

## توسعه یک مدل جدید دوهدفه و حل آن بوسیله بهینه سازی از طریق شبیه سازی جهت تخصیص بهینه نیروی انسانی و تجهیزات موازی به ایستگاه ها در یک خط تولید

محمود سعید کمپانی\* ، پرهام عظیمی\*\*

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۱

### چکیده

در این مطالعه، کاربرد شبیه سازی در بهینه سازی دو هدفه ی یک مسئله ی بالانس خط مونتاژ تشریح گردیده است که در آن هدف، تعیین مقادیر بهینه تخصیص نیروی انسانی و تجهیزات موازی به ایستگاه ها می باشد، به طوری که با حداقل هزینه های افزایش تجهیزات و نیروی انسانی در ایستگاه ها، خروجی خط تولید به بیشترین مقدار خود افزایش یابد. به عبارت دیگر با استفاده بهینه از منابع موجود خروجی تولید حداکثر شده و بهره وری به حداکثر میزان ممکن ارتقاء یابد. بدین منظور، به کمک بهینه سازی از طریق شبیه سازی، فرایند خط تولید، تحت یک مدل شبیه سازی در نرم افزار ED شبیه سازی شده است. پس از اعتبارسنجی مدل با استفاده از طرح آزمایش سناریوهای متنوعی طراحی و در مدل شبیه سازی اجرا شد، مقادیر ممکن برای دو متغیر تعداد نیروی انسانی و تعداد تجهیزات موازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست آمده و در یک نمودار پارتو نشان داده شده است و نتایج با وضعیت فعلی خط تولید مقایسه گردیده است.

**واژگان کلیدی:** بهینه سازی، شبیه سازی، الگوریتم ژنتیک، بالانس خط تولید

\* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین،

ایران

\*\* دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، (نویسنده

مسئول) p.azimi@qiau.ac.ir

## مقدمه

خطوط مونتاژ به عنوان یکی از رویکردهای مهم در تولید انبوه محصولات صنعتی می‌باشند. امروزه این خطوط در تولید محصولات سفارشی با نرخ کم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. عدم بالانس خطوط مونتاژ باعث افزایش زمان سیکل و زمانهای بیکاری و در نتیجه کاهش نرخ تولید، کارایی خط و افزایش هزینه‌های سیستم می‌شود که این عوامل در نهایت باعث بهره‌وری پایین در سازمان می‌گردد. این مساله باعث شده است که پژوهشگران و شاغلین در زمینه تولید و عملیات، توجه ویژه‌ای به مساله متعادل‌سازی خط مونتاژ داشته باشند.

در دنیای امروز با توجه به پیشرفت تکنولوژی، سازمانها در تلاش هستند که از رقبا پیشی بگیرند و این جز با برنامه ریزی دقیق و به کارگیری صحیح منابع و امکانات امکان پذیر 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 ... که برای تحلیل سیستم‌های وجود دارند، برنامه‌ریزی صحیحی انجام داده و از به هدر رفتن منابع جلوگیری کنند.

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 مدل‌سازی نیز به روش‌های فوق بسیار مشکل است. بنابراین شبیه‌سازی را می‌توان یکی از پر قدرت‌ترین ابزارهای تحلیل موجود برای افراد مسئول طراحی و بهره برداری از فرآیندها دانست.

مدیریت باید در مورد نوع و تعداد تجهیزات مورد لزوم، تعداد نیروی انسانی مورد نیاز، میزان خروجی قابل قبول، ثابت یا انعطاف پذیر 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. خط تولید مورد نظر به سه کارگاه اصلی  $P$ ،  $G$  و  $Y$  تقسیم شده است.

در هر یک از این بخش‌ها حدود ده فرایند با تجهیزات مشخص وجود دارد که در حال حاضر برای هر کارگاه دو اپراتور ماهر تمام امور این فرایندها را انجام داده و محصول را به کارگاه بعد می‌فرستند. خروجی بخش‌های P و G ورودی بخش Y است.

نکته قابل توجه اینکه دو نوع عدم قطعیت در تمام فرایندها وجود دارد

۱. با توجه به حساسیت و پیچیدگی فرایندها زمان انجام هر فرایند غیر قطعی می‌باشد.
۲. بدلیل کنترل عملکرد بعضی از فرایندها به صورت آزمون و خطا تعریف شده‌اند که تعداد دفعات آزمون نیز برای محصولات مختلف متفاوت است

بنابراین مسئله در این تحقیق، بالانس تجهیزات تولیدی، تعداد پرسنل ماهر مورد نیاز برای هر بخش شناسایی گلوگاه‌ها و بهبود چیدمان خط تولید با استفاده از شبیه‌سازی می‌باشد.

### مرور ادبیات

در سال ۲۰۰۸ میرالس<sup>۱</sup> و همکاران مسئله ای را تحت عنوان تخصیص کارکنان و بالانس خط مطرح کردند. این مسئله حالتی را مطرح می‌کند که ما تعداد مشخصی نیروی انسانی داریم و هر فعالیت زمان متفاوتی را متناسب با اینکه چه کسی آنرا انجام بدهد شامل می‌شود و بعضی از ناسازگاری‌ها نیز بین فعالیت‌ها و نیروها نیز وجود دارد.

در این مسئله دو نوع تخصیص راه حل شبیه‌سازی شده است:

۱- تخصیص فعالیت به ایستگاه

۲- نیروهای در دسترس برای هر ایستگاه پس از تعریف مدل ریاضی برای این مسئله یک رویکرد شاخه و کران با سه استراتژی جستجو و پارامترهای مختلف ارائه شده است. (میرالس و همکاران، ۲۰۰۸)

در سال ۲۰۱۲ عظیمی<sup>۱</sup> مدلی را برای بالانس خطوط تولید با استفاده از روش فرابتنکاری ارائه کرد. در این ارائه دو نوع روش بالانس خط معرفی می شود. بالانس ساده خط مونتاژ<sup>۲</sup> به منظور تخصیص مجموعه‌ای از فعالیت‌ها به مجموعه‌ای از ایستگاه-های کاری استفاده می شود که شرایط زیر را دارد (عظیمی، ۲۰۱۲):

- هر فعالیت تنها به یک ایستگاه تخصیص می یابد.
- تقدم کاری برهم نمی خورد
- یک یا چند هدف بهینه می شود

در سال ۲۰۱۲ رامی موسی<sup>۳</sup> و همکاران مدلی را با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی برای کاهش دوباره کاری‌ها ارائه کردند. در این تحقیق هدف کاهش هزینه‌ها با حداقل کردن هزینه‌های بازرسی و مونتاژ است. (موسی و همکاران، ۲۰۱۲).

در سال ۲۰۱۴ شریف<sup>۴</sup> و همکاران مسئله تخصیص منابع تصادفی را بوسیله بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی توسعه دادند. مسئله تخصیص منابع مجموعه بزرگی از مسائل بهینه‌سازی را در بر می گیرد که در آن منبع محدود باید به ورودی‌های مشخص تخصیص یابد در حالی که محدودیت های سیستم رعایت می شود. نوعا تخصیص منابع به ورودی‌ها به صورت گسسته انجام می شود. (شریف و همکاران، ۲۰۱۴).

در سال ۲۰۱۴ گنستر<sup>۵</sup> و همکاران مدلی را برای یک سیستم تولید ترتیبی توسعه دادند که در آن از متد عرضه ساخت سفارشی<sup>۶</sup> در این تحقیق تعیین پارامترها بهینه برای تولید است به نحوی که سود تولید ماکزیمم شود (گنستر و همکاران، ۲۰۱۴).

1-Azimi

2- Simple Assembly Line Balancing

3-Rami Musa

4-Sharif, et al.

5-Gansterer

6- make-to-order

در سال ۲۰۱۴، نهاس و همکاران<sup>۱</sup> در این مقاله یک طرح بهینه برای شبکه‌های تولیدی مونتاژ و دمونتاز تدوین کردند. هدف مسئله ماکزیمم کردن نرخ تولید با در نظر گرفتن محدودیت هزینه است. ماشین‌ها از اقلام در دسترس انتخاب شده و اندازه بافرها در رنج از پیش تعیین شده قرار دارد. خواص هر ماشین شامل هزینه کل آن نرخ خرابی آن و نرخ تعمیر آن و زمان فرایند است. بافرها نیز به وسیله هزینه کل آن که با ظرفیت آن متناسب است مشخص می‌شود. برای تخمین عملکرد شبکه یک تخمین تجزیه‌ای استفاده شده است. مدل طراحی بهینه به عنوان یک بهینه‌سازی ترکیبی از متغیرهای تصمیم اندازه بافرها و نوع ماشین‌ها تعریف می‌شود. (نهاس و همکاران، ۲۰۱۴)

در سال ۲۰۱۴ تیاکی<sup>۲</sup> مدلی را برای طراحی خطوط مونتاژ با ایستگاه‌های موازی و زمان فعالیت تصادفی با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد و الگوریتم ژنتیک توسعه داد (تیاکی، ۲۰۱۴).

در سال ۲۰۱۵ تیاکی مدل دیگری را برای بالانس خطوط تولید با نظر گرفتن بحث تخصیص بافر بین ایستگاه‌های کاری توسعه داد که برای حل آن از ترکیب تکنیک شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است این مسئله با توجه به زمان فعالیت تصادفی و ایستگاه‌های کاری موازی و بافر بین ایستگاه‌های کاری مسئله بسیار پیچیده‌ای است. از یک سیمولاتور پارامتری برای محاسبه تابع هدف استفاده شده که برای هر حالت از تخصیص فعالیت و بافر چه تاثیری در خروجی ایجاد می‌شود. نتیجه آزمایشات بیان می‌کند که تخصیص بافر می‌تواند کارایی خط را افزایش دهد. (تیاکی، ۲۰۱۵).

### بیان مسئله

در این مدل خط تولید چهار عنصر مهم و تاثیر گذار در نظر گرفته می‌شود:

۱- نیروی انسانی که با توجه به آموزش و مهارت توانایی انجام یکسری از فرایندها را داراست.

1-Nahas, et al.

2 -Tiacci

۲- تجهیزات که برای مونتاژ و یا کنترل محصول توسط نیروی انسانی استفاده می‌شود.

۳- تجهیزات انتظار محصول که پس از انجام بعضی از فرایندها بعنوان ثابت کننده محصول استفاده می‌شود ولی نیروی انسانی را درگیر نمی‌کند.

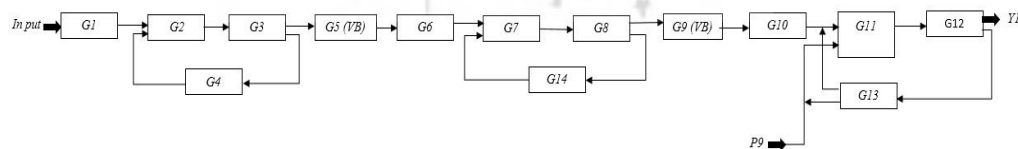
۴- بافر محصول که در بین تجهیزات قرار می‌گیرد تا پس از انجام هر مرحله محصول در آن قرار گرفته و منتظر ورود به مرحله بعد باشد.

صورت‌بندی مسئله شناخت و آگاهی از مشکل و درک ماهیت آن است. با مطالعه سیستم خط تولید، عدم برنامه‌ریزی و مدیریت منابع، باعث بالا رفتن هزینه‌های تولید و نیز بالا رفتن مدت زمان تولید محصول در سیستم می‌گردد. با توجه به متغیر بودن زمان کار و تعداد دفعات بازکاری‌های مورد نیاز جهت تامین کیفیت محصول، در بعضی ایستگاه‌ها فشارکاری و در بعضی دیگر بیکاری داریم که موجب بالا رفتن هزینه‌های تولید می‌شود.

از طرف دیگر با توجه به شناور بودن نیرو این گلوگاه‌ها مشاهده نمی‌شود ولی کار بدرستی و متناسب پیش نمی‌رود. و در یک یا چند بخش با توجه به توالی عملیات پرکاری نیرو و در بعضی بخش‌ها بیکاری داریم طرفی تجهیزات که بعضاً گران‌قیمت نیز هست بدرستی استفاده نمی‌شود.

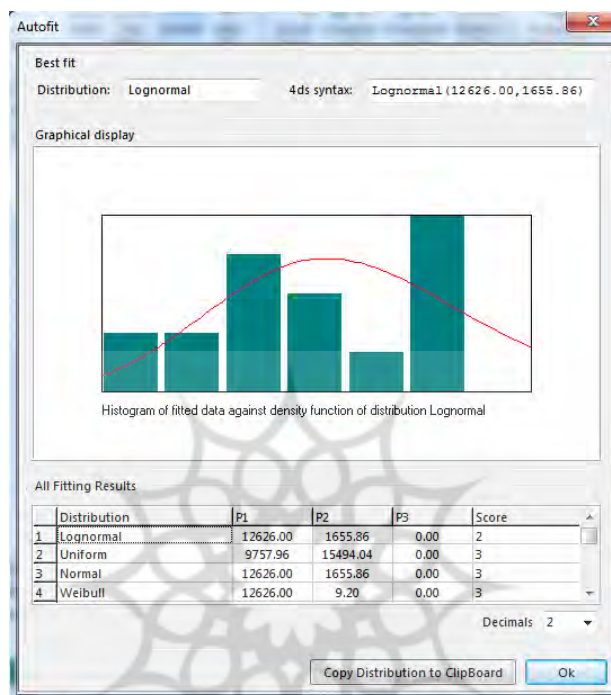
یکی دیگر از حساسیت‌های این خط تولید ایستگاه‌های انتظار محصول است که در آن محصول بعد از انجام یک فرایند برای ورود به فرایند بعدی می‌باید یک زمان حداقل را بگذراند. بعنوان مثال خشک شدن چسب و رنگ، بر روی فیکسچرهای مشخص و دقیق، که کیفیت و کمیت این ایستگاه‌ها تاثیر زیادی در پیشرفت کار دارند.

نمای کارگاه G بعنوان مثال در شکل (۱) آورده شده است



شکل (۱). نمای چیدمان کارگاه G

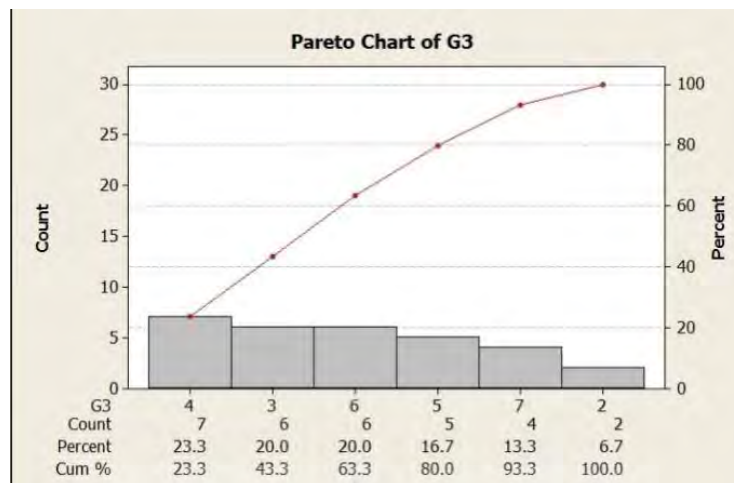
برای این سیستم و در مورد توزیع احتمال زمان سیکل در هر کدام از بخش های  $G, P, Y$ ، ۳۰ داده وارد جداول شده و با کمک این ابزار توزیع احتمال به دست آمده است. این توزیع برای یک ایستگاه کارگاه  $G$  در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲). توزیع احتمال زمان سیکل در ایستگاه  $G1$

## بازکاری

یکی از فرایندهای مهم و تاثیر گذار در میزان خروجی خط تولید بحث باز کاری است. برای پیاده سازی این مطلب در مدل داده هایی که جمع آوری شد تعداد دفعات باز کاری انجام شده روی هر محصول در هر ایستگاه است به عنوان نمونه نمودار پارتو تعداد دفعات باز کاری روی هر محصول در ایستگاه  $G3$  در شکل (۳) آمده است، که در مدل می باید شبیه سازی شود.



شکل (۳). توزیع تعداد دفعات بازکاری محصولات در ایستگاه G3

پس از اعمال اطلاعات اخذ شده از خط تولید در مدل و تکمیل آن فرایند اعتبار سنجی مدل انجام می‌شود و که پس از اثبات اعتبار سنجی مدل مراحل بعدی انجام می‌شود.

### تعیین عوامل تاثیر گذار

در این مرحله با توجه به اعتبار سنجی مدل و با استفاده از امکان Experiment wizard در نرم افزار ED ابتدا تمام عوامل را در آزمون وارد کرده و مشخصه ای که برای هر عامل تعریف می‌شود Status و یا به عبارتی وضعیت عامل در مدل در حین کار ثبت می‌شود سپس به تعداد ۳۰ بار تجربه را تکرار می‌کنیم.

با توجه به اینکه انجام فرایند منوط به وجود محصول و نیروی انسانی در هر ایستگاه کاری است برای هر عامل سه وضعیت به صورت در صد زمانی در کل فرایند ثبت می‌شود.

#### ۱. وضعیت مشغول به کار Status Busy

که نشاندهنده حالتی است که تمام امکانات برای فعالیت عامل مهیا است و عامل مشغول کار است.



در این مدل بدین معنی است که هم محصول و هم نیروی انسانی برای انجام فرایند برای کار وجود دارد.

## ۲. وضعیت بیکاری Status Idle

این حالت نشاندهنده حالتی است که هیچ کدام از عوامل یعنی محصول و نیروی انسانی در ایستگاه وجود ندارد، بنابراین ایستگاه بیکار است.

## ۳. وضعیت منتظر نیرو Status Waiting for Operator

این حالت نشاندهنده وضعیتی است که محصول وجود دارد ولی بدلیل اشتغال نیروی انسانی در ایستگاه‌های دیگر، نیروی انسانی برای انجام فرایند نیست.

برای انتخاب عوامل تاثیر گذار از بین تمام عوامل موجود می‌باید از این اطلاعات استفاده کرد.

با توجه به اینکه متغیرهای تصمیم در این مدل تعداد نیروی انسانی و تعداد تجهیزات موازی در هر ایستگاه است بنابراین افزایش تعداد نیروی انسانی مرتبط با یک فرایند وضعیت منتظر نیرو یا Waiting for Operator را کم کرده و به وضعیت مشغول به کار می‌افزاید ولی وضعیت بیکاری را تغییری نمی‌دهد بنابراین وضعیت بیکاری مستقل از تغییر تعداد نیروی انسانی است. بنابراین می‌توان گفت که عواملی تاثیر بیشتری در فرایند دارد که وضعیت بیکاری کمتری دارد و مشارکت بیشتری در خط تولید دارد.

از بین عوامل فوق، عواملی که درصد بیکاری‌شان کمتر از ۳۰٪ است را بعنوان تاثیر گذار انتخاب می‌کنیم.

برای هر یک از عوامل تاثیر گذار سطوحی از جانب مدیر خط تعیین شده است که برای یافتن طرح مناسب برای آزمایش مدل با مشخصات فوق با استفاده روش تاگوچی از نرم افزار Minitab طرح مناسب را انتخاب می‌کنیم.

پس از پیاده سازی طرحها و گرفتن متوسط میزان خروجی هر طرح جدولی بدست می‌آید که در هر حالت از متغیرها میزان متوسط خروجی درج شده است. با رگرسیون این داده‌ها، تابع (۱) بین خروجی و متغیرهای ورودی بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} \text{OUT} = & - 8.47 + 0.92 \text{ VB} - 4.38 \text{ G1} - 0.181 \text{ G7} - 0.097 \text{ G8} + 9.30 \text{ P1} + \\ & 0.855 \text{ P1DRY} + 5.41 \text{ P7DRY} + 3.08 \text{ PO1} - 2.08 \text{ YO1} + 0.450 \text{ G1}^2 - \\ & 0.356 \text{ GO1}^2 - 0.809 \text{ PO1}^2 - 0.776 \text{ P7D}^2 + 0.427 \text{ GO1} * \text{PO1} + \quad (1) \\ & 0.527 \text{ GO1} * \text{YO1} + 0.750 \text{ YO1} * \text{PO1} - 4.29 \text{ P1}^2 + 0.583 \text{ p1}^3 + 0.045 \\ & \text{P1} * \text{PO1} + 0.628 \text{ G1} * \text{GO1} \end{aligned}$$

برای تابع هدف هزینه تغییرات وضعیت موجود عوامل به شرح جدول (۱) آمده است.

جدول (۱). سطوح فعلی عوامل و هزینه هر واحد

	YO1	PO1	GO1	P7- DRY	P1- DRY	P1	G8	G7	G1	VB
تعداد	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
هزینه واحد	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰۰۰۰

روش محاسبه عبارتست از هزینه اختلاف بین وضعیت فعلی و وضعیت در حال محاسبه که در صورت افزایش عامل هزینه مثبت در نظر گرفته می‌شود و در صورت کاهش هزینه منفی و نهایتاً تابع هزینه عبارتست از جمع تمام این هزینه‌ها.

### بهینه‌یابی

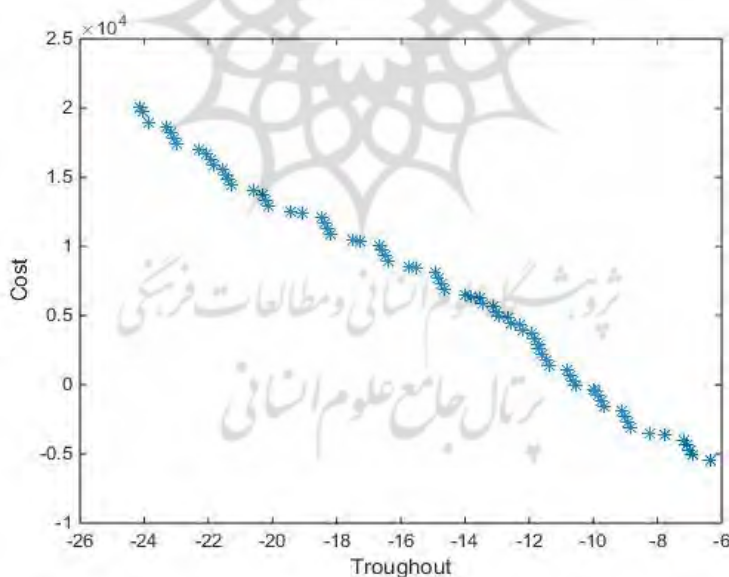
آنچه تا به اینجای کار انجام گرفت طراحی آزمایشات و اجرای آنها در مدل شبیه‌سازی و ثبت مقادیر توابع هدف برای هر ترکیب از متغیرها بود. با مقایسه‌ی آزمایش‌ها با یکدیگر متوجه می‌شویم که یک آزمایش در یکی از توابع هدف، از آزمایش دیگر بهتر و در تابع هدف دیگر بدتر است. به منظور این مقایسه، نیاز به نمودار پارتو می‌باشد تا این مقایسه به بهترین نحو به نمایش درآید. برای به تصویر کشیدن این نمودار از یک الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

### الگوریتم ژنتیک

برای یافتن مقادیر توابع هدف برای ترکیب‌های تعدل/دخروجی و هزینه تغییرات از یک نمودار پارتو که توسط الگوریتم ژنتیک به دست آمده است استفاده گردیده است. در این الگوریتم بردار متغیرهای مسئله به عنوان ساختار کروموزم تعریف می‌گردد. این ساختار در شکل (۴) نشان داده شده است. سپس این الگوریتم ژنتیک با شرط توقف ۲۰۰ تکرار اجرا شد. این در حالی است که از عملگر تقاطع تک نقطه تصادفی جهت آمیزش و چرخ رولت برای انتخاب استفاده شده است. این الگوریتم با روش تاگوچی تنظیم پارامتر شده که مقادیر ۰,۹ برای احتمال تقاطع و ۰,۳ برای احتمال جهش به دست آمده است. پس از اجرای الگوریتم ژنتیک، نمودار پارتو به دست آمد که در شکل (۵) نمایش داده شده است.

VB	G1	G7	G8	P1	P1-DRY	P7-DRY	GO1	PO1	YO1
----	----	----	----	----	--------	--------	-----	-----	-----

شکل (۴). ساختار کروموزم



شکل (۵). نمودار پارتو

## تحلیل نتایج

در حال حاضر خط تولید مذکور با توجه به تنوع زمان سیکل هر محصول و تنوع دفعات بازاری که برای محصولات مختلف اتفاق می‌افتد برآورد درستی از میزان تخصیص بهینه نیروی انسانی و تجهیزات ندارد و متناسب با همین مطلب جهت افزایش تولید مشخص نیست که تخصیص منابع به چه صورت می‌باید انجام شود که منجر به افزایش تولید شود و از طرفی هزینه تغییرات نیز حداقل افزایش را داشته باشد که نهایتاً منجر به کاهش بهره‌وری نگردد. برای حل این مشکل پس از حل مسئله دو هدفه با الگوریتم ژنتیک نمودار پارتو شکل (۴-۲۱) بدست می‌آید.

محور افقی نشان‌دهنده میزان خروجی در زمان فرآیند است که بخاطر شکل نمودار پارتو در منفی ضرب شده است و محور عمودی نشان‌دهنده هزینه تغییر است.

هزینه تغییر صفر وضعیت موجود و تعداد خروجی محصول در وضعیت فعلی را مشخص می‌کند. نکته‌ای که در مورد هزینه مشاهده می‌شود هزینه منفی است. و آن به این معنی است که همیشه در خطوط تولید موافقی پیش می‌آید که بدلالی می‌باید خط زیر ظرفیت اسمی خود کار کند و به عبارتی کاهش تولید برنامه ریزی شده داشته باشیم. در این صورت صرفه جویی و کاهش هزینه‌های جاری اتفاق می‌افتد که نمودار پارتو مشخص می‌کند برای تولید کمتر از وضعیت فعلی چه میزان کاهش هزینه اتفاق می‌افتد.

از نتایج نمودار پارتو دو نتیجه زیر از بقیه مهمتر است که نقاط ابتدا و انتهایی نمودار را تشکیل می‌دهد به قرار جدول (۲) است.

جدول (۲). خلاصه نتایج پارتو

هزینه	تعداد خروجی	کروموزوم
-۵۵۰۰	۶.۳۴	[۱,۱,۱,۱,۱,۱,۳,۱,۱,۱]
۰	۱۰.۵	[۱,۱,۱,۱,۱,۱,۲,۲,۲,۲]
۲۰۱۰۰	۲۴.۱	[۱,۴,۱,۴,۲,۴,۳,۴,۴,۴]

این نتایج بدین معنی است که در حالت ۱ با تولید متوسط ۶,۳۴ محصول در یک دوره ۶۰ ساعته هزینه‌ها به میزان ۵۵۰۰ واحد نسبت به حالت فعلی کاهش می‌یابد و برای افزایش تولید به میزان متوسط ۲۴,۱ در یک دوره ۶۰ ساعته می‌باید به میزان ۲۰۱۰۰ واحد بیشتر هزینه کرد. این دو وضعیت با شرایط فعلی یعنی حالت دو مقایسه می‌شود و در بقیه حالت نیز می‌توان ترکیبات متفاوتی از عوامل با تولید متفاوت و هزینه متفاوت ایجاد کرد. این نتایج با توجه به اینکه در نمودار پارتو قرار گرفته است شرایطی را معرفی می‌کند که عوامل مختلف باهم در تعادل هستند و خط متعادل است.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی عملکرد یک خط تولید را مورد بررسی قرار دادیم. مدلی که ساخته شد بر اساس مفروضات و شرایطی ایجاد شد که حد اکثر تطابق را با شرایط واقعی داشته باشد و این مطلب از طریق فرایند اعتبار سنجی ثابت شد. پس از این مرحله شناسایی عوامل موثر و یا به عبارتی گلوگاه‌های مدل انجام شد که عبارت بود از تعدادی از تجهیزات و نیروی انسانی و براین اساس با طراحی آزمایشات و ایجاد مدل برای طرح‌های مختلف خروجی خط با شرایط مختلف پیش بینی شد تا با رگرسیون این اطلاعات تابعی بین خروجی خط و سطح عوامل موثر بدست آید. همچنین هدف دوم عبارت از هزینه افزایش و یا کاهش هر عامل مشخص و جمع تغییرات به عنوان هزینه هر طرح در نظر گرفته شد سپس با الگوریتم متاهیورستیک NSGA II به یک نمودار پارتو رسیدیم که جامعه‌ای متشکل از شرایط بهینه ارائه می‌کند و با آن می‌توان برای مدیران تصمیم‌سازی کرد که برای افزایش و یا کاهش خروجی محصول به چه میزان هزینه‌های جاری می‌باید افزایش و یا کاهش یابد و همچنین خطی متعادل و بهینه داشته باشیم. یکی از مسائل مهم در این گونه مسائل که در آن تعداد عوامل زیاد است، روش انتخاب عوامل تاثیر گذار در مدل است که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی روش دقیق‌تری برای انتخاب عوامل تاثیر گذار ارائه شود. برای انتخاب عوامل مؤثر در مدل و یا به عبارت دیگر

گلوگاه خط، در این تحقیق کمترین زمان بیکاری عامل بود، که به نظر می‌رسد زمینه تحقیق بیشتری دارد. همچنین در این تحقیق متغیرهای تصمیم عبارت بودند از تعداد پرسنل شاغل در کارگاه و تعداد تجهیزاتی که برای گلوگاه‌های خط تولید می‌باید در نظر گرفته شود تا خط به صورت متعادل کار کند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، اندازه بافرها نیز به عنوان متغیر تصمیم انتخاب و مسئله حل شود. زیرا در این تحقیق تعداد محصول هر بافر دو محصول در نظر گرفته شد و مسئله با این فرض حل شد. همچنین می‌توان روش‌های دیگر بهینه‌سازی چندهدفه غیر از NSGA II را بکارگیری و نتیجه با آن مقایسه شود.



## منابع

- Azimi, P., (2012), *SimSum1: A general optimization via simulation approach for 0-1 programming model*, Int. J. of Simulation Modeling, 11(3): p. 150-164.
- Margaretha, G., Almeder, C. and Hartl, R.F., (2014), *Simulation-based optimization methods for setting production planning parameters*, Int. J. of Production Economics, 151: p. 206° 213.
- Cristóbal, M., García-Sabater, G.P., Andrés, C., and Cardós, M., (2008), *Branch and bound procedures for solving the Assembly Line Worker Assignment and Balancing problem: Application to Sheltered Work centers for Disabled*, Discrete Applied Mathematics ,156: p. 352 ° 367.
- Musa, R., Arnaout, J.P. and Frank Chen, F., (2012), *Optimization–simulation–optimization based approach for proactive variation reduction in assembly*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 28: p. 613° 620.
- Nahas, N., Nourelfath, M. and Gendreau, M., (2014), *Selecting machines and buffers in unreliable assembly/disassembly manufacturing networks*, Int. J. of Production Economics, 154: p.113° 126.
- Melouk, S., Fontema, B., Waymire, E, and Hall, S., (2014), *Stochastic resource allocation using a predictor-based heuristic for optimization via simulation*, Computers & Operations Research ,46: p. 38° 48.
- Syberfeldt., A., Ng, A., John, R., Moore, P., (2009) , *Multi objective evolutionary simulation-optimization of a real-world manufacturing problem*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing ,25: p. 926° 931.
- Lorenzo, T., (2014), *Coupling a genetic algorithm approach and a discrete event simulator to design mixed-model un-paced assembly lines with parallel workstations and stochastic task times*, Int. J. of Production Economics, 159: p. 319° 333.
- Lorenzo, T., (2015), *Simultaneous balancing and buffer allocation decisions for the design of mixed-model assembly lines with parallel Workstations and stochastic task times*, Int. J. Production Economics, 162: p. 201-215.