Applied Research in Sustainable Industry Management
Original Research Article/ Vol.۰۱, No.۰۲, Summer ۲۰۲٤, P:۱-۲۳

The multi-objective model of workshop production flow scheduling considering machine preparation times

Mohammad Hossein Darvish Motevalli [*], Majid Motamedi[**]

Received:۲۰۲٤/۰۳/۲٤ Accepted: ۲۰۲٤/۰۸/۱۵

Introduction:
The main goal of this research is to present a multi-objective model for the scheduling problem with the aim of minimizing energy consumption and maximizing product reliability and quality, and ultimately production efficiency.
Methodology:
This research is applied research in terms of its purpose. The purpose of applied research is to develop applied knowledge in a specific field. In this research, the desired information was collected by library method and using past articles and researches. Games software was used for the intended problem and problem solving according to the used model. In this research, in order to produce a product, the production process was divided into different activities. There are also a number of machines available that can be used to perform activities. Then, the mathematical model of the problem, which includes sets, parameters, decision variables, objective function and constraints, was examined.
Results and Discussion:
In order to check the correctness of the presented mathematical model, a random numerical example was presented and solved. For sensitivity analysis, the effect of different parameters on the values of the objective function was evaluated. The presented model has the ability to assign each activity to the machines, order the activities to be performed by each machine, assign the activity mode for each activity, and also allocate resources to the machines. In order to investigate the problem-solving time, different and random examples were presented in different dimensions of the problem and the results showed that as the dimensions of the problem increased, the time to solve the problem with GEMS software increased exponentially and from a certain stage, the problem became unsolvable.
Conclusion:
The results showed that the presented model has the ability to reduce the total production time and the presented model can be used for workshop production units.

Keywords:
Production planning, scheduling, workshop production, allocation
JEL Classification: **C٦١, M١١**

[*] Department of Industrial Management, west Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[**] Department of Management, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran. (Cross ponding Author), email: moatamedi.m@gmail.com

نشریه علمی پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار

مدل چند هدفه زمانبندی جریان تولید کارگاهی با در نظر گرفتن زمان‌های آماده‌سازی ماشین‌ها

محمد حسین درویش متولی [*]، **مجید معتمدی** [**]

تاریخ دریافت: ۰۱/۰۵/ ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

چکیده

یکی از این وظایف که مدیریت تولید جهت رسیدن به اهداف سازمان باید مدنظر قرار دهد برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی است. هدف اصلی این پژوهش ارایه یک مدل چند هدفه برای مسئله‌ی زمان‌بندی با هدف کمینه سازی مصرف انرژی و حداکثرسازی قابلیت اطمینان و کیفیت محصول و در نهایت بهره‌وری تولید است. برای حل مدل ریاضی ارایه شده از نرم افزار گمز استفاده شد. در مدل ریاضی فرض بر آن است که به منظور تولید یک محصول، فرآیند تولید شامل فعالیت‌های مختلفی است. هم‌چنین تعدادی ماشین در دسترس است که فعالیت‌ها می‌توانند توسط این ماشین‌ها انجام شوند. به منظور بررسی درستی مدل ریاضی ارائه شده یک مثال عددی تصادفی ارائه و حل شد. برای تحلیل حساسیت، تاثیر پارامترهای مختلف، بر مقادیر تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل ارایه شده توانایی تخصیص هر فعالیت به ماشین‌ها، ترتیب انجام فعالیت‌ها توسط هر ماشین، تخصیص حالت انجام فعالیت برای هر فعالیت و هم‌چنین تخصیص منابع به ماشین‌ها را دارد. به منظور بررسی زمان حل مسئله، مثال های مختلف و تصادفی در ابعاد مختلف مسئله ارائه شده و نتایج نشان داد که با بزرگ شدن ابعاد مسئله، زمان حل مسئله با نرم افزار گمز به صورت نمایی افزایش یافته و از مرحله خاصی، مسئله غیر قابل حل گردید. نتایج نشان داد که مدل ارایه شده توانایی کاهش زمان کل تولید را دارد و مدل ارایه شده می‌تواند برای واحدهای تولید کارگاهی قابل استفاده باشد.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، زمان‌بندی، تولید کارگاهی، تخصیص

طبقه‌بندی JEL: C٦١, M١١

[*] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: mhd.darvish@gmail.com

[**] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: Mmoatamedy@gmail.com

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی مستمر در همه واحدهای تولیدی از جمله در واحدهای تولیدی صنعتی نیازمند اتخاذ تدابیر و راه‌حل‌های گوناگون و مستمر است. مدیران شرکت‌های تولیدی باید وظایف گوناگونی را انجام دهند تا بتوانند شرکت خود را هدایت و رهبری و کنترل کنند (لیو و همکاران[۱]، ۲۰۱۸). یکی از این وظایف که مدیریت تولید جهت رسیدن به اهداف سازمان باید مدنظر قرار دهد برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی است. زمانبندی عبارت است از تخصیص منابع برای انجام مجموعه‌ای از کارها در طول زمان. خروجی زمانبندی، یک برنامه زمانی است که در آن نقاط زمانی آغاز و پایان انجام هر کار و منابع تخصیص یافته برای انجام آن مشخص میشود (کامران و بهنامیان، ۱۴۰۲). نظر به اینکه زمان همواره به عنوان یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌های بشر مطرح بوده است، زمانبندی بهینه کارها و فعالیت‌ها به‌منظور بهره‌گیری مؤثر از منابع محدود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۵). در دهه‌های اخیر همزمان با افزایش مستمر تنوع محصولات، کاهش اندازه سفارشات و کوتاه شدن زمان‌های تحویل مسأله زمان‌بندی اهمیت بیشتری یافته است (ارلینگ، ۲۰۱۰). مسائل زمان‌بندی به یافتن نحوه استفاده بهینه از منابع در دسترس جهت تولید و تأمین تقاضای بازار می‌پردازند. این مسائل در فضای رقابتی امروز ی و باتوجه به پیچیدگی عوامل بیرونی و درونی مؤثر بر هزینه‌های ساخت و تولید، اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند. تأثیر نقش زمان‌بندی در افزایش راندمان و بهره وری منابع تولید در راستای تأمین منافع تولیدکننده از یک سو و تولید و تأمین به‌موقع تقاضاها در راستای تحقق انتظارات و رضایت مشتریان از سوی دیگر، موجب شده تا محققین در سال‌های اخیر توجه بیشتری به بررسی و حل این گروه از مسائل بهینه‌سازی داشته باشند (دانش آموز و همکاران، ۱۳۹۹). به طور سنتی، مسائل زمان‌بندی به صورت مسائل بهینه‌سازی محدودیت‌دار به ویژه مسائل مربوط به تخصیص منابع و توالی عملیات مورد بررسی قرار گرفته است. در پارهای از موارد مسائل زمان‌بندی تنها مربوط به تخصیص منابع است و در این حاالت مدل‌های برنامه ریزی ریاضی معموالا می‌تواند برای تعیین تصمیمات در زمینه تخصیص منابع بهینه مورد استفاده قرار گیرد (زیاری و کیا، ۱۳۹۴). زمان بندی تولید کارگاهی یکی از مسائل مهم در حوزه مدیریت تولید و بهینه‌سازی ترکیبی است. در این مسئله n کار و m ماشین وجود دارد که پردازش هر کار i شامل n_i عملیات است و باید روی ماشین‌ها پردازش شوند. هدف این مسئله پیدا کردن

۱ -Liu et al

مناسب‌ترین توالی عملیات روی ماشین‌ها برای بهینه کردن یک یا چند معیار عملکرد است. حداکثر زمان تکمیل کارها، زمان مورد نیاز برای تکمیل همه کارها است و یکی از معیارهای عملکرد متداول برای زمان‌بندی تولید کارگاهی است (مختاری و ابوالفتحی، ۱۳۹۹). مسئله زمان-بندی تولید کارگاهی انعطاف پذیر تعمیمی از مسئله زمان بندی تولید کارگاهی و پیچیده‌تر از آن است. این مسئله، تقریبی نزدیکتر برای روبرو شدن با سیستم تولید واقعی است که معمولا پردازش یک عملیات روی چندین ماشین از مجموعه ماشین‌ها امکان‌پذیر است و شامل دو زیر مسئله‌ی تخصیص هر عملیات به یک ماشین از بین ماشین‌های مستعد و تعیین توالی عملیات تخصیص یافته به ماشین‌ها است (یزدانی و همکاران، ۲۰۱۵). زمان‌بندی در صنعت اهداف مختلفی دارد و محققین نیز توابع هدف متنوعی همانند حداقل‌سازی زمان اتمام کارها، میانگین و کل تأخیر و غیره را برای مسائل زمان‌بندی تولید در نظر می‌گیرند. در این بین معیار حداکثر زمان انجام کارها بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است (مختاری و ابوالفتحی، ۱۳۹۹). در بیشتر مدل‌ها برای برنامه‌ریزی تولید به خصوص مسائل زمان‌بندی و اندازه دسته تولید، تابع هدف حداقل کردن هزینه‌ها می‌باشد (زیاری و کیا، ۱۳۹۴). بدون شک شناخت عواملی مانند؛ کیفیت تولید و میزان مصرف انرژی در تولید؛ می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد زیرا می‌توان بر اساس شناخت این عوامل و دانستن اولویت آنها فرایند انجام تصمیم‌گیری تولید را به طور قابل ملاحظه-ای بهبود بخشید (زنگ و همکاران[۱]، ۲۰۲۰). با توجه به اینکه واحدهای تولیدی، یکی از مهم-ترین ارکان اقتصاد یک جامعه محسوب می‌شوند (تانگ و همکاران[۲]، ۲۰۱۷)، بدیهی است که هر گونه نقص در زمینه برنامه‌ریزی مرتبط با کیفیت محصولات و میزان دست‌یابی به بهره‌وری، می‌تواند منجر به تصمیمات ضعیفی گردد که تبعات زیان‌باری برای جامعه داشته باشد (میگال و همکاران[۳]، ۲۰۲۱). همچنین در میان عوامل تولید، عامل مصرف انرژی به عنوان هماهنگ کننده سایر عوامل شناخته می‌شود. امروزه واحدهای تولیدی؛ برای حفظ خویش در دنیای متغیر کنونی در تلاش طاقت فرسایی به سر می‌برند. این تلاش و کوشش در برگیرنده رشد و هماهنگی با تغییرات بازار، بهسازی کیفیت محصولات و حفظ تعادل در ارتباط با قابلیت اطمینان و میزان مصرف انرژی است (میگال و همکاران[۴]، ۲۰۲۱). با توجه به مطالب بیان شده؛ در این تحقیق،

۱ -Zheng et al

۲ -Tang et al

۳ -Miguel et al

٤ -Miguel et al

یک مدل چند هدفه برای مسئله‌ی زمان‌بندی با هدف کمینه سازی مصرف انرژی و حداکثرسازی قابلیت اطمینان و کیفیت محصول و در نهایت بهره‌وری تولید ارایه گشته است.

۲. مروری بر ادبیات

مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی اولین بار توسط براکر (۱۹۷۴) و مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر، اولین بار توسط براکر و شلی (۱۹۹۰) مطرح شد. کشاورز و رفیعی پارسا (۱۴۰۰)، مساله زمان‌بندی تولید به‌هنگام در یک ماشین پردازنده انباشته را مورد بررسی قرار دادند. مختاری و ابوالفتحی (۱۳۹۹)، یک مساله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر با منابع دوگانه‌ی محدود و اهداف لکزیکوگراف ارایه نمودند. دانش آموز و همکاران (۱۳۹۹)، یک الگوریتم شاخه و کران برای حل مسأله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر همراه با یک مرحله‌ی مونتاژ ارایه نمودند. زیاری و کیا (۱۳۹۴)، یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل همزمان مسئله زمان‌بندی تک ماشین و تعیین اندازه دسته تولید چند دوره‌ای با هزینه‌های زودکرد و دیرکرد ارایه نمودند. لای و لی (۲۰۱۰)، مسأله زمان‌بندی تک ماشینه با تابع غیرخطی که در آن خرابی برای کارها مجاز بود ارائه کردند. موسوی و همکاران (۲۰۲۴)، یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط برای به حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره تامین، از جمله راه اندازی و آماده سازی انبارها، حمل و نقل بین سطوح انتقال، و نگهداری محصولات ارائه دادند. توکلی مقدم و میرشکاری (۲۰۰۵)، مسأله زمان‌بندی تک ماشینه با معیار چندگانه را با هدف حداقل‌سازی کارهای دارای تاخیر برای افزایش رضایت مشتری ارایه نمودند. میر (۲۰۰۰) مسأله زمان‌بندی و اندازه دسته تولید را در توزیع کردن توالی وابسته به زمان‌های راه اندازی به طور هم‌زمان توسعه داد. کماتس (۲۰۱۵)، رابطه بین اجزای قابلیت اطمینان یعنی سرمایه فیزیکی، ساختاری و انسانی با معیارهای سنتی قابلیت اطمینان شرکت از قبیل سودآوری، بهره‌وری و ارزش بازار را بررسی کرد. نتایج نشان داد که قابلیت اطمینان تاثیر زیادی بر روی سودآوری و بهره‌وری واحدهای مورد بررسی داشت. پیرس و همکاران (۲۰۲۳) یک رویکرد توصیه مبتنی بر اعتماد را با استفاده از تکنیک یادگیری تقویتی همراه با معیارهای شباهت پیشنهاد کردند. این رویکرد به طور تجربی با انجام توصیه‌های دقیق در یک مطالعه موردی صنعتی خط مونتاژ بسته باتری تأیید شد. نتایج نشان‌دهنده پیشرفت‌هایی در مدل پیشنهادی در مورد دقت پیش‌بینی در مورد رتبه‌بندی کاربر سناریوهای توصیه‌شده نسبت به رویکردهای توصیه‌های پیشرفته، به ویژه در سناریوها پراکندگی داده‌ها است. در مطالعه دینگ و همکاران (۲۰۲۳) یک مطالعه عددی برای ارزیابی عملکرد انجام شده است. با توجه به نتایج، بهبود بیش از ۷۰٪ در کاهش تاخیر کار و کاهش متوسط ۱۶٫۱٪ در زمان بیکاری میز قالب نسبت

به دو روش سنتی به دست آمده است. تجزیه و تحلیل حساسیت برای بررسی اثرات نوسانات در زمان عملیات و تعداد جداول قالب انجام شد. روش پیشنهادی شکاف در PSE تولید پیش ساخته با موقعیت ثابت را پر می‌کند و کاربرد مکانیسم تصمیم‌گیری را در پروژه‌های ساخت و ساز واقعی افزایش می‌دهد. مسأله زمان‌بندی هم زمان در محیط کارگاه کاری و مونتاژ با درنظر گرفتن عملیات نگهداری و تعمیرات توسط حسینی (۲۰۱۹) مورد مطالعه قرار گرفت؛ که در این تحقیق محدودیت دسترسی به ماشین آلات را به این مسأله اضافه کرده است. در مطالعه دنگ مینگ و همکاران (۲۰۲۱) بر اساس فن آوری سیستم‌های تولید فیزیکی سایبری و الگوریتم نقشه برداری هسته غیرخطی، یک روش تشخیص سلامت هوشمند و تصمیم‌گیری تعمیر و نگهداری برای تجهیزات در تولید هوشمند پیشنهاد شده است. آسیب‌پذیری تجهیزات برای انجام استراتژی‌های تشخیص سلامت به کار می رود، روش پیشنهادی به پرسنل تعمیر و نگهداری در تشخیص دقیق سلامت تجهیزات و اجرای سریع برنامه‌های تعمیر و نگهداری کمک می‌کند. خسروی نیا (۱۴۰۰)، به بررسی رابطه بین ساختار کیفیت تولید و ارزش شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته است. یافته‌های پژوهش بیانگر رابطه معنی‌دار ساختار کیفیت تولید و ارزش شرکت بود. فدایی (۱۳۹۶)، به بررسی میزان آشنایی مدیران صنایع تولیدی تهران با فنون علم مدیریت کیفیت و کاربرد این فنون در نزد این مدیران پرداخت و نشان داد که بیشترین آشنایی مدیران با تکنیک‌های برنامه ریزی تولید، کنترل کیفیت آماری، برنامه‌ریزی مواد ومدیریت پروژه بوده است و تکنیک‌های برنامه‌ریزی تولید، کنترل کیفیت آماری، برنامه ریزی مواد و مدیریت پروژه به ترتیب بیشترین کاربرد را در صنایع تولیدی داشته‌اند. رشیدی و قربانی (۱۳۹۶) متدلوژی‌های رایج برنامه‌ریزی و کنترل تولید کششی و هیبریدی را بررسی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پس از اولویت‌بندی این روش‌ها، بهترین روش برنامه‌ریزی و کنترل تولید برای خط تولیدی تندر ۹۰ در کارخانه تولیدی ایران خودرو انتخاب شد. باطنی و همکاران (۱۳۹۷) مدلی ریاضی برای برنامه‌ریزی و کنترل تولید، سیستم‌های کارگاهی پیچیده چند محصوله، مدلی فراگیر و انحصاری مبتنی بر شبیه‌سازی، ارایه کردند. مدل پیشنهادی برای واحدهای تولیدی، ماهیت تولید کارگاهی دارد و دارای طیف گسترده از تقاضای سفارشی برای محصولات ارایه شده است. مدل ارایه شده نه تنها می‌تواند برنامه‌ریزی توالی عملیات در ایستگاه‌ها را انجام دهد بلکه می‌تواند در مورد: تخصیص اولیت به سفارش، مقایسه وضعیت فعلی کارخانه با برنامه پیش‌بینی شده، تخصیص نیروی انسانی به ایستگاه‌ها، پذیرش سفارشات جدید، تعیین زمان ورود قطعات یک سفارش به کارگاه، اضافه کاری ایستگاه‌های

کاری، تعیین توالی عملیات در ایستگاه‌ها و قراردادهای جانبی, تصمیم‌گیری را هدایت کند. ترابی و همکاران (۱۳۹۷) رویکردی یکپارچه در زمینه مدیریت تقاضا و برنامه ریزی تولید ارائه کردند که در آن تقاضا، از طریق اهرم‌های قیمت و انتخاب بازار قابل کنترل است. یک مدل غیرخطی عدد صحیح برای این مساله ارائه شد و یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی نیز برای حل مدل ارایه شد و برای نشان دادن کاربرد مدل ریاضی و الگوریتم توسعه یافته، یک مثال عددی ارائه شد. فاطمی‌قمی و اسدی (۱۳۹۷) مساله کنترل موجودی را در یک زنجیره عرضه بصورت یک مساله چند معیاره و چند تصمیم گیرنده مطرح کردند. مدل توسعه یافته، یک زنجیره عرضه برای چهار شرکت که عبارت از یک تولید کننده، یک انبار و دو خرده فروش بود و تقاضای مشتریان توسط خرده فروش‌ها و تقاضای خرده فروش‌ها توسط انبار و تقاضای انبار توسط تولید کننده برآورده می‌شد. مساله چند معیاره کنترل موجودی با در نظر گرفتن سه هدف در حالتی که تقاضا احتمالی و دارای توزیع نمایی است برای هر یک از شرکت‌ها با معیارهای سرمایه موجودی، تعداد سفارشات در سال و ریسک خالی بودن از موجودی، حل شد. عباسی و همکاران (۱۳۹۸) برنامه‌ریزی تولید در صنایع پردازشی با تقاضای غیرقطعی بازار را مورد بررسی قرار دادند و مدلی غیر خطی برای افزایش تطابق تولید با تقاضای غیرقطعی بازار با هدف کمینه سازی امید ریاضی هزینه‌های کمبود و موجودی ارایه کردند. با توجه به سطح موجودی در دسترس واقعی هر یک از محصولات در ابتدای یک دوره تولید، ترکیب تولیدات به گونه‌ای تعیین شد که امید ریاضی سطح موجودی هر یک از محصولات در انتهای دوره تولیدی تا حد امکان به مقادیر آرمانی خود، که در مرحله اول تعیین می‌شوند، نزدیک شوند. این امر به کمینه شدن هزینه ها در دوره بعدی تولید منجر شد. نریمانی و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل بهینه‌سازی برای توزیع بسته‌های معیشتی در زنجیره تأمین بشردوستانه برای مقابله با بحران ارایه کردند. برای این منظور، یک زنجیره تأمین بشردوستانه چندهدفه و چندسطحی جهت توزیع عادلانه بسته‌های معیشتی برای مقابله با بحران ارایه کردند. رسائی و همکاران (۱۳۹۷) یکپارچه سازی تصمیمات مربوط به مدیریت نگهداری و تعمیرات و کنترل فرایند آماری در یک سیستم تولید سری را بررسی و یک مدل یکپارچه نت و کنترل فرایند آماری ارائه کردند. با استفاده از تکنیک طرح‌های عاملی، تحلیل حساسیت انجام شد و براساس یک مدل جداگانه نت، عملکرد مدل یکپارچه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل یکپارچه سود سیستم را بهبود می‌بخشد. قدرتی‌عباسی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثر تغییر پارامترهای کنترل تولید در عملکرد سیستم تولید تولید به هنگام پرداختند. پارامترهای مورد بررسی شامل مقدار و زمان های مربوط به ورود تقاضای مشتری و تحویل آن، سفارش و تحویل مواد، و سیکل زمانی تولید بوده است. همچنین میزان معیوبی و نوسان زمان

پردازش و تاخیرات در سیستم مدنظر قرار گرفته است. به منظور بررسی رفتار یک خط تولید در محیط تولید به هنگام، با استفاده از تکنیک شبیه سازی یک حلقه از یک خط تولید مدلسازی شد. نتایج این تحقیق اهمیت نسبی تغییر هر یک از پارامترها در عملکرد سیستم و در مواردی اثر ترکیبی آنها را تشریح نمود. شیرازی و همکاران (۱۳۹۷)، یک سیستم کنترل تولید مبتنی بر پوشش نقاط ضعف و نیاز های آن ارائه کردند. برای تجزیه و تحلیل وضعیت موجود و همچنین ارائه سیستم پیشنهادی از ابزار های مدل سازی همچون نمودار گردش عملیات، نمودار جریان داده و نمودار ارتباط موجودیت ها استفاده شد. نتایج نقاط قوت و ضعف سیستم موجود و همچنین نیازهای سیستمی آن را ارایه کرد. اقدسی و همکاران(۱۳۹۸) یک روش برنامه‌ریزی و کنترل تولید سه سطحی را مورد بررسی قرار دادند. در سطح اول با استفاده از یک مدل ریاضی طول دوره برنامه‌ریزی به دست می‌آید و به سطح بعدی منتقل شد. دو سطح دیگر در عمل یک سیستم کنترل تولید است که با توجه به سه اصل جداسازی بین موعدهای تحویل و ملاحظات عملیاتی و بهره‌وری کامل انعطاف پذیری سلول کار کرد. نتایج نشان داد که این قوانین رفتاری مشابه با قوانین کلاسیک دارند.

۳. روش پژوهش

این تحقیق از نظر هدف یک تحقیق کاربردی است. زیرا در این تحقیق به دنبال حل یک مشکل در دنیای واقعی هستیم. رویکرد مواجهه با مسأله پیرامون در دنیای واقعی در این تحقیق در زمره مدلسازی ریاضی است. هدف تحقیق کاربردی توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است. در این پژوهش، اطلاعات مورد نظر به روش کتابخانه‌ای و استفاده از مقالات و پژوهش‌های گذشته گردآوری گردید. برای مسئله مورد نظر و حل مسئله با توجه به مدل استفاده شده، از نرم افزار گمز استفاده شد. در این پژوهش به منظور تولید یک محصول، فرآیند تولید به فعالیت-های مختلفی تقسیم‌بندی شد. هم‌چنین تعدادی ماشین در دسترس بوده که فعالیت‌ها می‌توانند توسط این ماشین‌ها انجام شوند. سپس مدل ریاضی مسئله که شامل مجموعه‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری، تابع هدف و محدودیت‌ها است مورد بررسی قرار گرفت.

در این پژوهش به منظور تولید یک محصول، فرآیند تولید شامل فعالیت‌های مختلفی می‌شود. هم‌چنین تعدادی ماشین در دسترس بوده که فعالیت‌ها می‌توانند توسط این ماشین‌ها انجام شوند. مدل ریاضی بر اساس مفروضات زیر فرموله شده است:

- هر فعالیت توسط یک ماشین و با یک منبع و در یک حالت، تولید خواهد شد.
- هر ماشین یک نوع ورودی خواهد داشت.

- مقدار انرژی مصرف شده برای انجام فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها در حالت‌ها و ورودی-های مختلف، مشخص می‌باشد.
- کیفیت انجام فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها در حالت‌های مختلف تولید و با منابع مختلف، متفاوت است.
- اولویت بین فعالیت‌ها مشخص بوده و فاصله زمانی مجاز بین فعالیتها، مشخص است.
- زمان در دسترس برای انجام فعالیت تولید یک محصول مشخص است.
- زمان آماده‌سازی فعالیت‌ها، توسط ماشین‌های مختلف و منابع و حالت‌های تولید از قبل تعیین شده است.
- زمان لازم برای انجام تعمیراتی که به دلیل انجام فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها و ورودی-های مختلف انجام شده از پیش مشخص گردیده است.
- قابلیت اطمینان مشخصه‌ای از سیستم است که چگونگی عملکرد موثر ماشین ها در یک افق زمانی را توصیف می کند. برای هر ماشین در سیستم، قابلیت اطمینان به عنوان نسبت بین زمان سرویس، زمان تعمیر و کل زمان بر حسب دقیقه یا ساعت محاسبه می‌شود.

مدل ریاضی

مجموعه ها

S: نقطه شروع و پایان کار ماشین

M: مجموعه ماشین‌ها

F: مجموعه فعالیت‌ها

D: مجموعه حالات تولید

N: مجموعه ورودی‌های هر دستگاه

i, j: اندیس مربوط به ترتیب فعالیت‌ها

پارامترها

T: زمان در دسترس

sl_{ij}: مدت زمانی که از فعالیت i برای شروع فعالیت j باید گذشته باشد.

la: عدد بزرگ دلخواه

Q_{imrd}: کیفیت انجام فعالیت i توسط ماشین m با منبع r در حالت تولید d

E_{imdn}: مقدار انرژی صرف شده برای انجام فعالیت i توسط ماشین m در حالت تولید d و با ورودی n

se^{1}_{imrd}: زمان آماده‌سازی فعالیت i توسط ماشین m با منبع r در حالت تولید d

sr_{imn}: زمان تعمیرات انجام فعالیت i توسط ماشین m با ورودی n

A_{im}: پارامتر صفر و یک، اگر فعالیت iتوسط ماشین m انجام پذیر باشد برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر

متغیر های تصمیم گیری

X_{ij}: متغیر صفر و یک؛ اگر فعالیت j بعد از فعالیت i انجام شود برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر.

Y_{ird}: متغیر صفر و یک؛ اگر فعالیت i توسط منبع r و در حالت تولید d انجام شود برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر.

Z_{mn}: متغیر صفر و یک؛ اگر ماشین m دارای ورودی‌های n باشد برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر.

X^{1}_{im}: متغیر صفر و یک؛ اگر فعالیت i توسط ماشین m انجام شود برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر.

st^{1}_{i}: زمان انجام فعالیت i

se^{2}_{i}: زمان راه‌اندازی فعالیت i توسط ماشین تخصیص یافته به آن.

sr^{2}_{i}: زمان تعمیر لازم برای انجام فعالیت i برای ماشین تخصیص یافته به آن فعالیت.

t_i: زمان شروع فعالیت i

END: زمان پایان تولید محصول

توابع هدف

$$max \sum_{i\in F}\sum_{m\in M}\sum_{d\in D}\sum_{r\in R} X^{1}_{im} \times Y_{ird} \times Q_{imrd}$$

در تابع هدف اول مقدار کیفیت محصولات بیشینه می‌شود.

$$min \sum_{i\in F}\sum_{m\in M}\sum_{d\in D}\sum_{r\in R}\sum_{n\in N} X^{1}_{im} \times Y_{ird} \times Z_{mn} \times E_{imdn}$$

در تابع هدف دوم مقدار انرژی مصرف شده حداقل می‌شود.

$$max\ \frac{T - \sum_{i\in F} se_i^{۲} + sr_i^{۲}}{T}$$

در تابع هدف سوم ضریب اطمینان بیشینه می‌شود.

$$max\ \frac{T}{END}$$

تابع هدف چهارم میزان بهره‌وری را بیشینه می‌کند.

محدودیتها

۱-	$\sum_{i\in F\cup S} X_{ij} = ۱$	$\forall j \in F$
۲-	$\sum_{i\in F\cup S} X_{ij} = \sum_{i\in F\cup S} X_{ji}$	$\forall j \in F$
۳-	$\sum_{d\in D}\sum_{r\in R} Y_{ird} = ۱$	$\forall i \in F$
۴-	$\sum_{n\in N} Z_{mn} = ۱$	$\forall m \in M$
۵-	$\sum_{m\in M} X_{im}^{۱} = ۱$	$\forall i \in F$
۶-	$st_i^{۱} \geq X_{im}^{۱} \times Z_{mn} \times Y_{ird} \times st_{imrd}^{۲}$	$\forall i \in F, m \in M, d \in D, r \in R, n \in N$
۷-	$st_i^{۲} \geq X_{im}^{۱} \times Y_{ird} \times se_{imrd}^{۱}$	
۸-	$sr_i^{۲} \geq X_{im}^{۱} \times Z_{mn} \times sr_{imn}^{۱}$	$\forall i \in F, m \in M, n \in N$
۹-	$t_j \geq t_i + st_i^{۱} + sr_i^{۲} + se_j^{۲} - La(۱ - X_{ij})$	$\forall i \in F \cup S, j \in F$
۱۰-	$END \geq t_j + st_j^{۱}$	$\forall j \in F$
۱۱-	$END \leq T$	
۱۲-	$t_j \geq t_i + sl_{ji}^{۱} - La(۱ - X_{ij})$	$\forall i, j \in F$
۱۳	$X_{im}^{۱} \leq A_{im}$	$\forall i \in F, m \in M$

شرح محدودیت‌ها

محدودیت اول و دوم: ترتیب و توالی انجام فعالیت‌ها را تعیین می‌کند.

محدودیت سوم: به هر فعالیت یک منبع تخصیص داده شده و با یک سطح و روش انجام می‌شود.

محدودیت چهارم: ورودی هر ماشین را مشخص می‌کند.

محدودیت پنجم: هر فعالیت توسط یک ماشین انجام می‌شود.

محدودیت ششم: مدت زمان انجام فعالیت ششم را محاسبه می‌کند.

محدودیت هفتم: زمان راه‌اندازی را برای انجام هر فعالیت محاسبه می‌کند.

محدودیت هشتم: زمان تعمیر لازم برای انجام هر فعالیت را محاسبه می‌کند.

محدودیت نهم: زمان شروع انجام فعالیت توسط ماشین را تعیین می‌کند.

محدودیت دهم: زمان پایین تولید تعیین می‌شود.

محدودیت یازدهم: اطمینان می‌دهد که محدودیت زمان پایان رعایت شده است.

محدودیت دوازدهم: اطمینان می‌دهد که محدودیت روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌های تولید رعایت شده است.

محدودیت سیزدهم: اطمینان می‌دهد که هر فعالیت تنها در صورتی توسط یک ماشین انجام می شود که قابلیت انجام آن کار توسط ماشین مورد نظر وجود داشته باشد.

۴. برآورد مدل و تجزیه و تحلیل یافته‌ها

به منظور بررسی درستی مدل ریاضی ارائه شده یک مثال عددی تصادفی ارائه شد. این مثال تصادفی توسط نرم‌افزار گمز حل شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در صورتی که در مسئله موردنظر و جواب ارائه شده توسط نرم‌افزار گمز، تمامی ویژگی‌ها و محدودیت‌های مسئله رعایت شده باشد و هم‌چنین مقادیر تابع هدف به درستی محاسبه شده باشد، آن‌گاه می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده دارای کارایی مناسبی بوده و صحت آن تائید می‌شود. در مثال ارائه شده ۳ ماشین، ۱۰ فعالیت، ۲ حالت تولید و ۳ ورودی برای هر دستگاه در نظر گرفته شده و اعداد تصادفی به کار رفته طبق جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱. اعداد تصادفی به کار رفته

پارامتر	بازه تعیین شده برای تولید عدد تصادفی
زمان در دسترس	۴۰-۱۵
کیفیت انجام فعالیت	۱-۰/۱
مقدار انرژی مصرف شده برای انجام فعالیت	۵-۱
زمان آماده سازی ماشین	۵-۱
زمان تعمیرات	۵-۱
زمان انجام فعالیت	۵-۱

با توجه به جواب به‌دست آمده از نرم‌افزار گمز ترتیب فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها به‌صورت جدول (۲) می‌باشد. هم‌چنین حالت تولید هر فعالیت در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۲. ترتیب فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها

شماره ماشین	ترتیب انجام فعالیت ها
۱	۱-۴-۹-۱۰
۲	۲-۶-۸
۳	۳-۵-۷

جدول ۳. حالت تولید هر فعالیت

شماره فعالیت	شماره حالت تولید	شماره ماشین
۱	۱	۱
۲	۱	۲
۳	۲	۳
۴	۱	۱
۵	۲	۳
۶	۲	۲
۷	۱	۳
۸	۲	۲
۹	۲	۱
۱۰	۲	۱

نوع منابع استفاده شده در هر ماشین به شرح جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۴. تخصیص منابع به ماشین

شماره ماشین	منابع مورد استفاده
۱	۱
۲	۲
۳	۲

با توجه به ماشین‌های تخصیص داده شده به فعالیت‌ها و هم‌چنین منابع ماشین‌ها و حالت انجام فعالیت‌ها، زمان تعمیرات، آماده‌سازی و انجام فعالیت‌ها به شرح جدول (۵) می‌باشد.

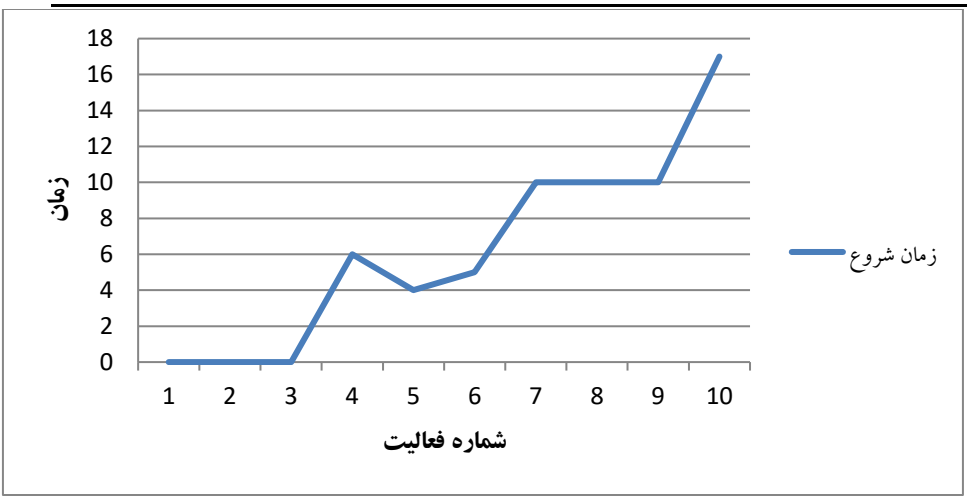
جدول ۵. آماده‌سازی و انجام فعالیت‌ها

شماره فعالیت	زمان آماده سازی	زمان تعمیرات پیشگیرانه	زمان انجام فعالیت	مجموع
۱	۱	۲	۳	۶
۲	۱	۱	۳	۵
۳	۱	۱	۲	۴
۴	۱	۱	۲	۴
۵	۱	۲	۳	۶
۶	۲	۱	۲	۵
۷	۲	۱	۴	۷
۸	۲	۱	۳	۵
۹	۲	۱	۴	۷
۱۰	۲	۱	۴	۷

با توجه به جدول (۵)، زمان شروع و پایان هر فعالیت در جدول (۶) محاسبه شده است. با توجه به جدول (۶) زمان تولید برابر ۲۴ واحد زمانی تعیین شده است.

جدول ۶. تعیین زمان شروع و پایان فعالیت‌ها

شماره فعالیت	زمان شروع	زمان پایان
۱	۰	۶
۲	۰	۵
۳	۰	۵
۴	۶	۱۰
۵	۴	۱۰
۶	۵	۱۰
۷	۱۰	۱۷
۸	۱۰	۱۵
۹	۱۰	۱۷
۱۰	۱۷	۲۴



شکل ۱. زمان شروع فعالیت

شکل ۲. زمان پایان فعالیت

با توجه به جدول (۶) زمان پایان کار هر ماشین در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷. زمان پایان کار هر ماشین

شماره ماشین	زمان پایان کار ماشین
۱	۲۴
۲	۱۵
۳	۱۷

با توجه به جداول ۱ الی (۷) تمام ویژگی‌های مسئله مورد تائید قرار گرفته است. این ویژگی‌ها شامل تخصیص هر فعالیت به ماشین‌ها، ترتیب انجام فعالیت‌ها توسط هر ماشین، تخصیص حالت انجام فعالیت برای هر فعالیت و هم‌چنین تخصیص منابع به ماشین‌ها انجام شده است. یکی از محدودیت های مسئله، محدودیت زمان پایان تولید است که در اینجا زمان ۲۵ واحد زمانی تعیین شده بود. همانطور که مشاهده می‌شود، تولید در واحد زمانی ۲۴ به پایان می‌رسد که این موضوع نشان دهنده رعایت این محدودیت می‌باشد. محدودیت دیگر، ارتباط بین فعالیت‌ها است که همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، رابطه پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها ارائه شده است.

جدول ۸. بررسی رعایت رابطه پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها

شماره فعالیت	زمان پایان	شماره فعالیت	زمان شروع	ارتباط
۱	۶	۴	۶	۰
۹	۱۷	۱۰	۱۷	۰
۸	۱۵	۱۰	۱۷	۰
۷	۱۷	۱۰	۱۷	۰
۶	۱۰	۷	۱۰	۰

مطابق با جدول (۸) بین فعالیت شماره ۱ و فعالیت شماره ۴ رابطه پیش‌نیازی برقرار بوده و فعالیت ۱ پیش‌نیاز فعالیت شماره ۴ می‌باشد. زمان پایان فعالیت ۱ برابر ۶ واحد زمانی و زمان شروع فعالیت ۴ نیز ۶ واحد زمانی است پس بنابراین این محدودیت به درستی رعایت شده است. این رابطه بین بقیه ارتباطات نیز، همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، رعایت شده است. یکی دیگر از محدودیت‌های دیگر

که در مسئله وجود دارد، امکان انحام فعالیت‌ها توسط ماشین هاست که در برخی موارد این امکان وجود ندارد. این موضوع در جدول (۹) بررسی و درستی این محدودیت نیز به اثبات رسیده است. همانطور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود، فعالیت شماره ۱ نمی‌تواند به ماشین شماره ۲ تخصیص داده شود و البته چنین ارتباطی نیز وجود ندارد. در مورد بقیه فعالیت‌ها نیز این موضوع رعایت شده است پس بنابراین محدودیت امکان انجام فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها رعایت شده است.

جدول ۹. بررسی محدودیت امکان انجام فعالیت‌ها توسط ماشین‌ها

شماره فعالیت	شماره ماشین	وضعیت
۱	۲	ارتباطی ندارد
۳	۲	ارتباطی ندارد
۶	۳	ارتباطی ندارد
۸	۱	ارتباطی ندارد

با توجه به نتایج ارایه شده در جدول (۸) و (۹) تمام محدودیت‌های مسئله رعایت شده است. در مرحله بعدی مقدار تابع هدف بررسی می‌گردد. نتایج در جداول (۱۰-۱۱-۱۲) ارایه گردید.

جدول ۱۰. محاسبه مقدار مصرف انرژی

شماره فعالیت	مقدار مصرف انرژی
۱	۳
۳	۲
۶	۱
۸	۲
۶	۲
۶	۳
۷	۲
۸	۱
۹	۳
۱۰	۲
مجموع	۲۱

جدول ۱۱. محاسبه کیفیت محصول

شماره فعالیت	کیفیت
۱	۰/۷
۳	۰/۴
۶	۰/۶
۸	۰/۵
۶	۰/۶
۶	۰/۵
۷	۰/۸
۸	۰/۵
۹	۰/۵
۱۰	۰/۶
مجموع	۵/۷

جدول ۱۲. محاسبه میزان بهره‌وری

زمان در دسترس	۲۴
زمان پایان	۲۵
زمان بهره وری	۰/۹۶

اکنون مقادیر تابع هدفی که محاسبه شده است با مقادیر به‌دست آمده از نرم‌افزار گمز مقایسه می‌شود. نتایج نشان دهنده درستی محاسبه مقدار تابع هدف توسط نرم‌افزار گمز است. با توجه به آن که تمامی محدودیت‌ها و ویژگی های مسئله رعایت شده و مقدار تابع هدف نیز به درستی محاسبه شده است، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده دارای کارایی مناسبی می‌باشد.

تحلیل حساسیت پارامترها

در این قسمت یک مثال عددی ایجاد شده و با مقادیر پارامترهای مختلف، تاثیر آن بر مقادیر تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفته است. این موضوع در جدول (۱۳) قرار گرفته است.

جدول ۱۳. تاثیر پارامترها بر مقادیر تابع هدف

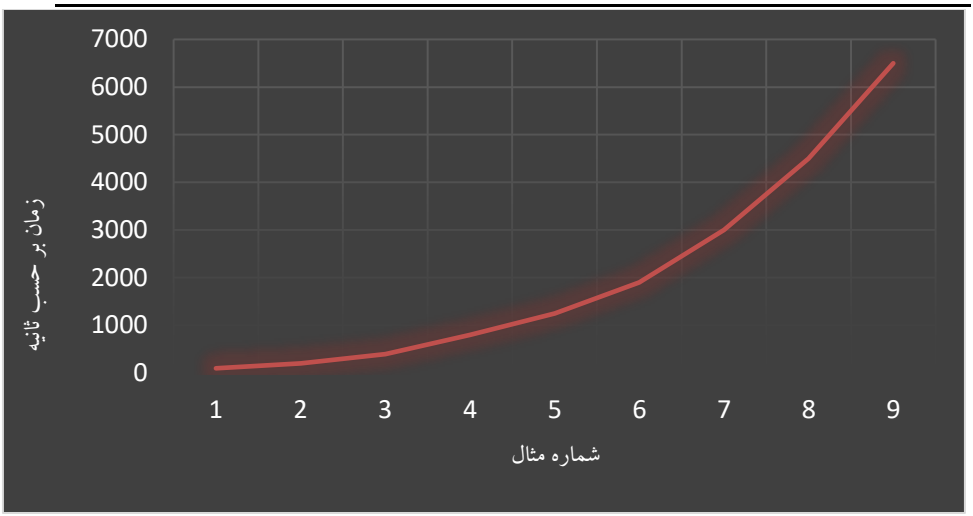
	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	تابع هدف چهارم
افزایش مصرف انرژی	-	افزایش	-	-
زمان در دسترس	می‌تواند افزایش دهد	می‌تواند کاهش دهد	ثابت	افزایش
مدت زمان انجام فعالیت	-	-	کاهش	کاهش
مدت زمان انجام تعمیرات پیشگیرانه	-	-	کاهش	کاهش
مدت زمان آماده سازی فعالیت	-	-	کاهش	کاهش
کیفیت انجام فعالیت ها	افزایش	-	-	-

بررسی زمان حل مسئله

به منظور بررسی زمان حل مسئله با نرم افزار گمز ، مثال های مختلف و تصادفی در ابعاد مختلف مسئله ارائه شده که با بزرگ شدن ابعاد مسئله، زمان حل مسئله با نرم افزار گمز به صورت نمایی افزایش یافته و از مرحله خاصی ، مسئله با نرم‌افزار گمز غیر قابل حل خواهد شد. این موضوع در جدول شماره (۱۴) و شکل (۳) به نمایش گذاشته شده است. با توجه به موارد فوق، می توان گفت مسئله مورد نظر پیچیده بوده و در ابعاد بزرگ دارای راه حل دقیق نمی‌باشد.

جدول ۱۴.ابعاد مثال های ارائه شده

شماره مثال	تعداد ماشین	تعداد فعالیت	تعداد حالات تولید	تعداد ورودی ها
۱	۳	۱۰	۲	۲
۲	۳	۱۲	۲	۲
۳	۴	۱۴	۲	۲
۴	۴	۱۶	۲	۳
۵	۵	۱۸	۲	۳
۶	۵	۲۰	۳	۳
۷	۶	۲۲	۳	۳
۸	۶	۲۴	۳	۳
۹	۷	۲۶	۳	۴



شکل ۳. بررسی افزایش شدید زمان حل مسئله با نرم افزار گمز

در این قسمت دستگاه‌هایی که وظیفه آنها اضافه کردن مواد افزودنی به روغن است برنامه‌ریزی می‌شود. در این قسمت هشت فعالیت توسط سه دستگاه همزن انجام می‌شود. این فعالیت‌ها شامل اضافه کردن پاک کننده‌ها، معلق کننده‌ها، ضد اکسیداسیون، ضد سایش، ضد خوردگی و ضد زنگ، پایین آورنده نقطه ریزش، ضد کف و اضافه کردن مقاوم کننده در برابر فشار به همراه سه دستگاه همزن می‌باشد که هر کدام از این فعالیت‌ها نیاز به زمان آماده‌سازی و زمان انجام فعالیت است. ترتیب انجام فعالیت‌ها در این محصول اهمیت ندارد. بعد از حل مسئله ترتیب انجام فعالیت‌ها به شرح زیر می‌باشد. ماشین‌ها و دستگاه-های مورد استفاده و ترتیب انجام فعالیت‌ها نیز به ترتیب جدول (۱۵) ارائه می‌شود.

جدول ۱۵. ترتیب انجام فعالیت‌ها

ماشین یک	ماشین دو	ماشین سه
پاک کننده	معلق کننده	ضد کف
ضد اکسیداسیون	ضدخوردگی و زنگ	ضد سایش
پایین آورنده نقطه ریزش	-	ترکیبات مقاوم کننده در برابر فشار

در طرح پیشنهادی زمان کل تولید برای محصول برابر ۳۱۰ دقیقه می‌باشد.

جدول ۱۶. زمان کل تولید برای محصول

فعالیت	کل زمان تولید و آماده سازی
پاک کننده	۱۱۰

ضد اکسیداسیون	۱۲۰
پایین آورنده نقطه ریزش	۸۰
معلق کننده	۲۱۰
ضدخوردگی و زنگ	۷۰
ضد کف	۸۰
ضد سایش	۱۰۰
ترکیبات مقاوم کننده در برابر فشار	۱۰۰

در طرح اولیه ترتیب انجام فعالیت‌ها به شرح جدول (۱۷) می‌باشد که زمان کل فعالیت‌ها ۳۶۰ دقیقه است.

جدول ۱۷. طرح اولیه زمان کل فعالیت‌ها

ماشین یک	پاک کننده	ضد سایش	ضد کف	۲۹۰
	۱۱۰	۱۰۰	۸۰	
ماشین دو	معلق کننده	ضد خوردگی و زنگ	پایین آورنده نقطه ریزش	۳۷۰
	۲۱۰	۷۰	۸۰	
ماشین سوم	ترکیبات مقاوم کننده در برابر فشار	ضد اکسیداسیون		
	۱۰۰	۱۲۰		

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش ارایه یک مدل چند هدفه برای مسئله‌ی زمان‌بندی با هدف کمینه سازی مصرف انرژی و حداکثرسازی قابلیت اطمینان و کیفیت محصول و در نهایت بهره‌وری تولید است. نتایج تحقیقات برای خود مدیران واحدهای تولیدی نیز قابل توجه خواهد بود تا نتایج مثبت بیشتری را رقم بزنند؛ لذا نتایج تحقیقات حاضر می‌تواند برای واحدهای تولیدی قابل استفاده باشد. برای مسئله مورد نظر و حل مسئله با توجه به مدل استفاده شده، از نرم افزار گمز استفاده شد. در این پژوهش به منظور تولید یک محصول، فرآیند تولید به فعالیت‌های مختلفی تقسیم‌بندی شد. هم‌چنین تعدادی ماشین در دسترس بوده که فعالیت‌ها می‌توانند توسط این ماشین‌ها انجام شوند. سپس مدل ریاضی مسئله که شامل مجموعه‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری، تابع هدف و محدودیت‌هاست مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی درستی

مدل ریاضی ارائه شده یک مثال عددی تصادفی ارائه شد. این مثال تصادفی توسط نرم‌افزار گمز حل شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در صورتی که در مسئله موردنظر و جواب ارائه شده توسط نرم‌افزار گمز، تمامی ویژگی‌ها و محدودیت‌های مسئله رعایت شده باشد و هم‌چنین مقادیر تابع هدف به درستی محاسبه شده باشد، آن‌گاه می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده دارای کارایی مناسبی بوده و صحت آن تائید می‌شود. سپس به منظور تحلیل حساسیت پارامترها، یک مثال عددی ایجاد شده و با مقادیر پارامترهای مختلف، تاثیر آن بر مقادیر تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی زمان حل مسئله با نرم افزار گمز ، مثال های مختلف و تصادفی در ابعاد مختلف مسئله ارائه شده که با بزرگ شدن ابعاد مسئله، زمان حل مسئله با نرم افزار گمز به صورت نمایی افزایش یافته و از مرحله خاصی، مسئله با نرم‌افزار گمز غیر قابل حل گردید. در این مدل یک مساله فرضی ایجاد شد که در آن دستگاه‌هایی که وظیفه آنها اضافه کردن مواد افزودنی به روغن است برنامه‌ریزی شد. در این قسمت هشت فعالیت توسط سه دستگاه همزن انجام شد. این فعالیت‌ها شامل اضافه کردن پاک کننده‌ها، معلق کننده‌ها، ضد اکسیداسیون، ضد سایش، ضد خوردگی و ضد زنگ، پایین آورنده نقطه ریزش، ضد کف و اضافه کردن مقاوم کننده در برابر فشار به همراه سه دستگاه همزن بوده است که هر کدام از این فعالیت‌ها نیاز به زمان آماده‌سازی و زمان انجام فعالیت بوده است. همانطور که مشاهده شد، در طرح پیشنهادی زمان کل تولید برای محصول برابر ۳۱۰ دقیقه و در طرح اولیه زمان کل فعالیت‌ها ۳۶۰ دقیقه بوده است.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

سپاسگزاری

نویسندگان از داوران این مقاله که به بهبود کیفیت مقاله کمک کرده‌اند تشکر می‌کنند.

کد ارکید

ORCID

Mahmood Hossein Darvish Motevalli https://orcid.org/ ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۳۰۴۸-۱۷۴۴

Majid Motamedi https://orcid.org/۰۰۰۰-۰۰۰۳-۱۸۸۰-۶۵۷۴

منابع

زیاری، محمد، کیا، رضا (۱۳۹۴)، یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل همزمان مسئله زمان بندی تک ماشین و تعیین اندازه دسته تولید چند دوره ای با هزینه های زودکرد و دیرکرد، (پژوهشگر) فصلنامه مدیریت، سال دوازدهم، ۳۷، ۱-۱۴.

کشاورز طاها، رفیعی پارسا ندا (۱۴۰۰)، ارایه الگوریتم‌های کارآمد برای زمان‌بندی تولید به‌هنگام در شرایط پردازش انباشته. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن. ۱۸ (۲) ، ۱-۲۳.

دانش آموز, فاطمه, فتاحی, پرویز,حسینی, سید محمدحسن. (۱۳۹۹). ارائه یک الگوریتم شاخه و کران برای حل مسأله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر همراه با یک مرحله‌ی مونتاژ. نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، ۸ (۱۷)، ۳۴۷-۳۵۹.

مختاری، قاسم، ابوالفتحی، مینا (۱۳۹۹). زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر با منابع دوگانه‌ی محدود و اهداف لکزیکوگراف. نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، ۸(۱۷)، ۲۹۵-۳۰۹.

کامران، سارا؛ بهنامیان، جواد (۱۴۰۲)، زمان بندی ماشین موازی نامرتبط با زمان های راه اندازی وابسته به توالی در شبکه تولید چندکارخانه ای: مدل سازی و الگوریتم حل. چشم انداز مدیریت صنعتی، ۱۳(۳)، ۲۲۳-۲۴۸.

Refrences (in English)

Rahimi, H., Azar, A., Rezaei Pandari, A. (۲۰۱۵). Designing a multi objective job shop scheduling model and solving it by simulated annealing. The Journal of Industrial Management Perspective, ۵(۳), ۳۹-۶۳.

Behnamian, J. (۲۰۱۶). Multi-objective production network scheduling using subpopulation genetic algorithm and elastic method. Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, ۳(۶), ۱۳۳-۱۴۷.

Mousavi, S. M., Motamedi, M., & Karimi, R. (۲۰۲۴). A mathematical model of the location problem for central and secondary warehouses in the multi-level supply chain network of perishable products. *International Journal of Research in Industrial Engineering, 13*(۱), ۱۱-۲۴

Meyr,H,"Simultaneous lot sizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization",Eur.j.oper.res,۲۰۰۰,۱۲۰,۳۱۱-۳۲۶

Narimani R, Motamedi M, Amoozad khalili H. [Applying a Mathematical Model for the Distribution of Earthquake

Relief Items to the Affected Areas of Tehran (Persian)].. Disaster Prevention and Management Knowledge. ۲۰۲۳; ۱۳(۲):۱۸۴-۲۰۳.

Tavakoli moghadam,R,Mirshekari,A," A multicriteria single machine scheduling problem increasing customer satisfaction by a heuristic algorithm", International journal of industrial engineering &production management, ۲۰۰۵,۱۶,۳۳-۴۰.

.Lai,Peng-jen,Lee,Wen-Chiung,"Single machine scheduling with a nonlinear deterioration function", Information processing letters,۲۰۱۰,۱۱۰,۴۵۵-۴۵۹.

Meyr,H,"Simultaneous lot sizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization",Eur.j.oper.res,۲۰۰۰,۱۲۰,۳۱۱-۳۲۶

Tavakoli moghadam,R,Mirshekari,A," A multicriteria single machine scheduling problem increasing customer satisfaction by a heuristic algorithm", International journal of industrial engineering &production management, ۲۰۰۵,۱٦,۳۳-٤۰.

.Lai,Peng-jen,Lee,Wen-Chiung,"Single machine scheduling with a nonlinear deterioration function", Information processing letters,۲۰۱۰,۱۱۰,٤٥٥-٤٥۹.

Yazdani, M., Zandieh, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Jolai, F. (۲۰۱٥). Two meta-heuristic algorithms for the dual-resource constrained flexible job-shop scheduling problem. Scientia Iranica. Transaction E, Industrial Engineering, ۲۲(۳): ۱۲-٤۲.

Baker, K. R. (۱۹۷٤). Introduction to sequencing and scheduling. John Wiley & Sons.

Brucker, P., & Schlie, R. (۱۹۹۰). Job-shop scheduling with multi-purpose machines. Computing, ٤٥(٤): ۳٦۹-۳۷٥.

Urlings, T. (۲۰۱۰). Heuristics and metaheuristics for heavily constrained hybrid flowshop problems. PhD thesis, Universidad Politecnica de valencia, France.

Hosseini, S.M.H. (۲۰۱۹). Modelling and solving the job shop scheduling Problem followed by an assembly stage considering maintenance operations and access restrictions to machines. Journal of Optimization in Industrial Engineering, ۱۲(۱), ٦۳-۷۸.