



Production Rate Maximization Through Optimal Buffer Sizing, using Incorporated Approach of Response Surface Methodology and Genetic Algorithm

M. Amiri* & A. Mohtashami

Maghsoud Amiri, Allameh Tabataba'i University

Ali Mohtashami, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Keywords

Buffer storage,
Queuing network,
Genetic algorithm,
Response surface methodology,
Simulation,
Multi objective decision making

ABSTRACT

This paper presents a methodology to optimize production rate and focuses on an optimal buffer storage sizing for this purpose. Buffer storages are intermediate semi complete components which their capacity is an important factor in design of production lines and impact on the production line. This methodology with eliminating of some simpler assumptions, assumes that the arrival rate of parts to production (or assembly) line, service times of the stations, time between failures of machines and repair time of failed machines are non deterministic and generally distributed (not just exponential). To optimize the buffer capacities, we consider production line as a queuing network and we use response surface methodology, simulation, genetic algorithm and multi objective decision making.

© 2014 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 2, All Rights Reserved

* Corresponding author. Ali Mohtashami
Email: mohtashami@qiau.ac.ir



حداکثر کردن نرخ تولید از طریق تعیین اندازه بهینه موجودی‌های بافر با استفاده از رویکرد تلفیقی متدولوژی سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک

* مقصود امیری و علی محتشمی

چکیده:

این مقاله به معرفی یک متدولوژی جهت بهینه سازی نرخ تولید پرداخته و جهت این امر بر رویکرد تعیین بهینه موجودی‌های بافر، موجودی‌های بافر، موجودی‌هایی از قطعات نیمه ساخته بین ایستگاه‌های تولیدی به شمار می‌روند که ظرفیت آن‌ها در طراحی خطوط تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و تأثیر بسزایی بر نرخ تولید خط می‌گذارند. در این متدولوژی با کنار گذاشتن بسیاری از فرضیات ساده کننده، فرض می‌شود که تمامی زمان‌های ورود قطعات به سیستم، مدت زمان‌های خدمت دهی ماشین‌آلات، زمان بین خرابی ماشین‌ها، زمان لازم برای تعمیر ماشین‌ها می‌تواند غیر قطعی بوده و از توابع توزیع عمومی تبعیت کند (نه فقط تابع توزیع نمایی). جهت تعیین بهینه ظرفیت بافرها، خط تولید به عنوان یک شبکه صفت در نظر گرفته شده و با استفاده از متدولوژی سطح پاسخ، شبیه سازی کامپیوتری، الگوریتم ژنتیک و روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه، ظرفیت بهینه بافرها تعیین می‌شود.

کلمات کلیدی:

موجودی بافر

شبکه‌های صفت

الگوریتم ژنتیک

متدولوژی سطح پاسخ

شبیه سازی کامپیوتری

تصمیم‌گیری چند هدفه

۱. مقدمه

تجزیه و تحلیل خطوط تولید یا جریان و به طور کلی سیستم‌های ساخت و تولید، موضوع بسیاری از مطالعات تا کنون بوده و مسائل مختلفی با دیدگاه‌های متفاوت محل بحث در این زمینه بوده است. در حقیقت تجزیه و تحلیل خطوط تولید و در نتیجه طراحی خط تولیدی مناسب که بتواند خروجی خط، کارایی و بهره‌وری را بالا برد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در دنیای واقعی عوامل مختلفی بر نرخ تولید خط تولید تأثیر می‌گذارند که از میان آن‌ها می‌توان به تعداد ماشین‌آلات، زمان‌های خدمت دهی، ضرایب تغییرات، نرخ خرابی‌ها، نرخ تعمیرها و موجودی‌های بافر اشاره کرد. در برخی سیستم‌های تولیدی در صنایع، ماشین‌ها یا

ایستگاه‌ها به صورت متوالی قرار گرفته و توسط موجودی‌های بافر از یکدیگر جدا می‌شوند [۱] و [۲]. این نحوه قرار گیری و توالی در ادبیات موضوع خط تولید، خط انتقال یا خط جریان نام دارد. خطوط تولید اغلب شامل مکان‌های انبارشی جهت جمع آوری قطعات نیمه ساخته در نقاط مختلفی در طول خط می‌باشد. این مناطق انبارش معمولاً بافر نامیده می‌شود که کارکرد های مختلفی را می‌تواند ارائه دهد. همچنین اندازه و مکان قرار گیری آن‌ها رابطه‌ای بسیار قوی با نوع کارکرد آن‌ها دارد. وقتی که ایستگاه‌ها عملکرد معین و انحرافات زمانی قابل توجه (زمان‌های عملیاتی متفاوت) دارند، هر ایستگاه می‌بایست درجه بالاتری از استقلال را داشته باشد تا کارایی آن کمتر تحت تأثیر نوسان تولید ایستگاه‌های قبلی قرار گیرد [۳]. تأثیر بافرها را می‌توان در مواردی چون اختلاف زمان‌های عملیاتی ایستگاه‌ها، عدم تولید در زمان‌های آماده سازی و بارگذاری، عدم تولید در زمان‌های خرابی ماشین‌آلات و قالب‌ها، عدم تولید در فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و غیره به وضوح دید. جهت توصیف تأثیر بافرها در

تاریخ وصول: ۹۰/۱۲/۱۷

تاریخ تصویب: ۹۱/۶/۱۵

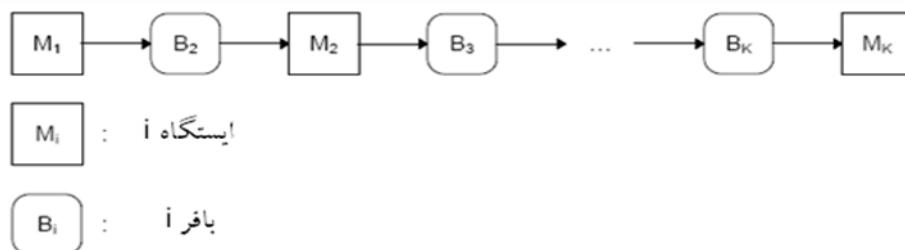
دکتر مقصود امیری، دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، amiri@atu.ac.ir

نویسنده مسئول مقاله: دکتر علی محتشمی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، mohtashami@qiau.ac.ir

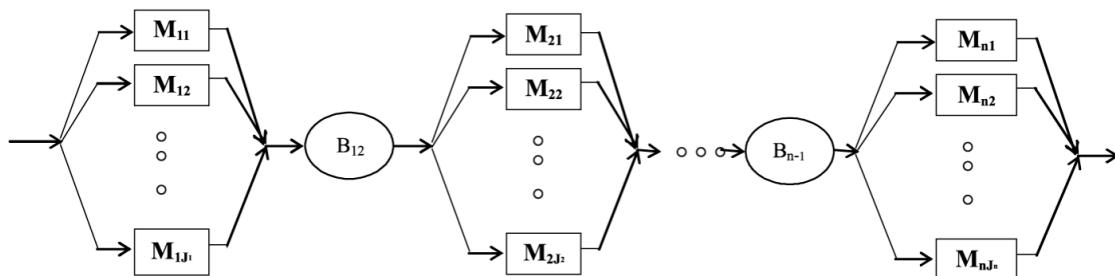
همچنان که اندازه موجودی های بافر در یک خط تولید بالا می رود، متقابلاً عملکرد سیستم و نرخ خروجی خط افزایش می یابد. اما از آنجایی که میزان موجودی بافر بیشتر، نیازمند فضای ذخیره بیشتر بوده و هزینه های نگهداری موجودی را بالا می برد، می بایست میزان مناسبی از موجودی بافر تعیین شده تا ضمن اینکه هزینه نگهداری موجودی ها کاهش می یابد، نرخ خروجی خط نیز در وضعیت مناسبی قرار داشته باشد [۶].

خطوط تولید، شکل ۱ یک خط تولید متوالی با K ایستگاه و $k-1$ بافر را نشان می دهد.

در این خط تولید M_i ($i=1,\dots,k$) همانند دهنده ایستگاه های کاری و B_i ها نشان دهنده بافر های بین ایستگاه ها می باشند لازم به توضیح است که در هر ایستگاه کاری M_i ، می تواند چندین ماشین به صورت موازی وجود داشته باشد که این خطوط تولید اصطلاحاً خطوط تولید سری - موازی نامیده می شوند (شکل ۲).



شکل ۱. یک خط تولید K ایستگاهی سری با $1-K$ بافر [۴]



شکل ۲. یک خط تولید k ایستگاهی سری - موازی [۵]

چنین خط تولیدی در نظر گرفته شد که این صورت که تابع توزیع زمان های خدمت دهی، زمان های خرابی و زمان های تعمیر را نمایی فرض کرده و سیستم مذکور را توسط مفاهیم زنجیره مارکوف مورد ارزیابی قرار دادند. در واقع آن ها از یک الگوریتم بازگشتی که مولد ماتریس گذار برای هر مقدار ظرفیت بافر است استفاده کرده و بدین وسیله موفق به دستیابی به تمام معادلات حالت گذار ممکن گشته و به حل این معادلات پرداختند. آن ها عنوان کردند که در صورت حل معادلات حالت گذار، معیار های عملکرد مدل می تواند به راحتی ارزیابی شود [۸]. بتینی و همکارانش عنوان کردند که جریان مواد در طول یک خط تولید ممکن است توسط خرابی ماشین ها یا زمان های متفاوت خدمت دهی دچار اختلال گردد که این امر می تواند منجر به پایین آمدن بهرهوری و بالا رفتن عدم دسترس پذیری کل کارخانه گردد.

در این زمینه محققانی تا کنون فعالیت کرده اند که به ذکر برخی از آن ها پرداخته می شود. شی و گرشوین به ارائه یک الگوریتم طراحی بافر جهت بیشینه سازی سود در خطوط تولیدی پرداختند. آن ها در مدل خود یک فرض اساسی ساده کننده در نظر گرفتند که آن فرض دلالت بر ثابت، قطعی و مساوی در نظر گرفتن زمان های خدمت دهی بود. همچنین آن ها در این تحقیق خرابی ماشین ها را در نظر گرفته و پارامتر های خرابی و تعمیر ماشین را ثابت فرض کردند. لازم به توضیح است که آن ها تغییرات نرخ خروجی خط مبتنی بر حجم بافرها را به وسیله روش تجزیه انجام دادند [۷]. الکساندروس و کریسوئون، به بررسی و تحلیل یک خط تولید دو ایستگاهه با یک بافر پرداختند. آن ها در تحلیل خود هر ایستگاه را شامل چندین ماشین موازی نا مطمئن در نظر گرفتند. آن ها یک فرض اساسی را برای تجزیه و تحلیل

توابع توزیع را در مدل به صورت نمایی مد نظر قرار داد [۱۵]. چن و اسکین عنوان کردند که در مدل های خطوط تولید سنتی، فعالیت ها به ایستگاه های منحصر به فرد تخصیص داده می شوند. آن ها در مدل خود کارگران چند مهارت را در نظر گرفتند در حالی که برخی فعالیت ها ممکن است در دو ایستگاه مجاور یا نزدیک به هم انجام شوند. آن ها هدف خود را حداکثر کردن خروجی خط در مقابل سطح پایین WIP قرار دادند [۱۶]. در بوبوچویتچ و همکارانش به بررسی مسئله زمان بندی عملیات در سلول های رباتیک پرداختند. آنها هدف خود را در این مطالعه یافتن یک توالی چرخه ای حرکات ربوت که نرخ تولید را حداکثر کند قرار دادند. آنها اذعان کردند که تحقیقات زیادی بر روی سلول های رباتیک بدون بافر صورت گرفته است اما در زمینه گرفته است [۱۷].

هدف اصلی این مقاله تعیین ظرفیت موجودی های بافر در خطوط تولید نامطمئن به نحوی است که با حداقل میزان بافرها، حداکثر نرخ تولید حاصل شود. این متدولوژی فرضیات ساده کننده ای که محققین دیگر لحاظ نمودند را حذف می کند و خطوط تولید را در شرایط واقعی در نظر می گیرند. برخی از فرضیات ساده کننده ای که محققین پیشین در نظر گرفته بودند که پیشتر ذکر شد و در این متدولوژی تمامی این فرضیات از بین می رود و در واقع عدم در نظر گیری این فرضیات ساده کننده وجه تمایز مطالعه حاضر با مطالعات پیشین به شمار می رود عبارتند از:

۱. در نظر گیری یک خط تولید ساده با چند ایستگاه متوالی
۲. در نظر گیری تابع توزیع نمایی (و نه تمامی توابع توزیع)
۳. در نظر گیری مدت زمان های خدمت دهی ثابت در ایستگاه های مختلف
۴. در نظر گیری حجم ثابت برای بافرها در خطوط تولید
۵. نادیده گرفتن خرابی ماشین ها و خروج از دسترس آن ها
۶. نادیده گرفتن تغییرات نرخ خدمت دهی ماشین ها
۷. نادیده گرفتن رابطه بین حجم بافرها و نرخ تولید خط تولید
۸. در نظر گیری تقاضای نا متناهی و ثابت

۲. فرضیات اساسی

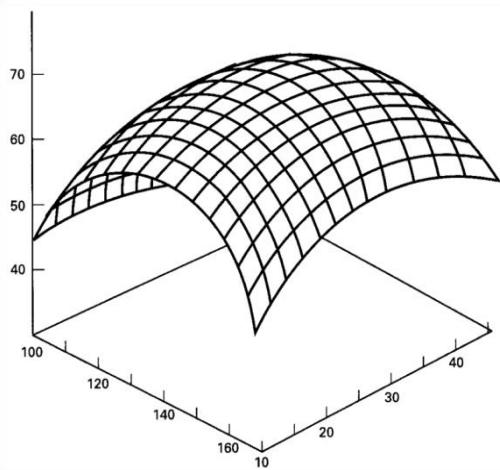
- (۱) سیستم شامل k ایستگاه M_i ($i=1, \dots, K$) و بافر B_i جدا کننده ایستگاه ها می باشد.

آن ها اذعان داشتند که بافر های میان ایستگاه ها در خطوط تولید می تواند منجر به افزایش قابلیت اطمینان کل سیستم گشته و سازمان را از تحمیل هزینه های سنگین ناشی از خرید تجهیزات بزرگ و گران قیمت مصنوع نگاه دارد. آن ها در پژوهش خود به ارائه یک روش مبتنی بر شبیه سازی و همچنین یک ماتریس جدید آزمایشی به عنوان ابزاری جهت تعیین حجم بهینه بافرها پرداختند [۹].

ناهاس و همکارانش به ارائه یک رویکرد جستجوی موضعی جهت حل مسئله تخصیص بافر در خطوط تولید نامطمئن پرداختند. آن ها در رویکرد پیشنهادیشان، هدف بیشینه کردن میانگین نرخ تولید خط تولید را مدنظر قرار داده و از تخمین تحلیلی تجزیه، جهت تخمین زدن نرخ تولید خط تولید بهره برند. آن ها یک فرض اساسی را در روش پیشنهادیشان مدنظر قرار دادند که آن عبارت از در نظر گیری تابع توزیع نمایی برای مدت زمان بین ورود قطعات، مدت زمان های خدمت دهی، مدت زمان بین خرابی ماشین ها و مدت زمان تعمیر ماشین آلات بود. همچنین آن ها جهت جستجوی نسبی، از روش degraded ceiling استفاده کردند [۱۰].

هن و پارک با استفاده از بست سری تیلور و روش تابع تولید احتمال، یک روش تخمین برای تحلیل نرخ تولید خطوط تولید در حالت پایدار پیشنهاد کردند، همچنین آن ها یک روش تحلیلی برای تخصیص بهینه بافرها جهت دستیابی به نرخ تولید مطلوب پیشنهاد کردند [۱۱]. گرشوین و اسکور از روش گرادیان برای حل مسئله تخصیص بافرها استفاده کردند. آن ها از این طریق سعی کردند تا سود را بیشینه کنند [۱۲]. اسپینلیس و پاپادوپولوس روشی مبتنی بر آنیلینگ شبیه سازی شده جهت حل مسئله تخصیص بافرها در خطوط تولید با ماشین های قابل اعتماد ارائه کردند. هدف آن ها در این تحقیق بیشینه کردن متوسط خروجی خط بود. این روش به طور مشهود خرابی ماشین آلات را مدنظر نگرفته بود [۱۲]. مانیتز به مطالعه فرآیند تولید در خطوط مونتاژ چند مرحله ای پرداخت. او در مطالعه خود از تحلیل سیستم های صفت استفاده کرده، بافرها را متناهی و زمان های خدمت دهی را توابع توزیع عمومی در نظر گرفت. همچنین جهت ارزیابی عملکرد خط تولید از رویکرد تجزیه بهره برد. او سیستم را دو ایستگاهه فرض کرد و از مدل صف G/G/1/N استفاده کرد [۱۳]. هوانگ و همکارانش به ارائه یک متدولوژی برای تخصیص بافرها در سیستم تولیدی پرداختند. آن ها در متدولوژی خود از برنامه ریزی پویا جهت ارزیابی عملکرد سیستم استفاده کردند [۱۴]. ابدوالکادر به تخمین و بهبود ظرفیت خطوط تولید پرداخت. او از یک مدل برنامه ریزی خطی جهت بهبود رفتار سیستم استفاده کرد. ابدوالکادر خرابی ماشین آلات را در مدل خود در نظر گرفت و

تغییرات بافرها و خروجی خط تولید برقرار کند و از آن طریق به تعیین بهترین میزان هر بافر بپردازد. در واقع متداولوژی سطح پاسخ سعی در برآش رویه یا متمامدی از نوع توابع چند جمله ای بر میزان بافرها (به عنوان متغیر مستقل)، و نرخ تولید خط تولید (به عنوان متغیر وابسته) دارد. شکل ۳ نمونه ای از برآش رویه ای از دو عامل بر روی یک پاسخ را نشان می دهد این امر از طریق طراحی آزمایش ها از طریق متداولوژی سطح پاسخ و بدست آوردن مقادیر پاسخ از طریق شبیه سازی خط تولید برای هر طرح ایجاد شده صورت می پذیرد.



شکل ۳. برآش رویه دو عامل بر روی یک پاسخ [۱۸]

رویکرد اصلی در طراحی این نوع مسائل، طراحی آزمایش ها (طراحی عاملی) به صورت کامل یا کسری می باشد. نکته قابل توجه در استفاده از روش های طراحی آزمایش ها (چه به صورت کسری و چه به صورت کامل) این است که متمامد برآش شده در این نوع طرح ها از نوع درجه یک یا طرح های متعامد است. به عبارت دیگر این طرح ها قابلیت بررسی اثرات درجه دوم هر متغیر را دارا نمی باشند (معادله ۱ و ۲).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + e \quad (1)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_i \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + e \quad (i < j) \quad (2)$$

با توجه به محدودیت طرح های آزمایش کامل یا کسری در بررسی اثرات درجه دوم متغیرها، استفاده از متداولوژی سطح پاسخ با توجه به اینکه اثرات درجه دوم متغیرها را نیز در نظر می گیرد و با

۳) در هر ایستگاه، h ماشین موازی $N_{j=1, \dots, h}$ وجود دارد

۴) ماشین ها ممکن است خراب شده و از کار بیافتدند و مجدد تحت تعمیر قرار گرفته و به سیستم بازگردند.

۵) نرخ ورود به سیستم، زمان های خرابی ماشین ها و زمان های تعمیر آلات، زمان های بین خرابی ماشین ها و زمان های تعمیر ماشین ها می تواند متغیر تصادفی (غیر قطعی) با تابع توزیع عمومی باشد (نرمال، گاما، نمایی، ویبول و ...).

۶) ماشین M_i وقتی B_{i-1} خالی است از کار می ایستد چرا که هیچ ورودی برای پردازش ندارد؛ ماشین M_i بلوکه می شود وقتی B_i پر است و ماشین M_{i+1} تحت تعمیر بوده یا بلوکه است.

۲. متداولوژی پیشنهادی

در این بخش متداولوژی پیشنهادی این مطالعه جهت طراحی و تعیین ظرفیت موجودی های بافر از طریق مراحل ذیل معرفی می شود و در ادامه متداولوژی پیشنهادی در قالب یک مثال عددی، آزمایش شده تا کارایی آن سنجیده شود.

۱-۳. شبیه سازی

خط تولید به عنوان یک شبکه صف (مبتنی بر واقعیت خط) در نظر گرفته شده و روابط بین ایستگاه ها، بافرها و توابع توزیع، در طراحی شبکه مد نظر قرار می گیرند. شبیه سازی این امکان را به دست می دهد که شبکه های تولیدی پیچیده با هر روابطی و با هر توابع توزیعی در قسمت های مختلف قابل طراحی و تجزیه و تحلیل باشند.

۲-۳. متداولوژی سطح پاسخ

طراحی آزمایش ها به طور گسترده ای قابل انجام در آزمایش هایی است که لازم است تلفیق سطوح مختلف از چندین عامل بر روی یک یا چند متغیر پاسخ بررسی شود [۱۸]. متداولوژی سطح پاسخ مجموعه ای است از طراحی و تحلیل آزمایش ها و تکنیک های بهینه سازی که از تلاش های باکس و ویلسون در سال ۱۹۵۱ حاصل شده است [۱۹].

هدف متداولوژی سطح پاسخ، یافتن ترکیبی از متغیر های ورودی برای بهینه سازی پاسخ فرآیندی است که تابع ریاضی آن ناشناخته است. این عمل با استفاده از تقریب تابع در منطقه ای از دامنه متغیر های ورودی، که مشاهداتی از آن دامنه موجود است، انجام می شود. متداولوژی پیشنهادی در این تحقیق از متداولوژی سطح پاسخ استفاده می کند تا بتواند رابطه ای ریاضی بین

۳-۴. حل مدل

جهت حل مدل ساخته شده می‌بایست از یکی از روش‌های حل مسائل چندهدفه استفاده نمود. یکی از روش‌های قدرتمند جهت حل مسائل چندهدفه روش LP-Metric می‌باشد. این روش جزء روش‌هایی به حساب می‌آید که نظر تصمیم گیرنده در مراحل حل مسئله دخالت داده نمی‌شود. بنابراین در حل این نوع از مسائل روش‌ها و ایده‌هایی برای یافتن جواب‌هایی معمولاً در میانه مجموعه بهینه پارتو استفاده می‌شود. این روش و در کل روش‌هایی که بدون نظر تصمیم گیرنده به حل مسئله می‌پردازند برای شرایطی که تصمیم گیرنده در دسترس نیست و یا انتظار خاصی از پاسخ‌ها ندارد مناسب هستند [۲۰]. رابطه ۸ روش LP-Metric را برای حل مسائل چندهدفه نشان می‌دهد [۲۱] و [۲۲]

$$\min = \left[\sum_{j=1}^m W_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j}{f_j^* - f_i^-} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (8)$$

که در آن W_j نشان دهنده وزن هدف f_j ، m نشان دهنده تعداد اهداف، f_j^* نشان دهنده بهترین مقدار هدف f_j ، f_i^- نشان دهنده بدترین مقدار هدف f_j و p نشان دهنده درجه تابع LP-Metric می‌باشد. بنابراین مدل نهایی مسئله عبارت است از:

$$\min = \left[\sum_{j=1}^m W_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j}{f_j^* - f_i^-} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

subject to $X \in S$

که S نشان دهنده فضای جواب می‌باشد. پس از ساختن مدل ریاضی بهینه سازی، می‌بایست این مدل حل شود تا جواب‌های مسئله به دست آید. با توجه به اینکه تابع برازش شده نرخ خروجی ممکن است از نوع درجات بالاتر از ۱ باشد (غیر خطی) و همچنین با در نظر گیری تابع LP-Metric که برای $P > 1$ به صورت غیر خطی در می‌آید، متداول‌تری مطالعه حاضر استفاده از الگوریتم ژنتیک را به جهت دستیابی به جواب بهینه یا تزدیک بهینه پیشنهاد می‌کند. الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم جستجوی احتمالی مبتنی بر تکامل ژنتیک در موجودات زنده است [۲۳]. ثابت شده است که الگوریتم ژنتیک برای حل طیف وسیعی از مسائل بهینه سازی بسیار مناسب است [۲۴]. این الگوریتم با جمعیتی از جواب‌های ممکن شروع کرده و در طول نسل‌های پی در پی به تکامل می‌رسد. هر جواب به عنوان یک مجموعه (کروموزوم) دودویی یا رشته‌های حقیقی کد می‌شود. هر رشته

احتمال بیشتری توابع دقیق‌تری را تخمین می‌زند، به نظر مناسب‌تر می‌رسد (معادله ۳).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i} \sum_{j} \beta_{ij} X_i X_j + e \quad (i < j) \quad (3)$$

توجه شود که طرح باکس – بنکن، شامل هیچ نقطه‌ای در رؤوس مکعبی که به وسیله کران‌های بالا و پایین هر متغیر ایجاد می‌شود، نیست. در مسائلی که آزمون این نقاط به دلیل محدودیت‌های فیزیکی فرآیند غیر ممکن است و یا به لحاظ اقتصادی مقرن به صرفه نیست، می‌تواند مزیت مهمی باشد.

۳-۵. ساختن مدل بهینه سازی چندهدفه

در گام قبل یکی از اهداف مسئله (تابع خروجی خط) تخمین زده شد که می‌تواند از نوع درجه اول یا درجه دوم باشد. همچنان که اندازه موجودی‌های بافر در یک خط تولید بالا می‌رود، متقابلاً عملکرد سیستم و نرخ خروجی خط تا حدی افزایش می‌باید [۶] اما این امر هزینه نگهداری موجودی در گردش بیشتری را به سیستم تحمیل می‌کند. بنابراین همچنان که هدف اصلی افزایش خروجی خط تولید است اما متداول‌تری حاضر در پی یافتن جوابی است که این افزایش را با حداقل بافرها ایجاد کند. بنابراین مدل چندهدفه‌ای که پیشنهاد می‌شود به صورت زیر است.

$$\text{Max } = f(x) \quad (4)$$

$$\text{Min} = \text{total buffer size} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (5)$$

subject to

$$L_i \leq X_i \leq U_i \quad \forall i = 1 \text{ to } k \quad (6)$$

$$X_i \geq 0 \quad \forall i = 1 \text{ to } k \quad (7)$$

که در آن:

X_i : اندازه ظرفیت بافر ایستگاه i م (متغیر تصمیم)

$f(x)$: تابع برازش شده نرخ خروجی خط تولید

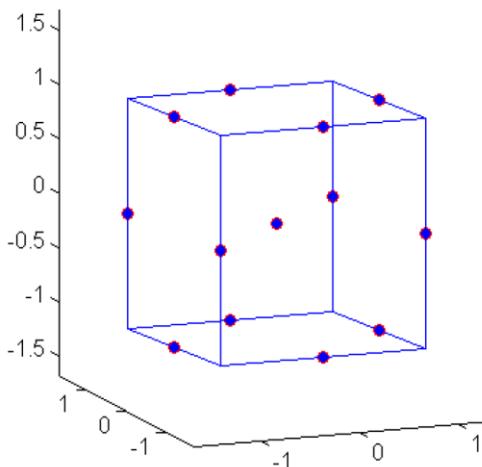
U_i : حد بالای X_i

L_i : حد پایین X_i

K : تعداد موجودی‌های بافر

است.

(متغیر های تصمیم) که جزء محدودیتهای خط تولید به شمار می‌رود را نشان می‌دهد. در این زمینه باکس و بنکن بعضی طرح‌های سه سطحی را برای برازندن به رویه های پاسخ پیشنهاد کرده‌اند که این طرح‌ها از ترکیب کردن طرح‌های عامل^۲، با طرح‌های بلوکی ناکامل ساخته می‌شوند (شکل^۴). طرح‌های حاصل معمولاً از نقطه نظر تعداد اجره‌ای که نیاز دارند، بسیار کارا هستند و همچنین دوران پذیر (یا تقریباً دوران پذیر) می‌باشند.

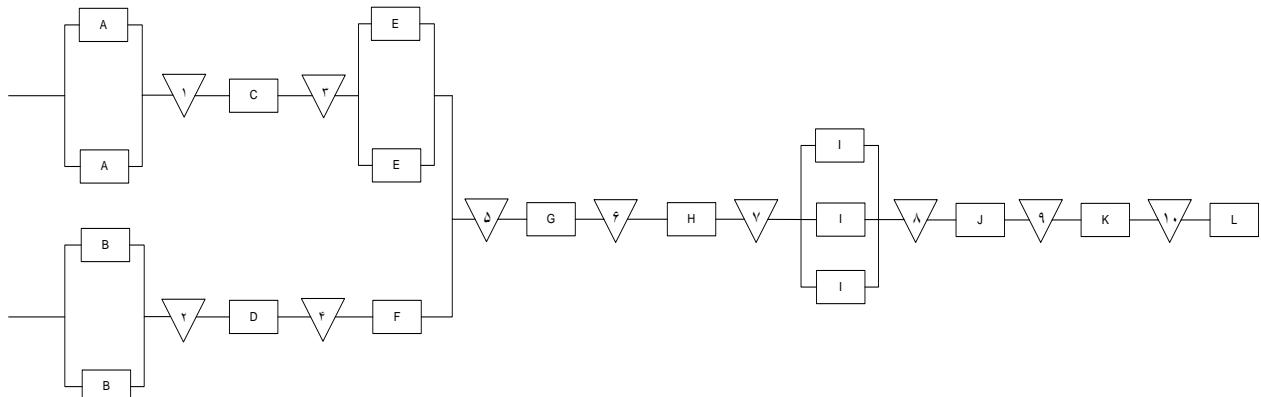


شکل ۴. طرح باکس-بنکن برای سه عامل [۱۸]

نشانگر یک متغیر در جواب است. فرآیند تکامل از طریق برخی عملگرها مانند تولید مجدد، تقاطع و جهش ایجاد می‌شود. حیات بهترین کروموزوم‌ها توسط ارزیابی تابع برازش که اغلب تابع هدف مسئله اصلی می‌باشد سنجیده می‌شود [۲۵] و [۲۶].

۴. مثال عددی

شکل ۵ یک خط تولید با ۱۷ ماشین و ۱۰ بافر را نشان می‌دهد. در این شکل مستطیل‌ها نشان دهنده ماشین آلات در هر ایستگاه و مثلث‌ها نشان دهنده بافرها می‌باشند. همان طور که مشاهده می‌شود در برخی ایستگاه‌ها (مانند ایستگاه A، B، E و ...) بیش از یک ماشین وجود دارد، که این ماشین‌ها به صورت موازی بوده و عملیات مشابهی را انجام می‌دهند. در این خط تولید مواد خام به ایستگاه‌های A و B وارد می‌شوند و محصول نهایی از ایستگاه L خارج می‌شود، همچنین دو خط بالا و پایین در ایستگاه G به هم پیوسته و عملیات مونتاژ صورت می‌گیرد. مسئله مورد نظر در این خط تولید این است که ظرفیت بهینه بافرها به نحوی تعیین گردد که با حداقل میزان کل بافرها، حداکثر خروجی محصول نهایی حاصل شود. جدول ۱ توابع توزیع زمان‌های پردازش ماشین آلات، زمان‌های بین خرابی ماشین آلات و زمان‌های تعمیر ماشین آلات را نشان می‌دهد. جدول ۲ حد پایین و حد بالای بافرها



شکل ۵. یک خط تولید با ۱۷ ماشین و ۱۰ بافر

جدول ۱. توابع توزیع مدت زمان‌های خدمت دهی (پردازش) ماشین آلات، زمان‌های بین خرابی ماشین آلات، زمان‌های تعمیر ماشین آلات

ایستگاه	مدت زمان پردازش	مدت زمان بین خرابی ماشین	مدت زمان تعمیر
A	Gamma (۲۱, ۹, ۳)	Weibull (۹۵۰۰, ۷۵, ۱۵)	Gamma (۱۲۰۰, ۳۰۰, ۷۵)
B	Weibull (۲۷, ۹, ۵)	Weibull (۱۰۰۰, ۲۳۰, ۱۴)	Gamma (۱۳۰۰, ۲۶۰, ۷۳)
C	Weibull (۳۷, ۹, ۲)	Gamma (۱۶۰۰۰, ۲۴۰, ۲۵)	Gamma (۵۰۰, ۲۴۰, ۶۰)
D	Weibull (۳۴, ۸, ۱۱)	Weibull (۱۸۴۵, ۲۶۰, ۴۵)	Exp (۳۱۰۰)

ایستگاه	مدت زمان پردازش	مدت زمان بین خرایی ماشین	مدت زمان تعمیر
E	Gamma (۳۲, ۱۴, ۶)	Weibull (۱۲۳۰۰, ۴۰۰, ۱۵)	Gamma (۶۳۰, ۲۸۰, ۵۰)
F	Weibull (۵۰, ۷۷, ۱۱)	Gamma (۸۳۰۰, ۲۰۰, ۷۵)	Gamma (۷۴۰, ۲۰۰, ۳۵)
G	Exp (۴۵)	Weibull (۱۱۵۰۰, ۱۵۰, ۷۰)	Weibull (۲۰۰۰, ۲۴۰, ۲۷)
H	Weibull (۵۰, ۱۸, ۳)	Weibull (۱۰۵۰۰, ۴۰۰, ۱۵۰)	Exp (۱۵۰۰)
I	Exp (۲۶۰)	Weibull (۷۵۴۵, ۲۵۰, ۷۵)	Gamma (۱۶۰۰, ۳۵۰, ۵۰)
J	Weibull (۴۸, ۱۵, ۱۰)	Weibull (۱۰۳۰۰, ۱۰۰, ۷۵)	Gamma (۱۸۵۰, ۳۴۰, ۳۶)
K	Exp (28)	Gamma (۱۳۴۰۰, ۳۶۹, ۱۲۰)	Gamma (۱۷۰۰, ۲۵۷, ۷۰)
L	Gamma (۶۳, ۲۲, ۸)	Gamma (۱۳۴۰۰, ۳۶۹, ۱۲۰)	Gamma (۱۲۰۰, ۲۴۷, ۴۰)

که u_i نشان دهنده حد بالای X_i و l_i نشان دهنده حد پایین X_i می‌باشد. برای مثال حد بالای بافر ۳ به صورت زیر به صورت کد نسخه در می‌آید.

$$CV = \frac{\frac{70+0}{2}}{\frac{70-0}{2}} = 1$$

این طرح جهت تجزیه و تحلیل ۱۰ آزمایش را طراحی می‌کند که می‌بایست تک تک آزمایش‌ها توسط مدل شبیه سازی مورد بررسی قرار گیرند. به همین منظور ۱۷۰ آزمایش طراحی شده برای مثال فوق که در جدول ۳ نشان داده شده است، مورد آزمایش در مدل شبیه سازی ساخته شده در نرم افزار MATLAB قرار گرفته و نتایج در ستون «خروجی خط» جدول ۳ مشاهده می‌شود. مدت زمان شبیه سازی هر یک از آزمایش‌ها، ۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ واحد زمانی در نظر گرفته شد و حداکثر زمان شبیه سازی طرح‌ها توسط یک سیستم با مشخصات ۱.99 GB Of Core (TM) 2 Duo CPU (2.00 GHz) حدود ۹۸ ثانیه تعیین شد. با توجه به حجم زیاد آزمایش‌ها (۱۷۰ آزمایش)، جدول ۳ به ارائه بخشی از طراحی و پاسخ‌ها می‌پردازد. این جدول نشان دهنده خروجی خط تولید در صورت طراحی خط مطابق با هر یک از ردیف‌ها می‌باشد. برای مثال اگر خط تولید مطابق با داده‌های سطر ۳ طراحی شود، بدان معنی است که ظرفیت بافر های ۱ الی ۱۰ با استناد به جدول ۲ به ترتیب عبارتند از: ۰، ۲۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و در این حالت خروجی خط ۴۲۲۳ خواهد بود. لازم به توضیح است که تمامی طرح‌ها در مدت ۵،۰۰۰،۰۰۰ واحد زمانی شبیه سازی شده و میزان خروجی خط در طول این مدت از گزارش‌های نرم افزار MATLAB به دست آمده و در ستون خروجی، خط قرار گرفته است.

جدول ۲. حد پایین و بالای بافرها

حد بالا	حد پایین	بافر
٦٠	.	١
٤٠	.	٢
٧٠	.	٣
٢٠	.	٤
٦٠	.	٥
٨٠	.	٦
١٠٠	.	٧
٣٠	.	٨
٤٠	.	٩
٥٠	.	١٠

با در نظر گیری شکل ۵ به عنوان خط تولید مثال فوق، شبکه صف این خط تولید بر مبنای داده های جدول ۱ در نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده و تمامی توابع توزیع زمان های خدمت دهی، زمان های بین خرابی و زمان های تعمیر ماشین آلات مطابق با این جدول در مدل شبیه سازی شده اعمال شد.

پس از شبیه سازی خط تولید در نرم افزار MATLAB، طبق متدولوژی رائه شده می بایست خط تولید برمبنای طراحی متدولوژی سطح پاسخ مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. جهت این امر با در نظر گیری اینکه تعداد عوامل در این مثال عددی ۱۰ می باشد، با استفاده از طرح یک بلوکه Minitab صورت طراحی آزمایش برای ۱۰ عامل در نرم افزار Minitab گرفت. طرح باکس - بنکن یک بلوکه برای هر عامل، سه سطح حد بالا، حد وسط و حد پایین را در نظر می گیرد. جهت سادگی تجزیه و تحلیل های آماری، این سه سطح با استفاده از تبدیل ایاطه ۹ به صورت کد شده در نظر گرفته می شوند [۱۸].

$$CV = \frac{X_i - \frac{ul_i + ll_i}{2}}{\frac{ul_i - ll_i}{2}} \quad (4)$$

(Minitab) می‌باشد. همچنین شکل ۶ نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر پاسخ و شکل ۷ نشان دهنده هیستوگرام باقی مانده های مدل رگرسیون می‌باشد (که به خوبی نشان دهنده نرمال بودن باقی مانده‌هاست). همچنان که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد میزان R-Square محاسبه شده ۹۵.۵۸ درصد است که نشان دهنده برآذش بسیار خوب مدل می‌باشد. همچنین میزان P-Value محاسبه شده برای کل مدل، بخش خطی، بخش مربعات و بخش تعامل‌ها ۰/۰۰۰ می‌باشد که این امر نشان دهنده رد فرض صفر رگرسیون (عدم برآذش مدل) و تأیید فرض یک رگرسیون (برآذش مدل) می‌باشد.

با داشتن نتایج جدول ۳ می‌بایست بهترین سطح برآذش شده بر روی داده های فوق را به دست آورد که بهترینتابع از طریق شاخص‌هایی چون تحلیل واریانس و تست نرمال بودن باقی مانده‌ها صورت می‌پذیرد. با برآذش سطوح مختلف بر روی داده های فوق (شامل توابع خطی، خطی + مربعات عوامل، خطی + تعامل عوامل) بهترینتابع برآذش شده، تابع درجه دوم کامل شناسایی شد.

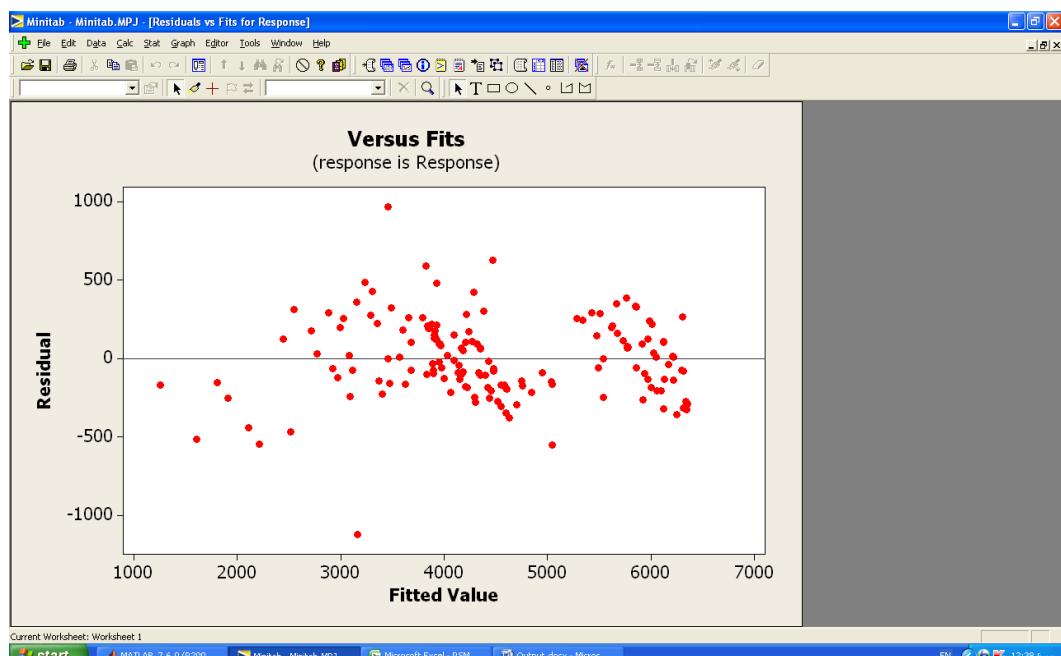
جدول ۴ نشان دهنده نتایج تحلیل واریانس (خروجی نرم افزار Minitab) و جدول ۵ نشان دهنده بهترین ضرایب به دست آمده، آماره آزمون t و مقدار P-Value هر پارامتر (خروجی نرم افزار

جدول ۳. طراحی آزمایش‌های متداول‌وزی سطح پاسخ و نتایج شبیه سازی

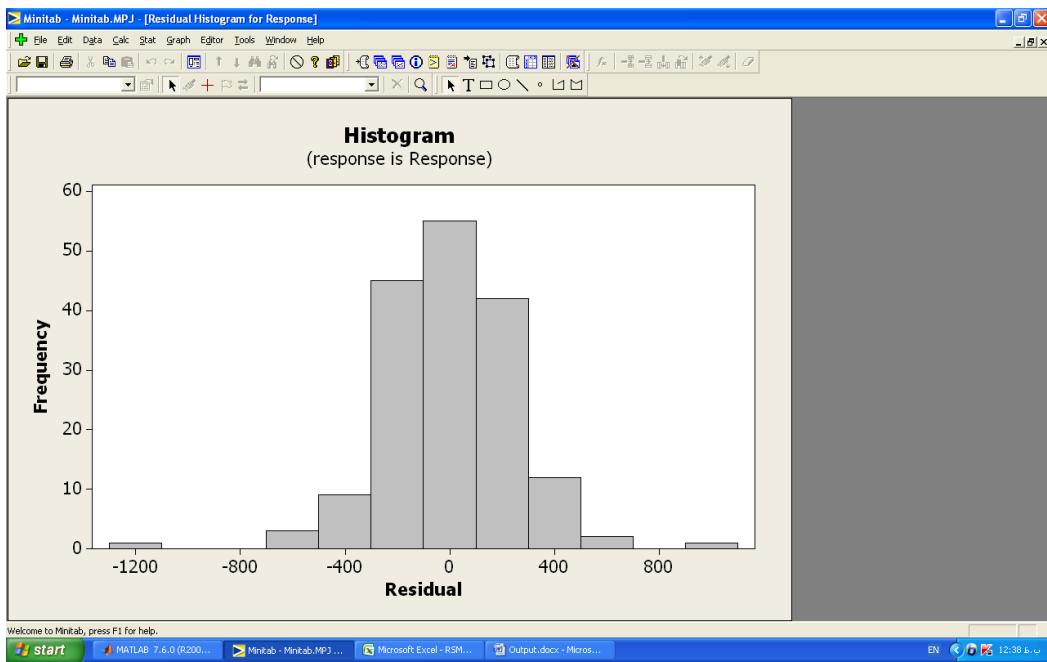
ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹	۶۰	۶۱	۶۲	۶۳	۶۴	۶۵	۶۶	۶۷	۶۸	۶۹	۷۰	۷۱	۷۲	۷۳	۷۴	۷۵	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹	۱۰۰	۱۰۱	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۴	۱۰۵	۱۰۶	۱۰۷	۱۰۸	۱۰۹	۱۱۰	۱۱۱	۱۱۲	۱۱۳	۱۱۴	۱۱۵	۱۱۶	۱۱۷	۱۱۸	۱۱۹	۱۲۰	۱۲۱	۱۲۲	۱۲۳	۱۲۴	۱۲۵	۱۲۶	۱۲۷	۱۲۸	۱۲۹	۱۳۰	۱۳۱	۱۳۲	۱۳۳	۱۳۴	۱۳۵	۱۳۶	۱۳۷	۱۳۸	۱۳۹	۱۴۰	۱۴۱	۱۴۲	۱۴۳	۱۴۴	۱۴۵	۱۴۶	۱۴۷	۱۴۸	۱۴۹	۱۵۰	۱۵۱	۱۵۲	۱۵۳	۱۵۴	۱۵۵	۱۵۶	۱۵۷	۱۵۸	۱۵۹	۱۶۰	۱۶۱	۱۶۲	۱۶۳	۱۶۴	۱۶۵	۱۶۶	۱۶۷	۱۶۸	۱۶۹	۱۷۰	۱۷۱	۱۷۲	۱۷۳	۱۷۴	۱۷۵	۱۷۶	۱۷۷	۱۷۸	۱۷۹	۱۸۰	۱۸۱	۱۸۲	۱۸۳	۱۸۴	۱۸۵	۱۸۶	۱۸۷	۱۸۸	۱۸۹	۱۹۰	۱۹۱	۱۹۲	۱۹۳	۱۹۴	۱۹۵	۱۹۶	۱۹۷	۱۹۸	۱۹۹	۲۰۰	۲۰۱	۲۰۲	۲۰۳	۲۰۴	۲۰۵	۲۰۶	۲۰۷	۲۰۸	۲۰۹	۲۱۰	۲۱۱	۲۱۲	۲۱۳	۲۱۴	۲۱۵	۲۱۶	۲۱۷	۲۱۸	۲۱۹	۲۲۰	۲۲۱	۲۲۲	۲۲۳	۲۲۴	۲۲۵	۲۲۶	۲۲۷	۲۲۸	۲۲۹	۲۳۰	۲۳۱	۲۳۲	۲۳۳	۲۳۴	۲۳۵	۲۳۶	۲۳۷	۲۳۸	۲۳۹	۲۴۰	۲۴۱	۲۴۲	۲۴۳	۲۴۴	۲۴۵	۲۴۶	۲۴۷	۲۴۸	۲۴۹	۲۴۱۰	۲۴۱۱	۲۴۱۲	۲۴۱۳	۲۴۱۴	۲۴۱۵	۲۴۱۶	۲۴۱۷	۲۴۱۸	۲۴۱۹	۲۴۱۲۰	۲۴۱۲۱	۲۴۱۲۲	۲۴۱۲۳	۲۴۱۲۴	۲۴۱۲۵	۲۴۱۲۶	۲۴۱۲۷	۲۴۱۲۸	۲۴۱۲۹	۲۴۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۰	۲۴۱۲۱۲۱	۲۴۱۲۱۲۲	۲۴۱۲۱۲۳	۲۴۱۲۱۲۴	۲۴۱۲۱۲۵	۲۴۱۲۱۲۶	۲۴۱۲۱۲۷	۲۴۱۲۱۲۸	۲۴۱۲۱۲۹	۲۴۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۳	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۴	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۵	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۶	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۷	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۸	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۹	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۰	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۱	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲	۲۴۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲۱۲

جدول ۵. ضرایب تابع برازش شده به همراه آماره t و P-Value

Term	Coef	SE Coef	T	P	Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5542.00	99.71	55.580	0.000	B*F	-27.22	55.74	-0.488	0.626
A	416.28	39.41	10.562	0.000	B*G	-13.97	55.74	-0.251	0.803
B	195.61	39.41	4.963	0.000	B*H	54.63	78.83	0.693	0.490
C	967.25	39.41	24.540	0.000	B*J	123.00	78.83	1.560	0.122
D	123.33	39.41	3.129	0.002	B*K	135.22	55.74	2.426	0.017
E	93.41	39.41	2.370	0.020	C*D	-120.06	78.83	-1.523	0.131
F	51.52	39.41	1.307	0.194	C*E	-95.00	55.74	-1.704	0.091
G	83.72	39.41	2.124	0.036	C*F	-31.62	78.83	-0.401	0.689
H	685.22	39.41	17.385	0.000	C*G	-14.03	55.74	-0.252	0.802
J	526.08	39.41	13.347	0.000	C*H	418.00	78.83	5.303	0.000
K	719.78	39.41	18.262	0.000	C*I	329.66	55.74	5.914	0.000
A*A	-307.91	62.63	-4.916	0.000	C*K	477.81	78.83	6.061	0.000
B*B	-154.85	62.63	-2.472	0.015	D*E	-14.16	55.74	-0.254	0.800
C*C	-801.95	62.63	-12.804	0.000	D*F	-24.87	55.74	-0.446	0.656
D*D	-46.01	62.63	-0.735	0.464	D*G	-6.75	78.83	-0.086	0.932
E*E	2.87	62.63	0.046	0.964	D*H	47.50	55.74	0.852	0.396
F*F	40.99	62.63	0.655	0.514	D*J	114.75	78.83	1.456	0.148
G*G	-60.10	62.63	-0.960	0.339	D*K	17.06	78.83	0.216	0.829
H*H	-377.23	62.63	-6.023	0.000	E*F	-35.37	78.83	-0.449	0.655
J*J	-479.76	62.63	-7.660	0.000	E*G	-36.06	78.83	-0.457	0.648
K*K	-546.73	62.63	-8.729	0.000	E*H	22.12	78.83	0.281	0.780
A*B	-62.50	78.83	-0.793	0.430	E*J	3.19	78.83	0.040	0.968
A*C	-599.13	78.83	-7.600	0.000	E*K	34.91	55.74	0.626	0.533
A*D	-59.50	78.83	-0.755	0.452	F*G	-100.06	78.83	-1.269	0.207
A*E	4.50	78.83	0.057	0.955	F*H	6.88	78.83	0.087	0.931
A*F	33.12	78.83	0.420	0.675	F*J	0.25	55.74	0.004	0.996
A*G	-21.50	78.83	-0.273	0.786	F*K	88.69	78.83	1.125	0.263
A*H	250.50	55.74	4.494	0.000	G*H	-51.06	55.74	-0.916	0.362
A*I	45.69	55.74	0.820	0.414	G*J	-6.44	78.83	-0.082	0.935
A*K	294.56	55.74	5.284	0.000	G*K	98.56	78.83	1.250	0.214
B*C	-164.75	78.83	-2.090	0.039	H*J	-79.88	78.83	-1.013	0.313
B*D	-215.87	78.83	-2.738	0.007	H*K	61.37	78.83	0.779	0.438
B*E	-28.63	78.83	-0.363	0.717	J*K	-448.63	78.83	-5.691	0.000



شکل ۶. نمودار پراکنش مقادیر پاسخ



شکل ۷. نمودار هیستوگرام باقی مانده های مدل رگرسیون

رابطه ۱۰ نشان دهنده اولینتابع هدف مسئله میباشد. اینتابع بر اساس مقادیر مختلف X_1 تا X_{10} قادر است میزان تولید را پیش بینی نماید و هدف حداکثر کردن آن است.

$$\text{Min} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \quad (11)$$

رابطه ۱۱ نشان دهنده دومینتابع هدف مسئله میباشد. اینتابع به صورت حداقل کردن کل حجم بافرها در نظر گرفته شده است.

$$-I \leq X_i \leq I \quad i=1 \text{ to } 10 \quad (12)$$

رابطه ۱۲ شامل ۱۰ محدودیت مدل است که در قالب ۱ محدودیت (۱۰) تا ۱ (۱) نوشته شده است. این محدودیت نشان دهنده این است که هر بافر میبایست در محدوده حد پایین و بالای تعیین شده خود قرار گیرد.

با استفاده از رابطه ۸ به عنوان تابع هدف ترکیبی و ترکیب توابع هدف مسئله با استفاده از این رابطه (روابط ۱۰ و ۱۱) و در نظر گیری محدودیتهای ۱ تا ۱۰ (رابطه ۱۲)، مدل کلی این مسئله ایجاد میشود. با توجه به وجود روابط غیر خطی در تابع هدف اول (خروجی خط) و همچنین با توجه به ماهیت غیر خطی بودن تابع LP-Metric برای $P > 1$ ، مدل ریاضی این مسئله با استفاده

بنابراین با استفاده از داده های جدول ۵ و روابط ۳ الی ۷، مدل ریاضی مسئله فوق به صورت ذیل در خواهد آمد.

$$\begin{aligned} \text{Max} = & 5542 + 416/281*X_1 + 195/609*X_2 + 967/25*X_3 + \\ & 123/328*X_4 + 93/4092*X_5 + 51/5156*X_6 + 83/7187*X_7 + \\ & 685/219*X_8 + 526/7078*X_9 + 719/781*X_{10} - \\ & 307/914*X_1^2 - 154/852*X_2^2 - 801/945*X_3^2 - \\ & 46/0078*X_4^2 + 2/86719*X_5^2 + 40/9922*X_6^2 - \\ & 60/1016*X_7^2 - 377/227*X_8^2 - 479/758*X_9^2 - \\ & 546/7278*X_{10}^2 - 62/5*X_1*X_2 - 599/125*X_1*X_3 - \\ & 59/5*X_1*X_4 + 4/5*X_1*X_5 + 33/125*X_1*X_6 - \\ & 21/5*X_1*X_7 + 25/5*X_1*X_8 + 45/6875*X_1*X_9 + \\ & 294/562*X_1*X_{10} - 164/75*X_2*X_3 - 215/115*X_2*X_4 - \\ & 28/625*X_2*X_5 - 27/2187*X_2*X_6 - \\ & 13/9688*X_2*X_7 + 54/925*X_2*X_8 + 123*X_2*X_9 + \\ & 135/219*X_2*X_{10} - 120/0623*X_3*X_4 - 95*X_3*X_5 - \\ & 31/625*X_3*X_6 - \\ & 14/0313*X_3*X_7 + 418*X_3*X_8 + 329/656*X_3*X_9 + \\ & 477/813*X_3*X_{10} - 14/1562*X_4*X_5 - 24/875*X_4*X_6 - \\ & 6/75*X_4*X_7 + 47/5*X_4*X_8 + 114/75*X_4*X_9 + 17/0625*X_4*X_{10} - 35/375*X_5*X_6 - \\ & 36/625*X_5*X_7 + 22/125*X_5*X_8 + 3/1875*X_5*X_9 + \\ & 34/9063*X_5*X_{10} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 100*X_6*X_7 + 6/875*X_6*X_8 + 0/25*X_6*X_9 + \\ & 88/6875*X_6*X_{10} - 51/0625*X_7*X_8 - \\ & 6/4375*X_7*X_9 + 98/5625*X_7*X_{10} - \\ & 79/875*X_8*X_9 + 61/375*X_8*X_{10} - \\ & 448/625*X_9*X_{10} \end{aligned} \quad (10)$$

جدول ۶. پارامتر های الگوریتم ژنتیک

اندازه جمعیت	نرخ تقاطع	نرخ جهش
۱۰۰	۰/۹	۰/۰۱

با تنظیم پارامتر های الگوریتم ژنتیک در مدل ساخته شده، این مدل ابتدا با در نظر گیری $P = 1$ (در تابع LP-Metric) برای اوزان مختلف توابع هدف حل شده است که نتایج آن به شرح جدول ۷ می باشد.

از الگویتم ژنتیک حل شده است. جهت حل این مسئله، مدل فوق در نرم افزار MATLAB کد نویسی شده است. یکی از موارد مهم در حل مسائل توسط الگوریتم ژنتیک، تنظیم پارامتر های این الگوریتم نظیر اندازه جمعیت، نرخ تقاطع و نرخ جهش است. به طور کلی اذعان می شود که تنظیم پارامتر های الگوریتم ژنتیک بیشتر مبتنی بر مشاهدات تجربی تحلیلگر با توجه به میزان تغییر پذیری مسئله است [۲۷]. جهت تنظیم پارامترها در این مسئله از طرح های موجود در تحقیقات پیشین در زمینه الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۲۸] و [۲۹] و [۳۰] که مطابق با جدول ۶ است.

جدول ۷. نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P=1$

$P=1$	W_1	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱
	W_2	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
X_1	کد شده	۰/۶۵۶۱	۰/۵۳۴	۰/۴۳	۰/۰۰۰۰۲	-۰/۴	-۰/۹۴	-۰/۹۷	-۱	-۱
	کد نشده	۵۰	۴۶	۴۳	۸۰	۱۸	۲	۱	۰	۰
X_2	کد شده	۰/۹۸۹۹	۰/۹۶۴	۰/۷۶۷	۰/۴۸۶	-۰/۰۷	-۰/۹۲	-۱	-۰/۹۶	-۰/۹۶
	کد نشده	۴۰	۳۹	۳۵	۳۰	۱۹	۲	۰	۱	۱
X_3	کد شده	۰/۹۳۲۶	۰/۹۳۹	۰/۹۳۴	۰/۹۷۵	۰/۸۵۴	۰/۶۳	۰	-۰/۰۶	-۰/۹۹
	کد نشده	۶۸	۶۸	۶۸	۶۹	۶۵	۵۷	۳۵	۱۴	۰
X_4	کد شده	-۰/۹۸۵	-۱	-۰/۹۷	-۰/۹۹	-۱	-۰/۹۸	-۱	-۰/۹۸	-۰/۹۵
	کد نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
X_5	کد شده	-۰/۹۴۷	-۱	-۱	-۰/۹۸	-۰/۹۷	-۰/۹۸	-۱	-۰/۹۸	-۱
	کد نشده	۲	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰
X_6	کد شده	۰/۹۸۶۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	-۰/۹۹	-۱	-۱	-۰/۹۸	-۰/۹۹	-۱
	کد نشده	۷۹	۸۰	۸۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
X_7	کد شده	-۰/۱۸۴	-۰/۶۸	-۰/۹۸	-۰/۸۷	-۱	-۱	-۰/۹۹	-۰/۹۱	-۱
	کد نشده	۴۱	۱۶	۱	۶	۰	۰	۰	۵	۰
X_8	کد شده	۰/۹۹۵۱	۰/۹۹۷	۱	۰/۹۹۸	۰/۶۲۶	-۰/۰۷	-۱	-۱	-۰/۹۷
	کد نشده	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۲۴	۱۴	۰	۰	۰
X_9	کد شده	۰/۲۹۶۱	۰/۲۳۴	۰/۱۳۶	۰/۰۸۸	-۰/۰۴	-۰/۱۷	-۰/۳۸	-۱	-۰/۹۹
	کد نشده	۲۶	۲۵	۲۳	۲۲	۱۹	۱۷	۱۲	۰	۰
X_{10}	کد شده	۰/۹۹۴۶	۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	۰/۶۶۱	۰/۳۵۷	-۰/۱۸	-۰/۹۳	-۰/۹۵	-۰/۹۸
	کد نشده	۵۰	۵۰	۵۰	۴۲	۳۴	۲۰	۲	۱	۱
تابع هدف LP-Metric		۰/۰۷۵۳	۰/۱۴۱	۰/۲۰۲	۰/۲۴۹	۰/۲۷۷	۰/۲۷۷	۰/۲۴۴	۰/۱۸۱	۰/۰۹۴
تابع هدف خروجی خط		۷۶۳۲	۷۵۷۵	۷۴۶۵	۶۷۳۱	۵۹۴۵	۴۲۵۷	۱۹۲۳	۳۱۳	۵۲۵
تابع هدف حجم کل بافر ها		۲۸۶	۳۵۴	۳۳۰	۲۳۰	۱۸۰	۱۱۳	۵۱	۲۲	۲

تولید پیاده کنند. W_1 نشان دهنده اهمیت تابع هدف اول (خروجی خط) و W_2 نشان دهنده اهمیت تابع هدف دوم (حجم کل بافرها) می باشد. در جدول فوق برای هر یک از حل های صورت گرفته (با در نظر گیری اوزان مختلف)، جواب ها به دو

جدول ۷ نتایج حل مسئله را با در نظر گیری $P = 1$ نشان می دهد. این مسئله برای اوزان مختلف تابع هدف حل شده است و تصمیم گیرندگان با توجه به میزان اهمیتی که به دو تابع می دهند، می توانند هر یک از حل ها را انتخاب کرده و در سیستم

$X_1=50$, $X_2=23$, $X_3=30$, $X_4=80$, $X_5=1$, $X_6=30$, $X_7=1$, $X_8=50$, $X_9=23$, $X_{10}=30$ در صورت اجرای این جواب، میزان خروجی خط ۷۴۶۵ و میزان کل بافرها، ۳۳۰ خواهد بود.

با توجه به اینکه متداول‌تری حاضر در پی تولید جواب‌های غیر مسلط است که تصمیم گیرندگان بتوانند از بین آن‌ها به انتخاب جواب مناسب برسند، مدل ریاضی مسئله، مجدداً با در نظر گیری $P=2$ حل شده است تا دسته‌ای جواب دیگر ایجاد شود. نتایج حل مسئله در جدول ۸ قابل مشاهده است.

صورت کد شده و کد نشده ارائه شده است. لازم به توضیح است که جواب‌های کد شده با استفاده از رابطه ۹ به صورت کد نشده تبدیل شده‌اند که ارقام کد نشده، نشان دهنده میزان حجم بافر های تخصیص یافته (جواب اصلی مسئله) می‌باشد.

برای مثال اگر تصمیم گیرنده، ۷۰ درصد اهمیت تصمیم گیری را به حداکثر کردن خروجی خط و ۳۰ درصد اهمیت تصمیم گیری را به حداقل کردن میزان بافرها اختصاص دهد، بهترین جواب عبارت است از $X_5=0$, $X_6=68$, $X_7=35$, $X_8=43$, $X_9=0$.

جدول ۸. نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P=2$

$P=2$	W_1	$0/9$	$0/8$	$0/7$	$0/6$	$0/5$	$0/4$	$0/3$	$0/2$	$0/1$
	W_2	$0/1$	$0/2$	$0/3$	$0/4$	$0/5$	$0/6$	$0/7$	$0/8$	$0/9$
X_1	کد شده	$0/4872$	$0/077$	$-0/04$	$-0/01$	$-0/02$	$-0/092$	$-0/099$	$-0/098$	$-0/094$
	کد نشده	۴۵	۳۲	۲۹	۱۵	۱۱	۲	۰	۰	۲
X_2	کد شده	$0/8827$	$0/19$	$0/324$	$-0/03$	$-0/055$	$-0/091$	-۱	$-0/098$	$-0/094$
	کد نشده	۳۸	۳۶	۲۶	۱۹	۹	۲	۰	۰	۱
X_3	کد شده	$0/9177$	$0/994$	$0/996$	$0/979$	$0/18$	$0/07$	$0/312$	$-0/04$	$-0/057$
	کد نشده	۶۷	۷۰	۷۰	۶۹	۶۳	۶	۴۶	۳۴	۱۵
X_4	کد شده	$-0/985$	$-0/99$	$-0/99$	$-0/08$	-۱	$-0/09$	$-0/098$	$-0/099$	$-0/098$
	کد نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
X_5	کد شده	$-0/993$	$-0/99$	-۱	-۱	-۱	-۱	$-0/097$	-۱	$-0/099$
	کد نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
X_6	کد شده	$0/9833$	$-0/99$	$-0/99$	$-0/08$	-۱	$-0/099$	-۱	-۱	$-0/095$
	کد نشده	۷۹	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲
X_7	کد شده	$-0/978$	$-0/2$	$-0/05$	-۱	$-0/099$	-۱	$-0/098$	$-0/099$	-۱
	کد نشده	۱	۴۰	۳	۰	۱	۰	۱	۱	۰
X_8	کد شده	$0/9994$	$0/989$	$0/933$	$0/05$	$0/294$	$-0/02$	$-0/05$	$-0/097$	$-0/098$
	کد نشده	۳۰	۳۰	۲۹	۲۵	۱۹	۱۵	۸	۱	۰
X_9	کد شده	$0/1573$	$0/187$	$0/085$	$0/098$	$-0/09$	$-0/025$	$-0/15$	$-0/083$	$-0/093$
	کد نشده	۲۳	۲۴	۲۲	۲۲	۱۸	۱۵	۱۷	۷	۱
X_{10}	کد شده	$0/9742$	$0/1834$	$0/1614$	$0/323$	$0/173$	$-0/12$	$-0/086$	$-0/073$	$-0/099$
	کد نشده	۴۹	۴۶	۴۰	۳۳	۲۹	۲۲	۹	۷	۰
تابع هدف LP-Metric		$0/0653$	$0/118$	$0/157$	$0/184$	$0/198$	$0/197$	$0/178$	$0/141$	$0/083$
تابع هدف خروجی خط		۷۴۹۱	۷۱۰۸	۶۶۰۳	۶۰۳۳	۵۲۶۳	۴۳۶۷	۳۲۱۷	۱۸۶۱	۴۶۶
تابع هدف حجم کل بافرها		۳۳۲	۲۷۸	۲۱۹	۱۸۴	۱۵۰	۱۱۷	۸۲	۵۰	۲۱

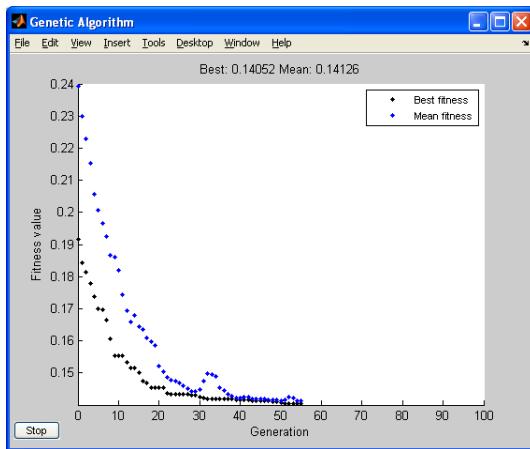
دوریکس و پیروال [۳۱] برای بررسی اعتبار متامدل‌های شبیه سازی معرفی کرده‌اند استفاده شده است. به این صورت که مدل شبیه سازی می‌بایست به لحاظ ساختاری و تطابق با واقعیتی که شبیه سازی شده است بررسی و تا حد امکان به واقعیت نزدیک‌تر

اشکال ۸ الی ۲۵، حل مسئله توسط الگوریتم زنتیک با استفاده از نرم افزار MATLAB را برای جداول ۷ و ۸ نشان می‌دهد. در قسمت بالای هر یک از اشکال، مقدار تابع هدف LP-Metric مشاهده می‌شود. جهت سنجش اعتبار مدل، از شاخصی که

سازی و متامدل محاسبه می شود که مقدار این شاخص باید کمتر یا مساوی ۳ باشد.

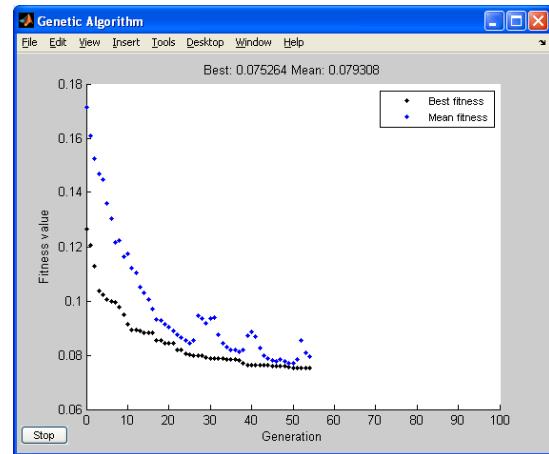
Mean absolute error=

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 100 * \left| \text{meta model output}_i - \text{simulation output}_i \right| / \text{simulation output}_i \quad (13)$$

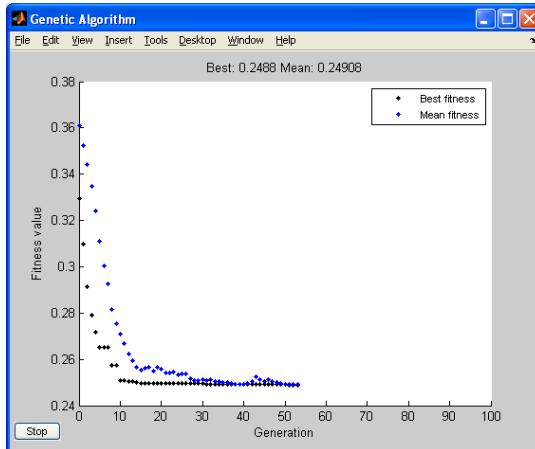


شکل ۸. (P = ۱) $W_1 = +1/8$, $W_2 = +1/2$.

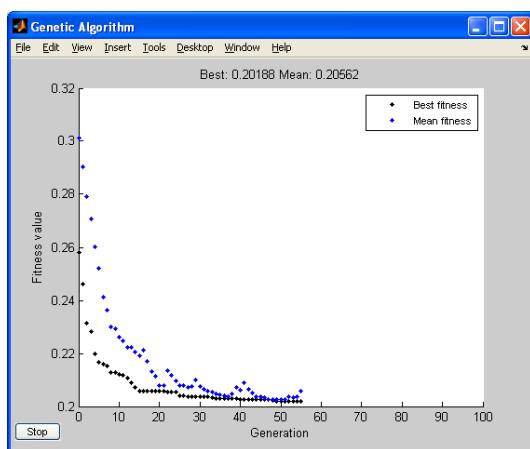
شود، سپس ۱۰ ترکیب (n) از اندازه عوامل (در این مسئله بافرها) به صورت تصادفی انتخاب شده و نرخ خروجی حاصل از این ترکیبها با استفاده از شبیه سازی (simulation output) و متامدل (meta model output) محاسبه می شود. سپس شاخص میانگین قدر مطلق خطا (را بطه ۱۳) به منظور مقایسه نتایج شبیه



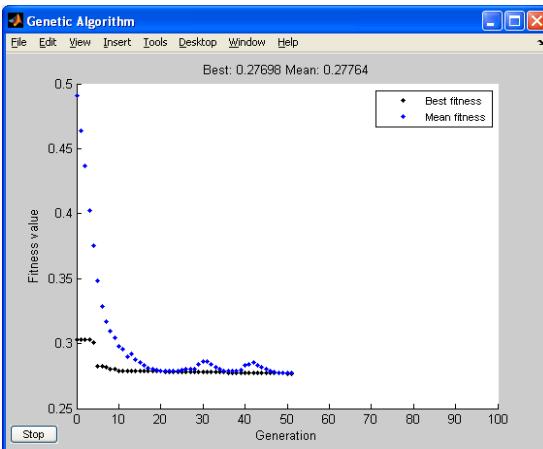
شکل ۸. (P = ۱) $W_1 = +1/9$, $W_2 = +1/1$.



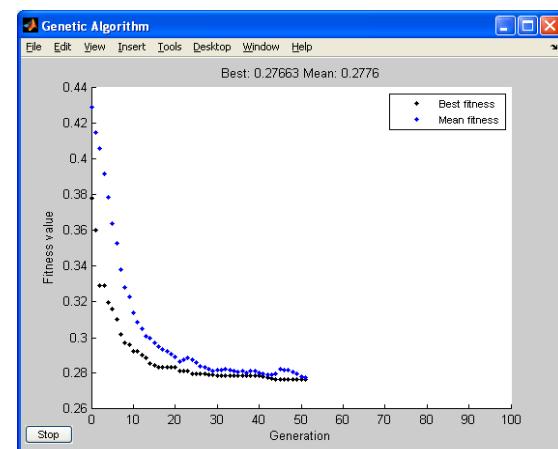
شکل ۸. (P = 1) $W_1 = +1/8$, $W_2 = +1/4$.



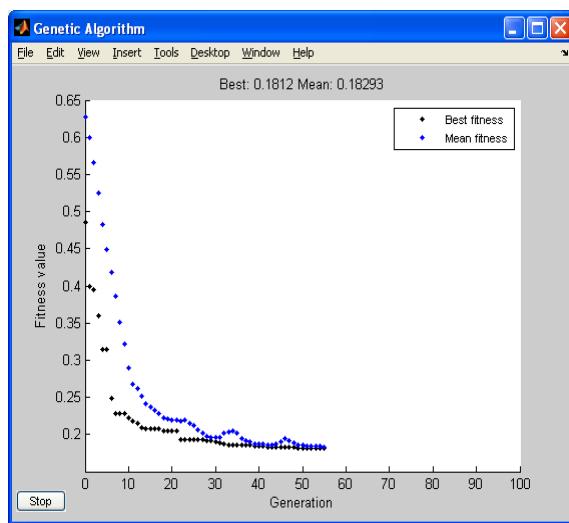
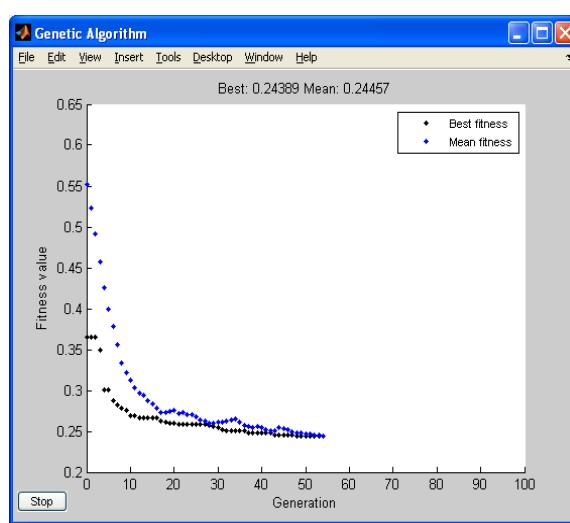
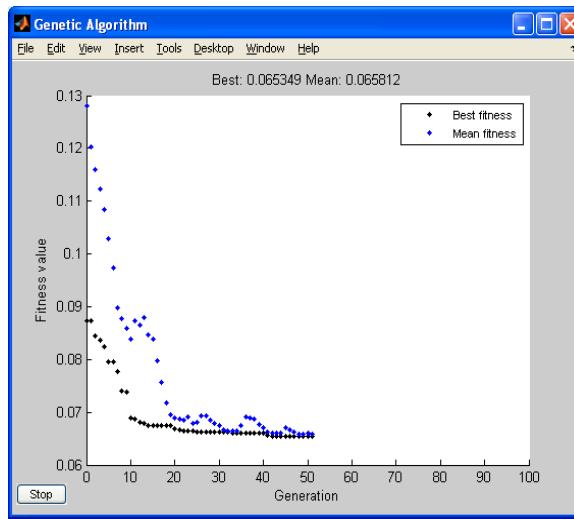
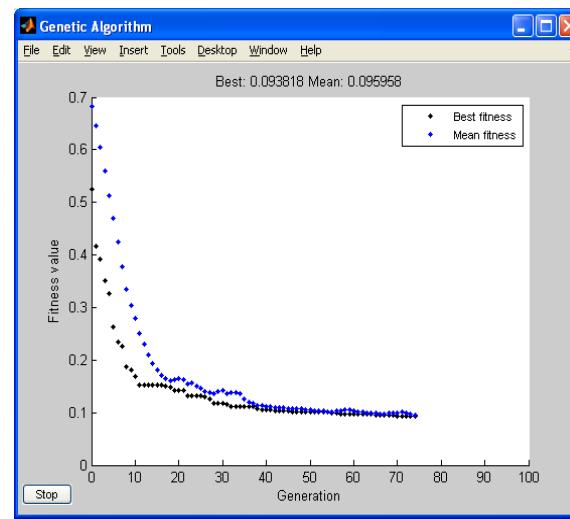
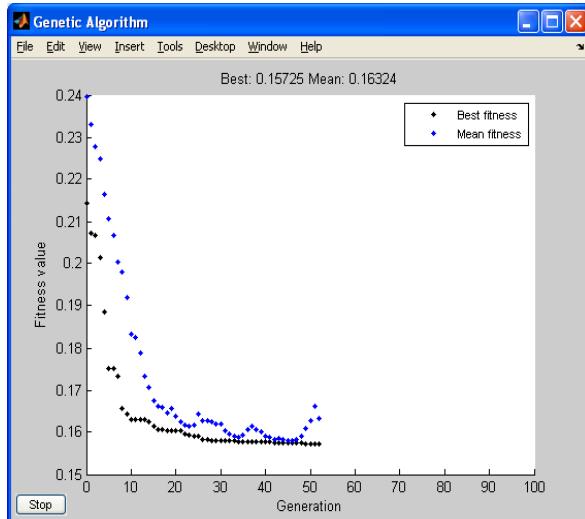
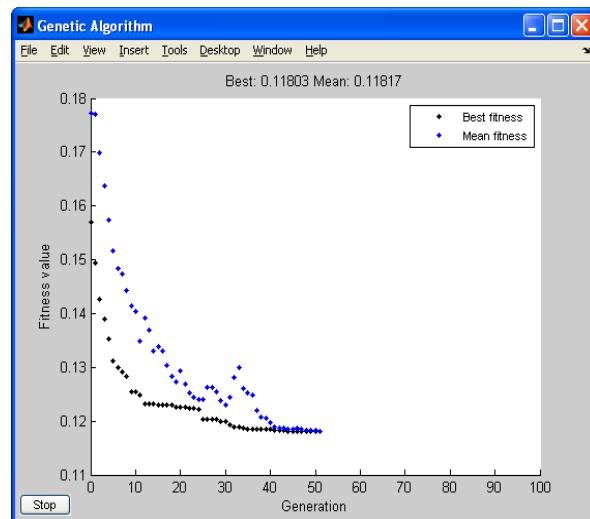
شکل ۸. (P = 1) $W_1 = +1/7$, $W_2 = +1/3$.

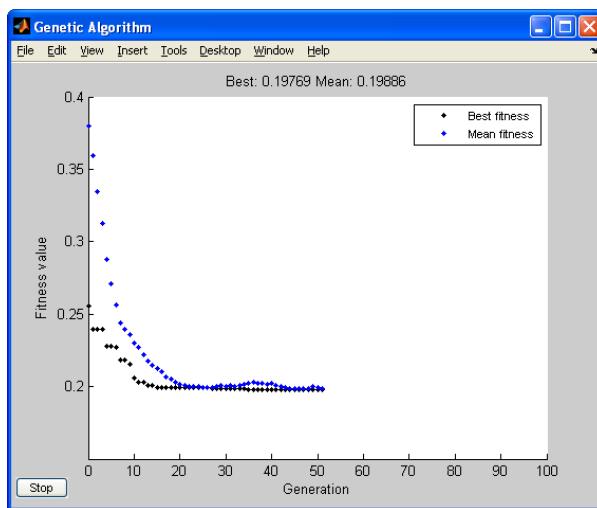
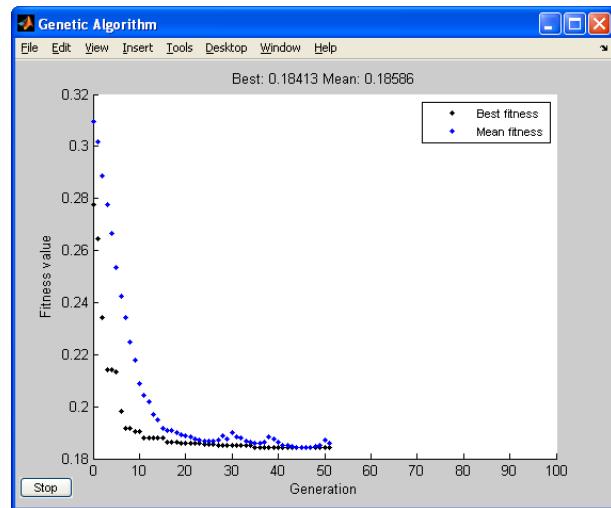
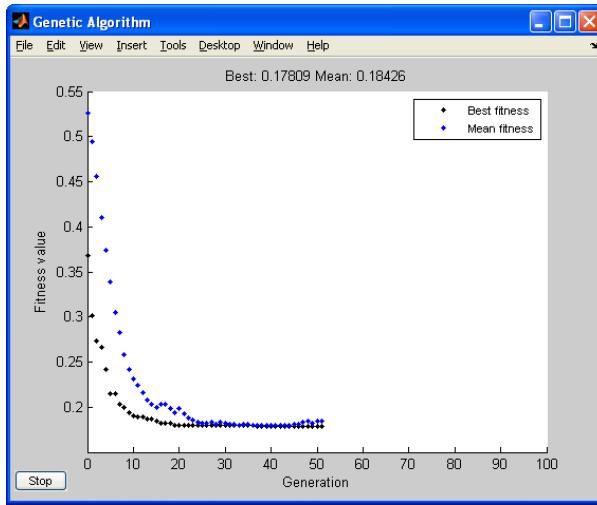
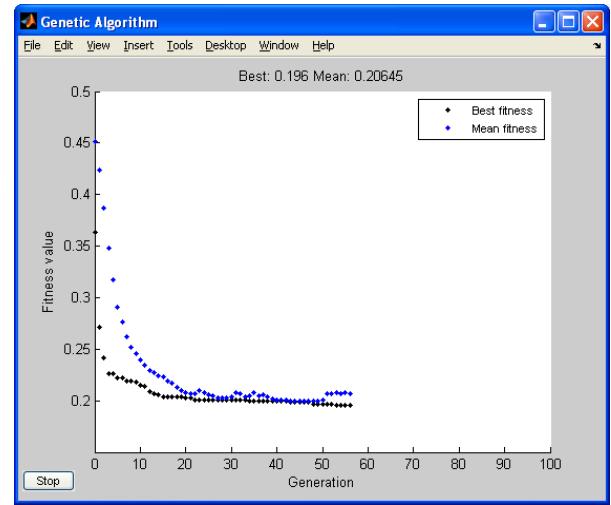
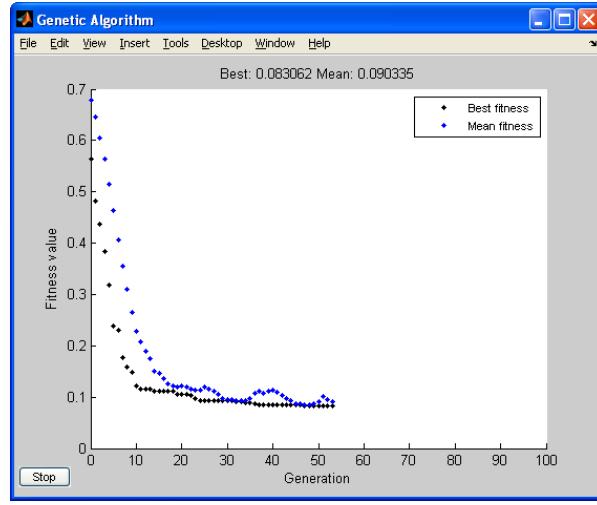
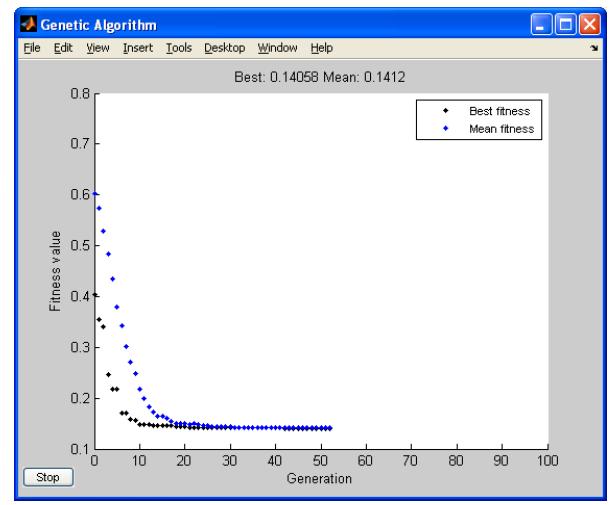


شکل ۸. (P = 1) $W_1 = +1/4$, $W_2 = +1/6$.



شکل ۸. (P = 1) $W_1 = +1/5$, $W_2 = +1/5$.

(P = ۱) $w_1 = +\frac{۱}{۲}$, $w_2 = +\frac{۱}{۸}$. شکل ۱.(P = ۱) $w_1 = +\frac{۱}{۳}$, $w_2 = +\frac{۱}{۷}$. شکل ۱.(P = ۲) $w_1 = +\frac{۱}{۹}$, $w_2 = +\frac{۱}{۱}$. شکل ۲.(P = ۱) $w_1 = +\frac{۱}{۱}$, $w_2 = +\frac{۱}{۹}$. شکل ۱.(P = ۲) $w_1 = +\frac{۱}{۷}$, $w_2 = +\frac{۱}{۳}$. شکل ۲.(P = ۲) $w_1 = +\frac{۱}{۸}$, $w_2 = +\frac{۱}{۲}$. شکل ۲.

شکل ۸.۸ (P = ۲) $w_1 = +1/5$, $w_2 = +1/5$.شکل ۸.۹ (P = 2) $w_1 = +1/6$, $w_2 = +1/4$.شکل ۸.۱۰ (P = 2) $w_1 = +1/3$, $w_2 = +1/7$.شکل ۸.۱۱ (P = 2) $w_1 = +1/4$, $w_2 = +1/6$.شکل ۸.۱۲ (P = 2) $W_1 = +1/1$, $W_2 = +1/9$.شکل ۸.۱۳ (P = 2) $W_1 = +1/2$, $W_2 = +1/8$.

مراجع

- [1] Dallery Y., Greshwin, S.B., "Manufacturing Flow Line Systems: A Review of M and Analytical results: Queueing Systems Theory and Applications", special issue on queueing models of manufacturing systems, Vol. 12, No. (1-2), 1992, pp. 3-94.
- [2] Greshwin S.B., Schor J.E., "Efficient Algorithms for Buffer Space Allocation", Operations research, Vol 93, No. 3, 2000, pp. 117 – 144.
- [3] Smith J., Cruz F., "The Buffer Allocation Problem for General Finite Buffer Queuing Networks", IIE Transactions, Vol 37, No.4, 2005, pp. 343-365.
- [4] Vidalis M.I., Papadopoulos C.T., Heavey C., "On the Workload and 'Phaseload' Allocation Problems of Short Reliable Production lines with Finite Buffers", Computers & Industrial Engineering Vol. 48, No.4, 2005, pp. 825–837.
- [5] Nahas N., Noureldath M., Ait-Kadi D., "Ant Colonies for Structure Optimization in a Failure Prone Series – Parallel Production System. Journal of Quality in Maintenance Engineering", Vol. 14. No. 1, 2008, pp. 140-154.
- [6] Massim, Y., Yalaouib, F., Amodeob, L., Chateletc, E., Zebla, A., "Efficient Combined Immune-Decomposition Algorithm for Optimal Buffer Allocation in Production Lines for Throughput and Profit Maximization", Computers & Operations Research Vol. 37, No. 4, 2010, pp. 611 – 620.
- [7] Shi C., Gershwin S., "An Efficient Buffer Design Algorithm for Production Line Profit Maximization", International journal of Production Economics, Vol. 122, No. 2, 2009, pp. 725–740.
- [8] Alexandros D., Chrissoleon P., "Exact Analysis of a Two-Workstation One-Buffer Flow Line with Parallel Unreliable Machines", European Journal of Operational Research, Vol. 197, No. 2, 2009, pp. 572–580.
- [9] Battini D., Persona A., Regattieri A., "Buffer Size Design Linked to Reliability Performance: A Simulative Study", Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, No.3, 2009, pp. 1633–1641.
- [10] Nahas N., Ait-Kadi D., Noureldath M., "A New Approach for Buffer Allocation in Unreliable Production Lines", International journal of Production Economics Vol. 103, No. 2, 2006, pp. 873–881.
- [11] Han M., Park D., "Optimal Buffer Allocation of Serial Production Lines with Quality Inspection Machines", Computers & industrial engineering Vol. 42, No. 2, 2002, pp. 75 – 89.
- [12] Spinellis D., Papadopoulos C., "A Simulated Annealing Approach for Buffer Allocation in

در این مسئله با انتخاب ۱۰ ترکیب تصادفی از بافرها و محاسبه شاخص میانگین قدر مطلق خط، این مقدار ۲,۸۴ بدست آمده که نشان دهنده اعتبار مناسب مدل می باشد.

۵. نتیجه گیری

در خطوط تولید و مونتاژ گسسته پیشامد، همچنان که میزان ظرفیت موجودی های بافر بین ایستگاهها افزایش می یابد، نرخ تولید خط نیز متقابلاً افزایش خواهد یافت اما به قیمت اینکه سازمان هزینه های موجودی های مونتاژ را متوجه خواهد شد. در این مقاله یک متداولوزی جهت تعیین ظرفیت بهینه موجودی های بافر در خطوط تولید و مونتاژ گسسته پیشامد ارائه شد به نحوی که متداولوزی حاضر با در نظر گیری دوتابع هدف حداکثر کردن نرخ تولید و حداقل کردن میزان کل بافرها در خط تولید، به ارائه راه حل بهینه (یا نزدیک بهینه) می پردازد.

در این متداولوزی فرض می شود که مدت زمان خدمت دهی هر ایستگاه، مدت زمان بین خرابی و از کارافتادگی ماشین آلات و مدت زمان تعمیر ماشین آلات می تواند قطعی یا غیر قطعی بوده و در صورت غیر قطعی بودن می تواند از هر تابع توزیعی (نممال، نمایی، گاما و غیره) پیروی کند.

متداولوزی پیشنهادی خط تولید را به صورت یک شبکه صف در نظر گرفته و با توجه به اینکه زمان های ذکر شده می تواند غیر قطعی و پیرو توابع توزیع عمومی باشند، جهت تجزیه و تحلیل، از شبیه سازی این شبکه صف بهره می برد.

این متداولوزی با استفاده از متداولوزی سطح پاسخ، به تجزیه و تحلیل خروجی خط در شرایط مختلف میزان بافرها پرداخته و در نهایت پس از ایجاد مدل ریاضی بهینه سازی، با توجه به غیر خطی بودن تابع هدف اصلی و چندهدفه بودن مسئله، با استفاده از الگوییم ژنتیک، به حل مسئله و تعیین میزان بهینه (یا نزدیک بهینه) هر بافر می پردازد.

مقاله حاضر به ارائه مدلی جهت بررسی خطوط تولید تک محصولی پرداخت که پیشنهاد می شود محققین در مورد خطوط تولید چند محصولی مطالعه کنند. همچنانی پیشنهاد می شود که بررسی این مسئله برای سیستم های تولید کارگاهی، سلولی و غیره نیز بررسی شده و مدل های مناسب هر سیستم طراحی شود. در نهایت پیشنهاد می شود که روش های فراابتکاری دیگر و روش های غیر خطی جهت این مسئله استفاده شده و نتایج با نتایج این مسئله مقایسه شود.

- Sciences 24 Part 4–5, 1999, pp. 293–315.
- [27] Elegbede, C., Adjallah, K., “*Availability Allocation to Repairable Systems with Genetic Algorithms: a Multi-Objective Formulation*”, Reliability Engineering and System Safety Vol. 82, No. 3, 2003, pp. 319–330.
- [28] Gen, M., Cheng R., “*Optimal Design of System Reliability using Interval Programming and Genetic Algorithms*”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 31 No. 1-2, 1996, PP. 237–240.
- [29] Yang, J., Hwang, M., Sung, T., Jin, Y., “*Application of Genetic Algorithm for Reliability Allocation in Nuclear Power Plants*”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 65, No. 3, 2000, pp. 229–238.
- [30] Yokota, T., Gen, M., Li, Y., “*Genetic Algorithm for Non-Linear mixed Integer Programming Problems and its Applications*”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 30, No. 4, 1996, 905–917.
- [31] Durieux, S., Pierrevial, H., “*Regression Meta-Modeling for the Design of Automated Manufacturing System Composed of Parallel Parallel Machines Sharing a Material Handling Resource*”, International journal of production economics, Vol. 25, No.3, 2003, 1-10.
- [32] *Reliable Production Lines*”, Annals of Operations Research, Vol. 93, No.2, 2000, pp. 373–84.
- [13] Manitz, M., “*Queuing Model Based Analysis of Assembly Lines with Finite Buffers and General Services Times*”, Computers & Operations Research, Vol. 35, No. 8, 2008, pp. 2520 – 2536.
- [14] Huang, M., Chang, P., Chou, Y., “*Buffer Allocation in Flow – Shop – Type Oroduction System with General Arrival and Service Oatterns*”, Computers & Operations Research, Vol. 29, No. 2, 2002, pp. 103–121.
- [15] Abdul – Kader, W., “*Capacity Improvement of an Unreliable Production line – an Analytical Approach*”, Computers & Operations Research Vol. 33, No. 3, 2006, pp. 1695–1712.
- [16] Chen, J., Askin, R., “*Throughput Maximization in Serial Production Lines with Worksharing*”, International journal of Production Economics, Vol. 99, No. 2, 2006, pp. 88–101.
- [17] Drobouchevitch, I., Geismar, H., Sriskandarajah, C., “*Throughput Optimization in Robotic Cells with Input and Output Machine Buffers: A Comparative study of Two Key Models*”, European Journal of Operational Research, Vol. 206, Vo. 2, 2010, pp. 623–633.
- [18] Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley and Sons, 2001.
- [19] Box, G.E., Wilson, K.B., “*On the Experimental Attainment of Optimum*”, Journal of the royal statistical society, Vol. 13, No. 2, 1951, pp. 1 – 38.
- [20] Branke J., Deb K., Meittinen K., & Slowinsky R., *Multiojective Optimization, Interactive and Evolutionary Approaches*, Springer, 2008.
- [21] Yu, P., “*A Class of Solutions for Group Decision Problems*”, Management Science Vol. 19, No. 8, 1973, pp. 936–946.
- [22] Zeleny, M., *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, 1982.
- [23] Holland J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Michigan, 1975.
- [24] Fuhner, T., Jung, T., “*Use of Genetic Algorithms for the Development and Optimization of Crystal Growth Processes*”, Journal of Crystal Growth, Vol. 266, No. 1-3, 2004, pp. 229–238.
- [25] Deb, K., “*Genetic Algorithm in Search and Optimization: the Technique and Applications*”, In Proceeding of the International Workshop on Soft Computing and Intelligent Systems, Machine Intelligence unit 1998, pp. 58–87.
- [26] Deb, K., “*An Introduction to Genetic Algorithms*”, In Sadhana-Academy Proceedings in Engineering