



Simulating the line balance to provide an improvement plan for optimal production and costing in petrochemical industries

Asghar Hemmati¹, Farshad Kaveh², Milad Abolghasemian³, Adel Pourghader chobar⁴

1. Corresponding Author, Assistance prof. Department of Industrial Engineering, Abhar Branch, Islamic Azad University, Abhar, Iran, Email: Hemati.asghar@iau.ir Orcid: 0000-0001-8074-2834
2. Phd student, Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, Email: Farshadkaveh@gmail.com Orcid: 0000-0003-2276-0193
3. Phd. Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, Email: m.abolghasemian.bt@gmail.com Orcid: 0000-0002-1341-7855
4. Phd. Department of Industrial Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, Email: apourghader@qiau.ac.ir Orcid: 0000-0002-8377-5906

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received Received in revised form Accepted Published online</p> <p>Keywords: Costing, production line balance, Simulation.</p>	<p>This research examines the influential factors and theoretical principles of queuing in balancing production lines. It is classified as an applied study in terms of its objectives. The methods of data collection in this research are survey-based. The statistical population of this study consists of the production line of products in a petrochemical company in Iran. The required information, including the number of active machines on the production line, the level of station idleness, and the waiting time for parts to receive services, has been quantitatively gathered through on-site observations and interviews with managers and supervisors. Additionally, recorded data from the planning unit and time-tracking processes from the company's engineering department have been utilized. Process modeling has been developed using the ARENA simulation software version 13, which can identify the current status of tank and heavy product production in terms of queuing and line balance criteria, and its results are analyzed and described. The findings of this research indicate that the addition of a forklift increases costs from 65,902 monetary units to 80,577, equivalent to a 22% increase. However, this change results in a doubling of production compared to the current state; therefore, the extra expenditure due to increased production is satisfactory for the managers of this organization. The significance of this production increase aligns with enhanced productivity, especially considering the greater emphasis placed on production targets. Thus, the 22% increase in costs can be overlooked, leading to the conclusion that the results obtained aim to pursue increased productivity.</p>

Cite this article:



© The Author(s)
DOI: <https://doi.org/>

Publisher: University of Qom

شبیه‌سازی بالانس خط تولید برای ارائه طرح بهبود در مقدار تولیدات بهینه و هزینه‌یابی در صنایع پتروشیمی

اصغر همتی^۱، فرشاد کاوه^۲، میلاد ابوالقاسمیان^۳، عادل پورقادر چوپر^۴

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران، رایانامه: Hemati.asghar@iau.ir

Orcid: 0000-0001-8074-2834

۲. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، رایانامه: Farshadkaveh@gmail.com

Orcid: 0000-0003-2276-0193

۳. دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران، رایانامه: m.abolghasemian.bt@gmail.com

Orcid: 0000-0002-1341-7855

۴. دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، رایانامه: apourghader@qiau.ac.ir

Orcid: 0000-0002-8377-5906

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این تحقیق، به بررسی عوامل موثر و اصول نظری صف در متوازن‌سازی خط تولید پرداخته می‌شود. این پژوهش از لحاظ هدف به‌عنوان تحقیقی کاربردی شناخته می‌شود و روش‌های جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت پیمایشی است. جامعه آماری این پژوهش، خط تولید محصولات در یک شرکت پتروشیمی ایران می‌باشد. اطلاعات موردنیاز شامل تعداد دستگاه‌های فعال در خط تولید، میزان بیکاری ایستگاه‌ها و زمان انتظار قطعات برای دریافت خدمات، به‌صورت کمی از طریق حضور در خط تولید و مصاحبه با مدیران و سرپرستان جمع‌آوری شده‌است. همچنین اطلاعات ثبت‌شده در واحد برنامه‌ریزی و فرآیندهای کاری و نیز زمان‌سنجی از واحد مهندسی شرکت مورد استفاده قرار گرفته‌است. مدل‌سازی فرآیندها با کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی ARENA نسخه ۱۳ توسعه داده شده‌است که قادر است وضعیت کنونی تولید مخازن و مصنوعات سنگین از نظر معیارهای صف و توازن خط را مشخص کند و نتایج آن را تحلیل و توصیف نماید. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که با اضافه‌شدن یک دستگاه لیفتراک، هزینه‌ها از ۶۵.۹۰۲ واحد پولی به ۸۰.۵۷۷ افزایش می‌یابد که معادل ۲۲ درصد افزایش است. این تغییر منجر به دوبرابرشدن تولیدات نسبت به وضعیت کنونی می‌شود لذا صرف هزینه بیشتر به‌دلیل افزایش میزان تولید برای مدیران این مجموعه رضایت‌بخش بوده‌است. چراکه افزایش تولید و وزن بیشتری که به هدف تولیدات داده شده، در راستای افزایش بهره‌وری قابل توجه است. بنابراین می‌توان افزایش ۲۲ درصدی هزینه‌ها را نادیده گرفت و نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، به دنبال افزایش بهره‌وری خواهیم بود.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت:</p> <p>تاریخ بازنگری:</p> <p>تاریخ پذیرش:</p> <p>تاریخ انتشار:</p> <p>کلیدواژه‌ها: بالانس خط تولید، شبیه‌سازی، هزینه‌یابی.</p>

استناد:



۱) مقدمه

در دنیای امروز با توجه به پیشرفت تکنولوژی، سازمان‌ها در تلاش هستند که از رقبا پیشی بگیرند و این جز با برنامه‌ریزی دقیق و بکارگیری صحیح منابع و امکانات، امکان‌پذیر نیست. بنابراین مدیران با توجه به پیچیدگی سیستم‌ها، باید با استفاده از ابزارهای مناسب مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی اعداد صحیح، شبیه‌سازی، تئوری صف و غیره که برای تحلیل سیستم‌ها وجود دارد، برنامه‌ریزی صحیحی انجام داده و از هدررفتن منابع جلوگیری کنند (لیو و همکاران، ۲۰۲۴). صف یک خط انتظار است مانند انتظار مشتریان پشت کاترهای سوپرمارکت. تئوری صف یک تئوری ریاضی برای خطوط انتظار می‌باشد. بطور کلی تئوری صف به دنبال استفاده از مدل‌سازی ریاضی و تجزیه و تحلیل سیستمی است که بتواند به نحو مطلوب به تقاضاهای تصادفی خدمت‌رسانی کند (آفولائو و همکاران، ۲۰۲۱). هنر تئوری صف در این است که ابتدا یک مدل ساده بسازد و سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های ریاضی نتایج به دست آمده را با نتایج واقعی مقایسه کند و با افزودن جزئیات لازم به مدل، مدل ساخته شده را با سیستم واقعی هماهنگ کند (سامولویوف و همکاران، ۲۰۱۶). بالانس خطوط تولید در صنایع مختلف مانند صنعت نفت، خودروسازی، فولاد، پوشاک و غیره نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش راندمان و بهره‌وری تولید ایفا می‌کند. صرفه‌جویی در زمان و هزینه با ارائه یک چیدمان مناسب، حذف گلوگاه‌ها و افزایش سرعت پاسخگویی، از نتایج بالانس بخش‌های مختلف خط تولید می‌باشد (اوربان و چیانگ، ۲۰۱۶). یک خط مونتاژ شامل تعداد ایستگاه‌های متوالی است که محصول خاص یا خانواده‌ای از محصولات را مونتاژ می‌کنند. پردازش اجزا با توجه به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها انجام می‌شود. این پردازش در هر ایستگاه با توجه به یک زمان ثابت موسوم به زمان سیکل، انجام می‌شود. اگر مجموع زمان فعالیت‌های انجام شده در هر ایستگاه کاری با ایستگاه‌های دیگر خط، متعادل نباشد درصد بیکاری در بعضی از ایستگاه‌ها زیاد شده و در بعضی از ایستگاه‌ها ایجاد گلوگاه می‌شود. برای رفع این نواقص باید اقدام به متعادل کردن این ایستگاه‌ها با توجه به زمان سیکل کرد (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۲). موضوع تخصیص فعالیت‌ها به ایستگاه‌ها در صورتیکه یک یا تعداد بیشتری از اهداف با توجه به تعداد مشخصی از محدودیت‌ها بهینه شوند، مسئله بالانس خط مونتاژ نامیده می‌شود. هدف اصلی در مسئله بالانس خط مونتاژ تخصیص فعالیت‌های یک خط مونتاژ به ایستگاه‌های کاری است بطوریکه تعداد ایستگاه‌های کاری و زمان بیکاری هر ایستگاه، روابط پیش‌نیازی فعالیت‌های خط مونتاژ را تامین کند و خط مونتاژ بتواند خروجی لازم را که براساس تصمیمات مدیران ارشد سازمان اتخاذ می‌شود، برآورده کند. در نتیجه از فرآیند بالانس خط مونتاژ انتظار می‌رود که بهترین ترکیب بین نیروی انسانی، تجهیزات و تسهیلات به منظور برآورده کردن نیازمندی‌های یک سیستم به دست آید. راه‌های متعادل‌سازی خط تولید شامل: ایجاد انبار نیمه‌ساخته بعد از هر ایستگاه کاری که کندتر کار می‌کند، افزایش تعداد کارگران ایستگاه‌های کندتر و یا استفاده از کارگران ایستگاه‌های تندتر در طول خط ایستگاه کندتر، بررسی و اصلاح عملیات در ایستگاه‌های کندتر، آموزش و جابجایی فعالیت‌ها در ایستگاه‌ها در صورت امکان می‌باشد که با توجه به اقتضای مدیریت می‌تواند از آنها بهره‌گیرد. مشکلات ناشی از عدم بالانس خط تولید سبب افزایش هزینه‌های تولید، تخصیص ناعادلانه کار، بیکاری اپراتورها، کارآیی و تولید پایین، وجود گلوگاه در سیستم ولی ایجاد بالانس خط تولید سبب تولید انبوه، پیوسته بودن تولید، متعادل بودن عملیات می‌شود (دامچی، ۲۰۲۲). مزایای بالانس خط تولید نیز سبب

افزایش بهره‌وری تولید و کاهش زمان تحویل محصول به مشتری، افزایش سود تولید و کاهش اضافه‌کاری‌های بی‌هوده، استفاده بهینه از ظرفیت اپراتورهای یک خط و تخصیص اپراتور به تعداد موردنیاز برای یک خط تولید یا مونتاژ، حداقل کردن زمان سیکل یا تعداد ایستگاه‌های کاری، ایجاد بهترین ترکیب بین نیروی انسانی و تجهیزات در خط تولید یا مونتاژ، حداقل کردن سائز انبارهای بین ایستگاه‌ها، بهبود بهره‌وری به‌منظور افزایش حجم تولید می‌شود (بولاس و همکاران، ۲۰۲۳).

تمامی روش‌های فوق به جز شبیه‌سازی، سعی در ساده‌سازی سیستم دارند و قادر نیستند بسیاری از روابط پیچیده و عوامل تصادفی سیستم واقعی را در نظر بگیرند و دقت تحلیل سیستم را پایین می‌آورند و نیز مدل‌سازی به روش‌های فوق بسیار مشکل است. بنابراین شبیه‌سازی را می‌توان یکی از پرقدردن‌ترین ابزارهای تحلیل موجود برای افراد مسئول طراحی و بهره‌برداری از فرآیندها دانست. شبیه‌سازی، امکان شناسایی نقاط ضعف و بهینه‌سازی فرآیندها را فراهم می‌کند که می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری تولید شود. با استفاده از بهینه‌سازی و طراحی عملکرد خط تولید، هزینه‌های ناشی از هدررفت منابع و زمان کاهش می‌یابد که برای صنایع پتروشیمی با هزینه‌های بالای تولید بسیار حیاتی است. همچنین شبیه‌سازی می‌تواند به مدیران کمک کند تا به سرعت به تغییرات بازار و نیازهای مشتریان پاسخ دهند و تولید را براساس شرایط جدید تنظیم کنند. مدیریت باید در مورد نوع تجهیزات مورد لزوم، میزان خروجی قابل قبول، استفاده از انواع مواد بین ایستگاه‌ها، ثابت یا انعطاف‌پذیر بودن خط تصمیم‌گیری نماید. با استفاده از شبیه‌سازی در برنامه‌ریزی تولید می‌توان مدیران و سازمان‌ها را در دسترسی به اهداف از پیش تعیین شده یاری نمود. از این رو دغدغه فکری محقق را بر آن داشت که عوامل موثر و اصول تئوری صف در بالانس خط تولید در شرکت پتروشیمی پارس را بررسی کند.

بنابراین مشارکت اصلی این پژوهش را می‌توان در پنج نکته زیر خلاصه کرد:

- ۱- تعیین افزایش میزان تولید با استفاده از تغییرات در خط تولید
- ۲- تعیین افزایش میزان بهره‌وری با استفاده از تغییرات در خط تولید
- ۳- تعیین مدل مناسب در خط تولید با استفاده از چیدمان دستگاه‌ها و استقرار ماشین‌آلات
- ۴- تعیین گلوگاه‌های خط تولیدی فرآیند و کاهش آنها
- ۵- دستیابی به مناسب‌ترین پارامترهای تصمیم، جهت برنامه‌ریزی تولید و حداکثر بهره‌برداری از ظرفیت ماشین‌آلات با طراحی مدل شبیه‌سازی براساس تئوری صف.

در بخش بعدی به مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته خواهد شد سپس روش تحقیق و مراحل اجرایی تحقیق بیان خواهد شد. بعد از آن نتایج بکارگیری روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی، ارائه خواهد شد. سرانجام یک نتیجه‌گیری کلی به‌همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

۲) پیشینه تحقیق

هوریون (۱۹۹۷) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی یک الگوریتم بهینه‌سازی ابتکاری برای حل مسائل غیرقطعی ارائه داد. دنکیز و آکبای (۲۰۰۰) یک شبه‌مدل رگرسیون به‌منظور تعیین اندازه بهینه دسته‌های تولیدی در واحد مونتاژ

برای سیستم برنامه‌ریزی مواد و احتیاجات و JIT^1 ارائه داده‌اند. کلاینین و سارژنت (۲۰۰۰) با استفاده از طرح عامل کسری دو سطحی، به برآورد یک شبه‌مدل مرتبه اول به منظور تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی فرآیند تولید در یک شرکت لوله‌های فلزی پرداختند. مکشیم و همکاران (۲۰۰۱) یک روش برای بهینه‌سازی مسائل چندهدفه با استفاده از روش RSM ارائه کردند که در آن از روش طرح ابرمکعب‌لاتین برای نمونه‌گیری و از روش GA^2 برای بهینه‌سازی استفاده شده‌است. دنکیز و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از روش RSM یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS)³ به منظور پیش‌بینی تعداد ماشین‌آلات و تعداد کارگران توسعه دادند. دنکیز (۲۰۰۹) با استفاده از روش طراحی تاگوچی به بهینه‌سازی و شبیه‌سازی خط تولید مدار الکترونیکی در یک شرکت الکترونیکی پرداخت. یالچینکایا و بایحان (۲۰۰۹) یک رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی شبه‌مدل محور با استفاده از متدولوژی سطح پاسخ برای بهینه‌سازی میانگین زمان سفر مسافران در یک متروی شهری ارائه دادند. احمد و الخمیس (۲۰۰۹) یک رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی در جهت طراحی یک ابزار تصمیم‌گیری برای عملیات موجود در یک بخش اورژانس در یک بیمارستان دولتی کویت پیشنهاد دادند. زینالی و همکاران (۲۰۱۵)، یک رویکرد مبتنی بر شبیه‌سازی و طراحی آزمایش برای کنترل ترکیب بهینه منابع در یک بخش اورژانس در بیمارستان مدرس تهران ارائه کردند. در این مطالعه طبق برآورد مدت زمان پذیرش بیماران در بخش اورژانس از طریق شبکه عصبی مصنوعی، پس از محاسبه ترکیب بهینه توانستند ۴۸ درصد بهبود در مدت زمان پذیرش بیماران مراجعه‌کننده در راستای بهبود بهره‌وری ایجاد نمایند. دنکیز و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل کنترل تولید را به کمک روش RSM ارائه دادند که قادر است نرخ عملیاتی کارگاه نقاشی را بر طبق پارامترهای کنترلی در تولیدات روزانه یک کارخانه اتوبوس‌سازی در کشور ترکیه بهبود ببخشد. ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به تعیین مقدار بهینه تجهیزات جابجایی در فرآیند استخراج سنگ سولفید با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی شبه‌مدل محور پرداخته‌اند. در مرحله بهینه‌سازی، مدل رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم برازش شده که از راه شناسایی متغیرهای اثرگذار در سیستم با استفاده از طراحی آزمایش‌ها تقریب زده شده‌است، حل می‌شود. شبه‌مدل تقریب‌زده شده به خوبی قادر است نتایج شبیه‌سازی را تخمین بزند. بنابراین می‌توان اعتبار آن را نتیجه گرفت. یافته‌های این رویکرد بهینه‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی نتایج قابل قبولی را برای طراحی مجدد و کنترل فرآیند استخراج به منظور افزایش بهره‌وری در اختیار مدیران مجتمع معدن مس سرچشمه قرار می‌دهد. نتایج به دست آمده از حل مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که با استقرار ترکیب بهینه پیشنهادی می‌توان سطح میزان تولید در فرآیند استخراج را حفظ کرد و علاوه بر آن ۸ درصد در هزینه‌های موجود کاهش ایجاد کرد. ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۰)، یک بهینه‌سازی دوفازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای سیستم حمل و نقل در معدن روباز ارائه داده‌اند. بر طبق این مطالعه در فاز اول، یک مسئله فراابتکاری جهت تعیین مقدار بهینه تولید با استفاده از OptQuest® حل شده‌است. در فاز دوم، مقدار بهینه تجهیزات جابجایی مثل مقدار شاول‌ها محاسبه شده‌است بطوریکه با استقرار ترکیب بهینه منابع بتوان به هدف فاز اول دست یافت. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از این روش ۲۱ درصد در تولیدات افزایش ایجاد می‌شود. ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۲)، برای حل مسئله بهینه‌سازی

¹Just in Time (JIT)²Genetic Algorithm (GA)³Decision Support System (DSS)

چندهدفه استخراج یک نوع از سنگ‌های معدنی، یک روش حل مسئله تکاملی ارائه دادند. آنها توانستند قابلیت بکارگیری الگوریتم پیشنهادی را در مواجهه با تعیین سطح استخراجات و مدت زمان جابجایی تجهیزات معدنی نشان دهند. جهانگیری و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود توانستند با استفاده از شبه‌مدل رگرسیون و بکارگیری بهینه‌سازی شبیه‌سازی مدت زمان انتظار بیماران مراجعه‌کننده به بخش اورژانس یک بیمارستان دولتی در ایران را در دوران پاندمی کاهش دهند. لیو و همکاران (۲۰۲۳) در این مطالعه یک مسئله زمان‌بندی کارگاه جریان ترکیبی را با در نظر گرفتن کارگران چندماهه و عوامل خستگی مورد مطالعه قرار می‌دهد. یک سیستم شبیه‌سازی مبتنی بر عامل برای مقابله با عدم قطعیت‌ها در مدل خستگی کارگران ایجاد شده‌است. علاوه بر این، این مقاله یک چارچوب جدید بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی را پیشنهاد می‌کند که از الگوریتم ژنتیک برای رسیدگی به مسئله زمان‌بندی فروشگاه جریان ترکیبی استفاده می‌کند. عزیزی و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود با هدف داشتن شرایط عملیاتی بهینه در سیستم توربین‌های گازی، یک مدل با استفاده از روش سطح پاسخ، الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چندهدفه و چهار روش مختلف تصمیم‌گیری پیشنهاد داده‌اند. پیرمارینی و روما (۲۰۲۴) در این مطالعه یک مدل جدید برای مطالعه اثربخشی استراتژی‌های انحراف آمبولانس، براساس رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی معرفی کرده‌اند. برای این منظور، یک مسئله تخصیص بهینه منابع متشکل از یک مسئله بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی دوهدفه را فرموله و حل کرده‌اند که هدف آن به حداقل رساندن زمان بدون ارزش افزوده صرف شده توسط بیماران و هزینه کلی متحمل شده توسط شبکه است. در جدول (۱) پیشینه تحقیق برحسب نوع تابع هدف، نوع محدودیت، نوع شبه‌مدل، نوع روش طراحی آزمایش و روش بهینه‌سازی طبقه‌بندی شده‌است.

جدول ۱. طبقه‌بندی ادبیات

نام نویسنده	سال انتشار	تابع هدف		محدودیت			شبه‌مدل			روش طراحی آزمایش		روش بهینه‌سازی	
		تک‌هدفه	چندهدفه	نامفید	مفید	رگرسیون	کرایینگ	شبکه عصبی	CCD	2^k	LHS	دقیق	متاهورستیک
هوریون و همکاران	۱۹۹۷	*		*								*	
مکشیمیر و همکاران	۲۰۰۱	*		*							*	*	
دنگیز و آکبای	۲۰۰۵	*		*								*	
دنگیز و همکاران	۲۰۰۶	*		*								*	
دنگیز	۲۰۰۹	*		*			*	*					
احمد و الخمیس	۲۰۰۹	*		*								*	
زینالی و همکاران	۲۰۱۵	*		*					*	*		*	
دنگیز و همکاران	۲۰۱۶	*		*			*	*			*	*	
ابوالقاسمیان و همکاران	۲۰۱۸	*		*			*	*			*	*	

	*			*			*	*			*	۲۰۲۰	ابوالقاسمیان و همکاران
	*			*			*	*		*		۲۰۲۲	ابوالقاسمیان و همکاران
	*			*			*	*		*		۲۰۲۳	جهانگیری و همکاران
	*			*			*	*		*		۲۰۲۳	لیو و همکاران
	*	*		*			*	*		*		۲۰۲۴	پیرمارینی و روما
	*	*		*		*	*	*		*		۲۰۲۴	عزیزی و همکاران
	*		*				*	*		*		۲۰۲۴	این تحقیق

با توجه به موارد اشاره شده در بالا، در صنعت پتروشیمی بهینه‌سازی خط تولید و افزایش کارایی از اهمیت بالایی برخوردار است. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در تکنیک‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، هنوز بسیاری از صنایع پتروشیمی از مدل‌های قدیمی و ناکارآمد برای بالانس خط تولید استفاده می‌کنند. این موضوع منجر به عدم بهره‌وری و افزایش هزینه‌ها می‌شود. در این راستا، شکاف تحقیقاتی قابل توجهی در شناسایی و توسعه مدل‌های شبیه‌سازی پیشرفته وجود دارد که می‌تواند به بهبود بالانس خط تولید و افزایش کارایی در این صنعت کمک کند. تحقیقات باید به بررسی عوامل تاثیرگذار بر بالانس خط تولید، شناسایی نقاط ضعف موجود در خطوط تولید فعلی و ارائه راهکارهای مبتنی بر شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی تولید و کاهش هزینه‌ها پردازند. همچنین بررسی تجربیات موفق در دیگر صنایع می‌تواند به عنوان الگویی برای بهبود فرآیندها در صنایع پتروشیمی مورد استفاده، قرار گیرد. این شکاف تحقیقاتی نیازمند توجه و تحقیقات بیشتر برای ایجاد مدل‌های کاربردی و قابل اجرا در محیط‌های واقعی تولید است. زیرا بسیاری از واحدهای تولیدی هنوز از روش‌های سنتی و غیرموثر برای مدیریت و بهینه‌سازی فرآیندهای خود استفاده می‌کنند. این مسئله نیاز به شبیه‌سازی بالانس خط تولید را به وضوح نشان می‌دهد. شکاف تحقیق در این زمینه به این صورت است که با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در تکنولوژی‌های شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها، هنوز تحقیقات کافی در خصوص پیاده‌سازی این تکنیک‌ها برای بهینه‌سازی تولیدات و هزینه‌ها در صنایع پتروشیمی انجام نشده است. به‌ویژه مطالعات قبلی به بررسی جزئیات و ابعاد خاصی از فرآیند تولید پرداخته‌اند اما به چالش‌های کلی و متنوعی که در بالانس خطوط تولید وجود دارد، توجه کافی نشده است. این شکاف تحقیق می‌تواند به عنوان فرصتی برای بررسی و توسعه مدل‌های شبیه‌سازی بالانس خط تولید مطرح شود که با استفاده از داده‌های واقعی و تحلیل‌های پیشرفته، به بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها در صنایع پتروشیمی منجر گردد. این مطالعه می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف و قوت موجود در فرآیندهای تولید کمک کند و راهکارهای موثری برای بهینه‌سازی تولیدات و هزینه‌یابی ارائه دهد. در نهایت نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک مرجع برای تصمیم‌گیرندگان در صنایع پتروشیمی به منظور اتخاذ تصمیمات بهتر و افزایش بهره‌وری مورد استفاده قرار گیرد.

۳) روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، تحقیقی کاربردی می‌باشد چراکه نتایج حاصل از این پژوهش به منظور اصلاح فرآیندها و ساختار فعلی ساخت تولیدات استفاده می‌گردد. همچنین این تحقیق از نظر روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، تحقیق پیمایشی است چون در این پژوهش با حضور در پتروشیمی پارس به جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز شبیه‌سازی مدل براساس تئوری صف پرداخته شده‌است. این پژوهش از نظر روش‌های تحلیل اطلاعات، تحقیقی توصیفی است زیرا وضعیت جاری بطور دقیق مشخص شده و بعد از مدل‌سازی فرآیندها به کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی ARENA وضعیت جاری تولید مخازن و مصنوعات سنگین از لحاظ معیارهای صف و بالانس خط مشخص می‌شود و نتایج آن مورد توصیف و تحلیل قرار می‌گیرند. روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبه‌مدل^۴ پیشنهاد شد که به دلایل مختلفی توجیه می‌شود. این روش به‌ویژه در مسائلی که تابع هدف با محدودیت‌های محاسباتی پرهزینه‌ای سروکار دارند، می‌تواند با استفاده از مدل‌های تقریبی، هزینه محاسباتی را بطور قابل توجهی کاهش دهد. با استفاده از شبه‌مدل‌ها، زمان مورد نیاز برای ارزیابی گزینه‌ها کاهش می‌یابد و به این ترتیب فرآیند بهینه‌سازی سریع‌تر انجام می‌شود. استفاده از شبه‌مدل‌ها نیاز به ارزیابی‌های مکرر را کاهش می‌دهد که به‌ویژه در مسائل پیچیده‌ای که ارزیابی هر گزینه زمان‌بر است، مزیت بزرگی محسوب می‌شود. شبه‌مدل‌ها می‌توانند به‌خوبی رفتار غیرخطی و پیچیده سیستم‌ها را شبیه‌سازی کنند و به بهینه‌سازی در چنین سیستم‌هایی کمک کنند. این روش به محققان این امکان را می‌دهد که تعادلی بین دقت مدل و کارایی محاسبات برقرار کنند و در مواردیکه دقت کامل ضروری نیست، از مدل‌های تقریبی استفاده کنند. شبه‌مدل‌ها می‌توانند به راحتی با داده‌های جدید به‌روزرسانی شوند و این امکان را فراهم آورند که بهینه‌سازی در شرایط متغیر به راحتی انجام شود. همچنین این روش قادر است بطور همزمان چندین هدف را در فرآیند بهینه‌سازی در نظر بگیرد و راه‌حل‌های بهینه را در این زمینه ارائه دهد. این دلایل موجب می‌شود که روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبه‌مدل به عنوان یک ابزار موثر در حل مسائل پیچیده و بهینه‌سازی در صنایع مختلف مورد توجه قرار گیرد.

روش گردآوری اطلاعات در این تحقیق به صورت کتابخانه‌ای انجام می‌گیرد و به ندرت با افراد خاص برای جمع‌آوری مستقیم اطلاعات سروکار دارد. در طول تحقیق همواره اجراکنندگان ملزم به اجرای قانون و اخلاق حرفه‌ای در برابر اسناد طبقه‌بندی شده هستند. علاوه بر این، گردآوری کتابخانه‌ای از مطالعه میان منابع تئوریک داخلی و خارجی اعم از مقالات مجله‌ای معتبر سال‌های اخیر، مقالات کنفرانسی، رساله‌های انجام شده در سایر دانشگاه‌ها و کتاب‌های حوزه شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. جامعه آماری این پژوهش، خط تولید محصولات در شرکت پتروشیمی پارس می‌باشد به این صورت که اطلاعات مورد نیاز (تعداد دستگاه‌های کاری در خط تولید مورد بررسی، میزان بیکاری ایستگاه‌ها و نیز میزان انتظار در صف قطعات برای دریافت سرویس، بررسی گلوگاه‌ها و غیره) که به صورت کمی بوده، از طریق حضور در خط تولید و مصاحبه با مدیران و سرپرستان شرکت و اطلاعات ثبت شده در واحد برنامه‌ریزی شرکت و فرآیندهای کاری و زمان‌سنجی از واحد مهندسی شرکت جمع‌آوری شد. الگوی کلی مراحل پژوهش حاضر در شکل (۱) ارائه شده‌است. هریک از مراحل اجرای پژوهش در ادامه تشریح شده‌است.

⁴Surrogate (Meta-model)-based optimization



نمودار ۱. مراحل انجام پژوهش

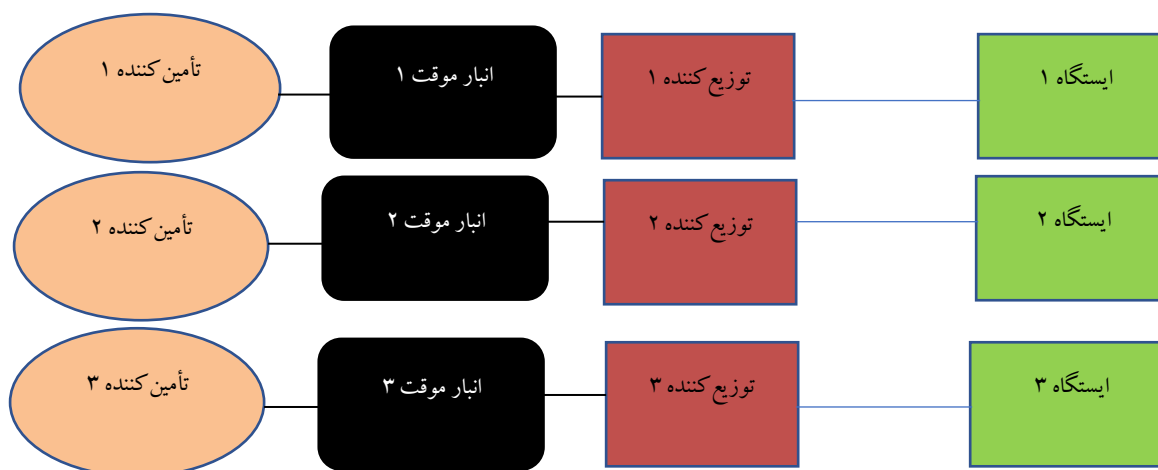
۴ یافته‌ها

در این تحقیق یک سیستم تولید که دارای سه مرحله تولید است و به صورت متوالی با تقاضای تصادفی و در نظر گرفتن ظرفیت تولید می‌باشد، مورد بحث قرار گرفته است. سیستم تولید در این تحقیق به صورت یک زنجیره مارکوف زمان گسسته از نوع $M/G/1$ مدل شده است. شرایط لازم و کافی و یک وضعیت پایدار که تحت تاثیر آن سیستم دارای توزیع حالت پایدار است، در نظر گرفته شده است و سپس با استفاده از شبیه سازی گسسته پیشامد در نرم افزار ARENA® مدل سازی گرافیکی انجام شده است. سپس با بررسی دقیق مدل براساس خصوصیات که از سیستم جمع آوری شده است نسبت به تحلیل و بررسی آن اقدام شده است. در تحقیق مورد نظر، سیستم تولید به صورت یک زنجیره مارکوف زمان گسسته از نوع $M/G/1$ مدل شده است. در این مدل، M به تعداد محدودیت‌های ورودی (محدودیت‌های ورودی)، G به توزیع عمومی خدمت‌دهی و 1 به تعداد تجهیزات خدمت‌دهنده اشاره دارد.

برای ایجاد وضعیت پایدار در سیستم، شرایط لازم و کافی باید برقرار باشند. این شرایط ممکن است شامل تعادل بین ورودی و خروجی، عدم افزایش بی‌پایان صف و عدم افزایش بی‌پایان زمان انتظار مشتریان باشد. ورود و خروج به ایستگاه‌های کاری و نرخ ورود و سرویس‌دهی ایستگاه‌ها براساس نیازهای سیستم و تعداد محصولات و خدمات مورد نیاز تعیین می‌شود. صف در سیستم زمانی ایجاد می‌شود که تعداد محصولات یا مشتریان ورودی به سیستم بیشتر از ظرفیت خدمت‌دهی سیستم باشد. این موضوع می‌تواند به دلیل نرخ ورود بالا، نرخ خروج پایین یا تعداد محصولات متوقف شده در سیستم باشد.

۴-۱) تشریح سیستم

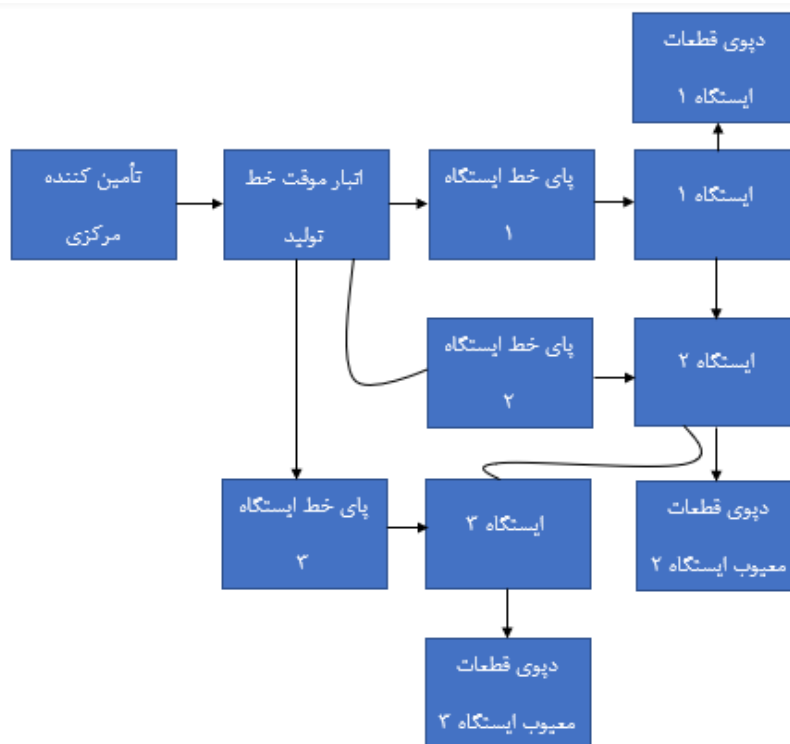
طرح شماتیک مفهوم سیستم تولید که در این تحقیق مورد بحث قرار گرفته است، در شکل (۲) نشان داده شده است. از بالادست به پایین دست، مراحل از مرحله ۱ تا مرحله m شماره گذاری می‌شوند و در هر مرحله از دو نوع فعالیت خروج محصول و سفارش تولید استفاده می‌شود. زمان تحویل قطعات، تعداد فعالیت‌های سفارش دهنده تولید و تعداد خروج محصولات در مرحله i به ترتیب M_i, L_i و N_i نشان داده شده است. فرض شده که ظرفیت برابر یک است. فرمول زمان گسسته بصورتیکه مشخص شده، در نظر گرفته می‌شود. چرخه برداشت ثابت، به‌عنوان یک دوره تنظیم می‌شود و دوره n به‌عنوان فاصله زمانی از n تا بلافاصله قبل از زمان $n + 1$ تنظیم می‌شود. برای هر تقاضای مشتری که در دوره n وارد می‌شود، در صورت موجودی محصولات، یک واحد محصول در ابتدای دوره $n + 1$ عرضه می‌شود. در صورت عدم موجودی محصولات، تقاضای مشتری عقب‌افتاده محسوب می‌شود (یعنی یک تقاضای عقب‌افتاده به وجود می‌آید). محصولات جداشده مربوط به قطعات مصرف‌شده در مرحله اول در دوره n اجازه می‌دهد تا قطعات یک تامین‌کننده خارجی در مرحله اول $n + L_1 + 1$ به مرحله ۱ تحویل داده شود. برای $i \geq 2$ ، مقدار قطعات مصرف‌شده در مرحله i در دوره n به مرحله i از مرحله $(i - 1)$ در آغاز دوره $n + L_i + 1$ یا بعد از آن بسته به حالت بالادست در آغاز دوره n تحویل داده می‌شود. فرض بر این است که ظرفیت‌های تولید و تقاضای مشتری در هر دوره متغیرهای تصادفی مستقل هستند. همچنین کل تقاضاهای معوقه و تعداد کابان‌های سفارش شده در مرحله سفارش تولید، برای هر ماه محاسبه می‌شوند.



نمودار ۲. فلوچارت مفهومی سیستم

بطور کلی براساس شکل (۲) قطعات تامین شده از تامین کننده مرکزی، تامین می‌شود. کل قطعات درخواستی را به سالن تولید مخازن مصنوعات سنگین براساس سفارش گذاری انجام شده در هر شیفت کاری، به انبار موقت سالن تولید ارسال می‌کنند. در این بخش، با استفاده از لیفتراک، قطعات به پای خطوط تولید ۱، ۲ و ۳ ارسال می‌شوند. توجه شود که ارسال و جابجایی قطعات از انبار موقت به ایستگاه‌های سه‌گانه تولید، بطور مکرر در هر شیفت کاری از طریق لیفتراک انجام می‌شود. به این صورت که لیفتراک‌ها از طریق رفت و آمد و مشاهده وضعیت موجودی پای خط تولید، قطعات را از انبار

موقت هر ایستگاه کاری (اول، دوم و سوم) به پای خط تولید انتقال می‌دهند. نحوه سفارش‌گذاری در انتهای هر شیفت کاری، کارشناسان اقدام به سرشماری میزان موجودی قطعات در پای خط و در انبار موقت می‌کنند که براساس تفاضل بین موجودی و نیاز در هر شیفت، اقدام به سفارش‌گذاری می‌کنند. سفارشات براساس نوع قطعات انجام می‌گیرد. بطور کلی، هدف در این مسئله، شناسایی نقاط گلوگاهی است که باعث بروز ایجاد هرچه بیشتر محصول نیمه‌ساخته می‌شود و خروجی خط در آن نقطه از فرآیند تولید، به شدت کاهش می‌یابد. در شکل (۳)، جزئیات انتقال هر موجودیت در مدل شبیه‌سازی، نشان داده شده‌است.



نمودار ۳. جزئیات جابجایی موجودیت‌ها در سیستم در نظر گرفته شده

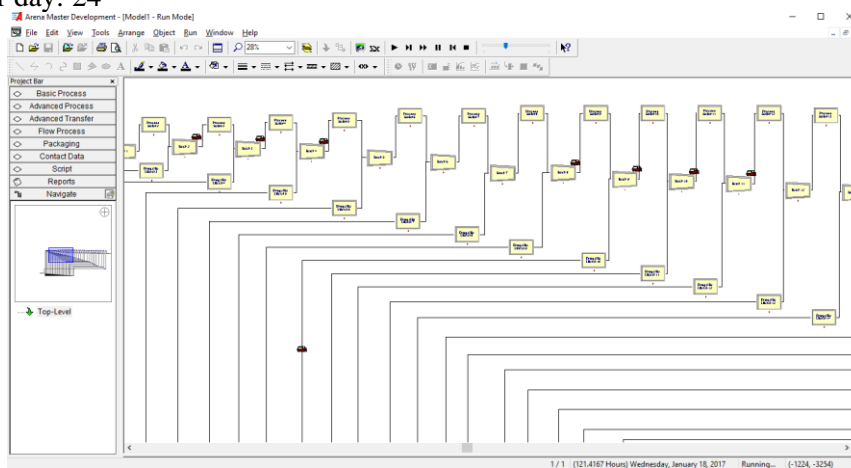
۴-۲) مفروضات مدل‌سازی

- برای طراحی مدل سیستم مذکور، مفروضات اشاره شده در ذیل در نظر گرفته شده‌است.
- در انتهای هر شیفت کاری اقدام به سرشماری اقلام موجودی در پای خط و در انبار موقت سالن تولید می‌شود.
 - سه شیفت کاری ۲۴۰ تایی، ۲۴۰ تاییو ۲۲۰ تایی از محصول وجود دارد.
 - در شیفت ۲۴۰ تایی هر ۱۲۰ ثانیه یک محصول تولید می‌شود.
 - نحوه فرآیند سفارش‌گذاری به صورتی است که در هر شیفت کاری سفارش‌گذاری انجام می‌شود و سفارش‌های انجام شده، درحقیقت برای تامین نیاز شیفت کاری بعدی تحویل داده می‌شود.
 - کل قطعات معرفی شده برای تولید محصول شامل ۳۰ قطعه است.
 - احتمال معیوب بودن قطعات در هر ایستگاه، از توزیع احتمالی [0.01, 0.1] است.

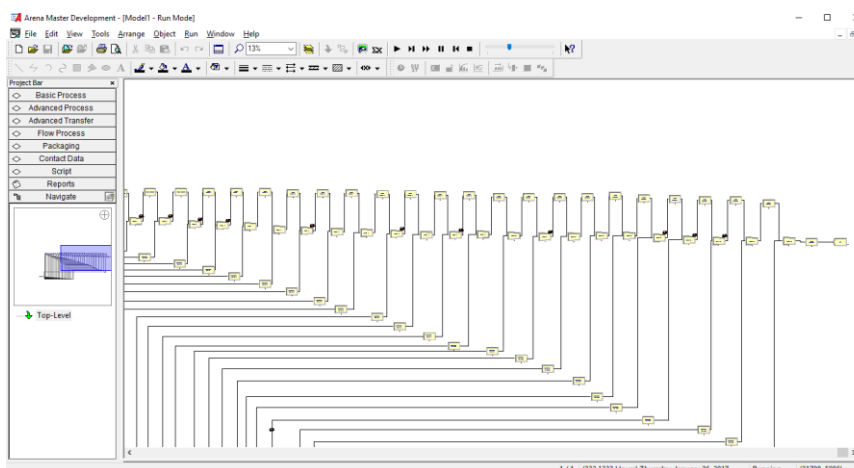
۴-۳ ساخت مدل شبیه‌سازی

در این بخش مستندات لازم درخصوص توسعه مدل شبیه‌سازی سیستم تولیدی چندمرحله مخازن مصنوعات سنگین نشان داده شده‌است. در شکل (۴) و (۵) محیط نرم‌افزاری مربوط به توسعه مدل در نرم‌افزار ARENA نشان داده شده‌است. این مدل براساس تنظیماتی که مربوط به حالت پایداری آن است و در زیر مشخص شده‌است، به اجرا درآمده‌است.

- Warm-up period: 4 hour
- Number of replication: 10 times
- Replication Length: 30 days
- Hours per day: 24



نمودار ۴-الف. محیط نرم‌افزاری مدل


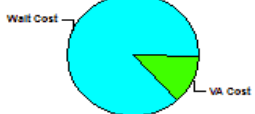


نمودار ۴-ب. محیط نرم‌افزاری مدل

۴-۴ تحلیل نتایج اولیه مدل شبیه‌سازی

براساس تنظیمات مربوطه، مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد در نرم‌افزار ARENA به اجرا درآمده‌است. خروجی کلی این سیستم برابر با ۱۹۰ و میانگین هزینه کل برابر با ۱۳۴۶۱۶ می‌باشد. علاوه بر آن، در جدول (۲) نتایج کلی به ازای تمامی منابع و تمامی موجودیت‌ها گزارش شده‌است.

جدول ۲- گزارش نتایج کلی برای تمام منابع و موجودیت‌ها

عامل	شاخص	مقدار	نمودار گرافیکی
تولید	میانگین هزینه مشغول بودن منابع	۱۵۹۷	
	میانگین هزینه بیکاری منابع	۲۱۴۴۳	
	میانگین هزینه بکار بردن منابع	۱۲۴۶۰	
	میانگین هزینه کل	۳۵۴۹۹	
موجودیت‌ها	میانگین هزینه ارزش افزوده	۱۴۸۵۶	
	میانگین هزینه انتظار قطعات	۹۸۳۱۷	
	کل هزینه	۱۱۳۱۷۳	

در ادامه با بررسی دقیق‌تر به تفکیک مدت زمان کل و زمان انتظار هر موجودیت در سیستم می‌پردازیم. در جدول (۳) ریز جزئیات مربوط به بررسی منابع موثر نشان داده شده‌است. در میان تمامی منابع، نقاله و لیفتراک موثرترین عواملی هستند که بر روی هزینه و تولید تاثیر می‌گذارند.

جدول ۳- جزئیات مربوط به تحلیل مدل شبیه‌سازی شده

منبع	زمان انتظار	زمان کل	هزینه منابع استفاده شده	هزینه بیکار بودن	هزینه مشغول بودن
انتقال با نقاله	۴۹.۲۶۰	۵۰.۰۴۳	۸۷۵	۳۴.۶۴۶	۶۸۴.۶۳۰
انتقال با لیفتراک	۲۵۶.۵۲۰	۲۷۶.۶۷۰	۵۸۰۱	۰.۷۸۳	۷۱۹.۲۱۰

۴-۵) طرح بهبود فرآیند

برای این منظور ابتدا باید هدفی برای ایجاد بهبود در نظر بگیریم. یک هدف ممکن است براساس سازوکار یک سیستم و عناصر درونی آن تعریف گردد. در این تحقیق برای سیستم مذکور در نظر داریم در راستای افزایش بهره‌وری، مقدار تولید را افزایش دهیم و نیز هزینه‌های کل را کاهش دهیم. این کار را می‌خواهیم از طریق بررسی منابعی که بیشترین تاثیر را بر روی تولیدات و هزینه کل دارند، انجام دهیم. برای این کار لازم است سناریوهایی در قالب آزمایش انجام شود تا با برآورد مدل ریاضی و بهینه‌سازی آن، مقدار بهینه متغیرها محاسبه شود و سپس با اعمال مقدار بهینه منابع، مقدار تولید و مقدار هزینه را شبیه‌سازی نماییم. پرواضح است با برآورد هزینه کل مربوط به انتقال با نقاله و لیفتراک که به ترتیب برابر با $51.227x_1 + 14.675x_2$ واحد پولی و 14.675 واحد پولی شبیه‌سازی شده‌است، تابع هزینه کل برای این هدف به صورت $\sum_{i=1}^2 C_i x_i =$ آن لازم است اقدام نماییم، تابع هدف اول به‌عنوان ماکزیم‌سازی مقدار تولیدات است که در ادامه به برآورد آن خواهیم پرداخت. برای این منظور ابتدا لازم است یک طرح آزمایش از طریق متغیرهای اثرگذار شناسایی نماییم.

۴-۵-۱) طراحی آزمایش

با استفاده از طراحی آزمایش‌ها، نسبت به طراحی سناریو اقدام می‌نماییم. برای انجام این کار، ابتدا لازم است ضمن معرفی متغیرهای اثرگذار، برای متغیرهای در نظر گرفته‌شده، محدوده‌ای در نظر بگیریم. محدوده‌های در نظر گرفته‌شده برای متغیرها عبارتند از:

x_1 : تعداد منابع نقاله با کمترین مقدار ۱ و بیشترین مقدار ۳،

x_2 : تعداد منابع لیفتراک با کمترین مقدار ۱ و بیشترین مقدار ۲،

با استفاده از طرح آزمایش 2^k که در آن k تعداد متغیرها (تعداد منابع) است ۴ سناریو به شرح زیر که در جدول (۴) نشان داده شده‌است، طراحی می‌گردد.

جدول ۴- طراحی سناریوها

شماره سناریو	x_1	x_2	میزان تولید
سناریو ۱	۳	۱	۱۹۰
سناریو ۲	۳	۲	۳۸۹
سناریو ۳	۱	۱	۱۹۰
سناریو ۴	۱	۲	۳۸۸

با توجه به جدول (۳) براساس سناریو اول، در صورتیکه تعداد نقاله برابر ۳ و تعداد لیفتراک برابر ۱ اختیار شود، تعداد کل تولید برابر با ۱۹۰ محاسبه می‌شود. بدین ترتیب با اجرای سناریوهای دوم، سوم و چهارم میزان تولیدات به ترتیب برابر است با ۳۸۹، ۱۹۰ و ۳۸۸. براساس نتایج به دست آمده برای سطح پاسخ تعداد کل تولیدات، مشاهده می‌شود که تحت سناریو اول و سوم یعنی با در نظر گرفتن نقاله به تعداد ۳ و لیفتراک به تعداد ۱ و همچنین تعداد نقاله ۱ و لیفتراک هم ۱، میزان تعداد تولید کمترین مقدار در میان سناریوهای در نظر گرفته‌شده، به دست می‌آید که در مقایسه با وضعیت موجود که برابر با ۱۹۰ است تغییر ایجاد نمی‌شود. این سناریو در حقیقت بیان می‌کند: علی‌رغم اینکه بهبودی حاصل نمی‌کند اما باعث بدتر شدن وضعیت هم نمی‌شود. بنابراین فقط سیستم را در وضعیت موجود خود نگه می‌دارد. لذا به همین دلیل که باعث بدتر شدن در میزان تولیدات نمی‌شود، از آن به عنوان سناریو بهبود استفاده می‌نماییم. اما در سناریو دوم و چهارم در وضعیت سیستم، بهبود مشاهده می‌شود زیرا میزان تولیدات نسبت به وضعیت موجود بیشتر شده‌است. بنابراین با تشکیل سطح پاسخ ایجاد شده نسبت به برآورد مدل ریاضی اقدام می‌نماییم. منظور از برآورد مدل، محاسبه ضرایب یک مدل به صورت $y = \beta + \beta_1 \sum_{i=1}^2 x_i + \beta_2 \sum_{i>j} x_i x_j$ که در آن β به عنوان ضریب ثابت، β_1 ضریب متغیرهای اصلی و β_2 ضریب اثر متقابل بین متغیرهاست. محاسبه ضرایب با استفاده از تکنیک‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار *Design expert 13* قابل محاسبه خواهد بود.

در جدول (۵) تحلیل آماری مربوط به شناسایی متغیرهای اثرگذار در مدل نشان داده شده‌است. با توجه به اینکه، مقدار آماره R^2 برابر با ۹۷.۸ درصد برای مدل برآورد شده‌است و از لحاظ آماری در صورتیکه مقدار آماره از ۰.۷ بیشتر باشد مدل معنی‌دار است، پس مدل رگرسیون غیرخطی با دو اثر متقابل برای سطح پاسخ در نظر گرفته‌شده، از دقت مطلوبی

برخوردار است. علاوه بر این، با توجه به جدول (۳)، مقدار آماره p برای تمامی جملات مدل معنی دار است. زیرا مقدار این آماره برای تمامی جملات مدل کمتر از ۰.۰۵ گزارش شده است. در صورتیکه اگر مقدار آماره p بیشتر از ۰.۰۵ به دست می آید، اثر آن جمله از مدل حذف می گردد.

جدول ۵- تحلیل آماری

منبع	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	ضریب برآورد شده	مقدار p	وضعیت
مقدار ثابت	۳۹۴۰۲.۷۵	۳	۱۳۱۳۴.۲۵	-۷.۵	۰.۰۴	قابل قبول
x_1	۰.۲۵	۱	۰.۲۵	-۰.۵	۰.۰۳	قابل قبول
x_2	۳۹۴۰۲.۲۵	۱	۳۹۴۰۲.۲۵	۱۹۷.۵	۰.۰۱	قابل قبول
x_1x_2	۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۵	۰.۰۵	قابل قبول

بنابراین با توجه به معنی دار بودن تمامی اثرات، مدل برآورد شده به صورت رابطه (۱) برآورد می شود.

$$y = -7.5 - 0.5x_1 + 197.5x_2 + 0.5x_1x_2 \quad (1)$$

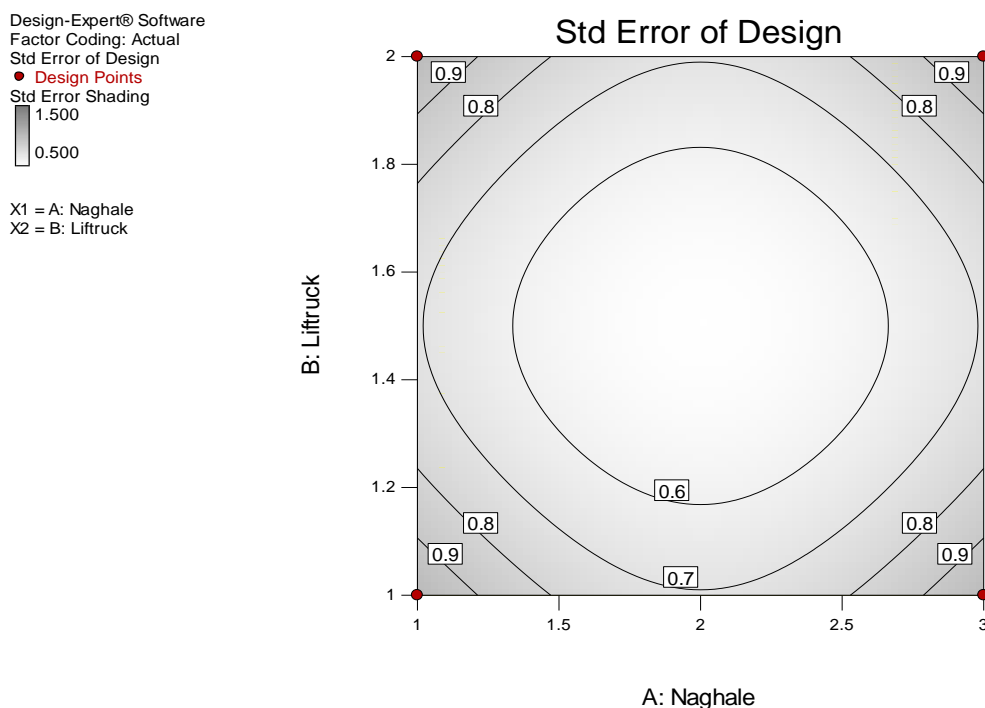
به منظور بررسی کیفیت مدل پیشنهاد شده، آماره های VIF ، $Power$ و $Leverage$ مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول (۶)، مقدار هر یک از این آماره ها نشان داده شده است. مقدار ایده آل برای VIF برابر با یک است که در مدل پیشنهاد شده به ازای تمامی جملات اصلی ۰.۹۸ محاسبه شده است. همچنین تابع توان برابر با ۰.۸۷ محاسبه شده است که بطور تجربی توان بالاتر از ۰.۸ قابل قبول است. سرانجام مقدار $Leverage$ بایستی کمتر از ۰.۱ محاسبه شود که در تمامی جملات مقدار قابل قبول محاسبه شده است. R^2 پیش بینی شده در مدل پیشنهادی مثبت گزارش شده است و برابر ۰.۹۱ محاسبه شده است. بنابراین مدل از درجات بالاتر برای توجیه سطح پاسخ نیاز ندارد چون تنها در صورتیکه این آماره منفی به دست بیاید، مدل از درجات بالاتر لازم است بررسی شود.

جدول ۶- تحلیل آماری

منبع	VIF	$Power$	$Leverage$	وضعیت
مقدار ثابت	۰.۹۸	۰.۸۷	۰.۲۵	قابل قبول
x_1	۰.۹۸	۰.۸۷	۰.۲۵	قابل قبول
x_2	۰.۹۸	۰.۸۷	۰.۲۵	قابل قبول
x_1x_2	۰.۹۸	۰.۸۷	۰.۲۵	قابل قبول

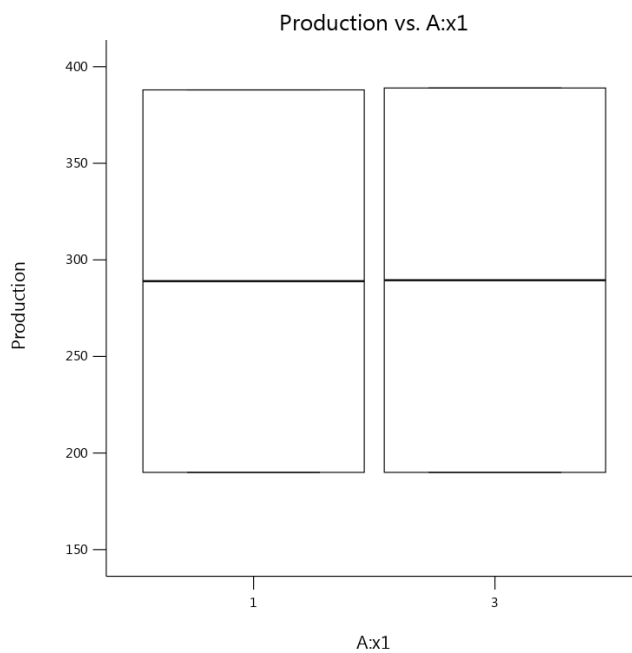
بنابراین با لحاظ کردن محدودیت های سیستمی در نظر گرفته شده با تشکیل مسئله برنامه ریزی ریاضی با حل مسئله تشکیل شده، می توان مقدار بهینه متغیرها را به گونه ای تعیین کرد که میزان تولیدات را ماکزیمم کرد و هزینه را کاهش داد.

در شکل (۵)، نمودار کانتور مربوط به انحراف معیار میزان تولیدات نشان داده شده است. بر اساس نمودار رسم شده، هر چه مقدار نقاله و لیفتراک در حد وسط بازه در نظر گرفته شده قرار بگیرند، مقدار انحراف استاندارد کمتر می‌شود. همچنین در شکل‌های (۶) و (۷)، نمودار جعبه‌ای مربوط به ازای هر سطح از هر فاکتور و مقدار تولید آنها ارائه شده است. با توجه به شکل (۶)، در صورتیکه فاکتور نقاله در سطح کم و زیاد خود قرار بگیرد، میزان تولید تغییر نخواهد کرد. پس در صورتیکه فاکتور نقاله در سطح بالا انتخاب شود، هزینه کرد اضافی بر روی سیستم تولیدی اعمال خواهد کرد زیرا تغییری در سطح تولید ایجاد نخواهد کرد. پس در طرح بهبود، پیشنهاد می‌شود که فاکتور نقاله در سطح پایین قرار بگیرد. علاوه بر این، در شکل (۷) ارتباط فاکتور لیفتراک و سطح پاسخ ارائه شده است. در صورتیکه فاکتور لیفتراک در سطح پایین قرار بگیرد، سطح تولید کاهش می‌یابد اما اگر در سطح بالا قرار بگیرد، سطح تولید افزایش می‌یابد. در شکل (۸)، نمودار سه‌بعدی سطح نشان داده شده است. طبق نمودار سطح سه‌بعدی، در صورتیکه در کران بالا یا پایین آن قرار بگیرد، مقدار انحراف استاندارد از لحاظ آماری افزایش پیدا می‌کند.



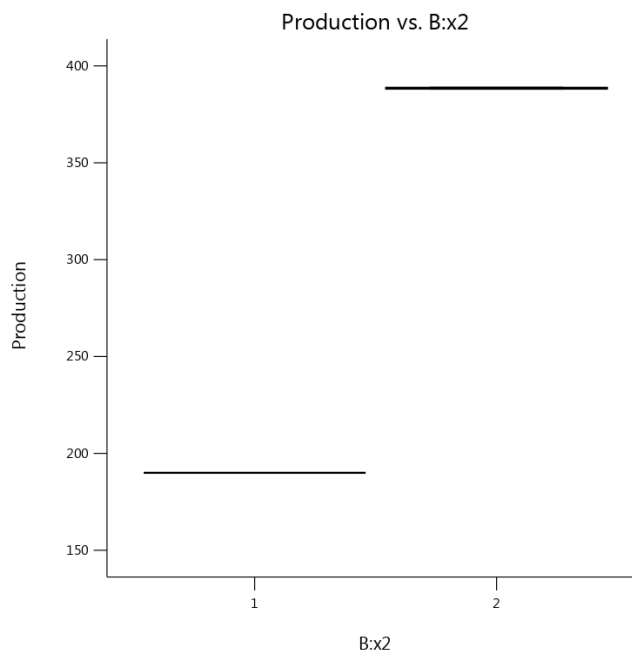
شکل ۵- نمودار کانتور خطای استاندارد طرح بین دو فاکتور نقاله و لیفتراک

Design-Expert® Software



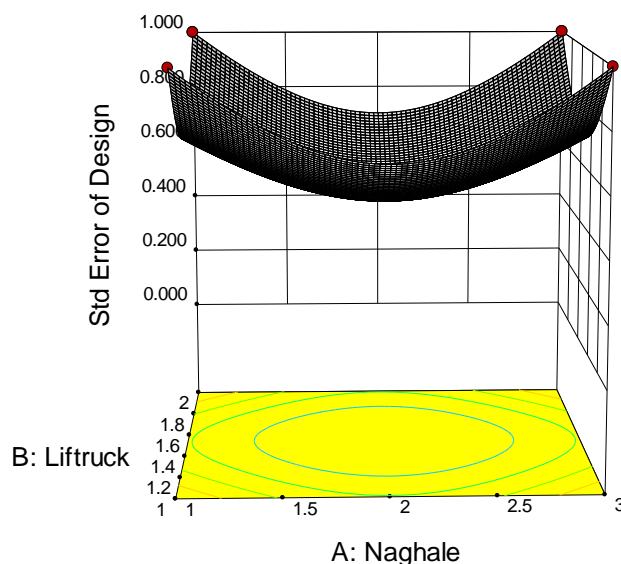
شکل ۶- نمودار جعبه‌ای طرح بین فاکتور انتقال و سطح پاسخ

Design-Expert® Software



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای طرح بین فاکتور لیفتراک و سطح پاسخ

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Std Error of Design
 Std Error Shading
 1.500
 0.500
 X1 = A: Naghale
 X2 = B: Liftruck



شکل ۸- نمودار سه‌بعدی سطح پاسخ

اهمیت تشکیل مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی برای حل این نوع برنامه‌ریزی در اینجا مشخص می‌شود تا علاوه بر تعیین مقدار بهینه متغیرها، بطور دقیق مشخص نماییم که متغیرها چه مقداری به خود می‌گیرند.

۴-۵-۲) مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه

با استفاده از تابع هدف برآوردشده برای حداکثرسازی مقدار تولیدات و تابع هدف در نظر گرفته‌شده مربوط به هزینه کل، مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی، عدد صحیح چندهدفه به صورت مجموعه معادلات ۲ فرمول‌نویسی شده است.

(۲)

$$\begin{aligned} \min z &= 51.227x_1 + 14.675x_2 \\ \max y &= -7.5 - 0.5x_1 + 197.5x_2 + 0.5x_1x_2 \\ S. t \\ 1 &\leq x_1 \leq 3, \\ 1 &\leq x_2 \leq 2, \\ x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \\ x_i &\in \text{integer}, \quad i = 1, 2, \end{aligned}$$

در مجموعه معادلات ۲، تابع هدف Z و y به ترتیب تابع هزینه کل و تولید کل در مجموعه خط تولید مخازن میعانات طبیعی است. محدودیت اول و دوم به عنوان محدودیت سیستمی تضمین می‌کنند که مقدار بهینه متغیرها از محدوده‌های تعریف‌شده تجاوز نکند. محدودیت سوم تضمین می‌کند که متغیرها همواره مقدار نامنفی بگیرند و همچنین محدودیت

چهارم تضمین می‌کند که مقدار بهینه متغیرها همواره صحیح باشد. برای تبدیل مسئله چندهدفه فوق، به یک مسئله تک‌هدفه از روش تابع هدف مجموع وزن‌دار شده استفاده می‌شود. براساس این روش، توابع باید هر دو از یک جنس باشند. برای این منظور جهت تبدیل به یکدیگر لازم است در یک علامت منفی ضرب شوند. سپس وزنی که براساس نظر خبرگان، برای توابع هدف جمع‌آوری شده‌است را در هر یک از توابع ضرب و سپس دو تابع را با یکدیگر جمع می‌نماییم. وزن اختصاص‌یافته برای تابع هدف اول برابر با $w_1 = 0.4$ و وزن مربوط به تابع هدف دوم برابر با $w_2 = 0.6$ در نظر گرفته شده‌است. مسئله تبدیل‌یافته به یک مسئله تک‌هدفه در مجموعه معادلات ۳ نشان داده شده‌است.

(۳)

$$\min z = 0.4 \times (51.227x_1 + 14.675x_2) + 0.6 \times (7.5 + 0.5x_1 - 197.5x_2 - 0.5x_1x_2)$$

S. t

$$1 \leq x_1 \leq 3,$$

$$1 \leq x_2 \leq 2,$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2,$$

$$x_i \in \text{integer}, \quad i = 1, 2,$$

مسئله غیرخطی عدد صحیح نشان داده شده در مجموعه معادلات ۳، با استفاده از نرم‌افزار Lingo حل گردید. جواب بهینه محلی مسئله غیرخطی بعد از ۲۵ تکرار طبق جدول (۷) به دست آمد.

جدول ۷- مقدار بهینه متغیرها

متغیر	مقدار بهینه	جواب بهینه
x_1	۱	-۲۰۰.۵۶۹
x_2	۲	

براساس مقادیر بهینه به دست آمده، با قراردادن این مقادیر در توابع هدف هر یک، میزان تولیدات و مقدار هزینه در وضعیت بهینه قابل محاسبه است. در جدول (۸) مقایسه بین وضعیت مطلوب بهینه و جاری نشان داده شده‌است.

جدول ۸- مقایسه وضعیت جاری و بهینه

مقدار تولید	مقدار هزینه	مقدار متغیر		وضعیت
		x_2	x_1	
۳۸۸	۸۰.۵۷۷	۲	۱	بهینه
۱۹۰	۶۵.۹۰۲	۱	۱	جاری

با توجه به جدول (۵)، با اضافه شدن یک مقدار در تعداد لیفتراک‌ها، علی‌رغم اینکه مقدار هزینه‌ها از ۶۵.۹۰۲ واحد پولی به ۸۰.۵۷۷ افزایش می‌یابد و معادل ۲۲ درصد افزایش در مقدار هزینه‌هاست اما در مقابل باعث دوبرابر شدن میزان تولیدات نسبت به وضعیت موجود است. این رقم به دست آمده در میزان تولیدات، با توجه به اینکه از ابتدا هدف افزایش

تولید به‌منظور افزایش بهره‌وری بود و در تعیین وزن نیز وزن بزرگتری به هدف مربوط به میزان تولیدات اعمال شده‌است لذا می‌توان افزایش ۲۲ درصدی در میزان هزینه‌ها را نادیده گرفت.

۴-۶) تحلیل حساسیت

در این بخش با تغییر بر روی پارامترهای مدل، تاثیر تغییرات آنها را بر روی مقدار بهینه توابع هدف مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور، ابتدا ضرایب وزنی (اهمیت) توابع هدف را تغییر می‌دهیم. مطابق با جدول (۹)، مقادیر مختلفی را برای اوزان w_1 و w_2 در نظر می‌گیریم. با توجه به نتایج به‌دست آمده، درحالتیکه وزن اختصاص یافته برای تابع هدف اول برابر با $w_1 = 0.4$ و وزن مربوط به تابع هدف دوم برابر با $w_2 = 0.6$ در نظر گرفته شود، کمترین مقدار تابع مجموع وزن دار شده محاسبه می‌شود. علاوه بر این، در صورتیکه اهمیت دو تابع با یکدیگر یکسان و برابر با ۰.۵ در نظر گرفته شود بیشترین مقدار مجموع وزن دار شده به دست می‌آید.

جدول ۹- اثر تغییرات اهمیت توابع هدف بر مقدار مجموع وزن دار شده

ردیف	w_1	w_2	مقدار تابع هدف
۱	۰.۱	۰.۹	-۱۵۹.۹۶۰
۲	۰.۲	۰.۸	-۱۷۹.۶۹۱
۳	۰.۳	۰.۷	-۱۶۰.۱۴۱
۴	۰.۴	۰.۶	-۲۰۰.۵۶۹
۵	۰.۵	۰.۵	-۱۰۸.۵۷۰
۶	۰.۶	۰.۴	-۱۲۸.۱۵۲
۷	۰.۷	۰.۳	-۱۳۴.۹۵۴
۸	۰.۸	۰.۲	-۱۴۸.۳۶۹
۹	۰.۹	۰.۱	-۱۶۱.۲۴۷

علاوه بر تغییر فوق، در مقدار فاکتورهای کلیدی یعنی تعداد نقاله و لیفتراک نیز تغییراتی به وجود آمده‌است و تاثیر آن تغییرات بر روی مقدار تابع هدف و میزان تولیدات بررسی شده‌است. با توجه به نتایج حاصل شده، در صورتیکه مقدار متغیرها نسبت به وضعیت موجود افزایش نماید، ضمن افزایش در مقدار هزینه‌ها، مقدار تولید افزایش پیدا می‌کند اما مقدار تولید در مقایسه با وضعیت بهینه که برابر با ۳۸۸ به دست آمده‌است، تغییر محسوسی نموده و برابر با ۳۹۹ محاسبه شده‌است. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که افزایش در مقدار متغیرها با توجه به افزایش در مقدار هزینه و تغییر محسوس در میزان تولید به صلاح نیست. در صورتیکه اگر مقدار متغیرها کاهش یابد، علی‌رغم اینکه هزینه‌ها کاهش می‌یابد اما افت بسیار شدیدی در مقدار تولید حاصل می‌شود.

جدول ۱۰- تغییرات بر روی مقدار فاکتورها

مقدار تولید	مقدار هزینه	مقدار فاکتور		وضعیت
		لیفتراک	نقاله	
۱۹۰	۶۵.۹۰۲	۱	۱	جاری
۳۹۹	۱۲۵.۶۵۸	۳	۳	افزایش یافته
۸۰	۳۲.۴۵۲	۰	۱	کاهش یافته
۷۵	۳۱.۲۵۹	۱	۰	

۵) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش یک مدل از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری به منظور بررسی وضعیت خط تولید مصنوعات سنگین در شرکت پتروشیمی پارس توسعه داده شده است. این مدل قادر است میزان تولیدات در زیر سیستم موردنظر را با توجه به متغیرهای اثرگذار در فرآیند تخمین بزند. در این پژوهش نشان داده شده است که چگونه یک تحلیل گر می‌تواند به سادگی با استفاده از روش بهینه‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی، مسئله موجود در یک سیستم پیچیده را حل نماید. با استفاده از متغیرهای اثرگذار در فرآیند، طراحی آزمایشات و همچنین تکنیک‌های آماری، یک مدل به‌عنوان تابع هدف مسئله تقریب زده شده است. این مدل قادر است به‌خوبی هدف موردنظر را پوشش دهد. فرآیند بهینه‌سازی به‌منظور تعیین نقطه نزدیک بهینه^۵ منابع با در نظر گرفتن محدودیت سیستمی و سایر محدودیت‌ها در مجموعه معادلات (۳) بعد از تبدیل مسئله چندهدفه به یک مسئله تک‌هدفه با استفاده از روش مجموع وزن‌دار شده، به اجرا درآمد. از طریق حل مسئله ایجاد شده ترکیب شدنی متغیرهای اصلی پیدا شده است که عبارتند از: تعداد نقاله برابر با ۱ عدد و تعداد لیفتراک برابر با ۲ عدد. با توجه به نتایج حاصل شده و مقایسه با وضعیت موجود، با اضافه شدن یک مقدار در تعداد لیفتراک‌ها، علی‌رغم اینکه مقدار هزینه‌ها از ۶۵.۹۰۲ واحد پولی به ۸۰.۵۷۷ افزایش می‌یابد، معادل ۲۲ درصد افزایش در مقدار هزینه‌هاست اما در مقابل باعث دوبرابر شدن میزان تولیدات نسبت به وضعیت موجود می‌گردد. این رقم به‌دست آمده، در میزان تولیدات با توجه به اینکه از ابتدا هدف افزایش تولید به‌منظور افزایش بهره‌وری بیشتر حائز اهمیت است، در تعیین وزن نیز وزن بزرگتری به هدف مربوط به میزان تولیدات اعمال شده است لذا می‌توان افزایش ۲۲ درصدی در میزان هزینه‌ها را نادیده گرفت. بنابراین می‌توان بیان کرد با استفاده از نتایج به‌دست آمده، درصدد افزایش بهره‌وری قدم بر خواهیم داشت. با توجه به کلیه نتایج حاصل شده، استفاده از شبیه‌سازی در توالی تولید محصولات مختلف به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که زمان توقف خط کاهش یابد و بهره‌وری افزایش یابد. شناسایی و تحلیل نقاط ضعف موجود در خط تولید می‌تواند به شناسایی نواحی نیازمند بهبود کمک کند و به بهینه‌سازی فرآیندها منجر شود. در این راستا، مدل‌سازی سناریوهای مختلف با ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در مورد بهینه‌ترین روش‌های تولید کمک کند. استفاده از شبیه‌سازی برای تحلیل دقیق هزینه‌های تولید و شناسایی مناطق صرفه‌جویی می‌تواند به کاهش هزینه‌های کلی کمک کند. طراحی

⁵ Near Optimum

- استراتژی‌های مبتنی بر داده‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها در فرآیند تولید نیز می‌تواند مفید واقع شود. پیشنهادات آتی این تحقیق به‌صورت زیر بیان می‌شود:
- استفاده از روش ارائه‌شده برای حل مسائل پیچیده دیگر دنیای واقعی برای تجزیه و تحلیل رفتار سیستم، به‌منظور تعیین ترکیب بهینه منابع در حوزه‌های خدماتی و یا صنعتی بکار گرفت.
 - بکارگیری سایر مدل‌ها نظیر کرایگینگ، توابع شعاع مدار و به‌خصوص شبه‌مدل‌های شبکه عصبی به‌منظور مقایسه عملکرد آنها با یکدیگر می‌تواند مدنظر قرار گیرد.
 - بکارگیری سایر روش‌های طرح آزمایشی جهت نمونه‌گیری برای سیستم موردنظر مانند تاگوچی، LHS، بخصوص ترتیبی و D-Optimal که کمتر موردتوجه تحلیل‌گران قرار گرفته‌است و مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج به‌دست‌آمده در این طرح می‌تواند مدنظر قرار گیرد.
 - برای بهینه‌سازی سیستم بجای استفاده از بهینه‌سازی دقیق، از ابزارهای فراابتکاری نظیر OptQuest موجود در نرم‌افزار Arena، ژنتیک، تبرید و یا Fast – PGA و غیره استفاده شود.
 - در نظر گرفتن یک تابع چندهدفه برای این پژوهش بطوریکه قادر باشد هزینه کل را نیز همزمان کمینه نماید.

منابع

1. Abolghasemian, M., & Darabi, H. (2018). Simulation based optimization of haulage system of an open-pit mine: Meta modeling approach. *Organizational resources management researchs*, 8(2), 1-17. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286977.1397.8.2.2.6>
2. Abolghasemian, M., Ghane Kanafi, A., & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. *Iranian journal of management studies*, 13(4), 705-732. <https://doi.org/10.22059/ijms.2020.294809.673898>
3. Abolghasemian, M., Kanafi, A. G., & Daneshmand-Mehr, M. (2022). Simulation-based multiobjective optimization of open-pit mine haulage system: a modified-NBI method and Meta modeling approach. *Complexity*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3540736>
4. Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Abdulkareem, A., Emeter, M. E., & Adejumo, O. (2021). A short review on queuing theory as a deterministic tool in sustainable telecommunication system. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2884-2888. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.092>
5. Ahmed, M. A., Al – Khamis, T. M. (2009). Simulation Optimization for an Emergency Department Healthcare Unit in Kuwait, *European Journal of Operational Research*, 198, 936-942. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.10.025>
6. Ala, A., Yazdani, M., Ahmadi, M., Poorianasab, A., & Attari, M. Y. N. (2023). An efficient healthcare chain design for resolving the patient scheduling problem: queuing theory and MILP-ASA optimization approach. *Annals of Operations Research*, 328(1), 3-33. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05287-5>
7. Azizi, S., Shakibi, H., Shokri, A., Chitsaz, A., & Yari, M. (2024). Multi-aspect analysis and RSM-based optimization of a novel dual-source electricity and cooling cogeneration system. *Applied Energy*, 332, 120487. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120487>
8. Barati, I., Ahari, R. M., & Asadpour, M. (2022). A queuing network and Markov chain approach for balancing assembly line: a case study. *International Journal of Advanced Operations Management*, 14(1), 56-73. <https://doi.org/10.1504/IJAOM.2022.122699>
9. Boulas, K. S., Dounias, G. D., & Papadopoulos, C. T. (2023). A hybrid evolutionary algorithm approach for estimating the throughput of short reliable approximately balanced production lines. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01828-6>
10. Damci, A. (2022). Revisiting the concept of natural rhythm of production in line of balance scheduling. *International Journal of Construction Management*, 22(12), 2335-2344. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1786764>
11. Dengiz, B. (2009). Redesign of PCB Production Line with Simulation and Taguchi Design. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2197 – 2204. <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429646>
12. Dengiz, B., & Akbay, K. S. (2000). Computer Simulation of a PCB Production Line: Meta – Modeling Approach. *International Journal Production Economy*. 63, 195 – 205. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00013-4)
13. Dengiz, B., Bektas, T., Ultanir, A. E. (2006). Simulation Optimization Based DSS Application: A Diamond Tool Production Line in Industry, *Simulation Model Practice Theory*, 14(3), 296 – 312. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2005.07.001>
14. Dengiz, B., İç, Y. T., & Belgin, O. (2016). A meta-model based simulation optimization using hybrid simulation-analytical modeling to increase the productivity in automotive industry. *Mathematics and Computers in Simulation*, 120, 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2015.07.005>
15. Hurrión, R. (1997). An Example of Simulation Optimisation Using a Neural Network Metamodels: Finding the optimum number of Kanbans in a Manufacturing System, *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1105 – 1112. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600468>
16. Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Ghasemi, P., & Chobar, A. P. (2023). Simulation-based optimisation: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. *International journal of industrial and systems engineering*, 43(1), 1-19. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2023.128399>

17. Kleijnen, J. P. C., & Sargent, R. G. (2000). A Methodology for Fitting and Validating Metamodels in Simulation. *European Journal of Operational Research*, 120, 14 – 29. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00392-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00392-0)
18. Liu, Y., Shen, W., Zhang, C., & Sun, X. (2023). Agent-based simulation and optimization of hybrid flow shop considering multi-skilled workers and fatigue factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 80, 102478. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102478>
19. Mas, L., Vilaplana, J., Mateo, J., & Solsona, F. (2022). A queuing theory model for fog computing. *The Journal of Supercomputing*, 78(8), 11138-11155. <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04328-3>
20. Meckesheimer, M., Barton, R. R., Simpson, T. W., & Booker, A. J. (2001, September). Computationally inexpensive metamodel assessment strategies. In *International design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference* (Vol. 80227, pp. 191-201). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/DETC2001/DAC-21028>
21. Piermarini, C., & Roma, M. (2024). A Simulation--Based Optimization approach for analyzing the ambulance diversion phenomenon in an Emergency-Department network. *arXiv preprint arXiv:2309.00643*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.00643>
22. Samouylov, K., Gaidamaka, Y., & Zaripova, E. (2016, September). Analysis of business process execution time with queuing theory models. In *International Conference on Information Technologies and Mathematical Modelling* (pp. 315-326). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44615-8_28
23. Urban, T. L., & Chiang, W. C. (2016). Designing energy-efficient serial production lines: The unpaced synchronous line-balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 789-801. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.015>
24. Yalçınkaya, Ö., & Bayhan, G. M. (2009). Modelling and optimization of average travel time for a metro line by simulation and response surface methodology, *European journal of operational research*, 196(1), 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.03.010>
25. Yang, Q., & Liu, W. (2022). Production line balance optimization design of S company. *Manufacturing and Service Operations Management*, 3(1), 57-71. <https://dx.doi.org/10.23977/msom.2022.030109>
26. Zeinali F., Mahootchi M., Sepehri M M. (2015). Resource Planning in the Emergency Department: A Simulation – Based Meta Modeling Approach, *Simulation Modeling Practice and Theory*, 53(2), 123-148. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.02.002>