مجله علمی مطالعات پژوهشی در مهندسی برق آینده، ۱۴۰۳، دوره ۱، شماره ۱، ص ص ۱-۱۲

مجله علمی مطالعات پژوهشی
در مهندسی برق آینده
www.journalhi.com/pow/

تاثیر اختلال در عملکرد ماشین آلات بر برنامه ریزی تولی و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در شرکت دلند الکتریک

سیامک مرشد[۱]

۱- دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال،تهران، ایران

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: ۲۷ اسفند ۱۴۰۱
پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲
ارائه در سایت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۲

کلید واژگان:
اختلال
ماشین آلات
تعمیرات و نگهداری

چکیده

اصالت در واحدهای تولید با ماشین آلات است، یعنی ماشین آلات نقش اساسی را به خصوص در تولید انبوه انجام می‌دهند. انجام کار توسط ماشین آلات با گذر زمان می‌تواند سبب مستهلک شدن آنها و زوال روز افزون تجهیزات شود. پس فعالیتی همانند برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات باید برای حفظ کارایی و اثربخشی ماشین‌آلات صورت گیرد تا در تمام دوره‌ها ماشین-آلات با کمترین خرابی و توقف به کار خود ادامه دهند. به همین منظور هدف از این پژوهش این است که اختلال در عملکرد ماشین آلات بر برنامه ریزی تولی و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در شرکت دلند الکتریک چه اثری می گذارد. این تحقیق از نظر هدف کاربردی و توسعه ای و از حیث ماهیت میدانی است. از آن جا که در این مسئله با فرآیند مسیر یابی وسائل نقلیه روبرو هستیم، بنابراین استفاده از روش های ارزیابی ریاضی مورد استفاده است. نتایج نشان داد که عملیات نگهداری و تعمیرات (نت) وضعیت ماشین را بهبود می‌بخشد، اما خود بخشی از ظرفیت تولید را اشغال می‌کند و این ممکن است منجر به تأخیر در تحویل سفارشات مشتری گردد.

The effect of malfunctioning of machines on the planning of tools and preventive maintenance and repairs in Deland Electric Company

Siamak Morshed[1]

1- Ph.D., Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

Article Information

Original Research Paper
Received 18 March 2023
Accepted 02 October 2023
Available Online 04 October 2023

Keywords:
disorder
machinery
Repair and Maintenance

Abstract

Originality is in production units with machines, that is, machines play a fundamental role, especially in mass production. Working with machines over time can cause them to wear out and the equipment deteriorates more and more. Therefore, an activity such as maintenance and repair planning should be done to maintain the efficiency and effectiveness of the machines so that the machines continue to work with minimal breakdowns and stoppages in all periods. For this reason, the purpose of this research is to find out what effect the malfunction of machines has on the planning of maintenance and preventive maintenance in Deland Electric Company. This research is applied and developmental in terms of purpose and in terms of field nature. Since we are facing the process of vehicle routing in this issue, therefore, the use of mathematical evaluation methods is used. The results showed that maintenance and repair operations (net) improve the condition of the machine, but occupy a part of the production capacity, and this may lead to a delay in the delivery of customer orders.

مقدمه

با توجه به پیشرفت روزافزون صنعت، منابع موجود برای پاسخ‌گویی به صنایع حالت بحرانی به خود می‌گیرند. از جمله‌ی این منابع بحرانی عبارتند از: ماشین‌آلات- نیروی انسانی و سایر تسهیلات. زمان‌بندی روی چنین منابع بحرانی موجب ارتقاء کارایی، بهره‌وری و در نهایت سودآوری بیشتر صنایع می‌شود. از جمله فعالیت‌هایی که در زمینه‌ی زمان‌بندی منابع انجام می‌شود عبارتند از: ترسیم نمودارها و دیاگرام‌های ساده تا کار با الگوریتم‌ها و نظریه‌های پیچیده (ژو[1]،۲۰۱۰). یک برنامه‌ی زمان‌بندی، زمان شروع پردازش هرکار روی هر ماشین و زمان پایان هر کار روی هر ماشین را تعیین کرده، یعنی نتیجه‌ی فرآیند زمان‌بندی یک جدول زمانی برای کارها و ماشین‌هاست که در آن زمان شروع هر کاری باید بزرگ‌تر یا مساوی با زمان ورود آن کار به کارگاه باشد و از طرفی اگر برای هر کار موعد تحویل مقرر شده باشد، آنگاه زمان پایان آخرین فرآیند مربوط به آن سفارش نباید از موعد تحویل مقرر تجاوز کند(یومی[2]،۲۰۱۰). در بسیاری از محیط‌های تولیدی تمامی کارها توسط تمامی ماشین‌ها قابل پردازش نیست و هر کار مجموعه‌ی پردازش مخصوص به خود را دارد که فقط توسط آن ماشین‌های موجود در مجموعه‌ی پردازش خود می‌تواند پردازش شود. مسائل زمانبندی با محدودیت مجموعه پردازش با عناوینی چون زمانبندی با محدودیت مجموعه پردازش ۳، محدودیت دسترسی۴ و همچنین دسترسی محدود به ماشین‌ها۵ ارائه می‌شوند(لونگ۶،۲۰۱۵). یومی۷ و همکاران (۲۰۱۰) مسئله‌ی زمانبندی n کار مستقل روی m ماشین موازی را با محدودیت مجموعه پردازش در نظر گرفتند. هدف آن‌ها حداقل کردن زمان تکمیل بیشینه بود. لو۸ (۲۰۱۲) یک الگوریتم برای حل مسئله زمانبندی ماشین‌های موازی با محدودیت مجموعه پردازش و تابع هدف زمان تکمیل بیشینه توسعه داد. در این مسئله زمان پردازش تمامی کارها برابر مقدار یک می‌باشد. او نشان داد وقتی که این الگوریتم، تعداد ماشین‌های در دسترسش برای هرکار به یک تعداد ثابت محدود می‌شود دارای زمان حل O(n2+mn) خواهد بود.چانگ۹ لان لی (۲۰۱۶) مسئله‌ی زمانبندی ماشین‌های موازی با کارهایی که دارای طول یکسان هستند، بطوریکه هر کار فقط می‌تواند روی یک زیرمجموعه‌ی خاصی از ماشین‌ها پردازش شوند درنظر گرفت. او روش‌های موثری برای حل مسائل با تابع هدف‌های حداقل کردن مجموع دیرکردها، حداقل تأخیرها، مجموع زمان تکمیل، تعداد کارهای دارای تأخیر و زمان تکمیل بیشینه ارائه داد. اگیر۱۰(۲۰۱۸) در پژوهش خود یک رویکرد مبتنی بر بهینه سازی متوسط مدت برای ادغام برنامه ریزی تولید، برنامه ریزی و نگهداری پیشنهاد شده است. مشکل مطرح شده در این مقاله یک کارخانه تولید چند مرحله ای تک مرحله ای با واحد های موازی و منابع محدود است. یک فرمول مداوم در MILP بر اساس ایده های اصلی فروشندگان مسابقه و محدودیت های مبتنی بر پیش شرط برای مقابله با، کاهش عملکرد عملکرد واحد، وابسته به دنباله، عملیات بازیابی انعطاف پذیر، دسترسی به منابع و طول عمر محصول، طراحی شده است. نمونه های برنامه ریزی شده اند و با ترکیبات سازگار از ادبیات، بر اساس رویدادهای زمان گسسته و زمان جهانی، و اثربخشی روش پیشنهادی پیشنهاد شده مقایسه شده است. با توجه به چندین دوره زمانی، مشکلات برنامه ریزی و برنامه ریزی اضافی پیشنهاد شده است. نمونه های چند مرحله‌ای به طور موثر با استفاده از مدل نشان داده شده است که کاربرد روش راه حل برای مشکلات متوسط را نشان می دهد.

مواد و روش

این تحقیق از نظر هدف کاربردی و توسعه ای و از حیث ماهیت میدانی است. تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی به صورت زیر است.

زمان بندی ماشین آلات: زمان بندی تولید عبارت است از تخصیص منابع محدود در طول زمان برای انجام گروهی از فعالیت های مختلف بر روی ماشین آلات موجود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

در این تحقیق به دنبال ارائه ی مدلی برای زمان بندی ماشین آلات موازی غیر مرتبط منعطف به منظور حداقل کردن زمان فعالیت ها می باشیم.

اختلال در عملکرد: عبارت است از شرایطی که در آن، یک سیستم نتواند عملکرد مطلوب مورد انتظار خود را محقق سازد. به عبارتی دیگر، هر عاملی که موجب شود سیستم نتواند عملکرد مطلوب خود را انجام دهد یک عامل اختلال نامیده می شود (لو، ۲۰۱۵).

اختلال در تسهیلات: یکی از مسائل بسیار مهم در زمان بندی ماشین آلات بحث احتمال اختلال در تسهیلات مورد استفاده می باشد. انتظار کارکرد صد در صدی از تسهیلات خط تولید در همه ی شرایط چندان منطقی نمی باشد. در برخی شرایط، تسهیلات مورد استفاده در خط تولید نمی توانند به دلیل ایجاد اختلالات، عملکرد ایده آل داشته باشند. در نظر نگرفتن این اختلالات احتمالی باعث دور شدن مدل از شرایط دنیای واقعی می شود.

عدم قطعیت: امروزه و در جهان پیشرفته و به شدت در حال رشد، عدم قطعیت جزو لاینفک تصمیمات مدیران سازمان ها می باشد. به عبارتی دیگر، پارامترها در دوره های زمانی کوتاهی تغییر پیدا می کنند. بنابراین تصمیم گیری برای یک بازه ی طولانی مدت امری غیر واقع بینانه و به عبارتی دیگر غیرمنطقی می باشد. عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مدل، خروجی های به دست آمده را بی کیفیت می کند و نتایج به دست آمده چندان قابل اطمینان نیستند. بنابراین، عدم قطعیتی که در پارامترهای مسئله وجود دارد باید تا حد زیادی در مدل دیده شود تا نتایج به دست آمده قابلیت اطمینان بیشتری پیدا کند (کاندس ۱۱ ، ۲۰۰۷).

هر تحقیق علمی به منظور دستیابی به هدف یا حل مشکلی خاص انجام می‌شود. دستیابی به اهداف تحقیق زمانی میسر می‌شود که جستجوی شناخت یا روش‌شناسی به شکل درست انجام شود. از این رو اتخاذ روش علمی تنها راه دستیابی به دستاوردهای علمی و قابل قبول خواهد بود. پژوهشگر برای انجام هر پژوهش باید بداند که راه‌های متعددی برای انجام تحقیق وجود دارد که وی می‌تواند از آنها استفاده نماید. به همین دلیل ضرورت دارد پژوهشگر به درستی این راه‌ها را بشناسد و مناسب‌ترین آنها را جهت انجام پژوهش خود به کار گیرد. روش تحقیق مجموعه‌ای از قواعد، ابزارها و راه‌های قابل اعتماد و نظام‌مند برای بررسی و شناخت واقعیت‌ها و کشف مجهولات و دستیابی به راه‌حل مسائل و مشکلات است (عزتی، ۱۳۷۶).

1 Zhu
2 Yumei
1 Processing set restriction
2 Eligibility Constraint
3 Machines eligibility
6 Leung
7 Yumei
8 Low
9 chung
10 Aguirre
11 Kandes

همچنین، این تحقیق بر اساس هدف، از نوع توسعه‌ای و ارزیابی و از لحاظ روش در زمره تحقیقات توصیفی از نوع مدل‌سازی ریاضی به شمار می‌رود.

محیط تولید در شرکت های صنعتی همواره با محدودیت های دسترسی به ماشین در سیستم‌های تولیدی رو برو هستند که به دو دسته، دسترسی معین و دسترسی نامعین تقسیم می‌شود(گائو، ۲۰۰۶). در حالت دسترسی معین، زمان شروع بازه عدم دسترسی در ابتدای برنامه‌ریزی مشخص می‌باشد. اما در حالت دسترسی نامعین، بازه عدم دسترسی در یک پنجره زمانی مشخص شروع می‌شود و زمان دقیق شروع آن، پس حل مساله و زمان‌بندی کارها تعیین می‌گردد. محدودیت دسترسی به ماشین در مساله زمان‌بندی، توسط آدیری و همکاران در سال ۱۹۸۹ بررسی شد. آن‌ها نشان دادند، مساله زمان‌بندی تک ماشینه با مشخص بودن دوره عدم دسترسی به ماشین از نوع NP-hard است. یزدانی و همکاران مساله زمان‌بندی تک ماشینه، با دوره‌های عدم دسترسی چندگانه و موعدهای تحویل متفاوت را مطالعه نمودند. آنها علاوه بر ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، به‌دلیل مشکلات محاسباتی برای مسائل بزرگ، یک روش جستجوی همسایگی متغیر نیز ارائه دادند. مساله زمان‌بندی ماشین‌های موازی با محدودیت دسترسی برای اولین بار توسط اشمیت (۱۹۸۴) و مساله زمان‌بندی جریان کارگاهی با محدودیت دسترسی برای اولین بار توسط لی (۱۹۹۷) معرفی گردید. گراوس و لی (۱۹۹۹) مساله زمان‌بندی تک‌ماشینه با محدودیت دسترسی نامعین را ارائه دادند. مساله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط براکر و اسچلای (۱۹۹۰) معرفی گردید. فتاحی، مهرآباد و جولای (۲۰۰۷) یک مدل MILP برای مساله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر ارائه نمودند. هدف آن‌ها کمینه سازی حداکثر زمان خاتمه بود. مهرآباد و فتاحی (۲۰۰۷) نیز، یک مدل ریاضی برای مساله کار کارگاهی منعطف ارائه نمودند. آن‌ها در مساله خود، زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی را در نظر گرفتند و برای حل آن از الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده کردند. روشنایی و همکاران (۲۰۱۳) به منظور بهبود مدل‌های ریاضی مطرح شده، دو مدل MILP ارائه دادند و با مدل‌های موجود مقایسه نمودند. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) مساله کار کارگاهی انعطاف‌پذیر را به صورت چندهدفه مطرح نمودند. آن‌ها اهداف کمینه سازی حداکثر زمان خاتمه، حداکثر بار کاری ماشین‌ها و مجموع بار کاری ماشین‌ها را در نظر گرفته و برای حل مساله مورد نظر از الگوریتم ازدحام ذرات استفاده نمودند. مساله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر با محدودیت دسترسی نامعین در سال ۲۰۰۶ توسط ژائو و همکاران معرفی گردید. آن‌ها مساله را به صورت چندهدفه و با اهداف، کمینه سازی حداکثر زمان خاتمه، حداکثر بار کاری ماشین‌ها و مجموع بار کاری ماشین‌ها مطرح نمودند. همانطور که مشاهده می شود، اکثر پژوهش ها در محیط تولیدی انعطاف پذیر تنها توجه خود را به مباحث برنامه ریزی تولید زودکرد و دیرکرد تولید معطوف نموده و فرض عدم خرابی ماشین ها در مدل ریاضی خود را همواره یدک می کشیدند. از این رو در این پژوهش یک مدل ریاضی چند هدفه با در نظر گرفتن زمانبندی تولید و پرسنل نیروی نگهداری و تعمیرات ارائه خواهد شد که ضمن کمینه سازی زودکرد و دیرکرد زمانبندی تولید، به زمانبندی نگهداری و تعمیرات پیش گیرانه نیز پرداخته و همچنین هزینه های تولیدی را بهینه سازی می نماید. از این رو محیط مورد ارزیابی یک محیط کارگاهی در شرکت تولیدی دلند الکتریک ارزیابی و تحلیل خواهد شد. از این رو فرضیات مدل ریاضی به شرح ذیل است:

محیط مورد مطالعه بصورت تولید کارگاهی می باشد.

ماشین های تولیدی در حین تولید دچار اختلالات نت اصلاحی شده که بصورت تابع احتمالی در هر یک از ماشین های تولیدی لحاظ می شود.

زمانبندی تولید و اجرای نت پیشگیرانه بدلیل ماهیت اجرایی دارای عدم قطعیت برتسیماس و سیم می باشد.

سیستم تولیدی موجود در کارخانه بصورت چند محصولی با زمان ورود نامنظم به سیستم در نظر گرفته شده است.

دستگاه های تولیدی در هر یک از ایستگاه های کاری بصورت نا مرتبط با یکدیگر فعالیت دارند.

پرسنل تولیدی و نگهداری و تعمیرات در فرایند های تولید و نت مشارکت یکپارچه دارند.

دستگاه های تولیدی برای تولید به واسطه مدت زمان اجرای فعالیتی که دارند دارای نمودار مصرف انرژی متفاوتی هستند.

فرایند تولید قطعات از قبل مشخص و برنامه ریزی شده است و تنها در سیستم تولیدی دستگاه های تولیدی انتخاب می شوند (مطابق با جدول از-به تولید فرایند تولید انجام می شود)

توالی عملیاتی در تولید مهم و کلیدی می باشد.

در هر مرحله تولیدی یا نگهداری پیشگیرانه رخ می دهد و یا اصلاحی (فرض شده است در صورتی که نت پیشگیرانه رخ دهد نت اصلاحی بوجود نیاید).

نتایج

با توجه به اهمیت برنامه ریزی تولید ادغامی سیستم های تولیدی از یک سو و اهمیت نگهداری و تعمیرات از سوی دیگر برای سیستم های تولیدی، در سال های اخیر مدل های مختلفی به صورت مجزا برای برنامه ریزی تولید ادغامی و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات ارائه شده است. جهت صحه گذای مدل ریاضی یک محیط کارگاهی در یک شرکت تولیدی کلید برق در نظر گرفته شده است که در فرایند تولید سه مرحله تزریق و ساخت قالب کلید و مرحله دوم مونتاژ قطعات بر روی یکدیگر و در مرحله سوم نیز تست کلیدها برنامه ریزی شده است.

از این رو در مراحل تولیدی سه گانه در نظر گرفته شده در هر بخش سه دستگاه تولیدی و اجرایی قرار داده شده است. در فرایند تولید نیز ۷ نفر بصورت مستقیم در فرایند تولید و نگهداری و تعمیرات تجهیزات حضور دارند.

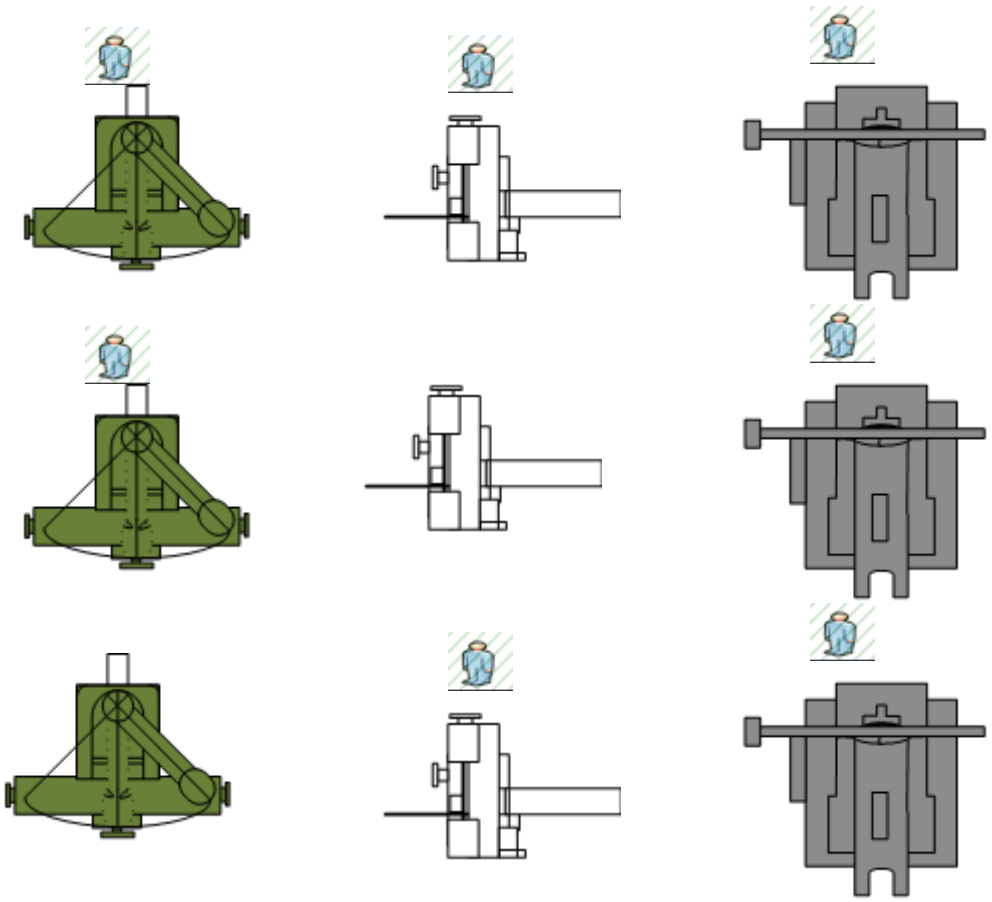
با توجه به فضای مساله مورد مطالعه چیدمان دستگاه ها و فرایند های تولید به شرح شکل ۱ برنامه ریزی شده است.

با توجه به چیدمان فضای تولیدی مد نظر، پارامتر های مساله مورد مطالعه در این شرکت به شرح شکل ۲ جمع آوری شده است.

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته حاصل از زمانسنجی قطعات در حین تولید و قطعات در دست تولید، نشان داده شده است که نرخ ورودی قطعات از تابع توزیع نمایی پیروی می نماید (شکل ۴-۳)

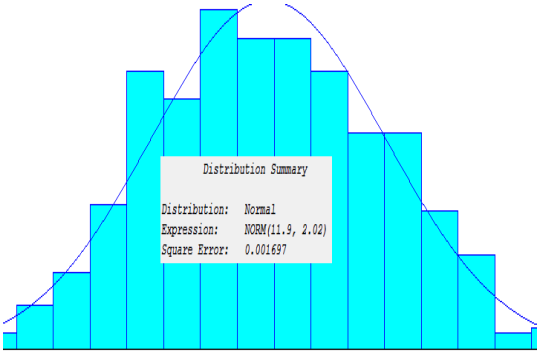
با توجه به زمانسنجی انجام شده بر روی تجهیزات تولیدی، مدت زمان تولید قطعات برای دستگاه های مختلف تولید و در مرحله بصورت مجزا از همدیگر زمانسنجی شده و تحلیل اطلاعات صورت پذیرفته است(شکل ۴).

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته و زمانسنجی انجام شده در نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه هر مرحله بصورت جداگانه زمانسنجی شده است از این رو مدت زمان نت پیشگیرانه برای مراحل مختلف به شرح شکل ۵ است.

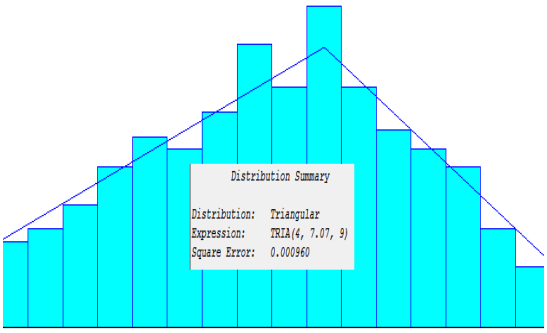


شکل ۱. چیدمان خطوط تولید و پرسنل عملیاتی و اجرایی

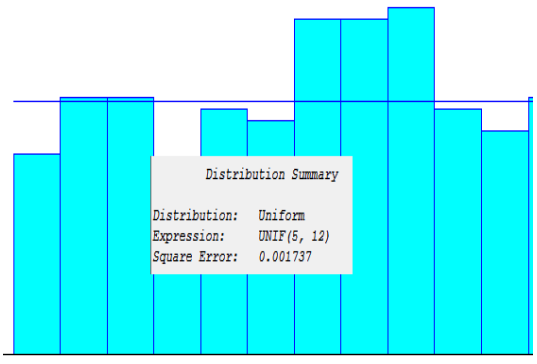
مدت زمان آماده سازی قطعه i در مرحله j روی تجهیز k



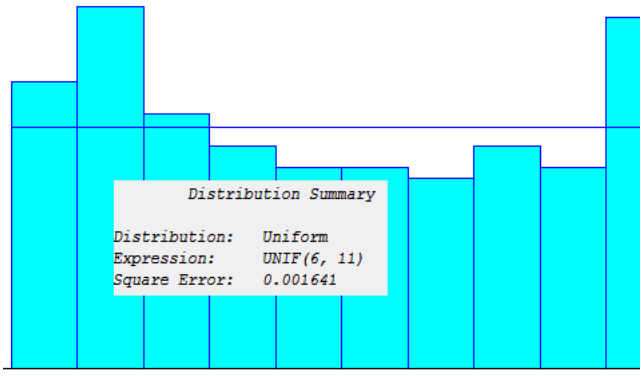
مدت زمان آماده سازی تجهیز ۱ در مرحله ۱



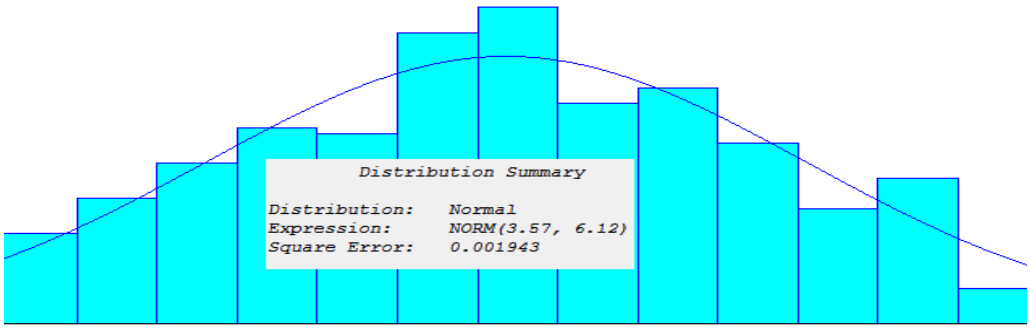
مدت زمان آماده سازی تجهیز ۲ و ۳ در مرحله ۱



مدت زمان آماده سازی تجهیز ۴و۵ در مرحله ۲



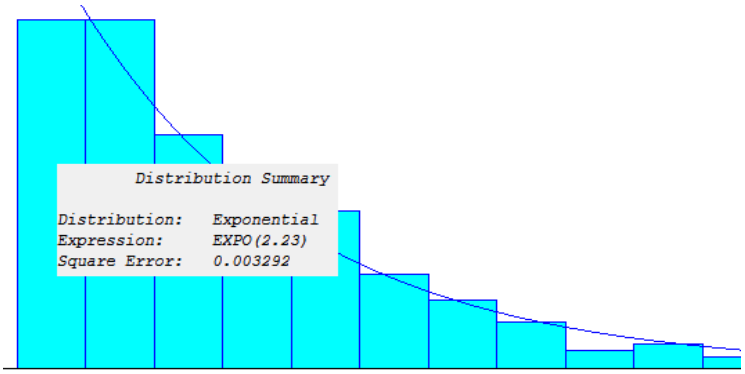
مدت زمان آماده سازی تجهیز ۶ در مرحله ۲



مدت زمان آماده سازی تجهیزات در مرحله ۳

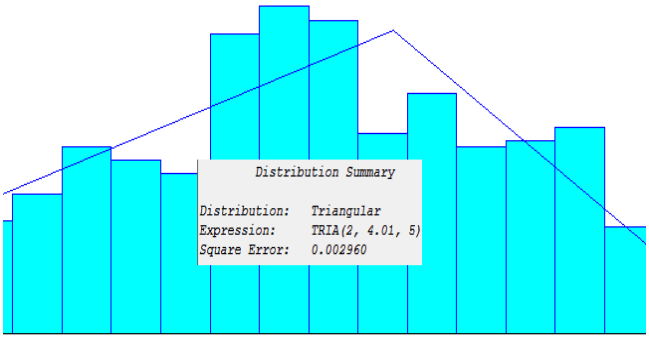
شکل ۲. مدت زمان آماده سازی قطعه i در مرحله j روی تجهیز k

زمان ورود قطعه i به مرحله j (زمانی که قطعه برای تولید وارد سیستم می شود)

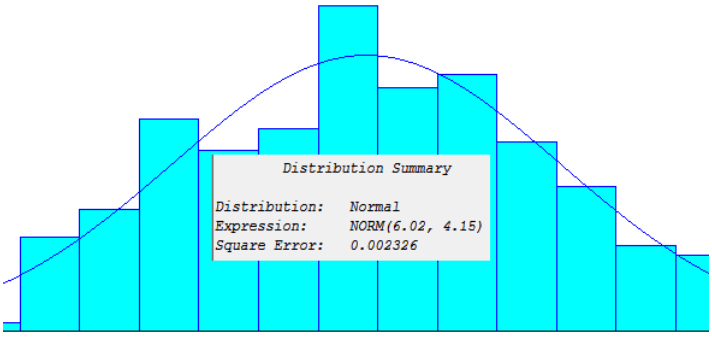


شکل ۳. نرخ ورودی قطعات به بخش های تولیدی

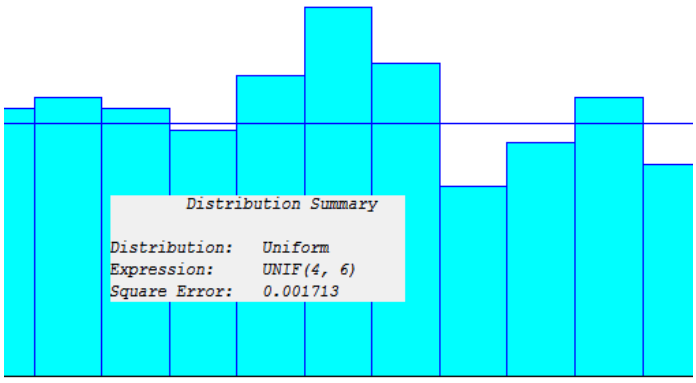
مدت زمان تولید قطعه i در مرحله j روی تجهیز k

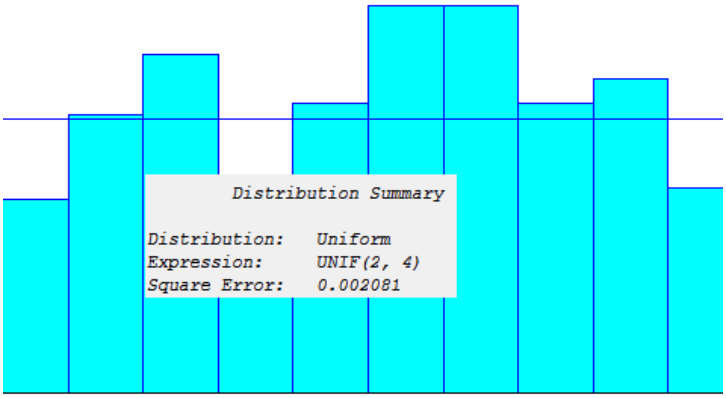


مدت زمان تولید تجهیز ۲ و ۳ در مرحله ۱

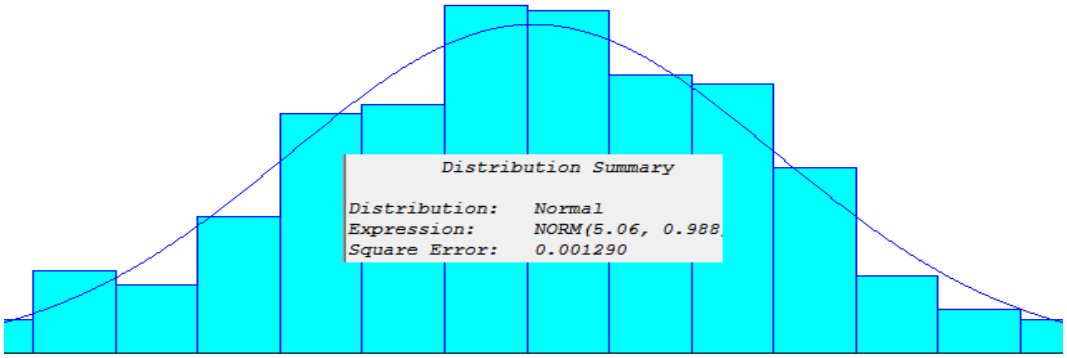


مدت زمان تولید تجهیز ۱ در مرحله ۱





مدت زمان تولید تجهیز ۴و۵ در مرحله ۲ مدت زمان تولید تجهیز ۶ در مرحله ۲

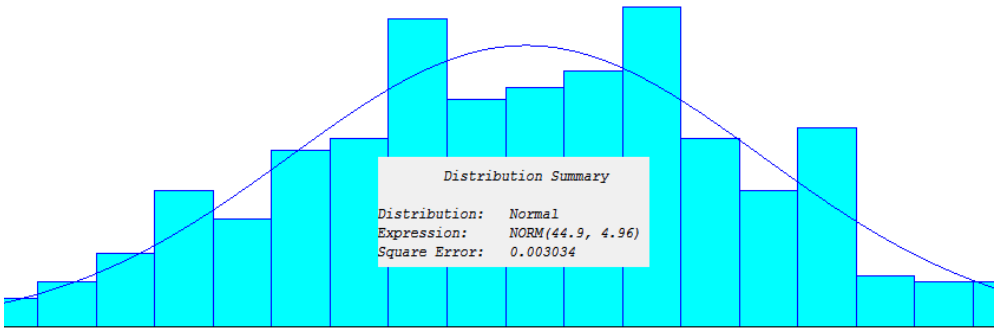


مدت زمان تولید تجهیزات در مرحله ۳

شکل ۴. مدت تولید سازی قطعه i در مرحله j روی تجهیز k

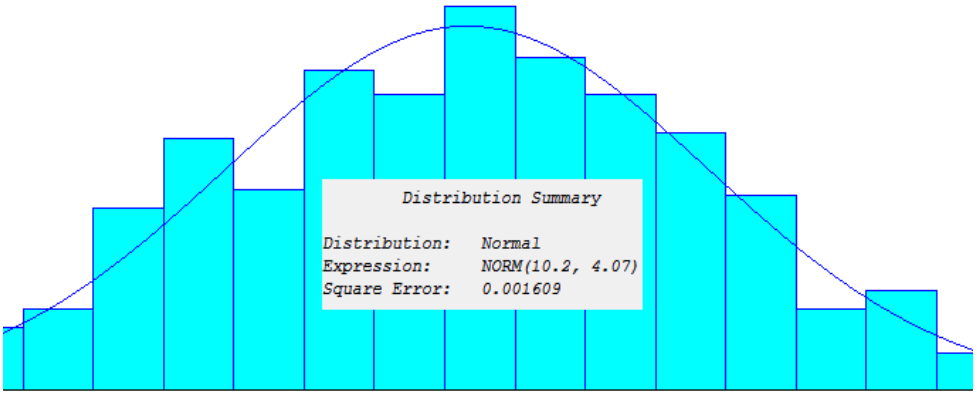
مدت زمان اجرای نگهداری تعمیرات پیشگیرانه توسط پرسنل p در مرحله j روی تجهیز k

مرحله اول:



شکل ۵. مدت زمان اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مرحله اول تولید

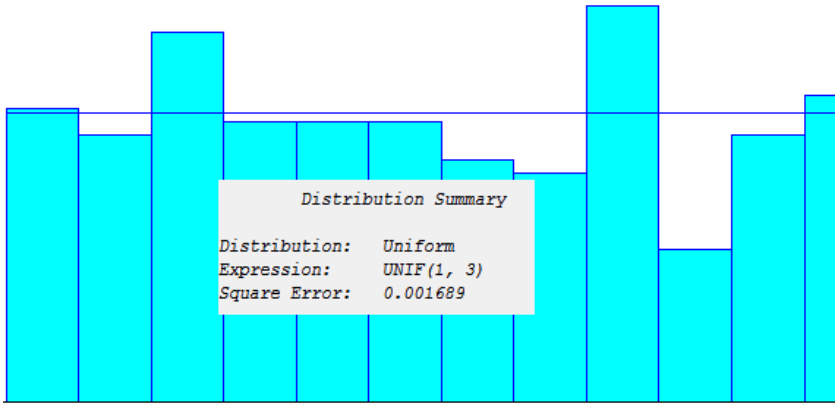
مرحله دوم:



شکل ۶. مدت زمان اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مرحله دوم تولید

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، نشان داده شده است که در مرحله دوم فرایند نت پیشگیرانه از توزیع نرمال با میانگین ۱۰ دقیقه و انحراف معیار ۴ دقیقه پیروی می نماید.

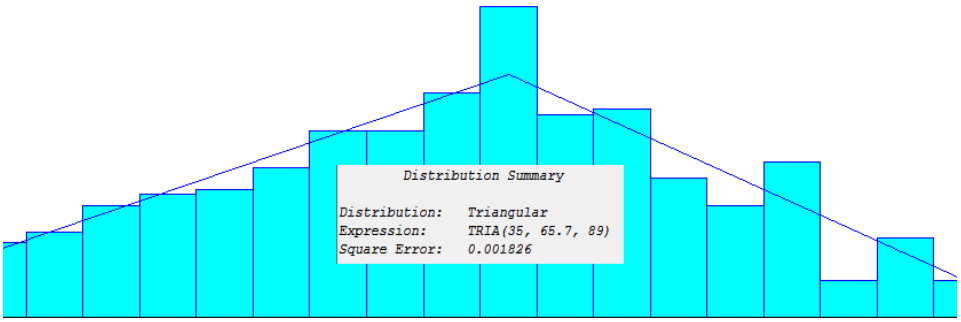
مرحله سوم:



شکل ۷. مدت زمان اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مرحله سوم تولید

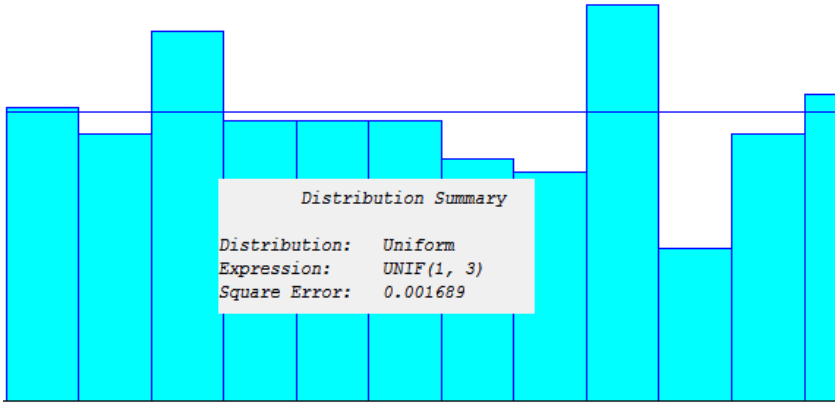
مدت زمان اجرای تعمیرات اصلاحی توسط پرسنل p در مرحله j روی تجهیز k

مرحله اول:



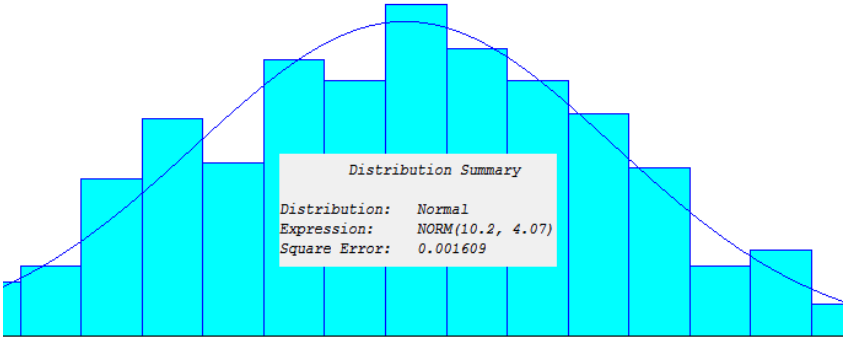
شکل ۸. مدت زمان اجرای نگهداری و تعمیرات اصلاحی مرحله اول تولید

مرحله دوم:

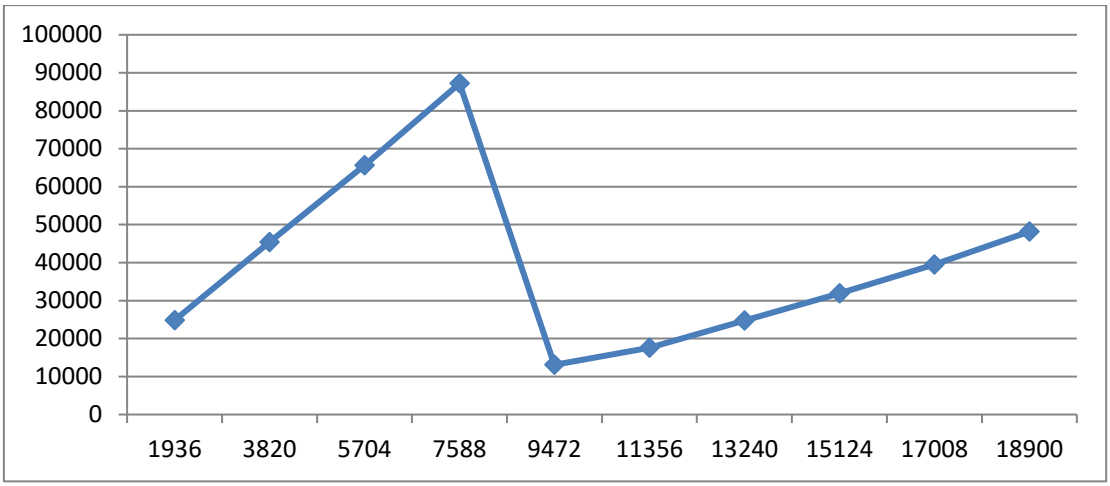


شکل ۹. مدت زمان اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مرحله دوم تولید

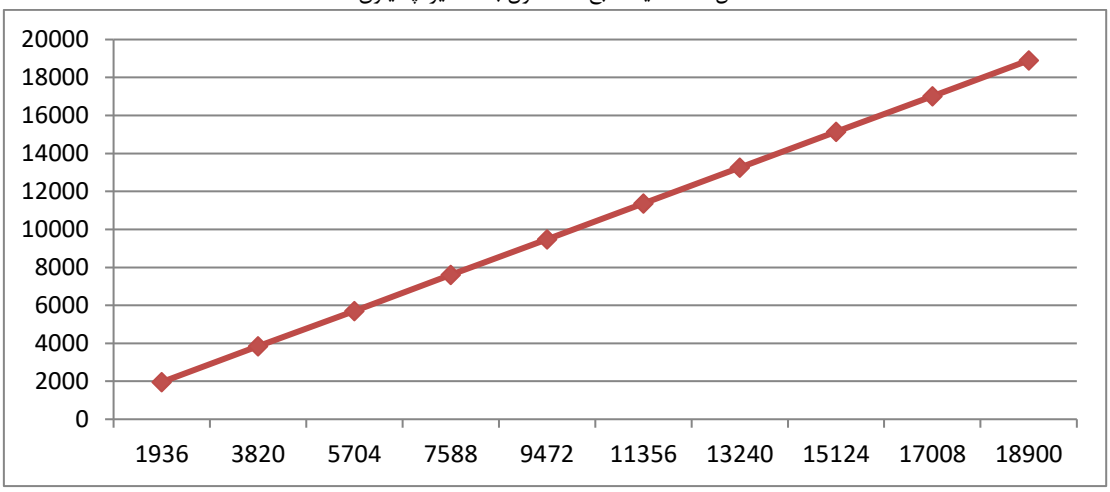
مرحله سوم:



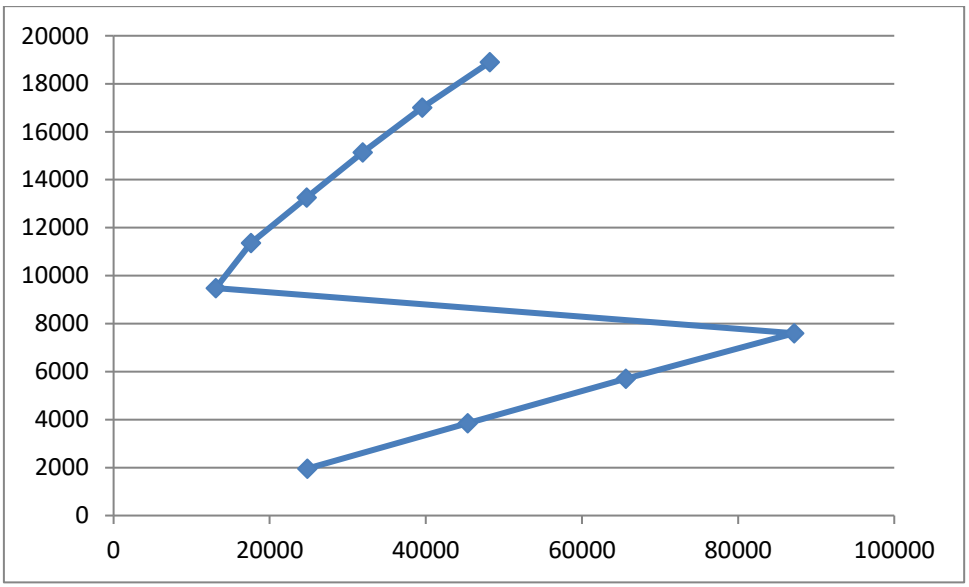
شکل ۱۰. مدت زمان اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مرحله سوم تولید



شکل ۱۱. نسیت تابع هدف اول به مقادیر اپسیلون



شکل ۱۲. نسیت تابع هدف دوم به مقادیر اپسیلون



شکل ۱۳. جبهه پارتوی جواب های بهینه مدل ریاضی

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، در شکل ۶ نشان داده شده است که در مرحله اول فرایند نت پیشگیرانه از توزیع نرمال با میانگین ۴۵ دقیقه و انحراف معیار ۵ دقیقه پیروی می نماید.

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، در شکل ۸ نشان داده شده است که در مرحله دوم فرایند نت پیشگیرانه از توزیع یکنواخت با میانگین ۲ دقیقه انجام می شود.

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، در شکل ۹ نشان داده شده است که در مرحله اول فرایند نت اصلاحی از توزیع مثلثی با حد پایین ۳۵ دقیقه و حد وسط ۶۵ دقیقه و حد بالای ۹۰ دقیقه این فرایند انجام می شود.

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، در شکل ۱۰ نشان داده شده است که در مرحله دوم فرایند نت اصلاحی از توزیع یکنواخت با میانگین ۲ دقیقه انجام می شود.

با توجه به ارزیابی صورت پذیرفته، نشان داده شده است که در مرحله دوم فرایند نت اصلاحی از توزیع نرمال با میانگین ۱۰ دقیقه و انحراف معیار ۴ دقیقه پیروی می نماید.

همچنین هزینه های تولید بر اساس زمانبندی تولید به ازای هر دقیقه فعالیت ۱۵۰.۰۰۰ تومان محاسبه شده است.

از این رو با توجه به پارامتر های ورودی مساله مورد مطالعه، ارزیابی توابع اهداف از طریق روش ابتکاری اپسیلون محدودیت انجام شده است.

روش محدودیت اپسیلون تقویت شده جواب های بهینه کارآمد پارتو را ارائه می کند.در روش محدودیت اپسیلون یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می شود تا بهینه سازی شود در حالی که تابع هدف دیگر به عنوان محدودیت در مدل قرار می گیرد. مدل محدودیت اپسیلون تقویت شده را میتوان مطابق رابطه زیر نمایش داد:

$$Min/Max(f_1(x) + \vartheta * \left(\frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + \cdots + \frac{s_i}{r_i} \ldots + \frac{s_n}{r_n}\right))$$

St :

$f_2(x) - s_2 = \varepsilon_2$
$f_3(x) - s_3 = \varepsilon_3$
....
$i \in [2, n]$
$s_i \in R^+$

طبق رابطه فوق راه حل های بهینه پارتو بدست می آیند.که در آن ri دامنه تابع هدف i ام ، ϑ یک عدد کوچک بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۰۰۰۱. و Si یک متغیر اضافی غیر منفی هستند. ابتدا مقدار NIS_{fi} (بدترین مقدار) و PIS_{fi} (بهترین مقدار) برای هر تابع هدف بدست آورده می شوند،سپس مقدار دامنه تابع هدف iام طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$r_i = PIS_{fi} - NIS_{fi}$

بعد از آن r_i به بازه های برابر l_i تقسیم می شود.سپس l_i+1 نقطه بدست آورده می شوند که طبق رابطه زیر مقدار اپسیلون ها بر اساس این نقاط Grid) (point بدست آورده می شود.در این روش به ازای تمام اپسیلون های بدست آمده مدل باید حل شود که طبق رابطه، η شماره نقاط (Grid point) بدست آمده است.

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{fi} + \frac{r_i}{l_i} * \eta$$

حال پس از کد نویسی در گمز ابتدا نتایج بدست آمده به صورت زیر ارائه می شود:

درنهایت مقادیر زیر برای هریک از متغیرها بدست آمده است:

r2	۱۸۸۴ ۸
Li	۱۰
NIS2	۵۲
PISF2	۱۸۹۰ ۰
ϑ	0.000 1

سپس با استفاده از رابطه زیر

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{fi} + \frac{r_i}{l_i} * \eta$$

مقدار اپسیلون ها را بدست آوردیم.

ε
۱۹۳۶
۳۸۲۰
۵۷۰۴
۷۵۸۸
۹۴۷۲
۱۱۳۵۶
۱۳۲۴۰
۱۵۱۲۴
۱۷۰۰۸
۱۸۹۰۰

در نهایت مدل اپسیلون تقویت شده را با استفاده از نرم افزار گمز برای هر یک از اپسیلون ها بدست آمده حل کردیم. مجموعه جواب های بهینه پارتو بدست آمده مطابق جدول زیر است:

میزان تابع هدف دوم	میزان تابع هدف اول	ε
۱۹۵۸	۲۴۸۲۱	۱۹۳۶
۳۸۵۰	۴۵۳۷۶	۳۸۲۰
۵۷۰۵	۶۵۶۲۶	۵۷۰۴
۷۵۹۷	۸۷۱۸۱	۷۵۸۸
۹۴۷۸	۱۳۰۹۱	۹۴۷۲
۱۱۳۶۳	۱۷۵۸۷	۱۱۳۵۶
۱۳۲۵۳	۲۴۷۴۱	۱۳۲۴۰
۱۵۱۴۴	۳۱۸۹۵	۱۵۱۲۴
۱۷۰۰۹	۳۹۵۱۸	۱۷۰۰۸
۱۸۹۰۰	۴۸۲۰۵	۱۸۹۰۰

نمودار پارتو نیز به صورت شکل ۱۱ و ۱۲ بدست می آید.

همانطور که مشاهده میگردد نسبت تابع هدف اول به مقادیر اپسیلون نشان داده است که در تابع هدف اول اثر شکست در فرایند بهینه سازی رخ داده است و با توجه به تحلیل صورت پذیرفته در این بعد نشان داده شده است که در ایت بعد خرابی اصلاحی به میزان کمترین مقدار خود رخ داده و سبب این شکست شده است و تابع هدف دوم نیز روند یکسانی را مطابق با

افزایش مقادیر اپسیلون داشته است. از این رو جبهه پارتوی جواب های بهینه به شرح شکل ۱۳ می باشد.

نتیجه گیری

در صنایع و سیستم های تولیدی، زمان در دسترس بودن ماشین ها به دلیل عواملی چون انجام فعالیت های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اضطراری، تعویض ابزار، خرابی های نامعین، همپوشانی افق های برنامه ریزی و غیره محدود می شود. بنابراین در دنیای واقعی ماشین ها به طور پیوسته در دسترس نمی باشند. خرابی های نامعین باعث کاهش میزان قطعیت در برنامه ریزی کارگاه شده و بدین ترتیب از کارایی و اثربخشی سیستم تولید می کاهند. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، تعویض به موقع ابزار و بازرسی های دوره ای میزان این خرابی ها را کاهش داده و بدین ترتیب اتلاف زمان در سیستم تولید را کاهش می دهد. همچنین به دلیل عدم زمانبندی همزمان کارها و فعالیتهای مربوط به نگهداری و تعمیرات، گاهاً ماشین ها در انتظار انجام بازرسی و نگهداری و تعمیرات بوده و یک سری از کارها در صف انتظار برای پردازش توسط این ماشینها قرار دارند. بنابراین برای نزدیکتر شدن به شرایط واقعی تولید، در نظر گرفتن محدودیت دسترسی به عنوان یکی از محدودیت های مسائل زمانبندی از اهمیت بالایی برخوردار است. در یک مسأله زمانبندی با محدودیت دسترسی انعطاف پذیر و اثر زوال که در آن به علت زوال و فرسودگی ماشین ها یا هر عواملی که کارایی تولید را به نحوی پایین می آورد و باعث افزایش زمان واقعی پردازش کارها می شود، می توان جهت بهبود تابع هدف، در عوض افزایش مدت زمان دوره عدم دسترسی جهت انجام فعالیت های اصلاحی یا تعمیراتی روی ماشین، از افزایش زمان واقعی پردازش کارها جلوگیری کرد. بدین ترتیب تعداد و مدت زمان بهینه فعالیت های نگهداری و تعمیرات را به گونه ای پیدا کرد که تابع هدف اصلی مسأله بهینه شود.

مراجع

[1] T. Saitoh, K. Hirose, High-accuracy bench mark solutions to natural convection in a square cavity, *Comput Mech*, Vol. 4, pp. 417-427, 1989.

[2] G. De vahl davise, Natural convection of air in a square cavity: A bench mark numerical solution, *Int. J. Numerical Method*, Vol. 3, pp. 249-264, 1983.

[3] H. Nakamura, Y. Asoko, T. Naitou, Heat transfer by free convection between two parallel flat plates, *Numerical Heat Transfer*, Vol. 5, pp. 39-58, 1982.

[4] A. Malekpour, B. Ghasemi, Magnetic field effect on natural convection in a nanofluid-filled triangular enclosure, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 13, No. 3, pp. 10-21, 2013. (In Persian)

[5] S. Karimi, B. Ghasemi, Water-alumina natural convection heat transfer in an inclined L shape cavity, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 13, No. 2, pp. 133-144, 2013. (In Persian)

[6] M. El alami, M. Najam, E. Semma, A. Oubarra, F. Penot, Chimney effect in a ‘‘T’’ form cavity with heated isothermal blocks: The blocks height effect, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 55, pp. 3181-3191, 2004.

[7] A. Mezrhab, S. Amraqui, C. Abid, Magnetic field effect on natural convection in a nanofluid-filled square enclosure, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 31, pp. 83-92, 2010.

[8] G. Lock, J. Sh. Fu, Natural convection in theinclined cranked thermosyphon, *J Heat Transfer*, Vol. 115, pp. 167-172, 1993.

[9] S. H. Tasnim, S. Mahmud, Laminar free convection inside an inclined L-shaped enclosure, *International Communications in Heatand Mass Transfer*, Vol. 33, pp. 936-942, 2006.

[10] M. Rahman, M. A. R. Sharif, Numarical study of laminar natural convection in inclined rectangular enclosures of various aspect ratios, *J Numerical Heat Transfer*, Vol. 44, pp. 355-373, 2003.

[11] S. M. Aminossadati, B. Ghasemi, The effects of orientation of an Inclined enclosure on laminar natural convection, *Heat and Technology*, Vol. 23, No. 2, pp. 43-49, 2005.

[12] S. Kumar, S. K. Prasad, J. Banerjee, Analysis of flow and thermal field in nanofluid using a single phase thermal dispersion model, *Appl. Math. Model*. Vol. 34, pp. 573–592, 2010.

[13] S. M. Aminossadati, B. Ghasemi, Natural convection cooling of a localized heat source atthe bottom of a nanofluid-filled enclosure, *Eur. J. Mech. B Fluids*, Vol. 28, pp. 630-640, 2009.

[14] M. Mahmoodi, S. M. Hashemi, Numerical study of natural convection of a nanofluid in C-shaped enclosures, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 55, pp. 76-89, 2012.

[15] B. Xu, B. Q. Li, D. E. Stock, N. Nithyadevi, An experimental study of thermally induced convection of molten gallium in magnetic fields, *Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49, pp. 2009-2019, 2006.

[16] N. Rudraiah, R. M. Barron, M. Venkatachalappa, C. K. Subbaraya, Effect of a magnetic field on free convection in a rectangular enclosure, *Int. J. Engng Sci*., Vol. 33, No. 8, pp. 1075-84, 1995.

[17] M. A. A. Hamad, I. Pop, A. I. M. Ismail, Magnetic field effects on free convection flow of a nanofluid past a vertical semi-infinite flat plate, *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, Vol. 12, pp. 1338–1346, 2011.

[18] A. Gavili, F. Zabihi, T. D. Isfahani, J. Sabbaghzadeh, The thermal conductivity of water base ferrofluids under magnetic field, *Experimental Thermal and Fluid Science,* Vol. 41, pp. 94–98, 2012.

[19] A. H. Mahmoudi, I. Pop, M. Shahi, F. Talebi, MHD natural convection and entropy generation in a trapezoidal enclosure using Cu–water nanofluid, *Computers & Fluids*, Vol. 72, pp. 46-62, 2013.

[20] S. M. Aminossadati, B. Ghasemi, Natural convection cooling of a localised heat source at the bottom of a nanofluid-filled enclosure, *European Journal of Mechanics B/Fluids*, Vol. 28, pp. 630–640, 2009.

[21] H. E. Patel, T. Sundararajan, T. Pradeep, A. Dasgupta, N. Dasgupta, S. K. Das, A micro-convection model for thermal conductivity of nanofluids, *Pramana, J. Phys*, Vol. 65, pp. 863-869, 2005.

[22] A. K. Santra, S. Sen, N. Chakraborty, Study of heat transfer due to laminar flow of copper-water nanofluid through two isothermally heated parallel plates, *Int. J. Therm. Sci*, Vol. 48, pp. 391-400, 2009.

[23] S. V. Patankar, Numerical heat transfer and fluid Flow, Hemisphere, D. C. Washington, 1980.

[24] K. Khanafer, K. Vafi, M. Lightstone, Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids, Int. *J. Heat Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 3639-3953, 2003.

[25] G. Barakos, E. Mitoulis, Natural convection flow in a square cavity revisited: laminar and turbulent models with wall functions, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, Vol. 18, pp. 695-719, 1994.

[26] N. C. Markatos, K. A. Pericleous, Laminar and turbulent natural convection in an enclosed cavity, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 27, pp. 772-775, 1984.

[27] M. Pirmohammadi, M. Ghassemi, Effect of magnetic field on convection heat transfer Inside a tilted square enclosure, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, pp. 776-780, 2009.