نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال هشتم، شماره شانزدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۱۹۹-۲۱۳

www.ier.basu.ac.ir

مقاله منتخب شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع

DOI: 10.22084/ier.2020.21263.1949

یک رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی جهت بالانس خط مونتاژ دوطرفه مختلط در شرایط تصادفی بودن زمان انجام کارها (مطالعه موردی: شرکت به آفرینان داتیس تیوا)

سمیه قندی بیدگلی[1*]، فرزانه کریمی[2]

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲. کارشناس مهندسی صنایع، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

پذیرش ۱۳۹۹/۳/۱۶

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

بالانس خط مونتاژ (ALB)

بالانس خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط (MTALB)

رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی

ایستگاه‌های جفت شده

کارایی خط مونتاژ وزن‌دار (WLE)

ضریب هموار خط مونتاژ وزن‌دار (WSI)

خلاصه

خطوط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط به‌دلیل افزایش توانایی‌های آن‌ها برای برطرف کردن طیف بالایی از خواسته‌های مشتری، به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلف استفاده می‌شوند. بالانس خط مونتاژ[1] یک مسئله طراحی اساسی برای صنایع می‌باشد. از طرفی مسئله بالانس خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط یک مسئله NP-hard می‌باشد. بنابراین لازم است محققان برای حل این مسئله رویکردهای مؤثری را طراحی نمایند. در این مقاله، یک الگوریتم ژنتیک برای بالانس خط مونتاژ شرکت به آفرینان داتیس تیوا که از نوع MTALB می‌باشد به کار گرفته شده است.

ازآنجاکه زمان انجام کارها متغیر می‌باشد، از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی جهت نزدیک شدن هر چه بیشتر به شرایط واقعی استفاده گردیده است. در نهایت با مقایسه معیارهای حداقل نمودن تعداد ایستگاه‌های جفت شده و تعداد کل ایستگاه‌ها، کارایی خط مونتاژ وزن‌دار و ضریب هموار خط مونتاژ وزن‌دار برای مدت زمان سیکل مشخص در دو حالت قبل و بعد از متعادل‌سازی، تأثیر متعادل‌سازی بر عملکرد خط مونتاژ مورد مطالعه نشان داده شده است.

۱. مقدمه

یکی از مباحث مطرح در زمینه تولید صنعتی مسئله متعادل نمودن خط مونتاژ محصولات می‌باشد. عدم دستیابی به یک سیستم تولیدی متعادل به معنای عدم‌استفاده کامل از ظرفیت‌های سیستم می‌باشد. به‌دلیل تأثیر متعادل‌سازی بر کاهش هزینه‌های سیستم‌های تولیدی، متعادل نمودن این سیستم‌ها یکی از دغدغه‌های مهم محققین و مهندسین صنایع در مراکز تحقیقاتی و صنعتی می‌باشد. در کشور ایران نیز یکی از مهم‌ترین علل عدم استفاده از ظرفیت‌های موجود واحدهای صنعتی، متعادل نبودن خطوط تولید و مونتاژ محصولات می‌باشد. خط مونتاژ یک ابزار مهم برای تولید انبوه یا تولید سفارشی‌سازی شده است. با توجه به ویژگی‌های محصولات و الزامات فنی یا عملیاتی آن‌ها،

* نویسنده مسئول: سمیه قندی بیدگلی

تلفن: ۰۳۱-۵۵۹۱۲۴۱۶؛ پست الکترونیکی: s.ghandi@kashanu.ac.ir

1. Assembly Line Balancing (ALB)

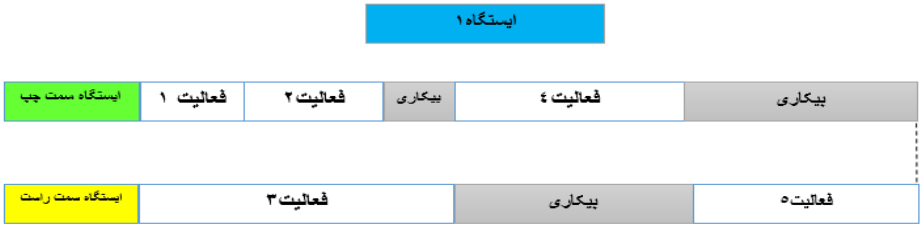
خطوط مونتاژ را می‌توان به خطوط مونتاژ یک‌طرفه و خطوط مونتاژ دوطرفه طبقه‌بندی نمود [۱]. در یک خط مونتاژ یک‌طرفه می‌توان فقط ازیک‌طرف خطوط برای مونتاژ محصولات با اندازه کوچک استفاده نمود. درحالی‌که خطوط مونتاژ دوطرفه می‌توانند از دو طرف (چپ و راست) به‌طور موازی برای تولید محصولات با اندازه بزرگ استفاده کنند. خطوط دوطرفه در مقایسه با یک‌طرفه دارای چندین مزیت به شرح زیر می‌باشند [۲, ۳]: ۱) کاهش طول خط مونتاژ؛ ۲) کاهش حمل‌ونقل مواد، حرکت کارگران و زمان آماده‌سازی؛ ۳) کاهش هزینه ابزارها و فیکسچرها. متعادل نمودن خط مونتاژ شامل تخصیص مجموعه محدودی از کارها به مجموعه‌ای از ایستگاه‌ها به‌منظور دستیابی به سطح دلخواهی از عملکرد یا بهینه‌سازی معیارهای عملکردی بخصوص می‌باشد. هر کار یک زمان عملیات مونتاژ و مجموعه‌ای از روابط پیش‌نیازی و پس‌نیازی را با سایر کارها دارد. به‌دلیل استفاده از هر دو طرف خطوط، کارهای خطوط مونتاژ دوطرفه محدودیت‌های اضافه‌تری شامل امکان انجام کار روی هر جهت را نیز دارا می‌باشند. جهت‌ها را می‌توان به ۳ نوع تقسیم نمود: سمت چپ (L)، سمت راست (R) و دوطرفه (E). دو ایستگاه مونتاژ روبروی یکدیگر تحت عنوان ایستگاه‌های جفت شده شناخته می‌شوند. درصورتی‌که دو کار موجود در یک ایستگاه جفت شده مشترک دارای روابط پیش‌نیازی با یکدیگر باشند، کار پس نیاز نمی‌تواند قبل از اتمام کار پیش‌نیاز شروع گردد. این امر تحت عنوان زمان‌های تکمیل وابسته به توالی شناخته شده و منجر به ایجاد زمان بیکاری در ایستگاه‌ها می‌گردد. در شکل (۱) نمونه‌ای از یک خط مونتاژ دوطرفه با یک ایستگاه جفت شده نشان داده شده است. فعالیت (کار)های ۱، ۲ و ۴ به ایستگاه سمت چپ و فعالیت‌های ۳و ۵ به ایستگاه سمت راست تخصیص داده شده‌اند. فعالیت ۵ نمی‌تواند قبل از اتمام فعالیت پیش‌نیاز ۴ شروع گردد. در نتیجه در ایستگاه سمت راست بین دو فعالیت ۳ و ۵ زمان بیکاری ایجاد گردیده است که با رنگ خاکستری نشان داده شده است.

خطوط مونتاژ تک مدله برای تولید محصولات مشابه استاندارد طراحی شده‌اند. اگرچه، این خطوط به‌دلیل تنوع زیاد نیازمندی‌ها و انتظارات مشتریان برای بازار رقابتی امروز نامناسب می‌باشند. به‌منظور بهبود انعطاف‌پذیری جهت انطباق با این شرایط، خطوط مونتاژ با مدل مختلط در صنایعی مانند صنعت خودروسازی، وسایل الکتریکی، مبل و پوشاک بکار برده شده‌اند [۴]. خطوط مونتاژ با مدل مختلط به تولید دو یا تعداد بیشتری محصول با ویژگی‌های تولیدی مشابه در خط مونتاژ اشاره دارند. به‌عنوان‌مثال در صنعت پوشاک که از خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط استفاده می‌نماید، انتخابات وسیعی برای هر یک از کارها و اجزا توسط مصرف‌کنندگان وجود دارد (مانند پیراهن‌ها یا شلوارها با مدل‌های مختلف). هرچند روش‌های متعددی برای متعادل نمودن خطوط مونتاژ دوطرفه تک‌مدله معرفی گردیده‌اند، این روش‌ها نمی‌توانند به‌صورت مستقیم برای خطوط مونتاژ با مدل مختلط استفاده گردند زیرا در این خطوط مدل‌های مختلفی از محصول بایستی در نظر گرفته شود. ازآنجاکه اثبات گردیده است که مسئله متعادل نمودن خط مونتاژ یک‌طرفه تک مدله یک مسئله NP-hard می‌باشد [۵]، بنابراین مسئله پیچیده‌تر متعادل نمودن خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط نیز NP-hard بوده و حل مسئله مذکور برای تعداد زیاد کارها در زمان معقول امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا در آن مواردی از قبیل مدل‌های گوناگون و زمان‌های تکمیل وابسته به توالی کارها بایستی در نظر گرفته شوند. بنابراین ارائه روش‌های مؤثر جهت حل این مسئله در کانون توجه محققین این حوزه قرار دارد.

از زمانی‌که Salveson در سال ۱۹۹۵ مسئله متعادل نمودن خط مونتاژ را مطرح نمود، تحقیقات زیادی بر روی این مسئله انجام گردیده است. در مراجع [۵-۷] مروری بر تحقیقات اخیر انجام شده در این زمینه صورت گرفته است. هرچند الگوریتم‌های زیادی برای متعادل نمودن خط مونتاژ یک‌طرفه در دسترس می‌باشد، توجه کمی به مسئله خطوط مونتاژ دوطرفه شده است. Bartholdi برای نخستین بار مسئله مذکور را معرفی کرده و روشی را بر مبنای روش ابتکاری "نخستین برازندگی" برای حل آن توسعه داد [۸]. پس از آن روش‌های حل دقیقی مانند الگوریتم شاخه و کران [۹] و برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط [۱۰, ۱۱]، الگوریتم‌های ابتکاری مانند روش تخصیص گروهی و روش مبتنی بر اولویت [۱۲] و الگوریتم‌های فرابتکاری مانند الگوریتم بهینه‌سازی خانه مورچگان [۱۳]، بازپخت شبیه‌سازی‌شده و الگوریتم زنبورعسل [۱۴] برای حل مسئله متعادل نمودن خط مونتاژ دوطرفه با شرایط و فرضیات مختلف معرفی گردیده‌اند.

لازم به ذکر است که در تمام تحقیقات بالا خط مونتاژ در نظر گرفته تک مدله می‌باشد. تحقیقات کمی در خصوص مسئله MTALB[1] انجام شده‌اند که شامل معرفی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی [۱۵]، یک مدل برنامه‌ریزی مخلوط عدد صحیح [۱۶] و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی خانه مورچگان [۱۷] و گروه ذرات [۱۸] جهت حل مسئله مذکور می‌باشد.

1. Mixed model Two-sided Assembly Line Balancing (MTALB)



شکل (۱): نمونه‌ی از یک خط مونتاژ دوطرفه با یک ایستگاه جفت شده

پیچیدگی‌های مختلف مسئله و به‌ویژه موضوع احتمالی بودن زمان پردازش کارهای مختلف، سبب رونق استفاده از شبیه‌سازی در مواجهه با آن شده است. پیشینه استفاده از شبیه‌سازی در ادبیات به دهه ۹۰ برمی‌گردد. در سال‌های اخیر، این روش علاوه‌بر کاربرد در تحلیل سناریوهای مختلف، به‌صورت بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی نیز به‌کاررفته است. بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی، دارای دو عنصر بهینه‌ساز و شبیه‌ساز است. عنصر بهینه‌ساز سناریوها یا جواب‌های مختلف را تولید نموده و عنصر شبیه‌ساز تابع هدف مربوط به هر سناریو را محاسبه می‌کند. فرآیند رفت و برگشتی بین بهینه‌ساز و شبیه‌ساز تا زمان رسیدن عنصر بهینه‌ساز به شرایط توقف ادامه می‌یابد. ازآنجاکه با توجه به بررسی‌های انجام شده تاکنون در هیچ تحقیقی مسئله MTALB با در نظر گرفتن شرایط احتمالی بودن زمان پردازش کارهای مختلف بررسی نگردیده است، در این مقاله با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی روشی برای حل این مسئله ارائه گردیده است. همچنین در این پژوهش، برای ارزشمندترشدن تحقیق، یک شرکت تولیدکننده پوشاک برای مطالعه انتخاب و بررسی گردیده است تا مدل براساس یک مسئله واقعی ایجاد شود. عنصر بهینه‌ساز در این مقاله شامل الگوریتم فراابتکاری ژنتیک بوده و عنصر شبیه‌ساز نیز به گونه ای کد می‌گردد که دقیقا شرایط مسئله MTALB با زمان‌های پردازش احتمالی برای کارها را ایجاد نماید.

ساختار مقاله به این صورت می‌باشد که ابتدا در بخش ۲ مسئله متعادل نمودن خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط و زمان‌های پردازش احتمالی به‌صورت کامل معرفی می‌گردد. در بخش ۳ اصول و اجزای الگوریتم ژنتیک برای مسئله MTALB بیان گردیده و نحوه ایجاد جواب مسئله با استفاده از این الگوریتم توضیح داده شده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم مذکور برای متعادل نمودن خط مونتاژ یک شرکت تولید کننده پوشاک در بخش ۴ به‌صورت کامل ارائه و تحلیل گردیده و در بخش ۵، نکات مهم انجام شده در مقاله به‌صورت خلاصه مرور و نتایج به دست آمده توضیح داده شده‌اند. همچنین در این بخش پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی بیان گردیده است.

۲. مسئله متعادل نمودن خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط و زمان‌های پردازش احتمالی

در یک خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط مجموعه‌ای از محصولات مشابه با مدل‌های متفاوت تولید می گردند. این خط مونتاژ همچنین شامل اپراتورهایی می‌باشد که کارها را روی مجموعه‌ای از ایستگاه‌های جفت شده انجام می دهند. ایستگاه‌های جفت شده یک زوج ایستگاه مونتاژ می‌باشند که در روبروی یکدیگر (طرف چپ و راست) قرار دارند [۱۵]. هر مدل از محصول، دارای روابط تقدم مختص به خود می‌باشد که می‌توان آن را با استفاده از یک گراف تقدم بیان نمود. در این گراف هر گره بیانگر یک کار بوده و درصورتی‌که یک کار (i) پیش‌نیاز کار دیگر (j) باشد، در این گراف یالی از کار i به کار j ترسیم می‌گردد. تمام گراف‌های تقدم مدل‌های مختلف محصول را می‌توان در یک دیاگرام تقدم یکپارچه تحت عنوان گراف تقدم ترکیبی ادغام نمود [۱۷]. در شکل (۲) گراف‌های تقدم، زمان‌های پردازش کارها و جهات دو مدل مختلف شلوار و همچنین گراف تقدم ترکیبی آن‌ها نشان داده شده است. هر کار در گراف تقدم ترکیبی یک زمان پردازش متفاوت ولی یک جهت عملیات یکسان برای مدل‌های مختلف محصول دارد. همچنین ممکن است برخی از مدل‌های محصول برای تکمیل نیازی به یک کار بخصوص نداشته باشند که در اینصورت زمان پردازش کار موردنظر برای مدل مذکور برابر با ۰ در نظر گرفته می‌شود.

تقاضای پیش‌بینی‌شده برای مدل m $(m \in M)$ در افق برنامه‌ریزی P برابر با D_m می‌باشد. زمان سیکل (CT^1) برای مسئله MTALB و نسبت کلی تعداد واحدهای تولید شده از مدل m (q_m) با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌گردند:

$$CT = \frac{P}{\sum_{m \in M} D_m} \qquad (۱)$$

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m \in M} D_m} \quad \forall m \in M \qquad (۲)$$

برای مسئله MTALB فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

۱- مدل‌های محصول مشابه در خط مونتاژ تولید می‌گردند.

۲- اپراتورها کارها را به‌صورت موازی در دو سمت خط با زمان سیکل معلوم انجام می‌دهند.

۳- زمان حرکت اپراتورها بین خطوط و ایستگاه‌ها ناچیز بوده و برابر با ۰ در نظر گرفته شده‌اند.

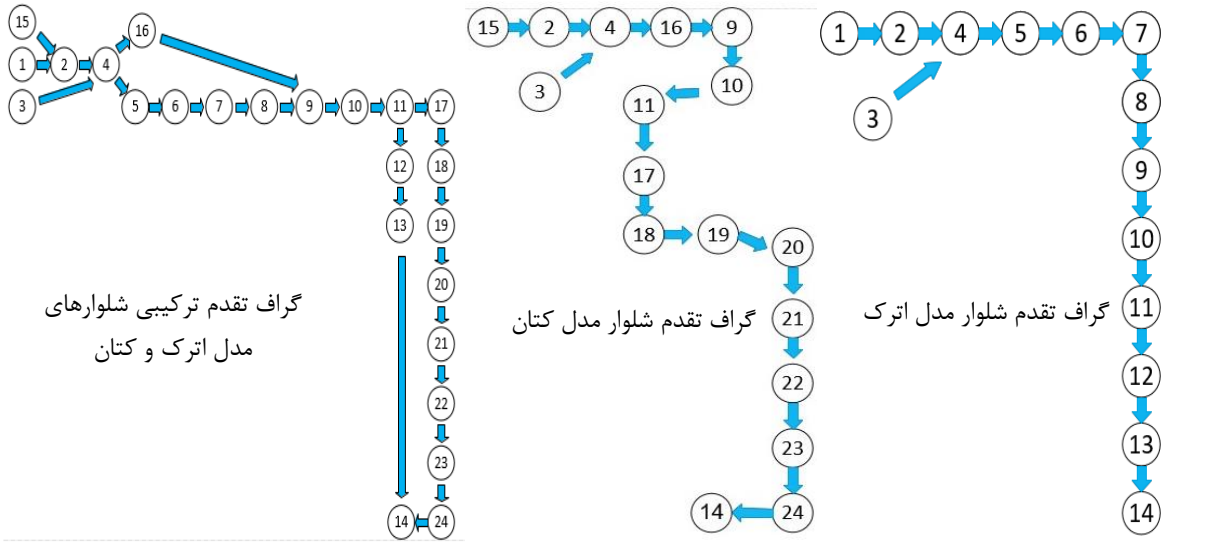
۴- موجودی در حین فرآیند مجاز نمی‌باشد.

۵- زمان انجام کارها متغیر بوده و هرکدام از تابع توزیع خاصی پیروی می‌کنند.

1. Cycle Time (CT)

۶- گراف تقدم مدل‌های مختلف از قبل معلوم می‌باشد.

۷- تقاضا برای هر مدل و در نتیجه زمان سیکل ثابت و قطعی می‌باشند.



کد کار	عنوان کار	جهت	زمان (دقیقه)	
			اترک	کتان
۱	گلدوزی و چاپ	چپ	۰,۴۱	۰
۲	فیلتاپ پیش	دوطرفه	۰,۴۷	۰,۴۷
۳	دوخت کیسه جیب	دوطرفه	۰,۴۷	۰,۴۷
۴	اتصال کیسه جیب به فیلتاپ	دوطرفه	۰,۷۸	۰,۷۸
۵	دوخت کیسه به زیرکار	چپ	۰,۶۱	۰
۶	الیک پایین و بالای جیب	چپ	۰,۳۵	۰
۷	دوخت پشت شلوارفاق	چپ	۰,۴۵	۰
۸	دوخت از زانو تا دمپا	چپ	۰,۴۵	۰
۹	رودوزی فاق	دوطرفه	۰,۶۱	۰,۶۱
۱۰	اتصال پشت و پیش درزبغل	دوطرفه	۱	۱
۱۱	رودوزی پشت و پیش شلوار	دوطرفه	۱,۳	۱,۳
۱۲	اورلاگ توپا	چپ	۰,۶۲	۰

کد کار	عنوان کار	جهت	زمان (دقیقه)	
			اترک	کتان
۱۳	دوخت کش شلوار	چپ	۰,۵۲	۰
۱۴	دوخت دمپا	دوطرفه	۰,۸۸	۰,۸۸
۱۵	لایی چسب	راست	۰	۱,۲
۱۶	دوخت نواری	راست	۰	۰,۹۲
۱۷	پنج نخ درز پشت و پیش	راست	۰	۰,۵۳
۱۸	اتصال کشباف آماده به بالای شلوار	راست	۰	۰,۳۴
۱۹	رودوزی پایه ای پایین کشباف	راست	۰	۰,۳۶
۲۰	سه نخ اضافات کش	راست	۰	۰,۶۲
۲۱	چرت فیلتاپ پشت	راست	۰	۰,۷۸
۲۲	رودوزی جیب فیلتاپها	راست	۰	۰,۲۵
۲۳	دوخت کش به لایه کشباف	راست	۰	۰,۳۶
۲۴	درز توپا	راست	۰	۰,۴۶

شکل (۲): گراف‌های تقدم، زمان پردازش کارها و جهات دو مدل شلوار (اترک و کتان) و گراف تقدم ترکیبی دو مدل

۳. به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای مسئله MTALB

از اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی، تلاش‌هایی برای شبیه‌سازی پدیده تکامل بر روی کامپیوترها آغاز شد که در این زمان توجه بسیاری از محققین حوزه‌های مربوط به علوم ریاضی و مهندسی به این زمینه جلب شد. نهایتاً در اوایل دهه ۱۹۷۰، جان هالند در کتابش الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان ابزاری عمومی برای بهینه‌سازی معرفی نمود. الگوریتم ژنتیک، نوع خاصی از الگوریتم‌های تکاملی است که برگرفته از تکامل طبیعی و نقش ژنتیک در طبیعت است. یکی از شاگردان هالند، بهنام دیوید گولدبرگ،کارهای پراکنده‌ای را که توسط هالند انجام شده بود جمع‌آوری کرد و به همراه نتایج حاصل از تحقیقات خود، در قالب یک کتاب جامع، منتشر نمود. می‌توان گفت گولدبرگ با انتشار این کتاب، بیشترین سهم خود را در توسعه و معرفی الگوریتم ژنتیک داشته است. مراحل الگوریتم ژنتیک عبارتند از:

۱) ایجاد مجموعه‌ای از جواب‌های تصادفی و ارزیابی آن‌ها

۲) انتخاب والدین و ترکیب آن‌ها برای ایجاد جمعیت فرزندان

۳) انتخاب اعضای جمعیت برای اعمال جهش و ایجاد جمعیت جهش‌یافتگان

۴) ادغام جمعیت اصلی، فرزندان و جهش‌یافتگان و ایجاد جمعیت اصلی جدید

۵) اگر شرایط خاتمه محقق نشده باشند، تکرار مراحل از مرحله ۲.

در ادامه این بخش قسمت‌های مختلف الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله MTALB توضیح داده می‌شوند.

۳-۱. نحوه رمزگذاری و رمزگشایی جواب‌ها

اولین گام در الگوریتم ژنتیک، ارتباط دادن مسئله اصلی با ساختار الگوریتم ژنتیک می‌باشد [۱۹]. در این پژوهش نحوه رمزگذاری جواب برای الگوریتم ژنتیک بدین‌صورت است که هر ژنوتایپ یک ماتریس سطری با N ستون می‌باشد (N برابر با تعداد کارهایی است که بایستی در خط مونتاژ موردنظر انجام گردند). مقدار موجود در خانه iام

ژنوتایپ بیانگر iامین کاری است که بایستی به ایستگاه‌ها تخصیص داده شود. به‌عنوان‌مثال شکل (۳) یک ژنوتایپ ایجادشده به‌صورت تصادفی را برای مسئله نشان داده شده در شکل (۲) نشان می‌دهد. این ژنوتایپ بیانگر این است که توالی تخصیص کارها به ایستگاه‌ها عبارت از {۲۴، ۲۰، ۱۵، ۱۱، ۸، ۵، ۱۹، ۱۰، ۳، ۱، ۲۱، ۲، ۱۳، ۷، ۶، ۹، ۲۳، ۱۴، ۱۸، ۱۶، ۱۲، ۲۲، ۴، ۱۷} می‌باشد.

نکته مهمی که بایستی مدنظر قرار گیرد این است که ژنوتایپ ایجادشده تنها بیانگر اطلاعات مربوط به توالی تخصیص کارها به ایستگاه‌ها می‌باشد. اما شکل و ترتیب دقیق انجام کارها در ایستگاه‌های جفت شده را نشان نمی‌دهد. بنابراین به‌منظور وارد نمودن چنین اطلاعاتی در ساختار ژنوتایپ از روش رمزگشایی ارائه‌شده در مرجع [۱۸] استفاده می‌گردد. در فرآیند رمزگشایی نمادهای زیر استفاده می‌گردند:

i: iامین موقعیت در یک ژنوتایپ.

$h(i)$: کار موجود در iامین موقعیت از یک ژنوتایپ.

I: مجموعه کارها، $h(i) \in I$

k: اندیس ایستگاه جفت شده.

K: مجموعه ایستگاه‌های جفت شده، $k \in K$.

m: اندیس مدل محصول.

M: مجموعه مدل‌های محصول، $m \in M$.

N: طول یک ژنوتایپ ، تعداد کارهای موجود در ژنوتایپ.

A_L: مجموعه کارهایی که باید در ایستگاه سمت چپ انجام شوند.

A_R: مجموعه کارهایی که باید در ایستگاه سمت راست انجام شوند.

A_E: مجموعه کارهایی که می‌توانند در هر دو سمت یک ایستگاه جفت شده انجام شوند (کارهای دوطرفه).

$P(h)$: مجموعه پیش‌نیازهای بدون واسطه کار h.

t_h^m: زمان پردازش کار h برای مدل m.

tf_h^m: زمان اتمام کار h برای مدل m.

wl_k^m: بار کاری ایستگاه شامل زمان بیکاری ایستگاه سمت چپ از ایستگاه جفت شده k برای مدل m.

wr_k^m: بار کاری ایستگاه شامل زمان بیکاری ایستگاه سمت راست از ایستگاه جفت شده k برای مدل m.

nm, nl, nr: تعداد کل ایستگاه‌های جفت شده، ایستگاه‌های سمت چپ و ایستگاه‌های سمت راست.

$ns = nr + nl$: تعداد کل ایستگاه‌های سمت چپ و راست.

SL_k: مجموعه کارهای تخصیص‌یافته به ایستگاه سمت چپ ایستگاه جفت شده k

SR_k: مجموعه کارهای تخصیص‌یافته به ایستگاه سمت راست ایستگاه جفت شده k

با توجه به نمادهای فوق، فرآیند رمزگشایی ژنوتایپ شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱) ابتدا برای تمامی مدل‌ها مقدار i برابر با ۱ و مقادیر wl_k^m, wr_k^m $k, nm, nl, nr, ns,$ برابر با ۰ تنظیم می‌گردند.

۲) درصورتی‌که $i > N$ باشد، به مرحله ۵ می‌رویم.

۳) با توجه به شرایط زیر کار $h(i)$ تخصیص داده می‌شود:

۳-۱) درصورتی‌که $h \in A_L$،

اگر برای تمامی مدل‌ها $t_h^m + wl_k^m \le CT$ و $t_h^m + tf_r^m \le CT$ کار h به ایستگاه سمت چپ تخصیص داده می‌شود. لازم به ذکر است که tf_r^m برابر با زمان اتمام آخرین پیش‌نیازی بدون واسطه کار h می‌باشد که به سمت راست ایستگاه جفت شده فعلی k تخصیص داده شده است. سپس برای هر مدل قرار می‌دهیم $tf_h^m = \max\{wl_k^m + t_h^m , tf_r^m + t_h^m\}$ و $wl_k^m = tf_h^m$ و $i = i + 1$ و به مرحله ۲ می‌رویم. در غیر این صورت به مرحله ۴ می‌رویم.

۳-۲) درصورتی‌که $h \in A_R$،

اگر برای تمامی مدل‌ها $t_h^m + wr_k^m \le CT$ و $t_h^m + tf_l^m \le CT$ کار h به ایستگاه سمت راست تخصیص داده می‌شود. لازم به ذکر است که tf_l^m برابر با زمان اتمام آخرین پیش‌نیازی بدون واسطه کار h می‌باشد که به سمت چپ ایستگاه جفت شده فعلی k تخصیص داده شده است. سپس برای هر مدل قرار می‌دهیم $tf_h^m = \max\{wr_k^m + t_h^m , tf_l^m + t_h^m\}$ و $wr_k^m = tf_h^m$ و $i = i + 1$ و به مرحله ۲ می‌رویم. در غیر این صورت به مرحله ۴ می‌رویم.

۳-۳) درصورتی‌که $h \in A_E$،

اگر رابطه $\max\{wl_k^m , tf_r^m\} > \max\{wl_k^m , tf_r^m\}$ برای تمامی مدل‌ها برقرار باشد، به مرحله ۳-۲ و در غیر این صورت به مرحله ۳-۱ می‌رویم.

۴) درصورتی‌که بار کاری دو طرف ایستگاه جفت شده فعلی (k) بزرگ‌تر از CT می‌باشد، یک ایستگاه جفت شده جدید بازمی‌گردد. درصورتی‌که حداقل برای یکی از مدل‌ها $wl_k^m > 0$ باشد قرار می‌دهیم $nl = nl + 1$. همچنین درصورتی‌که حداقل برای یکی از مدل‌ها $wr_k^m > 0$ باشد قرار می‌دهیم $nr = nr + 1$. همچنین برای هر مدل قرار می‌دهیم $nm = nm + 1, k = k + 1, wl_k^m=0 , wr_k^m = 0$ و به مرحله ۲ می‌رویم.

۵) درصورتی‌که حداقل برای یکی از مدل‌ها $wl_k^m > 0$ باشد قرار می‌دهیم $nl = nl + 1$. همچنین درصورتی‌که حداقل برای یکی از مدل‌ها $wr_k^m > 0$ باشد قرار می‌دهیم $nr = nr + 1$. همچنین قرار می‌دهیم $nm = nm + 1$.

توالی	۱۷	۴	۲۲	۱۲	۱۶	۱۸	۱۴	۲۳	۹	۶	۷	۱۳	۲	۲۱	۱	۳	۱۰	۱۹	۵	۸	۱۱	۱۵	۲۰	۲۴
موقعیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

شکل (۳): مثالی از یک ژنوتایپ ایجادشده به‌صورت تصادفی برای مسئله نشان داده شده در شکل (۲)

۶) درصورتی‌که $\sum_h t_h^m \le CT, \forall h \in (SL_{nm} \cup SR_{nm})$، تخصیص کارها در آخرین ایستگاه جفت شده به‌صورت زیر تعدیل و اصلاح می‌گردد:

۶-۱) اگر در بین کارهای تخصیص‌یافته به سمت چپ آخرین ایستگاه جفتی، حداقل یکی از کارها متعلق به مجموعه کارهایی باشد که باید در ایستگاه سمت چپ انجام شوند و همچنین تمام کارهای تخصیص‌یافته به سمت راست آخرین ایستگاه جفتی متعلق به مجموعه کارهای دوطرفه باشند، آنگاه تمام کارهای تخصیص‌یافته به سمت راست آخرین ایستگاه جفتی به سمت چپ ایستگاه مذکور تخصیص داده شده و $nr = nr - 1$.

۶-۲) اگر در بین کارهای تخصیص‌یافته به سمت راست آخرین ایستگاه جفتی، حداقل یکی از کارها متعلق به مجموعه کارهایی باشد که باید در ایستگاه سمت راست انجام شوند و همچنین تمام کارهای تخصیص‌یافته به سمت چپ آخرین ایستگاه جفتی متعلق به مجموعه کارهای دوطرفه باشند، آنگاه تمام کارهای تخصیص‌یافته به سمت چپ آخرین ایستگاه جفتی به سمت راست ایستگاه مذکور تخصیص داده شده و قرار می‌دهیم $nl = nl - 1$.

۶-۳) اگر تمام کارهای تخصیص‌یافته به آخرین ایستگاه جفتی متعلق به مجموعه کارهای دوطرفه باشند ، آنگاه تمام کارهای تخصیص‌یافته به سمت راست آخرین ایستگاه جفتی به سمت چپ ایستگاه مذکور تخصیص داده شده و $nr = nr - 1$.

۷) مقادیر nm, nl, nr, ns را به‌عنوان خروجی گزارش نموده و متوقف می‌شویم.

۳-۲. تابع هدف

هدف از مسئله MTALB، به حداقل رساندن تعداد ایستگاه‌های جفت شده و تعداد کل ایستگاه‌ها برای یک زمان سیکل معین می‌باشد. بااین‌حال، در اکثر مواقع با استفاده از این دو هدف به‌تنهایی نمی‌توان بین راه‌حل‌های مختلف تمایز قائل شد. بنابراین اهداف حداکثر نمودن کارایی خط مونتاژ وزن دار (WLE[1]) و حداقل نمودن ضریب همواری خط مونتاژ وزن دار (WSI[2]) نیز در تابع هدف این مسئله در نظر گرفته شده‌اند. هدف WLE بیانگر میانگین میزان کارایی ایستگاه‌های کاری مختلف بوده و در نظر گرفتن هدف WSI نیز منجر به همسان‌سازی بار کاری در بین ایستگاه‌های کاری مختلف و در نتیجه توزیع کل زمان بیکاری خط مونتاژ بین ایستگاه‌های کاری مختلف به‌صورت تقریباً یکسان می‌گردد [۱۷]. این دو تابع هدف با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$WLE = \frac{\sum_{m\in M} q_m(\sum_{h\in I} t_h^m)}{CT(nl+nr)/m} \qquad (۳)$$

$$WSI = \sqrt{\frac{\sum_{m\in M} q_m(\sum_{k\in K}((wl_k^m - wlr_{max})^2 + (wr_k^m - wlr_{max})^2))}{(nl+nr)}} \qquad (۴)$$

همچنین جهت ترکیب این چهار هدف در یک تابع، از روش مجموع وزندار خطی (linear weighted sum method) به کار برده شده در [۱۹] استفاده گردیده است. تابع ترکیبی حاصل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$f = w_{nm} \times nm + w_{ns} \times ns + w_{WLE}\frac{WLE_0}{WLE} + w_{WSI}\frac{WSI}{WSI_0} \qquad (۵)$$

که در آن مقادیر $w_{WSI}, w_{WLE}, w_{ns}, w_{nm}$ به ترتیب عبارت از ضریب وزنی تعداد ایستگاه‌های جفت شده، ضریب وزنی تعداد کل ایستگاه‌ها، ضریب وزنی کارایی خط مونتاژ وزن دار و ضریب وزنی ضریب همواری خط مونتاژ وزن دار می‌باشند. مقادیر WLE_0 و WSI_0 با استفاده از شرایط موجود شرکت محاسبه گردیده و جهت هم واحد نمودن اهداف WLE و WSI با دو هدف دیگر در نظر گرفته شده‌اند. همچنین wlr_{max} عبارت از حداکثر بار کاری تمامی ایستگاه‌ها در جواب ایجادشده می‌باشد. لازم به ذکر است که ازآنجاکه هدف WLE به‌صورت حداکثرسازی می‌باشد، قرار دادن آن در مخرج کسر $\frac{WLE_0}{WLE}$ منجر به تبدیل آن به هدف حداقل سازی می‌گردد. پس از بررسی‌های انجام شده جهت تجمیع توابع، در این مقاله به‌ترتیب مقادیر ۴، ۲، ۸ و ۸ برای ضرایب وزنی $w_{WSI}, w_{WLE}, w_{ns}, w_{nm}$ تعیین گردیدند.

۳-۳. ایجاد جواب اولیه امکان‌پذیر

به‌منظور ایجاد جواب‌های اولیه امکان‌پذیر برای الگوریتم ژنتیک، ابتدا توالی از کارها بدون در نظر گرفتن روابط پیش‌نیازی بین آن‌ها ایجاد می‌گردد. سپس از اولین کار موجود در توالی شروع نموده و درصورتی‌که برای کار موردنظر روابط تقدم رعایت نشده باشد، این کار به موقعیت بلافاصله بعد از موقعیت آخرین پیش‌نیازی آن در توالی منتقل می‌گردد. سپس کار در موقعیت بعدی بررسی می‌گردد. این فرآیند تا زمان رسیدن به آخرین موقعیت در توالی ادامه می‌یابد. به‌عنوان‌مثال برای جواب تصادفی ایجاد شده در شکل (۳)، ابتدا کار موجود در موقعیت اول (یعنی کار ۱۷) انتخاب می‌گردد. پیش‌نیازهای این کار عبارتند از: کارهای ۱-۲-۳-۴-۵-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۵-۱۶. آخرین پیش‌نیازی کار ۱۷ در توالی ایجادشده، کار ۱۵ می‌باشد که در موقعیت ۲۲ قرار دارد. بنابراین کار ۱۷ به موقعیت بلافاصله بعد از کار ۱۵ منتقل گردیده و توالی کارها به‌صورت زیر تغییر می‌یابد:
{۲۴، ۲۰ ، ۱۷، ۱۵، ۱۱، ۸، ۵، ۱۹، ۱۰، ۳، ۱، ۲۱، ۲، ۱۳، ۷، ۶، ۹، ۲۳، ۱۴، ۱۸، ۱۶، ۱۲، ۲۲، ۴}

1. Weighted Line Efficiency (WLE)
2. Weighted Smoothness Index (WSI)

در توالی جدید پیش‌نیازهای کار در موقعیت اول (یعنی کار ۴) عبارتند از: کارهای ۱-۲-۳-۱۵. بنابراین کار ۴ به موقعیت بلافاصله بعد از کار ۱۵ (آخرین پیش‌نیاز کار ۴) منتقل گردیده و توالی کارها به‌صورت زیر تغییر می‌یابد:

{۲۴، ۲۰ ، ۱۷ ، ۴، ۱۵، ۱۱، ۸، ۵، ۱۹، ۱۰، ۳، ۱، ۲۱، ۲، ۱۳، ۷، ۶، ۹، ۲۳، ۱۴، ۱۸، ۱۶، ۱۲، ۲۲}

پس از به‌کارگیری روش ارائه شده، جواب تصادفی ایجادشده به جواب امکان‌پذیر زیر تبدیل می‌گردد:

{۱۴، ۲۴ ، ۲۳ ، ۲۲، ۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۸، ۱۷، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۱۶، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۲، ۱۵، ۳، ۱}

۳-۴. عملگرهای ایجاد همسایگی

پس از ایجاد جمعیت اولیه یا انتخاب جمعیت جدید از بین جواب‌های تکرار قبلی، جواب‌های جمعیت به‌منظور ایجاد جواب‌های جدید با یکدیگر ترکیب می‌گردند. در این مقاله سه روش زیر به‌عنوان عملگرهای تقاطع در نظر گرفته شده‌اند:

- عملگر Partially Matched Crossover (PMX): در این عملگر دو ژنوتایپ به‌عنوان والدین ۱ و ۲ انتخاب گردیده و دو موقعیت تقاطع به‌صورت تصادفی انتخاب می‌گردند. سپس فرزند ۱ (فرزند ۲) تمام کروموزوم‌های (اجزای) والد ۱ (والد ۲) بین دو موقعیت تقاطع را به ارث می‌برد. عملگر تقاطع با قرار دادن اجزای باقیمانده والد ۱ (والد ۲) در موقعیت‌های خالی فرزند ۱ (فرزند ۲) از چپ به راست به ترتیب ظاهر شدن آن‌ها اتمام می‌یابد.
- عملگر تک نقطه‌ای: در این عملگر یک نقطه به تصادف انتخاب شده و فرزند ۱ (فرزند ۲) کروموزوم‌های قبل از این نقطه را از والد ۱ (والد ۲) به ارث می‌برد. سایر کروموزوم‌ها به ترتیب ظهورشان در والد ۲ (والد ۱) در موقعیت‌های بعد از نقطه انتخابی در فرزند ۱ (فرزند ۲) قرار می‌گیرند.
- عملگر دونقطه‌ای: در این عملگر دونقطه به تصادف انتخاب شده و فرزند ۱ (فرزند ۲) کروموزوم‌های خارج از این دو نقطه را از والد ۱ (والد ۲) به ارث می‌برد. سایر کروموزوم‌ها به ترتیب ظهورشان در والد ۲ (والد ۱) در موقعیت‌های خالی فرزند ۱ (فرزند ۲) قرار می‌گیرند.

نحوه عملکرد این عملگرها در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین به‌منظور بهبود جواب‌های ایجاد شده از عملگر جهش جایگذاری مؤثر استفاده شده است. نحوه اجرای این عملگر بدین گونه است که یک موقعیت به تصادف انتخاب گردیده و کار موجود در موقعیت مذکور در موقعیتی (متفاوت از موقعیت فعلی) بین موقعیت آخرین پیش‌نیازی و موقعیت اولین پس‌نیازی آن جایگذاری می‌گردد. لازم به ذکر است که هر چهار عملگر معرفی‌شده در این بخش، به‌گونه‌ای انتخاب گردیده‌اند که امکان‌پذیری جواب‌هایی را که بر روی آن‌ها اعمال می‌گردند حفظ می‌نمایند. در نتیجه، اعمال این عملگرها بر روی جواب‌های امکان‌پذیر منجر به نقض روابط پیش‌نیازی موجود بین کارها یا تبدیل جواب‌ها به جواب‌های امکان‌ناپذیر نمی‌گردد. از طرفی ازآنجاکه جواب‌های اولیه الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این پژوهش امکان‌پذیر می‌باشند، تمامی جواب‌های ایجادشده در حین فرآیند جستجو و در نتیجه بهترین جواب یافت شده توسط این الگوریتم نیز جواب‌هایی امکان‌پذیر می‌باشند.

۴. نتایج محاسباتی

در این مقاله به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک به‌عنوان عنصر بهینه‌ساز، نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم برای بالانس خط مونتاژ شرکت به آفرینان داتیس تیوا که از نوع MTALB می‌باشد با نتایج حاصل از اجرای یک روش ابتکاری جدید معرفی شده در این پژوهش مقایسه می‌گردد.

برنامه عناصر شبیه‌ساز و بهینه‌ساز با استفاده از نرم‌افزار Matlab نوشته شده و بر روی سیستمی با حافظه Intel Pentium® IV 2.8 GHz و 2.45 GB رم اجرا گردیده است. همچنین به‌منظور نمایش کارآمدی رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای بهبود عملکرد خط مونتاژ شرکت مذکور، معیارهای عملکردی خط مونتاژ در دو حالت قبل و پس از به‌کارگیری این رویکرد محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

۴-۱. شرکت مورد مطالعه و فعالیت‌های انجام شده

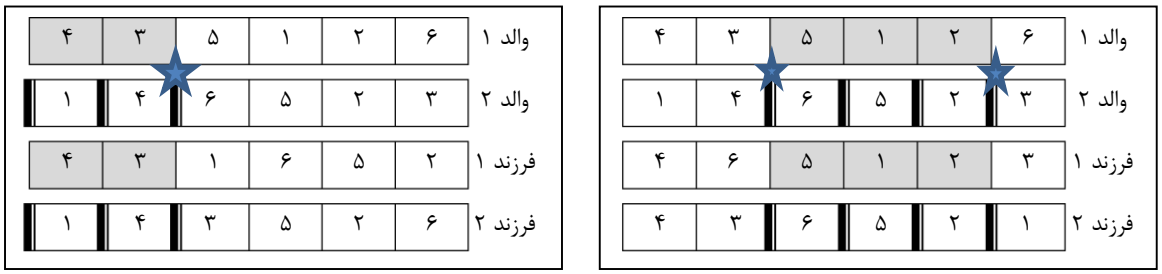
هدف از این پژوهش، ارائه راهکاری جهت متعادل نمودن خط مونتاژ (سالن دوخت) شرکت به آفرینان داتیس تیوا، تحلیل نتایج و ارائه پیشنهاداتی جهت بهبود عملکرد شرکت مذکور می‌باشد. این شرکت از سال ۱۳۹۴ در شهرک صنعتی جی استان اصفهان شروع بکار نموده و در زمینه تولید انواع مختلف پوشاک فعالیت می‌نماید. در این راستا پس از انتخاب و بیان مسئله با همکاری واحد برنامه‌ریزی تولید و مونتاژ شرکت، فعالیت‌های زیر انجام گردید:

۱. جمع‌آوری اطلاعات لازم برای متعادل‌سازی که شامل شناسایی فرآیند مونتاژ و محصولات مشابه (شلوار) با مدل‌های مختلف (مدل‌های اترک و کتان) می‌باشد.
۲. تعیین زمان سیکل مونتاژ با توجه به میزان تقاضای مدل‌های مختلف محصول و کل زمان در دسترس در افق برنامه‌ریزی.
۳. تعیین کارهای موردنیاز برای هر مدل از محصول و جهت انجام هر کار (چپ، راست، دوطرفه) با توجه به شرایط شرکت.
۴. ایجاد گراف تقدم مدل‌های مختلف محصول.
۵. اندازه‌گیری و ثبت زمان انجام هر کار برای ۳۰ مشاهده به دلیل احتمالی بودن زمان انجام کارها در خط مونتاژ شرکت.
۶. وارد نمودن زمان‌های مشاهده شده کارهای مختلف در نرم‌افزار Minitab جهت تعیین تابع توزیع احتمال زمان انجام هر یک از کارها.
۷. انتخاب روش مناسب برای متعادل‌سازی (روش MTALB با در نظر گرفتن زمان‌های احتمالی برای کارها) با توجه به شرایط، اهداف و محدودیت‌های خط مونتاژ شرکت.

۸. انتخاب رویکرد مناسب برای بالانس خط مونتاژ شرکت. یکی از پیچیدگی‌های بالانس خط مونتاژ شرکت موردنظر، احتمالی بودن زمان انجام کارها می‌باشد. جهت در نظر گرفتن این پیچیدگی از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی معرفی شده در [۲۰] استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که رویکرد استفاده شده، دارای دو عنصر بهینه ساز و شبیه ساز می‌باشد. در این پژوهش، عنصر بهینه‌ساز الگوریتم ژنتیک معرفی شده در بخش قبل بوده و سناریوها یا جواب‌های مختلف (x) را تولید می‌نماید. سپس عنصر شبیه ساز جهت مدل نمودن شرایط واقعی حاکم بر خط مونتاژ شرکت در اجراهای مختلف، با استفاده از توابع توزیع احتمال زمان انجام کارها مقادیر تصادفی برای این زمان‌ها ایجاد نموده و براساس این مقادیر تصادفی تابع هدف متناظر با هر سناریو یا جواب x ($f(x)$) را محاسبه می‌نماید. در نهایت مقدار عملکرد متناسب با مقدار ورودی به عنصر شبیه‌ساز (جواب x) به‌عنوان مقدار تابع هدف یا برازندگی ($f(x)$) به عنصر بهینه‌ساز برگردانده می‌شود. عنصر بهینه‌ساز برای ادامه پیشرفت جستجو و هدایت جستجو به سمت یک فضای حل امیدوارکننده از خروجی عنصر شبیه ساز استفاده می‌نماید (شکل (۵)). به‌عبارت‌دیگر، عنصر بهینه‌ساز (الگوریتم ژنتیک) مسیر برری روش جستجو را مطابق با نتایج اخیر دریافت شده از عنصر شبیه‌ساز تنظیم نموده و سپس مجموعه جدیدی از راه حل‌ها را ایجاد می‌نماید. این فرآیند رفت و برگشتی تا رسیدن به شرایط توقف عنصر بهینه ساز ادامه می‌یابد. در این مطالعه، هر دو عنصر بهینه ساز و شبیه ساز با استفاده از نرم‌افزار Matlab کدنویسی شده‌اند تا به‌سادگی با یکدیگر تعامل داشته باشند.

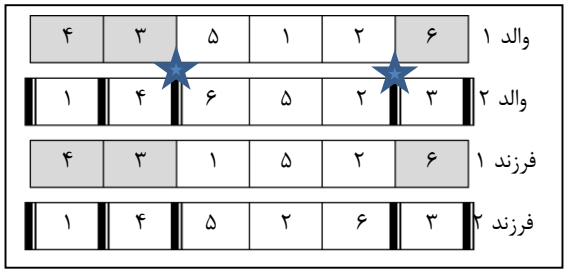
۹. مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی با وضعیت موجود شرکت.

۱۰. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد شرکت.



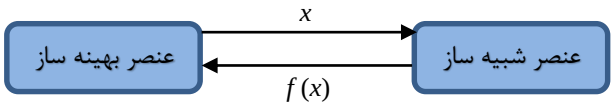
(الف) عملگر تقاطع PMX

(الف) عملگر تقاطع تک نقطه ای



(الف) عملگر تقاطع دو نقطه ای

شکل (۴): نحوه عملکرد عملگرهای تقاطع مورداستفاده



شکل (۵): طرح کلی رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی مورداستفاده

۴-۲. مسئله در نظر گرفته شده

ازآنجاکه شرایط در نظر گرفته شده در این مقاله تاکنون در هیچ مقاله‌ای بررسی نگردیده است، مسئله نمونه و الگوریتم دیگری جهت مقایسه نتایج وجود ندارد. بنابراین رویکرد ارائه شده برای بالانس خط مونتاژ (دوخت) دو مدل از محصول شلوار استفاده گردیده است. مدل ۱، شلوار اترک شامل ۱۴ کار با زمان‌های پردازش احتمالی و دیگری مدل ۲، شلوار کتان شامل ۱۷ کار با زمان‌های پردازش احتمالی. مقادیر CT, q_1, q_2 به ترتیب عبارتند از ۰٫۵۵، ۰٫۴۵، ۵ دقیقه. همچنین پس از اندازه‌گیری و ثبت زمان انجام هر کار برای ۳۰ مشاهده و وارد نمودن زمان‌های مشاهده‌شده کارهای مختلف در نرم‌افزار Minitab، تابع توزیع احتمال زمان پردازش هر یک از کارها به‌صورت نشان داده شده در جدول (۱) تعیین گردیدند. لازم به ذکر است که در این جدول $N(\mu,\sigma^2)$ و $U(a,b)$ بیانگر این هستند که

تابع توزیع احتمال زمان پردازش کار موردنظر به ترتیب عبارت از توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف معیار σ و توزیع یکنواخت با حداقل مقدار a و حداکثر مقدار b می‌باشد.

۴-۳. تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک

ازآنجاکه خروجی الگوریتم‌های فراابتکاری به‌شدت به مقادیر ورودی آن‌ها وابسته است، در این مقاله برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک از روش تاگوچی استفاده گردیده است. ۴ پارامتر قابل تنظیم در این الگوریتم عبارت از تعداد تکرار الگوریتم، اندازه جمعیت، احتمال تقاطع و احتمال جهش می‌باشند که برای هر یک از این پارامترها، ۳ سطح از مقادیر مختلف تعریف گردیدند (جدول (۲)). بنابراین تعداد حالات ایجادشده عبارت از 3^4 یا ۸۱ حالت می‌باشد. روش تاگوچی برای یافتن بهترین مقادیر این پارامترها، این حالت‌ها را به ۹ حالت نشان داده شده در جدول (۳) کاهش داده و پس از اجرای این حالت‌های پیشنهادی مقادیر تابع هدف به نرم‌افزار Minitab داده شد. در نهایت پس از تحلیل این داده‌ها براساس نسبت سیگنال به نویز (Signal to Noise Ratio)، نرم‌افزار مینی تب بهترین حالت را از بین ۸۱ حالت اعلام نمود. خروجی‌های این نرم‌افزار در جدول (۴) و شکل (۶) نشان داده شده است. در تحلیل نسبت سیگنال به نویز، بهترین و قوی‌ترین شرایط کاری با استفاده از تغییر نتایج تعیین می‌گردند. به‌عبارت‌دیگر، این نسبت پراکندگی در اطراف یک مقدار مشخص را بیان می‌کند. هر چه این نسبت بیشتر باشد، پراکندگی کمتر بوده و در نتیجه اثر پارامتر مربوطه مهم‌تر می‌باشد. با توجه به این توضیحات و براساس مقادیر نشان داده شده در جدول (۴) و شکل (۶) بهترین مقادیر برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک تعیین گردیده و در جدول (۵) نشان داده شده‌اند.

جدول (۱): تابع توزیع احتمال مشخص‌شده برای زمان پردازش هر یک از کارها با استفاده از نرم‌افزار Minitab

کد کار	تابع توزیع زمان انجام کار	کد کار	تابع توزیع زمان انجام کار	کد کار	تابع توزیع زمان انجام کار	کد کار	تابع توزیع زمان انجام کار
۱	$N(0.51,0.05)$	۷	$N(0.55,0.05)$	۱۳	$N(0.54,0.02)$	۱۹	$N(0.4,0.05)$
۲	$N(0.93,0.04)$	۸	$N(0.49,0.02)$	۱۴	$N(1.7,0.05)$	۲۰	$N(0.67,0.03)$
۳	$U(0.36,0.47)$	۹	$U(1.2,1.49)$	۱۵	$N(1.24,0.03)$	۲۱	$U(0.75,0.8)$
۴	$N(1.47,0.13)$	۱۰	$U(1.8,2.18)$	۱۶	$U(1.2,1.3)$	۲۲	$N(0.22,0.02)$
۵	$N(0.62,0.05)$	۱۱	$N(2.74,0.18)$	۱۷	$N(0.53,0.04)$	۲۳	$N(0.36,0.04)$
۶	$N(0.38,0.02)$	۱۲	$N(0.71,0.24)$	۱۸	$N(0.43,0.04)$	۲۴	$N(0.51,0.04)$

جدول (۲): پارامترهای الگوریتم ژنتیک و سطوح هر یک از آن‌ها

سطوح	تعداد تکرار الگوریتم	اندازه جمعیت	احتمال تقاطع	احتمال جهش
۱	۳۰	۳۰	۰/۶	۰/۰۵
۲	۴۰	۴۰	۰/۷	۰/۱
۳	۵۰	۵۰	۰/۸	۰/۱۵

جدول (۳): حالت‌های پیشنهادی روش تاگوچی و مقادیر تابع هدف متناظر با آن‌ها

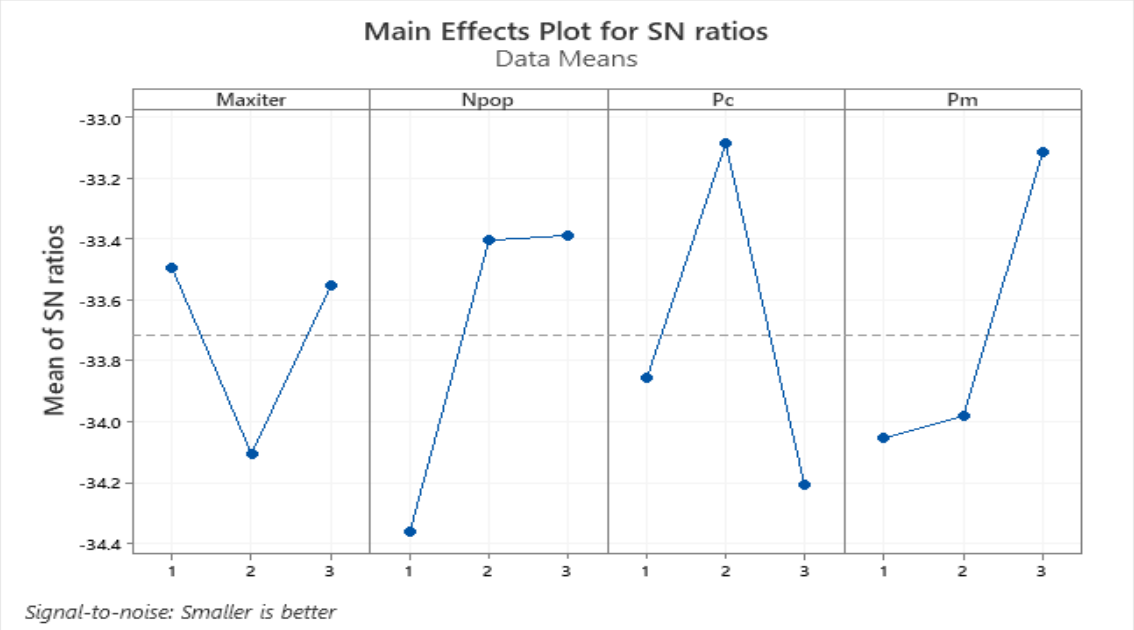
حالت	تعداد تکرار الگوریتم (Maxiter)	اندازه جمعیت (Npop)	احتمال تقاطع (Pc)	احتمال جهش (Pm)	مقدار تابع هدف
۱	۳۰	۳۰	۰/۶	۰/۰۵	۵۳/۷۷۴۹
۲	۳۰	۴۰	۰/۷	۰/۱	۴۳/۷۳۳۱
۳	۳۰	۵۰	۰/۸	۰/۱۵	۴۴/۹۴۴۴
۴	۴۰	۳۰	۰/۷	۰/۱۵	۴۷/۴۰۲۳
۵	۴۰	۳۰	۰/۸	۰/۰۵	۵۳/۸۱۸۸
۶	۴۰	۵۰	۰/۶	۰/۱	۵۱/۱۷۶۸
۷	۵۰	۳۰	۰/۸	۰/۱	۵۵/۷۷/۹۰
۸	۵۰	۴۰	۰/۶	۰/۱۵	۴۳/۵۵۳۷
۹	۵۰	۵۰	۰/۷	۰/۰۵	۴۴/۳۱۸۸

جدول (۴): جدول پاسخ ایجادشده توسط روش تاگوچی برای نسبت سیگنال به نویز

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	Maxiter	Npop	Pc	Pm
۱	**-۳۳/۴۹**	-۳۴/۳۶	-۳۳/۸۶	-۳۴/۰۵
۲	-۳۴/۱۱	-۳۳/۴۱	**-۳۳/۰۹**	-۳۳/۹۸
۳	-۳۳/۵۵	**-۳۳/۳۹**	-۳۴/۲۱	**-۳۳/۱۲**



شکل (۶): نمودار پارامترهای اصلی ارائه شده توسط روش تاگوچی برای نسبت سیگنال به نویز

جدول (۵): بهترین مقادیر ایجادشده توسط روش تاگوچی برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	تعداد تکرار الگوریتم (Maxiter)	اندازه جمعیت (Npop)	احتمال تقاطع (Pc)	احتمال جهش (Pm)
سطح	۱	۳	۲	۳
مقدار بهینه	۳۰	۵۰	۰/۷	۰/۱۵

۴-۴. تحلیل وضعیت موجود خط مونتاژ دو مدل محصول

خط مونتاژ فعلی مدل‌های محصول در نظرگرفته شده دارای ۲۴ عنصر کاری و ۶ ایستگاه جفت شده می‌باشد. برای هر کار یک کد، شرح کار و کدهای پیش‌نیازی براساس گراف‌های تقدم نشان داده شده در شکل (۲) تعریف شده است. لازم به ذکر است که با توجه به احتمالی بودن زمان پردازش کارها، مقادیر مربوط به یک مشاهده بخصوص برای زمان هر کار در نظر گرفته شده و در شکل (۲) نشان داده شده است. خلاصه اطلاعات و شرایط وضعیت موجود در جدول (۶) نشان داده شده است. در ادامه مقادیر هر یک از ۴ معیار معرفی شده برای وضعیت موجود شرکت محاسبه می‌گردند:

۱- تعداد ایستگاه جفت شده: $nm = 6$

۲- تعداد کل ایستگاه‌های جهت چپ و راست:

$$ns = nl + nr = 5 + 4 = 9$$

ایستگاه‌های جهت چپ یا راست که زمان کاری آن‌ها برابر با ۰ می‌باشد (ایستگاه جهت چپ از ایستگاه جفت شونده شماره ۵ و ایستگاه جهت راست از ایستگاه‌های جفت شونده شماره ۳ و ۶) در محاسبه تعداد ایستگاه‌های جهت چپ و راست در نظر گرفته نمی‌شوند.

جدول (۶): خلاصه اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های کاری در وضعیت موجود

شماره ایستگاه جفت شده	جهت ایستگاه مونتاژ	کد کارهای تخصیص‌یافته	زمان کاری ایستگاه	زمان بیکاری ایستگاه
۱	چپ	۱-۳-۲	۲/۲۹	۲/۷۱
	راست	۱۵-۴	۲/۷۶	۲/۲۴
۲	چپ	۵-۶-۷-۸	۱/۸۶	۳/۱۴
	راست	۱۶-۹	۲/۱۴	۲/۸۶
۳	چپ	۱۰	۲	۳
	راست	-	۰	۵
۴	چپ	۱۲-۱۳	۱/۱۴	۳/۸۶
	راست	۱۱-۱۷-۱۸-۱۹	۳/۸۳	۱/۱۷
۵	چپ	-	۰	۵
	راست	۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴	۲/۴۷	۲/۵۳
۶	چپ	۱۴	۱/۷۶	۳/۲۴
	راست	-	۰	۵

۳- کارایی خط مونتاژ وزن دار (WLE):

$$WLE = WLE_0 = \frac{\sum_{m\in M} q_m(\sum_{h\in I} t_h^m)}{CT(nl+nr)/m} = \frac{0.45\times 8.92 + 0.55\times 11.33}{5\times(5+4)/2} = 0.46(46\%)$$

لازم به ذکر است که هر چه مقدار WLE بیشتر باشد بیانگر این است که از اپراتورهای خط مونتاژ بهره‌برداری بیشتری به‌عمل‌آمده و در نتیجه درصد بیکاری در خطوط مونتاژ کمتر می‌باشد.

۴- ضریب همواری خط مونتاژ وزن دار(WSI):

$$WSI = WSI_0 = \sqrt{\frac{68.05}{(5+4)}} = 2.75$$

لازم به ذکر است که مقادیر کمتر WSI بیانگر این است که توزیع بار کاری بین ایستگاه‌های مونتاژ یکنواخت‌تر می‌باشد.

مقدار تابع هدف نشان داده شده در رابطه (۵) عبارت است از:

$$f_1 = 4\times 6 + 2\times 9 + 8\times\frac{0.46}{0.46} + 8\times\frac{2.75}{2.75} = 58$$

۴-۵. محاسبه مقدار تابع هدف برای جواب‌های ایجادشده توسط الگوریتم ژنتیک و روش ابتکاری

همان‌طور که قبلاً اشاره گردید ازآنجاکه شرایط در نظر گرفته شده در این مقاله تاکنون در هیچ مقاله‌ای بررسی نگردیده است، الگوریتم دیگری جهت مقایسه نتایج وجود ندارد. بنابراین نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک با یک الگوریتم ابتکاری جدید معرفی شده تحت عنوان روش ابتکاری حریصانه حداکثر تعداد پس‌نیازی مقایسه می‌گردد. در این روش ابتکاری در هر بار نیاز به انتخاب کار بعدی، کاری جهت تخصیص به ایستگاه جفت شده فعلی انتخاب می‌گردد که بیشترین تعداد پس‌نیازی را در بین کارهای تخصیص داده نشده تاکنون دارا باشد. با این نحوه انتخاب کارها، در هر مرحله کاری انتخاب می‌گردد که بیشترین میزان محدودیت را برای کارهای باقیمانده ایجاد می‌نماید. خلاصه اطلاعات و نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های ژنتیک و روش ابتکاری برای داده‌های موجود در شکل (۲) در جداول (۷) و (۸) نشان داده شده‌اند. با توجه به مقادیر جدول (۷) مقدار تابع هدف برای جواب روش ابتکاری عبارت است از:

$$f_2 = 4\times 4 + 2\times 8 + 8\times\frac{0.46}{0.52} + 8\times\frac{1.63}{2.75} = 43.82$$

همچنین با توجه به مقادیر جدول (۸) مقدار تابع هدف برای جواب الگوریتم ژنتیک عبارت است از:

$$f_3 = 4\times 4 + 2\times 6 + 8\times\frac{0.46}{0.69} + 8\times\frac{2.6}{2.75} = 40.86$$

جدول (۷): نتایج حاصل از اجرای روش ابتکاری برای بالانس خط مونتاژ داده‌های موجود در شکل (۲)

شماره ایستگاه جفت شده	جهت ایستگاه مونتاژ	کد کارهای تخصیص‌یافته	زمان کاری ایستگاه	زمان بیکاری ایستگاه
۱	چپ	۱- ۳- ۴- ۵- ۶	۳/۸۷	۱/۱۳
	راست	۱۵- ۲- ۱۶	۳/۰۶	۱/۹۴
۲	چپ	۷- ۸- ۱۰	۲/۹	۲/۱
	راست	۹	۱/۲۲	۳/۷۸
۳	چپ	۱۱- ۱۲- ۱۳	۳/۷۴	۱/۲۶
	راست	۱۷- ۱۸- ۱۹- ۲۰	۱/۸۵	۳/۱۵
۴	چپ	۱۴	۱/۷۶	۳/۲۴
	راست	۲۱- ۲۲- ۲۳- ۲۴	۱/۸۵	۳/۱۵

جدول (۸): نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک برای بالانس خط مونتاژ داده‌های موجود در شکل (۲)

شماره ایستگاه جفت شده	جهت ایستگاه مونتاژ	کد کارهای تخصیص‌یافته	زمان کاری ایستگاه	زمان بیکاری ایستگاه
۱	چپ	۱- ۲- ۴- ۵- ۶	۳/۸۷	۱/۱۳
	راست	۱۵- ۳- ۱۶	۳/۰۶	۱/۹۴
۲	چپ	۷- ۸- ۹- ۱۰	۴/۱۲	۰/۸۸
	راست	-	۰	۵
۳	چپ	۱۱- ۱۲- ۱۳	۳/۷۴	۱/۲۶
	راست	۱۷- ۱۸- ۱۹- ۲۰	۱/۸۵	۳/۱۵
۴	چپ	-	۰	۵
	راست	۲۱- ۲۲- ۲۳- ۲۴ -۱۴	۳/۶۱	۱/۳۹

جدول (۹): مقایسه وضعیت موجود و وضعیت مطلوب برای بالانس خط مونتاژ داده‌های موجود در شکل (۲)

	وضعیت موجود	وضعیت پیشنهادی روش ابتکاری	وضعیت پیشنهادی الگوریتم ژنتیک	بهبود با استفاده از روش ابتکاری	بهبود با استفاده از الگوریتم ژنتیک
nm	۶	**۴**	**۴**	**٪۳۳ کاهش**	**٪۳۳ کاهش**
Ns	۹	۸	**۶**	٪۱۱ کاهش	**٪۳۳ کاهش**
WLE	۰/۴۶	۰/۵۲	**۰/۶۹**	٪۱۳ افزایش	**٪۵۰ افزایش**
WSI	۲/۷۵	**۱/۶۳**	۲/۶	**٪۴۱ کاهش**	٪۵ کاهش
F	۵۸	۴۳/۸۲	**۴۰/۸۶**	٪۲۴ کاهش	**٪۳۰ کاهش**

**مقدار معیار در وضعیت موجود / (مقدار معیار در وضعیت موجود - مقدار معیار در وضعیت مطلوب) = مقدار بهبود یک معیار به‌خصوص

۴-۶. مقایسه وضعیت موجود و وضعیت پیشنهادی

در این بخش مقایسه‌ای بین وضعیت موجود و وضعیت پیشنهادی (با استفاده از روش ابتکاری و الگوریتم ژنتیک) براساس مقادیر هر یک از معیارها و تابع هدف مربوطه انجام می‌گردد. خلاصه مقایسات در جدول (۹) نشان داده شده است.

بهترین مقادیر بهبود برای تابع هدف و همچنین هر یک از ۴ معیار در جدول (۹) به‌صورت پررنگ نشان داده شده‌اند.

با استفاده از اطلاعات جدول (۹) نتایج زیر حاصل می‌گردد:

- مقادیر تمامی معیارها در دو وضعیت پیشنهادی نسبت به وضعیت موجود بهبودیافته است. این بهبود برای معیارهای حداقل سازی تعداد ایستگاه‌های جفت شده، تعداد کل ایستگاه‌ها و ضریب هموار وزن دار به‌صورت کاهش مقدار و برای معیار حداکثر نمودن کارایی خط مونتاژ به‌صورت افزایش مقدار ظاهر می‌گردد.
- همان‌طور که از جدول مشخص است در ۳ تا از ۴ معیار و همچنین در مقدار تابع هدف نهایی الگوریتم ژنتیک بهتر از روش ابتکاری عمل نموده است. این امر بیانگر کارایی این الگوریتم در دستیابی به جواب‌های خوب برای مسئله موردنظر می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی جهت حل مسئله بالانس خط مونتاژ دوطرفه با مدل مختلط (MTALB) با در نظر گرفتن زمان‌های پردازش احتمالی برای کارها استفاده گردید. عنصر بهینه‌ساز در این مقاله الگوریتم فراابتکاری ژنتیک بوده و عنصر شبیه‌ساز نیز به‌گونه‌ای کد گردید که دقیقاً شرایط مسئله MTALB با زمان‌های پردازش احتمالی برای کارها را ایجاد نماید. عنصر بهینه‌ساز جواب‌های مختلف را تولید نموده و عنصر شبیه‌ساز تابع هدف مربوط به هر جواب را محاسبه می‌کند. معیارهای در نظر گرفته شده عبارت از حداقل نمودن تعداد ایستگاه‌های جفت شده و تعداد کل ایستگاه‌ها، کارایی خط مونتاژ وزن دار و ضریب هموار خط مونتاژ وزن دار می‌باشند.

برای ارزشمندترشدن تحقیق، یک شرکت تولیدکننده پوشاک برای مطالعه انتخاب و بررسی گردید تا مدل براساس یک مسئله واقعی ایجاد و حل گردد. به‌منظور اثبات کارایی الگوریتم ژنتیک بکار برده شده، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم مذکور برای بالانس خط مونتاژ در نظر گرفته شده با نتایج حاصل از یک الگوریتم ابتکاری معرفی شده در این مقاله مقایسه گردید. نتایج محاسباتی بیانگر این است که الگوریتم به‌کاربرده شده قادر به دستیابی به جواب‌های با کیفیت برای مسئله MTALB می‌باشد.

برای آینده، می‌توان بررسی و بالانس خط مونتاژ شرکت در نظر گرفته شده را برای سایر محصولات و مدل‌های مختلف آن‌ها نیز انجام داد. همچنین می‌توان از سایر الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری جهت حل مسئله موردنظر در این مقاله استفاده نمود. به‌عنوان پیشنهاد آخر می‌توان به جای استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی جهت مدل نمودن زمان‌های پردازش احتمالی کارهای خط مونتاژ، مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله را با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال هر یک از کارها ایجاد و حل نموده و برای مسائل با ابعاد مختلف نتایج حاصل از اجرای مدل ایجاد شده را با نتایج الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری مقایسه نمود.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانیم که از تمام کارکنان محترم شرکت به آفرینان داتیس تیوا تشکر نماییم.

مراجع

[1] Chutima, P., Chimklai, P. (2012). "Multi-objective two-sided mixed-model assembly line balancing using particle swarm optimisation with negative knowledge", *Computers & Industrial Engineering*, 62(1): 39-55.

[2] Bartholdi, J. (1993). "Balancing two-sided assembly lines: a case study", *International Journal of Production Research*, 31(10): 2447-2461.

[3] Lee, T.O., Kim, Y., Kim, Y.K. (2001). "Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness", *Computers & Industrial Engineering*, 40(3): 273-292.

[4] Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2009). "Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique", *European Journal of Operational Research*, 192(2): 349-373.

[5] Scholl, A., Becker, C. (2006). "State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly

line balancing". *European Journal of Operational Research*, 168(3): 666-693.

[6] Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2007). "A classification of assembly line balancing problems", *European journal of operational research*, 183(2): 674-693.

[7] Tasan, S. O., Tunali, S. (2008). "A review of the current applications of genetic algorithms in assembly line balancing", *Journal of intelligent manufacturing*, 19(1): 49-69.

[8] Wu, E.-F. et al. (2008). "A branch-and-bound algorithm for two-sided assembly line balancing", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9-10): 1009-1015.

[9] Xiaofeng, H., et al. (2010). "A branch-and-bound algorithm to minimize the line length of a two-sided assembly line", *European Journal of Operational Research*, 206(3): 703-707.

[10] Özcan, U., Toklu, B. (2010). "Balancing two-sided assembly lines with sequence-dependent setup times", *International Journal of Production Research*, 48(18): 5363-5383.

[11] Özcan, U. (2010). "Balancing stochastic two-sided assembly lines: A chance-constrained, piecewise-linear, mixed integer program and a simulated annealing algorithm". *European Journal of Operational Research*, 205(1): 81-97.

[12] Lapierre, S.D., Ruiz, A.B. (2004). "Balancing assembly lines: an industrial case study", *Journal of the Operational Research Society*, 55(6): 589-597.

[13] Baykasoglu, A., Dereli, T. (2008). "Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(5-6): 582-588.

[14] Özbakır, L., Tapkan, P. (2011). "Bee colony intelligence in zone constrained two-sided assembly line balancing problem", *Expert Systems with Applications*, 38(9): 11947-11957.

[15] Simaria, A.S., Vilarinho, P.M. (2009). "2-ANTBAL: An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided assembly lines", *Computers & Industrial Engineering*, 56(2): 489-506.

[16] Rabbani, M., Moghaddam, M., Manavizadeh, N. (2012). "Balancing of mixed-model two-sided assembly lines with multiple U-shaped layout", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(9-12): 1191-1210.

[17] Özcan, U., Toklu, B. (2009). "Balancing of mixed-model two-sided assembly lines", *Computers & Industrial Engineering*, 57(1): 217-227.

[18] Yuan, B. et al. (2015). "An effective hybrid honey bee mating optimization algorithm for balancing mixed-model two-sided assembly lines". *Computers & Operations Research*, 53: 32-41.

[۱۹] طسوجی حسن‌پور، سعید، امین ناصری، محمدرضا و آدرسی، ابوالفضل. (۱۳۹۵). "حل مسئله زمانبندی جریان کارگاهی برگشت پذیر بدون وقفه". *نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*. دوره ۴، شماره ۹: ۲۷۹-۲۷۱.

[۲۰] اسکندری، حمیدرضا و بهرامی، محمد. (۱۳۹۶). "زمان بندی چندهدفه اتاق عمل با استفاده از بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی". *نشریه مهندسی صنایع (دانشکده فنی دانشگاه تهران)*، دوره ۵۱، شماره ۱: ۱-۱۳.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2020, Volume 8., No. 16., pp. 199-213
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2020.21263.1949 **Selected Paper of the 16th International Conference on Industrial Engineering**

A Simulation-Based Optimization Approach for Mixed model Two-sided Assembly Line Balancing with stochastic task times (Case Study: Beh Afarinan Datis Tiva Company)

S. Ghandi Bidgoli[1*], F. Karimi[2]

[1, 2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

A R T I C L E I N F O

***Article history*:**

Received 29 Februrary 2020
Accepted 29 June 2020

***Keywords*:**

Assembly Line Balancing (ALB)
Mixed model Two-sided Assembly Line Balancing (MTALB)
simulation-based optimization approach
Mated Stations
Weighted Line Efficiency (WLE)
Weighted Smoothness Index (WSI)

A B S T R A C T

Mixed model two-sided assembly lines are widely used in various industries because of their increased capability to meet a wide range of customer demands. Assembly Line Balancing is a fundamental design issue for industries. On the other hand, Mixed model Two-sided Assembly Line Balancing is a NP-hard problem. Therefore, it is necessary for researchers to design effective approaches to solve this problem. In this paper, a genetic algorithm is applied to balance the assembly line of the "Beh Afarinan Datis Tiva Company" which is of MTALB type. Because of the randomness of tasks time, the simulation-based optimization approach has been used to get closer to the real situation. Finally, by comparing the minimizing the number of mated stations, the total number of stations, the Weighted Line Efficiency and the Weighted Smoothness Index criterion for a specific cycle time before and after assembly line balancing, the effect of balancing on the assembly line performance is shown.

[*] Corresponding author. S. Ghandi Bidgolii
Tel.: 031-55912416; E-mail address: s.ghandi@kashanu.ac.ir