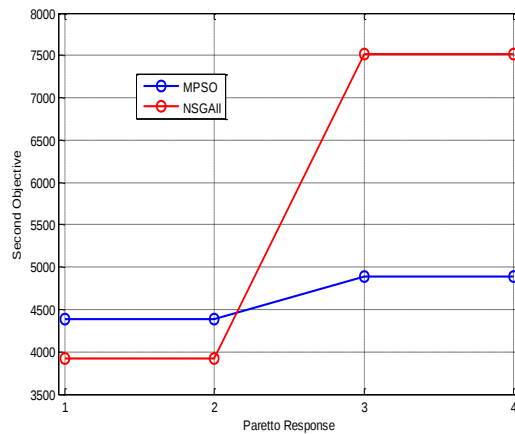


نمودار (۱۷): پاسخ بهینه پاراتو برای الگوریتم NSGAI

با جای گذاری این متغیرها، مجموعه پاسخ‌ها برای دو تابع هدف نیز به دست می‌آید. نتایج به دست آمده برای تابع هدف اول در نمودار (۱۸) و نتایج به دست آمده برای تابع هدف دوم در نمودار (۱۹) نشان داده شده‌اند. منظور از توابع هدف اول و دوم در فصل سوم به طور کامل شرح داده شده است. بنابراین با بررسی این دو نمودار می‌توان نتیجه گرفت که برای برخی از پاسخ‌های پاراتو، کارایی الگوریتم NSGAI بهتر از MPSO است و برای برخی دیگر، کارایی MPSO بالاتر از NSGAI است. بنابراین این نمودار به خوبی نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم می‌تواند کارایی قابل قبولی داشته باشند. با این وجود، همان گونه که در این دو نمودار مشاهده می‌شود، پراکندگی پاسخ‌ها در الگوریتم MPSO کمتر است؛ از این رو می‌توان نتیجه گرفت که کارایی الگوریتم MPSO در مجموع بهتر از الگوریتم NSGAI است.



نمودار (۱۸): پاسخ بهینه برای تابع هدف اول



نمودار (۱۹): پاسخ بهینه برای تابع هدف دوم

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل گوسی اگر چه می‌تواند به ما دید عمقی و قابل قبولی دهد، اما لازم است تا با استفاده بهینه از پارامترهای مؤثر در انبارداری مانند زمان، تعداد سفارش‌ها و الگوریتم بهینه‌سازی تعریف کرد که استفاده از انبار را بهینه کند. همان‌گونه که پیش از این گفته شد، بین کالاهای مختلف موجود در انبار و مورد استفاده سازمان می‌تواند وابستگی وجود داشته باشد، در نتیجه سیاست‌های اتخاذ شده برای یک کالا بر سایر کالاهای انبار تأثیرگذار خواهند بود. در تحقیق حاضر، یک تابع بهینه‌سازی جدید معرفی شد، که هدف آن کاهش هزینه نگهداری قطعات در انبار می‌باشد. این هزینه، همان هزینه نگهداری موجودی است که شامل هزینه درگیر در موجودی می‌باشد.

با توجه به بررسی انجام شده در تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای مسئله مذکور استفاده شود. از این رو، شبکه عصبی مصنوعی نیز به عنوان یک راه‌حل مناسب بکار برد.

منابع

- [۱] حسینی محمدحسن، (۱۳۹۹) مدل سازی و حل مساله یکپارچه برنامه‌ریزی تولید ادغامی و تعمیرات و نگهداری در حالت دو هدفه و با رویکرد کاهش نارضایتی مشتریان، نشریه مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۸ (۵۶).
- [۲] ساجدی نژاد آرمان، لطفی میثم، (۱۳۹۸) مدلی برای بهینه‌سازی زمانبندی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای سیستم‌های چند جزئی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، نشریه مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۷ (۵۵).
- [۳] غلامرضایی مصطفی، خادمی زارع حسن، (۱۳۹۴) توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تولیدچند محصولی، چند پرودی و چندهدفه با پارامترهای فازی، مدیریت تولید و عملیات، ۶ (۱).
- [۴] احمدی نژادفرسنگی نعیم، (۱۳۹۷) مدل کاربردی برنامه‌ریزی خطی جهت کمینه کردن هزینه های تولید در کارگاه تولیدی مبل آذرنک، اولین کنفرانس ملی مطالعات و تحقیقات نوین در حوزه علوم زیست محیطی و مدیریتی.

- [5] Yang L, Zhao Y, Peng R, Ma XB.(2018) Hybrid preventive maintenance of competing failures under random environment. Reliab Eng Syst Saf;174:130–40.
- [6] Poppe J, Boute RN, Lambrecht MR.(2018) A hybrid condition-based maintenance policy for continuously monitored components with two degradation thresholds. Eur J Oper Res
- [7] Martinod RM, Olivier B, Castaneda LF, Rezg N.(2018). Maintenance policy optimisation

for multi-component systems considering degradation of components and imperfect maintenance actions. *Comput Ind Eng*;124:100–12

[8] Yang L, Ye ZS, Lee CG, Yang SF, Peng R.(2019) A two-phase preventive maintenance policy considering imperfect repair and postponed replacement. *Eur J Oper Res*. 274:966–77.

[9] Rifai AP, Nguyen HT, Aoyama H, Dawal SZM, Masruroh NA.(2018). Non-dominated sorting biogeography-based optimization for bi-objective reentrant flexible manufacturing system scheduling. *Appl Soft Comput*;62:187–202

[10] Yu T, Zhu C, Chang Q, Wang JF.(2019) Imperfect corrective maintenance scheduling for energy efficient manufacturing systems through online task allocation method. *J Manuf Syst* 2019;53:282–90.

[11] Xiaohui C, Youjun A, Zhiyao Z, Yinghe i,(2020) An approximate nondominated sorting genetic algorithm to integrate optimization of production scheduling and accurate maintenance based on reliability intervals, *Journal of Manufacturing Systems* 54; 227-241