



## مدلی برای تعیین بهینه تعداد ایستگاه های کاری و متعادل سازی خطوط مونتاژ با استفاده از الگوریتم ژنتیک

### در شرکت سایپا

رضا احتشام راثی

استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

سعید امینی (نویسنده مسؤل)

کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی - بین الملل، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران

Email: saeed02668@gmail.com

وحید امینی

کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

حسین طاهری

دانشجوی دکترا مدیریت ورزشی، گروه مدیریت و حسابداری، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۰۵ \* تاریخ پذیرش ۹۸/۰۲/۰۸

### چکیده

بسیاری از تولید کنندگان برای انجام موفق فرایند توسعه محصول جدید خود با چالش مواجه هستند. این چالش عموماً طبیعی است اما پاسخ قطعی و مشخص برای آن وجود ندارد. چرا که هر خوشه صنعتی، هر بازار، هر سیستم تولید، هر جامعه و هر سطحی شرایط خاص خود را دارد. لذا می بایست برای هر مجموعه تولیدی و شاید هر شرکت منحصر به فرد، الگوی خاص را در نظر گرفت. این الگوها می توانند از نظر ماهیت و نوع عناصر با یکدیگر مشابه باشند اما از نظر کیفیت عناصر و عملکرد کاملاً متفاوت باشند. به همین منظور در این مقاله به نتایج شناسایی مؤلفه های توسعه محصول جدید، خاصه در صنایع غذایی استان فارس، ارائه شده است. پژوهش مربوطه یک تحقیق کیفی از نوع تحلیل محتوا است که در ابتدا سنجه های مؤثر در فرایند توسعه محصول جدید از طریق بازنگری جامع ادبیات استخراج و سپس بر اساس نظر ۱۱ خبره در قالب مصاحبه های نیمه هدایت شده مورد ارزیابی و اصلاح قرار گرفت. سپس در فرایند شش مرحله ای تحلیل محتوا با رویکرد مقوله ای با استفاده از نرم افزار MAXQDA تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می دهد که چهار مؤلفه اصلی توسعه محصول جدید در صنایع غذایی را تحت تأثیر قرار می دهد: توسعه فنی، توسعه مفهومی، توسعه بازار و توسعه منابع. این چهار مؤلفه از ۱۳ مؤلفه فرعی، ۳۴ کد گزینشی و نهایتاً ۷۳ کد اولیه به دست آمده است. بر این اساس توصیه می شود هر نوع توسعه محصول در صنایع غذایی استان فارس با در نظر گرفتن تمامی ابعاد این مجموعه صورت گیرد.

**کلمات کلیدی:** توسعه محصول جدید، تحلیل محتوای مقوله ای، صنایع غذایی، تحقیق کیفی، Maxqda.

## ۱- مقدمه

یکی از مواردی که در حاکمیت شرکتی مورد توجه قرار می‌گیرد رضایت و جذب سرمایه‌گذاران است و دستیابی به این هدف منوط به عملکرد بهینه‌ی شرکت‌ها است. یک سیستم حاکمیت شرکتی خوب عنصری کلیدی در بهینه‌سازی عملکرد واحد تجاری در بهترین حالت سودآوری برای سهامداران می‌باشد که هزینه‌های نمایندگی را محدود و از بقای شرکت حمایت می‌کند (Lim, How and Verhoeven, 2013).

حاکمیت شرکتی مکانیزمی برای انتخاب مدیرعامل و تصمیم‌گیری در رابطه با تخصیص دارایی‌های شرکت است، بنابراین بر عملکرد شرکت تأثیرگذار است (Kima et al., 2014). به‌کارگیری ابزارهای کنترل داخلی (همچون توزیع مالکیت سهام، هیئت مدیره، مدیران خارج و سیستم ایجاد انگیزه در کارکنان (و ابزارهای کنترل خارجی) همچون ادغام و تحصیل و بازار کار مدیران در ساختار حاکمیت شرکتی اثری تعیین‌کننده دارند. شرکت‌ها می‌توانند هزینه‌ی نمایندگی بین مدیران و سهام داران را به حداقل رسانده و عملکردشان را بهبود بخشند (Gisbert and Navallas, 2015).

در بازار رقابتی نیاز مبرم به توسعه و بهبود انعطاف‌پذیری و نیز پاسخگویی سازمان وجود دارد. امروزه بسیاری از سازمان‌ها و شرکت‌ها خودروسازی با رقابت فزاینده پایدار و نامطمئنی روبه‌رو هستند، این وضعیت بحرانی موجب اصطلاحات عمده‌ای در چشم‌انداز استراتژیک سازمان خودروسازی شده است. یکی از راه‌های پاسخگویی به این عوامل تغییر و تحول سازمانی، بهینه‌سازی و بالانس خطوط مونتاژ است (Chan and et al., 2017). البته باید متذکر گردید اکثر صاحب‌نظران بر این باورند که بهینه‌سازی و بالانس خطوط مونتاژ در سازمان خودروسازی مستلزم پشتیبانی عامل‌ها (کارکنان) از سازمان به‌عنوان یک ارزش می‌باشد (Martinez-Sanchez & Lahoz-Leo, 2018).

شرکت‌های خودروسازی در دنیا نقش مؤثری در اقتصاد کشورها دارد و به‌عنوان یکی از مظاهر پیشرفت به شمار می‌روند. خطوط مونتاژ بخش قابل توجهی از فعالیت‌های صنعت خودروسازی را تشکیل می‌دهد. در قلمرو مونتاژ اتومبیل بهینه‌سازی و بالانس خطوط که مدنظر این پژوهش نیز هست جز مهم‌ترین و درعین حال اساسی‌ترین و در صورت توجه نکردن به‌نوعی زیان‌ده‌ترین موضوع در این صنعت محسوب می‌شود به‌طوری‌که می‌توان گفت موفقیت در این عرصه، یکی از موارد توسعه صنعت خودروسازی را به دنبال خواهد داشت.

امروزه بالانس خطوط مونتاژ یکی از مهم‌ترین مسائل در تولید انبوه است. گروه‌بندی عملیات تولید برحسب قواعد و شرایط محیطی به‌سادگی یا پیچیدگی خط وابسته است. این نوع مسائل در حالت ساده با تخصیص عملیات به گروه‌های ایستگاهی تنها با توجه به زمان سیکل و محدودیت‌های پیش‌نیازی می‌پردازد، ولی در شرایطی نزدیک به واقعیت، با افزودن شرایطی همچون روابط هم‌نیازی و منطقه‌ای، نیروی انسانی، تجهیزات، تولید چند محصولی و مسائل جانمایی با انواع زمان‌های سیکل به بالاترین سطح خود خواهند رسید. اهمیت این دسته از مسائل از این جهت است که چنانچه در خط تولید عواملی همچون تعداد ایستگاه‌ها، زمان سیکل، کارایی خط، بیکاری کارگر و چیدمان ایستگاه‌ها موردبررسی و بهبود قرار داده شود، موجبات کاهش زمان و هزینه در مراحل طراحی و اجرا فراهم‌شده و درنهایت تأثیر مطلوب برمدیریت خط تولید خواهد گذاشت. انواع محصولات مختلفی که می‌توانند در یک خط مونتاژ شوند یک ویژگی مهم مسئله تعادل خط مونتاژ و دیگری چیدمان خط است. با توجه به مزیت‌های زیادی از جمله سهولت بالانس بارکاری در بین ایستگاه‌ها، افزایش قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری بیشتر در زمان‌بندی، غنی شدن کار و رضایت-مندی کارگران، چیدمان موازی‌سازی خطوط که بهبودهای بیشتری در انعطاف‌پذیری و حساسیت نسبت به شکست را ایجاد می‌کند، به کار گرفته شد. بنابراین استفاده از خطوط موازی مدل مختلط موجب بهبود عملکرد سیستم و افزایش بهره‌وری می‌گردد (Ozcan, 2009).

بدون شک معروف‌ترین مثال یک خط مونتاژ، کارخانه تولیدی هنری فورد می‌باشد که در آن مدل اتومبیل به‌صورت انبوه در اولین خط تولید متحرک با استفاده از ایده تقسیم‌کاری به منظور کاهش هزینه تولید هر واحد محصول تولید می‌شد. به همین منظور یکی از مباحثی که از ابتدای شروع تولید صنعتی مورد توجه مراکز تحقیقاتی و صنعتی قرار گرفت مسئله متعادل‌سازی خطوط تولید یا مونتاژ بود زیرا در صورت عدم دستیابی یک سیستم تولیدی به متعادل‌سازی خطوط، برابر با عدم استفاده کامل از ظرفیت‌های

سیستم است. در کشور ایران نیز یکی از عمده ترین علل عدم استفاده از ظرفیت های موجود واحدهای صنعتی، متعادل نبودن خطوط تولید و مونتاژ محصولات است (Taghizadeh and Zinolzadeh, 2009).

بهینه سازی مسائل با تابع هدف چندگانه ناسازگار جواب بهینه منحصر به فردی ندارند، بلکه دسته ای از جواب های بهینه را تعیین می کنند. در واقع این دسته جواب های بهینه دیگر جواب ها را تحت پوشش قرار می دهند، برای مدل سازی و حل مسئله به تخمین پارامترهای مسئله نیاز است. لذا می توان از الگوریتم های فرا ابتکاری مانند الگوریتم مورچگان، ژنتیک و... جهت حل این گونه مسائل نیز استفاده کرد. در این تحقیق برای حل مسئله از یک مدل SMILP استفاده شد و بهینه سازی این مدل با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری انجام شد.

بنابراین هدف ما در این پژوهش حداقل کردن تعداد ایستگاه ها با توجه به چرخه زمان ثابت، کاهش زمان چرخه با ثابت نگه داشتن تعداد ایستگاه های کاری و حداکثر کردن بهره وری شرکت تولید کننده در خصوص مونتاژ و بالانس خطوط نسبت به دوره های پیشین می باشد تا از این طریق به هدف اصلی تحقیق که بهینه سازی تعداد ایستگاه های کاری، تولید مقرون به صرفه، پاسخ بهینه به تقاضای مشتری و متعادل سازی خطوط مونتاژ با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری (ژنتیک) می باشد، دست یابیم.

در این مقاله به دنبال یافتن روشی برای حل مسئله بهینه سازی در شبکه های امروزی که با بار اطلاعاتی بالا مواجه بوده و از طرف دیگر خصوصیت مهم پویایی در مورد آن ها صدق می کند هستیم و به همین خاطر نوآوری پژوهش در این است که به دلیل وجود پارامترها و متغیرهای متعدد گسسته در طراحی سیستم های متعادل سازی خطوط در شرکت سایپا و برای برطرف سازی مشکلات فوق، شبکه را خوشه بندی کردیم و با به کارگیری عامل های هوشمند به صورت محلی و سراسر عملیات بهینه سازی را بهبود دادیم. نتایج بهینه سازی نشان می دهند این الگوریتم فرا ابتکاری (ژنتیک) در بیشتر مواقع از سایر الگوریتم های بهینه سازی نیز بهتر و سریع تر عمل می کند. این در حالی است که تحقیقات قبل از این با استفاده از روش های فرا ابتکاری (تاگوچی) به بهینه سازی خطوط پرداخته اند.

با وجود این یکی از جنبه های مجهول و مبهم در این زمینه پاسخ به این سؤال است که توجه به بهینه سازی تعداد ایستگاه های کاری و متعادل سازی خطوط مونتاژ با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر عملکرد شرکت سایپا تأثیر گذار هست یا خیر؟ در بخش دوم مقاله این گونه سازمان دهی شده که به توصیف دقیق مسئله می پردازیم. سپس در بخش سوم نحوه طراحی و الگوریتم بهینه سازی فرا ابتکاری ارائه گردیده و در نهایت نتایج آزمایش ها ارائه و مقاله جمع بندی خواهد شد.

بر این اساس می توان گفت هدف اصلی تحقیق بهینه سازی تعداد ایستگاه های کاری و متعادل سازی خطوط مونتاژ با استفاده از الگوریتم ژنتیک است. دو هدف فرعی این پژوهش که می توان از آن اسم برد شامل افزایش بهره وری شرکت تولید کننده در خصوص مونتاژ و بالانس خطوط نسبت به دوره های پیشین و بهره برداری شرکت های خودروسازی از نتایج این پژوهش جهت بالانس خطوط و کاهش ایستگاه ها با توجه به ساختار شرکت.

در این بخش از تحقیق به بررسی چهارچوب نظری پژوهش می پردازیم که مهمترین آنها در بخش ذیل مطرح شده است:  
الف) بهینه سازی: واژه بهینه سازی به فرآیند بهتر کردن هر چیزی اطلاق می شود. یک مهندس و یا یک محقق ایده جدیدی را خلق می کند و بهینه سازی به این ایده خلق شده کیفیت می بخشد. در فرایند بهینه سازی تغییرات بر روی ایده اولیه انجام می شود و با نتایج حاصل از این تغییرات، ایده اولیه بهبود می یابد. تا مادامی که بتوان ایده مورد نظر را در غالب الکترونیکی نوشت، کامپیوتر وسیله ای مناسب برای بهینه سازی خواهد بود. به دلیل محدودیت های الگوریتم موضعی، افراد به سمت استفاده کردن از روش های جامع تر که بر پایه فرآیندهای بیولوژیکی می باشند، تغییر جهت داده اند واژه «جواب بهتر» دال بر این می باشد که بیش از چند جواب با مقادیر نایکسان برای مسئله مورد بررسی وجود دارد. بهتر در نظر گرفتن یک جواب به مسئله مورد بررسی، روش بررسی مسئله و محدوده تغییرات بستگی دارد. بعضی از مسائل دارای جواب مشخص می باشند و یا به عبارت دیگر بهینه سازی سعی دارد با تغییر دادن یک ایده ابتدایی به سوی جواب بهینه حرکت کند. این مسیر حرکت ممکن است به جواب بهینه یا نزدیک به بهینه برسد. بعضی از مسائل دارای جواب های بهینه کاملاً مشخص و یکتا هستند که تنها نیاز به شناسایی دارند. اما بعضی از مسائل علاوه باینکه ممکن است بیش از یک جواب بهینه داشته باشند، ممکن است جواب های بهینه محلی هم داشته باشند. به علاوه

شرایط شناخته شدن یک جواب به عنوان بهینه نیز از جمله موارد مهمی است که باید به آن توجه کرد. بشر تقریباً در همه موارد زندگی روزمره خود به تصمیم‌گیری می‌پردازد و تقریباً در همه موارد تصمیم‌گیری سعی دارد تا بهترین تصمیم را اتخاذ کند. در طول سالیان درازی که جهان با ریاضیات و مسائل آشنا شده است، راه‌های بسیاری برای بهینه‌سازی پاسخ‌ها ارائه شده است، که مطمئناً هر کدام برای نوعی خاص از مسائل کاربرد دارد. در این بخش با اشاره‌ای کوتاه به الگوریتم‌های بهینه‌سازی قدیمی و ذکر معایب آن‌ها به لزوم استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری می‌پردازیم (Seyed Esfehni, Heidari, & Jaber, 2014).

ب) بالانس خطوط مونتاژ: افتخار توسعه اولین مدل نمونه خط مونتاژ به هنری فورد تعلق دارد که در سال (۱۹۱۳) چنین خطی را راه‌اندازی نمود (Raff & Summers, 1989). با این وجود برای بیش از ۴۰ سال برای متعادل‌سازی خطوط از روش آزمایش و خطا استفاده گردید تا اینکه سرانجام مسائل بالانس خطوط مونتاژ ابتدا توسط برایتون (۱۹۵۴) و مدل ریاضی این مسئله توسط سالوسون (۱۹۵۵) ارائه شد. او نخستین کسی بود که مسئله بالانس خط مونتاژ ساده را به‌طور عملی مورد بررسی قرار داد. وی این مسئله را به‌صورت مجموعه‌ای از محدودیت‌های پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها در نظر گرفت که می‌بایست ارضا شوند. سالوسون مسئله بالانس خط مونتاژ ساده را به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی شامل تمام ترکیب‌های ممکن از تخصیص ایستگاه‌ها در نظر گرفت. در مدل وی امکان شکستن فعالیت‌ها و در نتیجه غیر شدنی بودن حل‌ها وجود داشت. همچنین توسط گوش و گانگن (۱۹۸۹) بسیاری از روش‌های حل این مسئله ارائه شد.

بالانس خط اختصاص مقدار مساوی کار به ایستگاه‌های کاری یک خط تولید یا مونتاژ هست. در بالانس خط باید سعی شود که زمان ایستگاه‌های کاری به هم بسیار نزدیک و سقف آن‌ها نرخ خروجی مورد نیاز خط باشد تا انباشته بین ایستگاهی و بیکاری ایجاد نگردد و بدین ترتیب حداقل ایستگاه‌های کاری و عناصر وابسته به هر ایستگاه به دست می‌آید (Gokcen et al., 2006; Baybars, 2008; Esmailian, 1998; Gokcen & Erel, 1998).

هدف امروزه شرکت‌های خودروسازی با پشتوانه متخصصان مجرب خود از بالانس خطوط تولید و مونتاژ دست یافتن به راهکاری مؤثر و بهره‌ور در تولید محصول و نیز افزایش سطح تولید می‌باشد. امروزه بالانس خطوط مونتاژ گامی اساسی در برنامه‌ریزی سیستم‌های تولیدی به شمار می‌رود، عدم دستیابی به این مهم تنها منجر به هدر رفتن ظرفیت‌های مفید سیستم و تحمیل هزینه‌های گزاف به سیستم می‌گردد (Taghavi Fard, 2013).

الف) سیستم‌های خط مونتاژ از نظر نوع محصول را می‌توان به این ترتیب دسته بندی نمود:

۱. تک مدلی: خطوط مونتاژ به‌طور سنتی برای تولید انبوه یک محصول به‌کار برده می‌شود.

امروزه محصولات با تنوع کم به ندرت می‌تواند تعداد زیادی مشتری جذب کند، اگر تنها یک محصول در خط مونتاژ تولید شود، خط مونتاژ را می‌توان به شکل سیستم تک‌محصولی در نظر گرفت (Becker & Scholl, 2006).



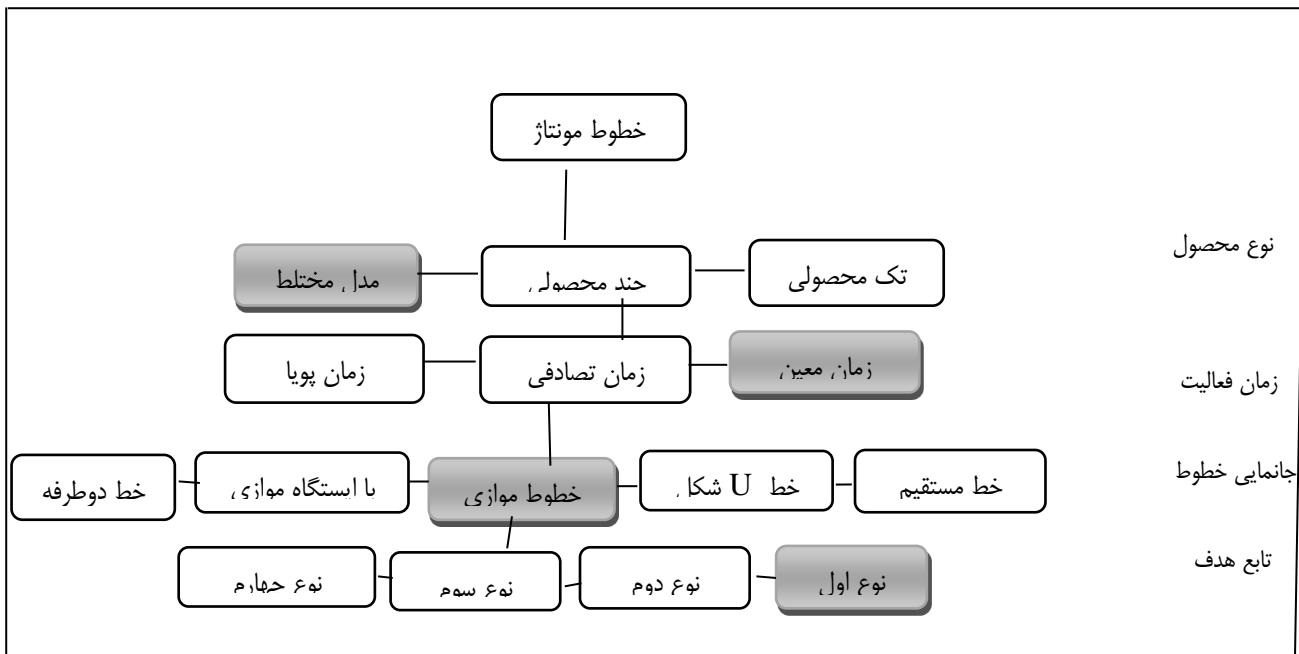
شکل شماره (۱): خط مونتاژ تک مدلی (Becker & Scholl, 2006)

۲. مدل مختلط<sup>۱</sup>: این سیستم در بسیاری از سیستم‌های تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم خط قادر به تولید چندین مدل است و قابلیت تولید در حجم کم یا دسته‌های کوچک را برای پاسخگویی سریع به تقاضای متنوع مشتریان بدون نگهداری موجودی زیاد داراست. در بسیاری از کارخانه‌ها، خط مونتاژ مدل مختلط استفاده می‌شود، چراکه این خطوط قادرند تقاضای متنوع مشتریان را بدون نیاز به موجودی‌های بالا تأمین کنند (Becker & Scholl, 2006).



شکل شماره (۲): خط مونتاژ مدل مختلط (Becker & Scholl, 2006)

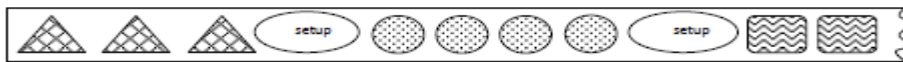
در شکل (۳) تقسیم بندی کلی خطوط مونتاژ نشان داده شده است. قسمت های خاکستری مشخص کننده خصوصیات این تحقیق است. در این قسمت انواع مختلف خطوط مونتاژ برحسب عوامل مختلف ارائه شده است.



شکل شماره (۳): تقسیم بندی کلی خطوط مونتاژ

(Becker & Scholl, 2006; Gokcen & Agpak, 2006; Hazbany & Gilad, 2007)

۳. مدل چند محصولی<sup>۲</sup>: چندین محصول (مشابه) در یک یا چند خط مونتاژ تولید می شود. به علت تفاوت های مهم در فرایند تولید، در هنگام تغییر محصول، چیدمان مجدد خط مونتاژ لازم است. بنابراین محصولات در دسته های مجزا تولید می شوند. هدف حداقل کردن هزینه بارگذاری است. درحالی که با بزرگ شدن اندازه دسته، هزینه بارگذاری کاهش می یابد، هزینه موجودی خط افزایش می یابد (Becker & Scholl, 2006).



شکل شماره (۴): خط مونتاژ مدل چند محصولی (Becker & Scholl, 2006)

ب) سیستم های خط مونتاژ از نظر زمان فعالیت (Toksari, 2008; Lausa, 2010)

۱. زمان فعالیت معین: بیشتر مدل های بالانس خط مونتاژ بر اساس زمان فعالیت معین (قطعی) است. این فرض در حالتی که تغییرپذیری زمان عملیات به اندازه کافی کوچک باشد، برقرار است.
۲. زمان فعالیت تصادفی: در مورد فعالیت های انسانی تغییر زیاد در زمان فعالیت ها ممکن است بر کارایی سیستم اثر بگذارد.
۳. زمان فعالیت پویا: در کنار تغییرات تصادفی زمان های عملیات، ممکن است به دلیل اثر یادگیری و یا بهبود فرایند تولید، کاهش سامانند زمان فعالیت رخ دهد.

ج) سیستم های خط مونتاژ از نظر جانمایی خطوط:

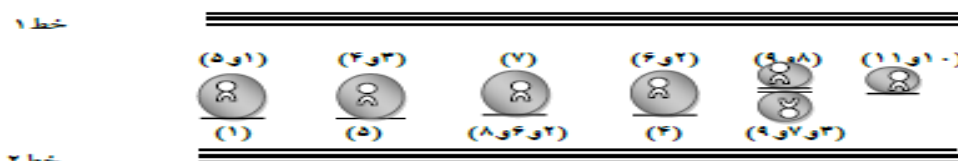
۱. خطوط مونتاژ مستقیم: به طور سنتی یک خط مونتاژ به شکل یک خط صاف است که در آن ایستگاه ها در طول خط چیده شده اند. خطوط مونتاژ مستقیم غیر منعطف هستند (Becker & Scholl, 2006).

۲. خطوط مونتاژ با ایستگاه موازی: حتی با داشتن یک خط ساده با نصب ایستگاه موازی (چندگانه) می‌توان از منافع موازی‌سازی استفاده برد. محصولات، بین چند اپراتور که یک کار را انجام می‌دهند، توزیع شده‌اند. اگر یک ایستگاه زمان عملیات بزرگ‌تری نسبت به زمان چرخه داشته باشد، با تخصیص این فعالیت به ایستگاه موازی، زمان چرخه کاهش می‌یابد (Becker & Scholl, 2006).

۳. خطوط مونتاژ دوطرفه: برای مونتاژ قطعات سنگین ممکن است از یک خط دوطرفه به صورت دو خط مستقیم موازی استفاده شود. بجای یک ایستگاه ساده، یک جفت ایستگاه مختلف در دو سمت خط به صورت موازی کار می‌کنند. آن‌ها به صورت همزمان در دو سمت مخالف یک قطعه، کار می‌کنند. برخی فعالیت‌ها باید در سمت راست یا چپ انجام شود، درحالی‌که برخی ممکن است بتوانند در هر دو سمت خط انجام شوند (مانند نصب چرخ‌ها در سمت راست و چپ). این فعالیت‌های جفتی باید در یک ایستگاه انجام شوند (Chutima & Naruemitwong, 2014).

۴. خطوط مونتاژ U شکل: در این نوع خطوط مونتاژ، ابتدا وانتهای خط به یکدیگر نزدیک هستند و خط شکل U دارد و اپراتورها بین ماشین‌آلات هستند. بعضی از ایستگاه‌ها به شکل متقاطع می‌باشند. یعنی هم در مسیر رفت و هم در مسیر برگشت قرار دارد. برای مثال ایستگاه‌های ۱ و ۳ در شکل از این نوع هستند (Sparling & Miltenburg, 1998).

۵. خطوط مونتاژ موازی: به صورت تعدادی از خطوط مونتاژ که در وضعیت موازی مرتب شده‌اند، تعریف می‌شود. در چنین خطوطی، یک محصول خاص بر روی هر خط موازی با رعایت زمان چرخه معمول، تولید می‌شود. در نتیجه با مرتب نمودن خطوط مونتاژ موازی، ممکن است منجر به افزایش بهره‌وری تیم تولید گردد و این دلیل به هم پیوستن ایستگاه‌های کاری نزدیک به هم (همسایه) خطوط مونتاژ در طول فرآیند بالانس می‌باشد (Gokcen & Agpak, 2006).



شکل شماره (۵): بالانس خطوط مونتاژ موازی (Gokcen, 2006)

د) سیستم‌های خط مونتاژ از نظر نوع تابع هدف به‌طور کلی این نوع مسئله‌ها بسته به نوع اهدافی که مدنظر بخش تولیدی باشد به چهار نوع تقسیم می‌شود که در بخش بعدی به تفصیل تشریح می‌شوند.

چهار نوع تابع هدف برای مسائل بالانس خط مونتاژ سنتی در نظر گرفته شده است: نوع اول<sup>۳</sup>: در مسئله نوع اول، با توجه به زمان چرخه داده شده، هدف به حداقل رساندن تعداد ایستگاه‌های کاری می‌باشد. به عبارت دیگر هدف تخصیص کارهای موجود در بین ایستگاه‌های کاری می‌باشد به طوری که زمان فعالیت‌های قرار گرفته در هر ایستگاه کاری از زمان چرخه تولید تجاوز نکند و تخصیص به گونه‌ای باشد که حداقل تعداد ایستگاه‌های کاری مورد نیاز شود (Boysen, 2006).

در رابطه با حداقل تعداد ایستگاه‌ها، یک تئوری ساده کاری آورده شده است که توسط رابطه (۱) نشان داده شده است (Bard, 1989; Becker & Scholl, 2006):

$$LB = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{c} \right\rceil \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، LB حد پایین برای تعداد ایستگاه‌های کاری و  $t_i$  زمان انجام فرآیند برای وظیفه  $i$ ام است.

نوع دوم<sup>۴</sup>: در مسئله نوع دوم حداقل کردن زمان چرخه برای تعداد ایستگاه داده شده مدنظر می باشد. زمان چرخه، حداکثر زمان در دسترس برای هر ایستگاه کاری تعریف می شود (Becker & Scholl, 2006).  
 با توجه به زمان ایستگاه کاری ( $S_k$ ) به عنوان مجموع زمان های عملیات همه وظایف تخصیص داده شده به ایستگاه های کاری (K) مسئله نوع دوم به صورت زیر قابل بیان است.

$$\min c = \max S_k \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن زمان هر ایستگاه کاری مثل  $S_k$  به وسیله ی مجموع همه زمان های وظایف که به ایستگاه کاری K تخصیص داده شده است، محاسبه می گردد.

جکسون<sup>۵</sup> (۱۹۵۶) برای نخستین بار مسئله نوع اول را به صورت یک درخت در نظر گرفت. همچنین با استفاده از یک تحقیق محاسباتی، مجموعه ای از روش های هیوریستیک مختلف را طبقه بندی نمودند.

نوع سوم<sup>۶</sup>: خطوطی هستند که زمان سیکل و تعداد ایستگاه ها به عنوان متغیر مسئله در نظر گرفته می شوند و بیشتر در مسائل با اهداف مبتنی بر سود کاربرد دارد و هدف به حداکثر رساندن بهره وری خط است (Becker & Scholl, Boysen, 2006; 2006).

نوع چهارم<sup>۷</sup>: یافتن یک تخصیص شدنی با توجه به زمان سیکل و تعداد ایستگاه ها معلوم می شود (Boysen, 2006). همان طور که بیان شد در مسئله بالانس خط مونتاژ ساده فرضیات محدودکننده بسیاری وجود دارد که مسئله را از دنیای واقعی دور می کند. به همین دلیل مسائل تعمیم مسئله بالانس خطوط مونتاژ مطرح شدند؛ که ایستگاه های کاری موازی، خطوط مدل مختلط، زمان پردازش تصادفی، خطوط مونتاژ موازی و خط مونتاژ L شکل، مثال هایی از ویژگی های در نظر گرفته شده برای این نوع مسائل می باشند (Becker & Scholl, 2006).

برای حل مسئله مدل تکی که تنها برای تولید مدلی که برای آن طراحی شده است کارآمد می باشد، و با توجه به اینکه دستگاه های تولیدی امروزی باید توانایی رقابت در بازارهای رقابتی را داشته باشند، از خط مونتاژ مدل مختلط برای رفع این مسئله استفاده می کنند. خط مونتاژ مدل مختلط قادر است تقاضای متنوع مشتریان را بدون نیاز به موجودی های بالا تأمین کند. بالانس خطوط مونتاژ مدل مختلط

مدل مختلط در بسیاری از سیستم های تولیدی مورد استفاده قرار می گیرد، در این سیستم خط قادر به تولید چندین مدل است و قابلیت تولید در حجم کم یا دسته های کوچک را برای پاسخگویی سریع به تقاضای متنوع مشتریان بدون نگهداری موجودی زیاد داراست.

بویسن و همکاران (۲۰۰۸) خط مونتاژ مدل مختلط را این گونه تعریف کرد: چندین مدل از یک محصول استاندارد به صورت متوالی. مدل ها ممکن است با توجه به رنگ، اندازه، مواد مورداستفاده، تجهیزات مورد نیاز، زمان کارکرد وظایف و روابط تقدم و تأخر، متفاوت باشد. در زمینه بالانس خط مونتاژ، تحقیقات گسترده ای صورت گرفته است و روش های بسیار کارآمدی برای فرموله کردن مسئله بالانس خط وجود دارد. مسئله تخصیص وظایف به ایستگاه های کاری یکی از انواع مسائل ترکیبی در مورد خطوط مونتاژ است (McGovern & Gupta, 2007).

روش های متعددی به منظور ایجاد بالانس خط مونتاژ ایجاد شده است. روش های هیوریستیک از نظر محاسباتی عملی تر هستند که تعدادی از این فن ها به وسیله پوچینجر و رایدل (۲۰۰۵) پیشنهاد شده اند و محققان زیادی ترجیح می دهند که با آن ها کار کنند (Ozcan & Toklu, 2009; Boysen, 2008).

به طور کلی، محصولات مدل مختلط، محصولاتی با ویژگی های متفاوت مثل شکل یا رنگ و یا پارامترهای دیگر می باشد. از آنجایی که وظایف، زمان پردازش و روابط تقدم و تأخر از مدلی به مدل دیگر متفاوت است. چالش های بیشتری ایجاد خواهد شد

4 SALBP-II

5 Jackson

6 SALBP-E

7 SALBP-F

(Rekiek & Delchambre, 2006). مسئله بالانس خط مونتاژ مدل مختلط بسیار پیچیده‌تر از مسئله بالانس خط مونتاژ تک مدلی می‌باشد. محصولات مدل مختلط در ارتباط با حل دو مسئله می‌باشند (Scholl, 1999):

- مسئله بالانس خط مونتاژ مدل مختلط
- مسئله توالی خط مونتاژ مدل مختلط

بالانس خط مسئله تخصیص وظایف مختلف از مدل‌های مختلف به ایستگاه‌های کاری بر روی خطوط مونتاژ است و توالی مدل، مسئله تعیین راه برای توالی مدل بر روی خط می‌باشد. هر دو مسئله جزء مسائل NP-hard محسوب می‌شوند (Becker & Scholl, 2006; Esmaeilian, 2011; Gokcen & Erel, 1998; Lausa, 2008; Bukchin & Rabinowitch, 2006)

برخی از مزایای استفاده از تولید مدل مختلط در خط مونتاژ به شرح زیر ذکر شده است:

(Erel & Sarin, 1998; McMullen & Frazier, 1997; Miltenburg, 2002; Vilarinho & Simaria, 2002)

۱. کاهش سرمایه‌گذاری تولید
  ۲. کاهش ریسک و عدم اطمینان
  ۳. فراهم نمودن افزایش سفارشی‌سازی و پاسخ به جهانی‌شدن
  ۴. کاهش زمان پاسخ
  ۵. حرکت تولیدکنندگان به سمت استانداردها به منظور رسیدن به تجهیزات مشترک و کاهش هزینه سرمایه‌گذاری
- علاوه بر این جدول شماره (۱) مزایا و معایب خط مونتاژ مدل مختلط و خط مونتاژ مدل تکی که توسط هازبانو همکاران (۲۰۰۷) تهیه شده است، ارائه گردیده است.

جدول شماره (۱): مقایسه خط مونتاژ مدل مختلط و مدل تکی (Hazbany, 2007)

مقایب	مزایا	پیگیرندی بالانس خط مونتاژ
افزایش بهره‌وری تجهیزات. کاهش سطح فرسایش بالای کارگران به دلیل اشتغال محدود. آسیب‌پذیری نسبت به خرابی	مهارت اپراتور. بهبود یادگیری	بالانس خط مونتاژ مدل تکی
افزایش پیچیدگی مونتاژ. نوسانات گردش کار	مدل‌ها. انعطاف‌پذیری در تقاضا	بالانس خط مونتاژ مدل مختلط
زمان آموزش بیشتر برای کارگران		

به طور معمول بین مدل‌های مختلف تولید در یک خط مونتاژ مدل مختلط، چندین وظیفه مشترک با روابط اولویت مشابه وجود دارد. بنابراین ما از شباهت بین روابط تقدم مشترک در بین مدل‌های مختلف برای تبدیل خط چندین مدل در مدل مختلط و تبدیل به یک مدل تکی استفاده می‌کنیم. تومولس<sup>۸</sup> (۱۹۷۰) از مفهوم نمودار اولویت ترکیبی برای تبدیل نمودار تقدم مدل‌های مختلف به یک نمودار تقدم استفاده کرد. عملکرد نمودار اولویت ترکیبی با ماتریس اولویت است. ماتریس اولویت یک ماتریس بالا مثلثی با ورودی  $ab$  و در صورتی ۱ خواهد بود که پردازش کار  $b$  نیاز به تکمیل کار  $a$  داشته باشد یعنی قبل از اینکه وظیفه  $b$  انجام شود باید وظیفه  $a$  انجام شده باشد و در غیر این صورت صفر خواهد بود. در نمودار اولویت ترکیبی تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

همچنین آسکین و زو<sup>۹</sup> (۱۹۹۷)، برای حل مسئله بالانس خط مونتاژ مدل مختلط به عنوان یک مسئله تک مدلی از توالی وظایف ترکیبی ۱۰ استفاده نمودند. توالی وظایف ترکیبی شامل تمام وظایف مورد نیاز برای هر مدل می‌باشد و دوم اینکه شامل تمام

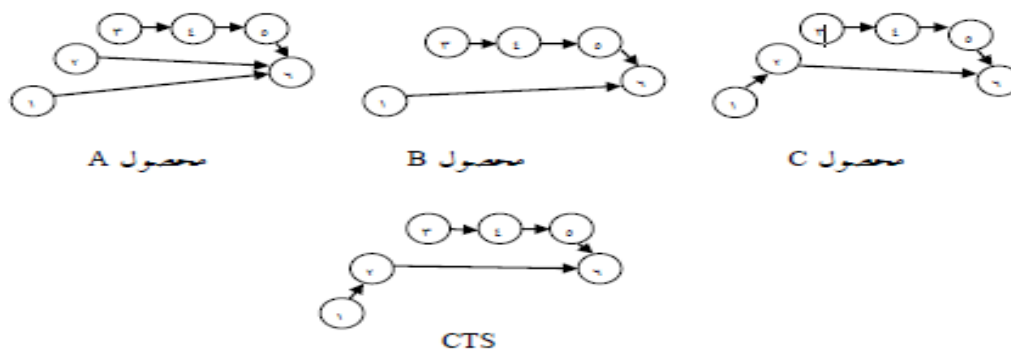
8 Thomopoulos

9 Askin & Zhou

10 Composite Task Sequence



وظایف نمودار روابط اولویت برای هر مدل می باشد. بنابراین اولویت در زمان هر مدل می تواند به عنوان زیرمجموعه ای از توالی ایجاد شده، در نظر گرفته شود. نمونه ای از ساختار توالی وظایف ترکیبی برای محصولات A و B و C در شکل (۲-۶) نشان داده شده است.



شکل شماره (۶): مثالی برای توالی وظایف ترکیبی (Askin & Zhou, 1997)

#### ه) بالانس خطوط مونتاژ موازی

خطوط مونتاژ موازی به صورت تعدادی از خطوط مونتاژ که در وضعیت موازی مرتب شده اند، تعریف می شود. در چنین خطوطی یک محصول خاص بر روی هر خط موازی با رعایت زمان چرخه معمول، تولید می شود. در نتیجه با مرتب نمودن خطوط مونتاژ موازی، ممکن است منجر به افزایش بهره‌وری تیم تولید گردد و این دلیل به هم پیوستن ایستگاه‌های کاری نزدیک به هم (همسایه) خطوط مونتاژ در طول فرآیند بالانس می باشد (Becker & Scholl, 2006; Rekiek & Delchambre, 2006; Gokcen, 2006). اکثر محققان که در زمینه بالانس خطوط مونتاژ موازی و طراحی خطوط مونتاژ فعالیت دارند بیشتر علاقه مند به ترتیب عناصر یا ایجاد یک سازمان زمانی از ایستگاه‌های کاری بر روی خطوط مونتاژ می باشند. با مقایسه چند آثار پیکربندی‌های جایگزین که به طور خاص شامل تعداد معینی از خطوط مونتاژ موازی است مورد ارزیابی قرار گرفته است. با به کارگیری خطوط مونتاژ موازی، می توان به چندین مزایای مهم دست یافت (Bard, 1998; Bukchin & Rubinovitz, 2003).

#### و) تصمیم‌گیری چندمعیاره

تصمیم‌گیری یکی از مهم‌ترین وظایف مدیریت است. یکی از دلایل موفقیت برخی از افراد و سازمان‌ها اتخاذ تصمیم‌های مناسب است. از این رو، ضرورت وجود روش‌هایی علمی که انسان را در این زمینه یاری کند کاملاً محسوس است و به ندرت، فرد یا سازمان بر اساس یک معیار تصمیم می‌گیرد. فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۱۱</sup> از زمان جنگ جهانی «بهینه‌سازی مسائل» با توجه به یک تابع هدف، مورد توجه مدیران بوده است (Zinal zade, 2010).

تصمیم‌گیری چند معیار یکی از حوزه‌های تحقیق در عملیات و علوم مدیریت بوده که در طول دهه اخیر با توجه به نیازمندی‌های کاربردی گوناگون به سرعت توسعه یافته است. با کمک کامپیوترها فن‌های تصمیم‌گیری در تمام حوزه‌های فرایند تصمیم‌گیری بسیار قابل قبول گردیده‌اند. به طور خاص در چند سال اخیر، استفاده از کامپیوتر بسیار افزایش یافته است، بنابراین کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار برای استفاده‌کنندگان با توجه به پیچیدگی‌های ریاضی در اجرا بسیار آسان گردیده است. تصمیم‌گیری رویه ای برای پیدا کردن بهترین گزینه از میان مجموعه‌ای از گزینه‌های موجود هست (Momeni, 2010). زمانی که در مسائل تصمیم‌گیری چندین معیار را در نظر می‌گیریم مسائل، تصمیم‌گیری چند معیار نامیده می‌شوند. یک مسئله تصمیم‌گیری با  $m$  گزینه و  $n$  معیار می‌تواند در ماتریسی به صورت زیر بیان گردد:

<sup>11</sup> MCDM

$$G = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ A \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{matrix} \right\} \quad W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$$

که  $A_1, A_2, \dots, A_m$  گزینه‌ها و  $C_1, C_2, \dots, C_n$  معیارهای ارزیابی،  $G_{ij}$  نرخ ارزیابی گزینه  $A_i$  تحت معیار  $C_j$  بوده و  $W_j$  وزن معیار  $C_j$  بوده است. مسائل تصمیم‌گیری چند معیار به دو نوع از مسائل می‌توانند تقسیم شوند. یکی از آن‌ها مسائل تصمیم‌گیری چند معیار کلاسیک است که در آن‌ها نرخ‌ها و اوزان معیارها به صورت قطعی اندازه‌گیری می‌شود.

به‌طور کلی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دو دسته کلی تقسیم می‌شود:

- مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه<sup>۱۲</sup>
- مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه<sup>۱۳</sup>

(ز) الگوریتم پیشنهادی

اگر کمی دقیق‌تر به مسئله تبادل اطلاعات در شبکه‌های بزرگ بپردازیم، متوجه می‌شویم که تغییراتی ایجاد می‌شود لازم است به اطلاع همه گره‌های شبکه برسد. درحالی که اهمیت این تغییرات، برای گره‌هایی که با آن سروکار بیشتری دارند (ما آن‌ها را در یک مجموعه قرار می‌دهیم) بیشتر است. بدین ترتیب تقسیم‌بندی شبکه به مجموعه‌های کوچک‌تر باعث می‌شود: گره‌های هر مجموعه، فقط اطلاعات مسیریابی آن مجموعه را نگهداری کنند (مسیریابی توزیع شده می‌شود)، و از دانستن جزئیات تغییرات در کل شبکه خلاص شوند. معمولاً شبکه‌ها برای دسترسی و تبادل داده با یکسری اهداف خاص به وجود آمده‌اند. طبیعی است ارائه یک مدل مناسب در متعادل‌سازی می‌تواند بسیار کارساز و مفید واقع شود. تعداد زیادی الگوریتم‌های هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک، مورچه‌های شبیه‌سازی شده، اجتماع ذرات و کلونی زنبور عسل وجود دارند که قادر به حل مسائل مشکل بهینه‌سازی می‌باشند. محمدی (۲۰۱۵) به مسئله زمان‌بندی از طریق تکنیک بهینه‌سازی الگوریتم‌های قوی ژنتیک پرداخت و توانست با مقایسه نتایج به دست آمده با دیگر الگوریتم‌های ابتکاری ثابت کند که برای حل مسائل کاملاً سخت استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک سودمند بوده و راحت‌تر به جواب می‌رسد (Mohammadi, 2015).

(ح) الگوریتم ژنتیک

گلدبرک (۱۹۸۳) برای اولین بار از مکانیزم الگوریتم ژنتیک در صنعت استفاده کرد. گلاور (۱۹۷۰) برای تشریح همگرایی، روش الگوریتم ژنتیک وفقی را ارائه کرد که در آن عملگرهای تقاطع و جهش به صورت دینامیکی تغییر می‌نمایند. فوکویاما و چیانگ (۱۹۷۵) از روش موازی در الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی توسعه ظرفیت نظام‌های تولید انرژی الکتریکی استفاده کردند. الگوریتم‌های ژنتیک ابزاری هستند که توسط آن مکانیزم انتخاب طبیعی شبیه‌سازی می‌شود. این عمل با جستجو در فضای مسئله جهت یافتن جواب برتر و نه الزاماً بهینه صورت می‌پذیرد. الگوریتم‌های ژنتیک از یک قیاس مستقیم از رفتار طبیعت استفاده می‌کند. آن‌ها با یک جامعه از افراد یا کروموزوم‌ها که هر یک راه‌حل ممکن را برای مسئله داده شده به دست می‌دهد. به هر کروموزوم یک امتیاز برارش بر طبق مناسبت مقداری که برای حل مسئله ارائه می‌کند، نسبت داده می‌شود. هرچقدر این امتیاز بیشتر باشد، یعنی کروموزوم‌های جدید و زیادتری وارد جمعیت‌های برتر شده‌اند. اما اگر این مقدار زیاد شود باعث می‌شود تا فرصت

<sup>12</sup> MODM

<sup>13</sup> MADM

تطابق در کروموزوم از دست برود و همچنین اگر این مقدار خیلی کم باشد، تعداد فرزندان تولیدشده کافی نخواهد بود (Alam-Tabriz & Mohmmadrahimi, 2013).

در الگوریتم های ژنتیک یک سری تعاریف اولیه داریم که در زیر آمده است.

- ژن: واحد پایه ژنتیک است.

- فرم: حالت های مختلف هر ژن را می گویند.

- کروموزوم: به گروهی از ژن ها اطلاق می شود.

بنابراین، اجرای الگوریتم ژنتیک در چندین مرحله صورت می گیرد، که در ادامه این مراحل به اختصار بیان می شوند.

۱. کدگذاری: فرض می شود که یک راه حل بالقوه برای مسئله ممکن است توسط مجموعه ای از پارامترها بیان شود. این

پارامترها که تحت عنوان ژن ها شناخته می شوند وجود دارند که به منظور تشکیل رشته ای از مقادیر با یکدیگر پیوند می خورند (اغلب تحت نام کروموزوم بیان می شود). در مرحله کدگذاری این رشته به کدهایی برای حل مسئله تبدیل می شوند. روش های مختلفی برای کدگذاری وجود دارد که مهم ترین آن ها کدگذاری دودویی، جایگشتی، ارزشی و درختی هستند. کدگذاری دودویی متداول ترین روش برای کدگذاری در الگوریتم ژنتیک است. در این روش اعضای جامعه به رشته هایی از صفرها و یک ها تبدیل می شوند.

۲. ارزیابی: تابع برازندگی برای حل همه مسائل باید تعیین شود. برای یک کروموزوم مشخص، تابع برازش یک عدد واحد برازندگی یا تصویری از برازندگی به دست می دهد، که می تواند به عنوان نسبتی از مطلوبیت یا قابلیت افرادی که آن کروموزوم نشان می دهد، باشد. به طور کلی تابع برازندگی از عمل یک تبدیل مناسب بر روی تابع بهینه شونده به دست می آید. برای بسیاری از مسائل، به ویژه بهینه سازی توابع، مشخص است که تابع برازش چه چیزی را باید اندازه گیری کند- تنها باید مقدار تابع را اندازه گیری نماید. اما در اغلب موارد، برای نمونه در مسائل بهینه سازی ترکیبی، این برقرار نیست.

۳. بازپروری: در مرحله بازپروری الگوریتم ژنتیک، افراد از جامعه انتخاب و باهم جفت می شوند تا فرزندان را برای تشکیل نسل بعدی به وجود آورند. خانواده ها به صورت تصادفی از جامعه با استفاده از طرحی که افراد برازنده موردعلاقه را ایجاد کند، انتخاب می شوند. افراد مناسب ممکن است چندین بار در یک نسل انتخاب شوند و افراد پست ممکن است انتخاب نشوند.

۴. همگرایی: اگر الگوریتم ژنتیک به خوبی انجام گرفته باشد، جامعه بر روی نسل های موفق نمو پیدا می کند، به گونه ای که برازندگی از بهترین و سطوح متوسط افراد در هر نسل به سمت مقدار بهینه میل می کند. همگرایی پیشرفتی به سوی افزایش یکنواختی است. یک ژن همگرا گفته می شود، وقتی ۹۵٪ اعضای جامعه همان مقدار را داشته باشند.

الگوریتم های فرا ابتکاری: لغت فرا اکتشافی ابتدا توسط گلور ارائه شد که از دو کلمه یونانی تشکیل شده است. اکتشافی به معنای «یافتن» و پسوند «فرا» به معنای «ورای، در سطحی بالاتر». قبل از توافق وسیع بر روی این لغت، از عبارت اکتشافات جدید استفاده می شد. این رده از الگوریتم ها شامل بهینه سازی گروه مورچگان<sup>۱۴</sup>، محاسبه تکاملی<sup>۱۵</sup> شامل الگوریتم های ژنتیک<sup>۱۶</sup>، جستجوی محلی تکراری<sup>۱۷</sup> آنیلینگ شبیه سازی شده<sup>۱۸</sup> و جستجوی ممنوع<sup>۱۹</sup> می باشد. تا به حال تعریف پذیرفته شده مشترکی برای فرا اکتشاف ارائه نشده است. فقط در چند سال اخیر بعضی محققین در این زمینه، تعاریفی پیشنهاد کرده اند. مانند موارد زیر:

<sup>14</sup> ACO

<sup>15</sup> EC

<sup>16</sup> GA

<sup>17</sup> ILS

<sup>18</sup> SA

<sup>19</sup> TS

« فرا اکتشاف یک فرآیند اصلی تکراری است که عملیات توابع اکتشافی فرعی را برای تولید کارای راه‌حل‌های باکیفیت بالا هدایت می‌کند. این فرآیند یک روش واحد کامل (یا ناکامل) یا مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها در هر تکرار را به کار می‌گیرد. توابع اکتشافی فرعی می‌توانند رویه‌های سطح بالا (یا پایین) در یک جستجوی محلی ساده یا فقط یک روش ساختاری باشند».

الگوریتم‌های فرا ابتکاری یا فراتکاملی نوعی از الگوریتم‌های دقیق هستند که برای یافتن پاسخ بهینه به کار می‌روند. روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دودسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی ندارند و زمان حل آن‌ها در این مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری و فوق ابتکاری بخش‌بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آن‌ها در بهینه‌های محلی، و ناتوانی آن‌ها برای کاربرد در مسائل گوناگون است.

درواقع الگوریتم‌های فرا ابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون‌رفت از بهینه محلی می‌باشند و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند (Taghavi Fard, 2010).

## ۲- روش‌شناسی پژوهش

جامعه آماری این پژوهش را کارکنان در شرکت سایپا تشکیل می‌دهند. پژوهش حاضر در دسته‌ی تحقیقات کمی قرار می‌گیرد از لحاظ هدف تحقیق، کاربردی و از لحاظ نحوه جمع‌آوری داده‌ها توصیفی-پیمایشی است.

با توجه به اندک بودن تعداد پژوهش‌ها و مدل‌های ارائه‌شده در خصوص بالانس خطوط مونتاژ به خصوص در شرایط عدم اطمینان (عدم قطعیت) متغیرهای محیطی و به منظور بهینه‌سازی فرآیندهای آن، لزوم ارائه مدل‌هایی که بیشتر با شرایط دنیای واقعی همخوانی داشته باشند، احساس می‌گردد. بنابراین سعی شده مدلی که در این پژوهش ارائه می‌شود، مطابق با مراحل واقعی ایستگاه کاری طراحی گردد و حتی‌الامکان تمام حالات و متغیرهای محتمل در نظر گرفته شود. ابتدا کلیه مراحل مدل پیشنهادی برای طراحی مدل ریاضی را به تفصیل شرح می‌دهیم:

ج) انتخاب معیارهای مناسب: در اکثر مسائل تصمیم‌گیری، عموماً اهداف و عوامل متعددی مطرح است و فرد تصمیم‌گیرنده سعی می‌نماید که از بین چندین گزینه بهترین گزینه را انتخاب نماید. به ندرت فرد یا سازمان بر اساس یک معیار تصمیم می‌گیرد. اکثر تصمیم‌گیری‌ها چند معیاری هستند و همه معیارها در هر وضعیتی کاربرد ندارند. نکته مهم دیگری که باید در نظر گرفت این است که معیارهای مناسب در بهینه‌سازی بسیار متفاوت از یکدیگر می‌باشند ولی آنچه بیش از سایرین حائز اهمیت است، آن است که تمام عوامل در بهینه‌سازی سیستم، کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری سازمان عمل می‌نمایند (Momeni, 2010).

هر نوع تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات و داده‌های موجود صورت می‌گیرد. این اطلاعات به صورت تعدادی شاخص جمع‌آوری می‌شوند. در واقع شاخص‌های بهینه‌سازی فرایند بالانس خطوط مونتاژ نشانگر وضعیت موجود و عملکرد حال و آینده ایستگاه کاری می‌باشند. بنابراین طراحی و انتخاب شاخص‌ها به عنوان ورودی مدل تصمیم‌گیری تأثیر مستقیمی بر کارایی مدل دارد. پارامترها و متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل‌سازی ریاضی به شرح زیر است:

د) پارامترها

$N$ : تعداد وظایف موجود

$S$ : تعداد ایستگاه‌های کاری

$W$ : تعداد کارکنان

$t_i$ : زمان اجرای وظیفه  $i$  وقتی کار به کارمند رسمی محول می‌شود.

$t_{wi}$ : زمان اجرای وظیفه  $i$  وقتی کار به کارمند از کارافتاده  $w$  محول می‌شود.

$I_w \subseteq N$ : مجموعه وظایف غیر مطلوب برای کارمند  $w$

$F_i$ : مجموعه موفقیت‌های ضروری وظیفه  $i$

$F_i^*$ : مجموعه همه موفقیت های وظیفه  $A_m$

(ه) متغیرهای تصمیم

$X_{Si}$ : متغیری دودویی است که در صورتی که وظیفه  $i$  به ایستگاه کاری  $S$  محول شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.  
 $Y_{SW}$ : متغیر دودویی است که در صورتی که کارمند  $w$  از کارافتاده  $W$  به ایستگاه کاری  $S$  تخصیص داده شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.

$L_{Ww}$ : مقدار ثابت بزرگی است.

(و) مدل ریاضی پژوهش

۱. هر وظیفه نیازمند یک زمان عملیات شناخته شده بدون وابستگی به زمان و مکان انجام آن دارد. این بدین معناست که هر وظیفه دارای یک زمان عملیات از پیش تعیین شده، مستقل از مکان تخصیص آن دارد. این فرض یک فرض کلی مربوط به مسائل بالانس خطوط مونتاژ است (Boysen, 2006; Gokcen, 2006; Becker & Scholl, 2006).

۲. زمان کلی وظایف تخصیص داده شده به هر ایستگاه کاری نمی تواند از مقدار مشخصی که زمان چرخه نامیده می شود، تجاوز کند. این مربوط به ویژگی مسئله بالانس خط مونتاژ است (Boysen, 2008; Ozcan & Toklu, 2009; Scholl, 2009).

۳. در مسئله بالانس خط مونتاژ هر کار دقیقاً به یک ایستگاه اختصاص می یابد. این بدان معنی است که یک وظیفه نمی تواند به وظایف کوچک تر جدا شده و بشکند (Boysen, 2008; Rekiek & Delchambre, 2006; Scholl, 2006).

۴. یک وظیفه نمی تواند به ایستگاه های کاری اختصاص یابد تا زمانی که تمام وظایف قبلی به ایستگاه های کاری اختصاص یابد. این مربوط به نمودار اولویت است (Boysen, 2008; Bukchin, 2002; Arcus, 1965).

۵. زمان راه اندازی و پردازش بین دو وظیفه در همان دستگاه و یا زمان آماده سازی برای تمام بخش ها صفر است، به این معنی که تمام قطعات در آغاز پردازش در دسترس هستند (Boysen, Rekiek & Delchambre, 2006; Becker & Scholl, 2006).  
 (2008). از آنجاکه سیستم مدل مختلط است، زمان راه اندازی و پردازش که تغییر از یک مدل به مدل دیگر است، نادیده گرفته شده است.

### ۳- بحث و نتایج

برای حل الگوریتم ژنتیک، ابتدا پارامترهای مدل که شامل تعداد اعضای جامعه، دفعات تکرار الگوریتم، احتمال جهش، احتمال ترکیب هستند باید تنظیم شوند. برای دستیابی به این منظور از روش تنظیم پارامتر رید (۲۰۰۰) استفاده می شود. تعداد جمعیت اولیه از

$$N \geq -2^{k-1} \ln(\alpha) \left( \sigma_{bb} \sqrt{\frac{\pi(m-1)}{d}} \right)$$

به دست می آید، که در آن  $N$  تعداد جمعیت اولیه  $k$  مرتبه جعبه های ساخته شده (بین ۱ تا ۵)،  $\alpha$  احتمال شکست (کمتر از ۰.۵٪)،  $\sigma_{bb} \sqrt{\frac{\pi(m-1)}{d}}$  خطای استاندارد کیفیت جواب ها برای یک جمعیت تصادفی و  $d$  تفاوت بین کیفیت اولین و دومین جواب است.

مقدار احتمال ترکیب، احتمال جهش و تعداد دفعات تکرار به ترتیب از رابطه

$$p_c \leq \frac{s-1}{s}, \quad p_m \leq \frac{1}{n}, \quad t \leq 2l \quad \text{رابطه (۴)}$$

به دست می آید، که در آن  $L$  تعداد کروموزومها است. برای تنظیم پارامترها ابتدا در سه بار متوالی جامعه ای به حجم ۱۰۰ تولید می شود و مقدار پارامترهای اولیه محاسبه می شوند و سپس با پارامترهای تولید شده، الگوریتم ژنتیک اجرا می شود.

یکی از مجموعه داده هایی که به خوبی شناخته شده اند، به عنوان مجموعه داده های جکسون با سه مدل ( $M=3$ ) که هر مدل از طریق ۱۱ و ۱۰ و ۹ وظیفه مونتاژ می شوند. در جدول (۱) تعداد حداقل ایستگاه های کاری و زمان چرخه در واحد زمان از گوکسن

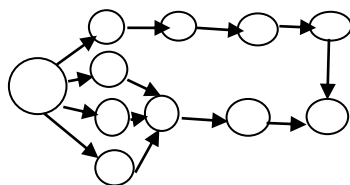
و همکاران (۲۰۰۶)، در مورد خطوط مستقل و برای سه مدل ارائه شده است. نمودار تقدم هر مدل در شکل (۲) نشان داده است و زمان پردازش وظیفه ( $t_{im}$ ) برای سه مدل در جدول (۲) نشان داده شده است در آزمون مدل جکسون، الگوریتم ابتکاری اولیه با ۸ و ۱۰ و ۱۳ به عنوان زمان چرخه اولیه برای مدل های ۱ و ۲ و ۳ و با حداقل تعداد ایستگاه های کاری در خطوط مونتاژ مستقل در نظر گرفته شده است (Gokcen, Agpak & Benzer, 2006). با توجه به اینکه در این پژوهش از زمان چرخه مشترک که ماکزیمم زمان چرخه خواهد بود استفاده شده است بنابراین زمان چرخه در نظر گرفته شده برای مدل جکسون در نظر گرفته شده است.

جدول شماره (۲): زمان چرخه و تعداد ایستگاه کاری در مجموعه داده های جکسون

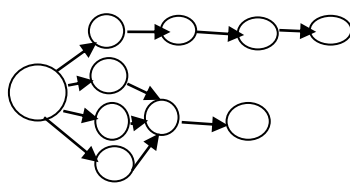
ایستگاه های کاری (Gokcen et al., 2006)			زمان چرخه (Gokcen et al., 2006)		
مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳
۱۱	۹	۷	۸	۱۰	۱۳

جدول شماره (۳): زمان پردازش وظایف مجموعه داده های جکسون

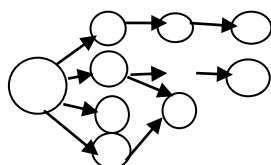
i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
$t_{im}$	۶	۲	۵	۷	۱	۲	۳	۶	۵	۵	۴
$t_{im}$	۶	۲	۵	۷	۱	۲	۳	۶	۵	۵	--
$t_{im}$	۶	۲	۵	۷	۱	۲	۳	۶	۵	--	--



مدل ۱



مدل ۲



مدل ۳

شکل شماره (۲): تقدم در مجموعه داده های جکسون

در جداول مورد بررسی عبارات زیر نشان داده شده است:

$\Delta$ : تعداد نمونه حل به بهینگی.

$t(s)$ : زمان محاسباتی (به طور متوسط).

$\sigma m$  and  $\uparrow m \uparrow$ : تعداد ایستگاه های کاری اضافی مورد نیاز و راه حل در ALWIBP-1، با توجه به بهترین راه حل شناخته شده از SALBP-1 (میانگین و انحراف)

$m \uparrow$  and  $\sigma m \uparrow \delta \% P$ : درصد ایستگاه های کاری اضافی مورد نیاز در ALWIBP-1 با توجه به بهترین راه حل شناخته شده از SALBP-1 (میانگین و انحراف)

$t$ : زمان بیکار در ایستگاه های با کارگران از کار افتاده (به طور متوسط) در ALWIBP-1

$\tau Smin$ : زمان بیکاری در ایستگاه های با کارگران از کار افتاده (به طور متوسط) در ALWIBP-1  $w_i$ : درصد وظایف توسط کارگران از کار افتاده با توجه به تعداد متوسط وظایف کارگران عادی که در ALWIBP-1 اختصاص داده شده.

$\eta Smin \delta \% P$ : درصد وظایفی که توسط کارگران از کار افتاده با توجه به تعداد متوسط وظایف در ALWIBP-1  $Smin$  به کارگران عادی اختصاص داده شده و انجام می شود.

$\beta$  and  $\sigma \beta \delta \% P$ : درصدی از ناتوانی در خط مونتاژ  $jW_j = M$  که در آن  $m$  تعداد ایستگاه در ALWIBP-1 است (میانگین و انحراف):

$\theta$ : تعدادی از نمونه های است که تعداد ایستگاه های با توجه به SALBP-1 هیچ افزایش در آن ها وجود ندارد. بدون افزایش در تعداد ایستگاه ها با توجه به SALBP-1 وجود ندارد (میانگین و انحراف)

حل مدل با استفاده از ALWIBP-ISmin

جدول شماره (۴): پیاده سازی مدل بر اساس مدل ۱ جکسون

jWj	Var	Inc (%)	$\Delta$	t(s)	$m \uparrow 7 \sigma m \uparrow$	$m \uparrow 7 \sigma m \uparrow \delta \% P$	T	$\tau Smin$	$\eta \delta \% P$	$\eta Smin \delta \% P$	$\beta 7 \sigma \beta \delta \% P$	$\theta$
۱	U[t, 2t]	۷۸	۸۵/۲۸۰	-/۲۲۱	۲۲۵/۵۰۰	۱۲۲/۹۱۸	۱/۳۱۲	۵۴/۲۸۴	۷۱/۸۳۲	۸/۹۹۷	۲۸۸	۷۳
		۷۸	۷۴/۲۹۲	-/۲۲۱	۲/۴۴۰	۱۰۷/۷۴۸	۲/۵۴۲	۵۱/۴۹۶	۷۰/۱۹۲	۸/۹۹۷	۲۸۸	۷۳
	U[t, 5t]	۷۸	۱۰۲/۵۰۰	-/۳۸۵	۴/۱۶۲	۱۸۹/۹۱۲	۷/۸۷۲	۳۵/۸۳۴	۵۱/۹۸۸	۸۷۹/۰۴۰	۲۱۸	۵۵
		۷۸	۹۸/۷۲۸	-/۳۸۵	۴۷۲/۳۲۰	۲۰۰/۱۶۲	۸/۳۶۴	۳۲/۷۱۸	۴۸/۲۹۸	۸۷۹/۴۵۰	۲۱۰	۵۳
۲	U[t, 2t]	۷۵	۱۴۵/۷۱۴	-/۳۸۵	۳۹۰/۳۲۰	۸۶/۸۳۸	۱/۵۵۸	۵۵/۶۷۸	۶۶/۹۱۲	۱۷/۵۲۸	۲۳۲	۵۹
		۷۹	۷۰/۳۵۶	-/۳۸۵	۳۹۰/۳۲۰	۸۳/۰۶۶	۲/۸۷۰	۵۱/۶۶۰	۶۵/۵۱۸	۱۷/۵۲۸	۲۲۹	۵۸
	U[t, 5t]	۷۶	۱۳۶/۳۶۶	-/۶۳۱	۷۱۸/۳۲۰	۱۰۴/۲۲	۶/۰۶۸	۴۲/۳۱۲	۵۲/۷۲۶	۱۶/۸۷۱	۱۱۱	۲۸
		۷۶	۱۲۵/۵۱۴	-/۶۳۱	۷۱۹/۱۴۰	۱۱۴/۸۸۲	۶/۶۴۲	۳۹/۱۱۴	۴۹/۶۹۲	۱۶/۸۷۱	۱۱۱	۲۸
۳	U[t, 2t]	۷۵	۱۶۰/۴۷۴	-/۶۳۱	۵۵۴/۳۲۰	۵۹/۶۹۶	۲/۲۱۴	۵۹/۸۶۰	۶۷/۲۴۰	۲۵/۸۱۱	۱۷۷	۴۵
		۷۳	۱۷۵/۱۵۲	-/۵۴۹	۵/۷۲۰	۶۲۱/۷۳۰	۲/۵۴۲	۵۶/۵۸۰	۶۴/۹۴۴	۷۲۹/۲۵	۱۵۹	۴۰
	U[t, 5t]	۷۸	۸۹/۸۷۲	-/۹۵۹	۱۱۲۹/۹۶۰	۹۳/۴۸۰	۶/۰۶۸	۴۲/۰۶۶	۵۰/۸۵۰	۲۴/۱۷۰	۳۰	۷
		۷۴	۱۷۷/۹۴۰	۱/۰۴۱	۱۲۱۱/۹۶۰	۱۰۳/۷۳۰	۹/۰۲۰	۴۱/۹۰۲	۴۷/۴۷۸	۲۴/۰۰۶	۲۲	۶
۴	U[t, 2t]	۷۳	۱۸۲/۶۱۴	-/۶۳۱	۷۱۸/۳۲۰	۴۶/۳۳۰	۳/۱۹۸	۶۲/۲۳۸	۶۶/۶۶۶	۳۳/۸۴۹	۱۱۸	۳۰
		۷۱	۲۴۶/۹۸۴	-/۷۱۳	۷/۶۰۷	۵۵/۷۶۰	۴/۱۰۰	۵۷/۸۱۰	۶۳/۷۱۴	۳۳/۵۲۱	۱۰۳	۲۶
	U[t, 5t]	۷۳	۲۲۸/۶۱۶	-/۴۹۲	۱۴/۰۰۵	۸۹/۸۷۲	۹/۵۹۴	۴۴/۰۳۴	۸۴/۹۵۴	۳۱/۱۴۱	۴	۱
		۶۹	۲۹۷/۵۷۸	-/۵۴۹	۱۵/۴۱۵	۹۷/۸۱۰	۹/۵۹۴	۴۱/۵۷۴	۴۷/۷۲۴	۳۰/۹۷۹	۰	۰

نتایج به دست آمده دلالت بر این دارند که تعداد ایستگاه ها با افزایش تعداد اپراتورهای از کار افتاده، افزایش می یابد. همچنین، بین تعداد ایستگاه های کاری با تغییر زمان وظیفه رابطه مستقیم وجود دارد. همچنین، نتایج به دست آمده دلالت بر این دارد که تغییر در موقعیت ها تغییر چندانی را در تعداد ایستگاه ها به وجود نمی آورد.

جدول شماره (۵): پیاده سازی مدل بر اساس مدل ۲ جکسون

jWj	Var	Inc (%)	$\Delta$	t(s)	$m \uparrow 7 \sigma m \uparrow$	$m \uparrow 7 \sigma m \uparrow \delta \% P$	T	$\tau Smin$	$\eta \delta \% P$	$\eta Smin \delta \% P$	$\beta 7 \sigma \beta \delta \% P$	$\theta$
۱	U[t, 2t]	۱۰۷	۱۱۷/۵۲۰	-/۳۰۵	۳۱۰/۷۵۰	۱۶۹/۳۸۷	۱/۸۰۸	۷۴/۸۰۶	۹۸/۹۸۸	۱۲/۳۹۸	۳۲۴	۷۳
		۱۰۷	۱۰۲/۳۷۸	-/۳۰۵	۳/۳۶۲	۱۴۸/۴۸۲	۳/۵۰۳	۷۰/۹۶۴	۹۶/۷۲۸	۱۲/۳۹۸	۳۲۴	۷۳

	U[t, 5t]	۱۰۷	۱۴۱/۲۵۰	-/۵۳۱	۵/۷۳۶	۲۶۱/۷۰۸	۱۰/۸۴۸	۴۹/۳۸۱	۷۱/۶۴۲	۱۲۱۱/۳۶۰	۲۴۵	۵۵
		۱۰۷	۱۳۶/۰۵۲	-/۵۳۱	۶۵۰/۸۸۰	۲۷۵/۸۳۳	۱۱/۵۲۶	۴۵/۰۸۷	۶۶/۵۵۷	۱۲۱۱/۹۲۵	۲۳۷	۵۳
۲	U[t,2t]	۱۰۴	۲۰۰/۸۰۱	-/۵۳۱	۵۳۷/۸۸۰	۱۱۹/۶۶۷	۲/۱۴۷	۷۶/۷۲۷	۹۲/۲۰۸	۲۴/۱۵۴	۲۶۲	۵۹
		۱۰۸	۹۶/۹۵۴	-/۵۳۱	۵۳۷/۸۸۰	۱۱۴/۴۶۹	۳/۹۵۵	۷۱/۱۹۰	۹۰/۲۸۷	۲۴/۱۵۴	۲۵۸	۵۸
	U[t, 5t]	۱۰۵	۱۸۷/۹۱۹	-/۸۷۰	۹۸۹/۸۸۰	۱۴۳/۶۲۳	۸/۳۶۲	۵۸/۳۰۸	۷۲/۶۵۹	۲۳/۲۴۹	۱۲۵	۲۸
		۱۰۵	۱۷۲/۵۵۱	-/۸۷۰	۹۹۱/۰۱۰	۱۵۸/۳۱۳	۹/۱۵۳	۵۳/۹۰۱	۶۸/۴۷۸	۲۳/۲۴۹	۱۲۵	۲۸
۳	U[t,2t]	۱۰۳	۲۲۱۱۴۱	-/۸۷۰	۷۶۳/۸۸۰	۲۳/۲۶۴	۳/۰۵۱	۸۲/۴۹۰	۹۲/۶۶۰	۳۵/۵۶۹	۲۰۰	۴۵
		۱۰۱	۲۴۱/۳۶۸	-/۷۵۷	۷/۸۸۳	۸۶/۴۴۵	۳/۵۰۳	۷۷/۹۷۰	۸۹/۴۹۶	۳۵/۴۵۶	۱۷۹	۴۰
	U[t, 5t]	۱۰۷	۱۲۳/۴۸۴	۱/۳۲۲	۱۵۵۷/۱۴۰	۱۲۸/۸۲۰	۸/۳۶۲	۵۷/۹۶۹	۷۰/۰۶۰	۳۳/۳۰۸	۳۳	۷
		۱۰۲	۲۴۵/۲۱۰	۱/۴۳۵	۱۶۷۰/۱۴۰	۱۴۲/۹۴۵	۱۲/۴۳۰	۵۷/۷۴۳	۶۵/۴۲۷	۳۳/۰۸۲	۲۵	۶
۴	U[t,2t]	۱۰۱	۲۵۱/۶۵۱	-/۸۷۰	۹۸۹/۸۸۰	۶۳/۴۸۵	۴/۴۰۷	۸۵/۷۶۷	۹۱/۸۶۹	۴۶/۶۴۵	۱۳۳	۳۰
		۹۷	۳۴۰/۳۵۶	-/۹۸۳	۱۰/۴۸۳	۷۶/۸۴۰	۵/۶۵۰	۷۹/۶۶۵	۸۷/۸۰۱	۴۶/۱۹۳	۱۱۶	۲۶
	U[t, 5t]	۱۰۱	۳۱۵/۰۴۴	-/۶۷۸	۱۹/۲۹۹	۱۲۳/۴۸۴	۱۳/۲۲۱	۶۰/۶۸۱	۶۷/۴۶۱	۴۲/۹۱۴	۴	۱
		۹۵	۴۱۰/۰۷۷	-/۷۵۷	۲۱/۲۴۳	۱۳۶/۱۶۵	۱۳/۲۲۱	۵۷/۲۹۱	۶۵/۷۶۶	۴۲/۶۹۰	.	.

نتایج به دست آمده دلالت بر این دارند که تعداد ایستگاه‌ها با افزایش تعداد اپراتورهای از کار افتاده، افزایش می‌یابد. همچنین، بین تعداد ایستگاه‌های کاری با تغییر زمان وظیفه رابطه مستقیم وجود دارد. همچنین، نتایج به دست آمده دلالت بر این دارد که تغییر در موقعیت‌ها تغییر چندانی را در تعداد ایستگاه‌ها به وجود نمی‌آورد.

جدول شماره (۶): پیاده‌سازی مدل بر اساس مدل ۳ جکسون

j	Wj	Var	Inc (%)	$\Delta$	t(s)	$m \uparrow 7\sigma m \uparrow$	$m \uparrow 7\sigma m \uparrow \delta\%$	T	$\tau S_{min}$	$\eta \delta\% P$	$\eta S_{min} \delta\% P$	$\beta 7\sigma \beta \delta$	$\theta$
۱	U[t, 2t]	۲۰۸	۲۲۷/۷۶۰	-/۵۹۱	۶۰۲/۲۵۰	۳۲۸/۲۸۱	۳/۵۰۴	۱۴۴/۹۷۸	۱۹۱/۱۸۴	۲۴/۰۲۹	۳۱۰	۷۳	
		۲۰۸	۱۹۸/۴۱۴	-/۵۹۱	۶/۵۱۵	۲۸۷/۷۶۶	۶/۷۸۹	۱۷۳/۵۳۲	۱۸۷/۴۶۴	۲۴/۰۲۹	۳۱۰	۷۳	
	U[t, 5t]	۲۰۸	۲۷۳/۷۵۰	۱/۰۲۹	۱۱/۱۱۶	۵۰۷/۲۰۴	۲۱/۰۲۴	۹۵/۷۰۳	۱۳۸/۸۴۶	۲۳۴۷/۶۸۰	۲۳۵	۵۵	
		۲۰۸	۲۶۳/۶۷۶	۱/۰۲۹	۱۲۶۱/۴۴۰	۵۳۴/۵۷۹	۲۲/۳۳۸	۸۷/۳۸۱	۱۲۸/۹۹۱	۲۳۴۸/۷۷۵	۲۲۷	۵۳	
۲	U[t,2t]	۲۰۱	۳۸۹/۱۶۳	۱/۰۲۹	۱۰۴۲/۴۴۰	۲۳۱/۹۲۱	۴/۱۶۱	۱۴۸/۷۰۱	۱۷۴/۷۰۴	۴۶/۸۱۱	۲۵۱	۵۹	
		۲۱۰	۱۸۷/۹۰۲	۱/۰۲۹	۱۰۴۲/۴۴۰	۲۲۱/۸۴۷	۷/۶۶۵	۱۳۷/۹۷۰	۱۷۴/۹۸۱	۴۶/۸۱۱	۲۴۷	۵۸	
	U[t, 5t]	۲۰۴	۳۶۴/۱۹۷	۱/۶۸۶	۱۹۱۸/۴۴۰	۲۷۸/۳۴۹	۱۶/۲۰۶	۱۱۳/۰۰۴	۱۴۰/۸۱۷	۴۵/۰۵۷	۱۱۹	۲۸	
		۲۰۴	۳۳۴/۴۱۳	۱/۶۸۶	۱۹۲۰/۶۳۰	۳۶۰/۸۱۹	۱۷/۷۳۲۹	۱۰۴/۴۶۳	۱۳۲/۷۱۴	۴۵/۰۵۷	۱۱۹	۲۸	
۳	U[t,2t]	۱۹۹	۴۲۸/۵۸۳	۱/۶۸۶	۱۴۸۰/۴۴۰	۱۵۹/۴۳۲	۵/۹۱۳	۱۵۹/۸۷۰	۱۷۹/۵۸۰	۶۸/۹۳۵	۱۹۱	۴۵	
		۱۹۵	۶۴۷/۷۸۴	۱/۴۶۷	۱۵/۲۷۷	۱۶۷/۵۳۵	۶/۷۸۹	۱۵۱/۱۱۰	۱۷۳/۴۴۸	۶۸/۷۱۶	۱۷۱	۴۰	
	U[t, 5t]	۲۰۸	۲۴۰/۰۲۴	۲/۲۶۲	۳۰۱۷/۸۲۰	۲۴۹/۶۶۰	۱۶/۲۰۶	۱۱۲/۳۴۷	۱۳۵/۷۸۰	۶۴/۵۵۲	۳۲	۷	
		۱۹۷	۴۷۵/۲۳۰	۲/۷۸۱	۳۳۳۶/۸۲۰	۲۷۷/۰۳۵	۲۴/۰۹۰	۱۱۱/۹۰۹	۱۲۶/۸۰۱	۶۴/۱۱۴	۲۴	۶	
۴	U[t,2t]	۱۹۵	۴۸۷/۷۱۳	۱/۶۸۶	۱۹۱۸/۴۴۰	۱۲۳/۷۳۵	۸/۵۴۱	۱۶۶/۲۲۱	۱۷۸/۰۴۷	۹۰/۴۰۱	۱۲۷	۳۰	
		۱۸۸	۶۵۹/۶۲۸	۱/۹۰۵	۲۰/۳۱۷	۱۴۸/۹۲۰	۱۰/۹۵۰	۱۵۴/۳۹۵	۱۷۰/۱۶۳	۸۹/۵۲۵	۱۱۱	۲۶	
	U[t, 5t]	۱۹۵	۶۱۰/۵۷۲	۱/۳۱۴	۳۷/۴۰۳	۲۴۰/۰۲۴	۲۵/۶۲۳	۱۱۷/۶۰۳	۱۳۰/۷۴۳	۸۳/۱۷۰	۴	۱	
		۱۸۴	۷۹۴/۷۵۱	۱/۴۶۷	۴۱/۱۷۰	۲۶۳/۸۹۵	۲۵/۶۲۳	۱۱۱/۰۳۳	۱۲۷/۴۵۸	۸۲/۷۳۶	.	.	

نتایج به دست آمده دلالت بر این دارند که تعداد ایستگاه‌ها با افزایش تعداد اپراتورهای از کار افتاده، افزایش می‌یابد. همچنین، بین تعداد ایستگاه‌های کاری با تغییر زمان وظیفه رابطه مستقیم وجود دارد. همچنین، نتایج به دست آمده دلالت بر این دارد که تغییر در موقعیت‌ها تغییر چندانی را در تعداد ایستگاه‌ها به وجود نمی‌آورد.



ریشه بسیاری از مسائل موجود در خطوط تولید و مونتاژ عمدتاً ناشی از بالانس نبودن این خطوط می باشد. چارچوب تحلیلی مطرح شده مقاله به تجسم پیچیدگی خط مونتاژ مدل مختلط از لحاظ تنوع زمان تولید کمک می کند. تغییر زمان تولید، دلیل اصلی ناپایداری ها و ناکارایی ها در خط مونتاژ مدل مختلط می باشد. بنابراین، پیچیدگی خط مونتاژ مدل مختلط در مورد تنوع زمان تولید رامی توان سنجید. در نتیجه نیاز و همچنین فرصت عمل کردن برای رسیدن به بهره برداری بالا و پایداری خط مونتاژ مدل مختلف، روشن می شود. به کارگیری چارچوب تحلیلی توصیف شده با شناسایی دوره های حجم کار زیاد در ایستگاه های کاری فردی و همچنین ایستگاه های کاری ویژه، می تواند به شرکت ها در مدیریت تنوع زمان تولید و پایداری خط مونتاژ مدل مختلط آن ها کمک نماید.

در تحقیق حاضر، یک مدل ریاضی عدد صحیح ترکیبی، برای بالانس خطوط مونتاژ موازی محصول مختلط، ارائه گردیده است و با در نظر گرفتن محدودیت های دوگانه ماشین آلات و نیروی انسانی به صورت هم زمان، تحت عنوان محدودیت دوگانه منابع، درصد کاهش تعداد ایستگاه های مورد نیاز خطوط و به حداقل رساندن هزینه کل نیروی انسانی است. نتایج حاصل از پیاده سازی مدل ارائه شده، حاکی از کارایی مدل و بهبود اهداف مسئله است. با نگاه دو جانبه به اهداف مسئله و مطابق با خروجی مدل مذکور و بر طبق جداول در مدل جکسون، ۷۴/۰۷ درصد، بهبود حاصل گردید. لذا مدل ارائه شده قادر به کاهش تعداد ایستگاه های مورد نیاز خطوط و به حداقل رساندن هزینه کل نیروی انسانی در خطوط مونتاژ موازی مدل مختلط خواهد بود و پیشنهادها شامل موارد پیشنهادی ذیل است:

۱. تمامی پارامترهای مورد استفاده در این مقاله قطعی در نظر گرفته شده است که در نظر گرفتن زمان عملیات تصادفی و یا داده های فازی و مقایسه آن با نتایج حاصل از این مطالعه، می تواند گزینه خوبی برای تحقیقات آینده باشد.
۲. می توان با بهره گیری از رویکردهای فرا ابتکاری دیگر، ضمن حل مسئله ارائه شده، نتایج حاصله با نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر مقایسه گردد.
۳. با توجه به اهمیت در نظر گرفتن فاکتورهای انسانی همچون شخصیت، خستگی و ساختار تیمی، انتظار می رود که تحقیقات آینده محدودیت دوگانه منابع در این زمینه ها صورت گیرد و مدل های دقیق تری برای حل بهتر مسئله ایجاد گردد.

#### ۴- منابع

1. Aladwani, A.M. (2001). Online banking: A field study of drivers, development challenges, and expectations. [Electronic version]. *International Journal of Information Management*, 21(3), 213-225.
2. Alam-Tabriz, A., & Mohmmadrahimi A. (2013). Meta-heuristic algorithms in combinatorial optimization. Tehran: Safar Publication (In Persian).
3. Amin zinal zade, A.(2010). Using a mathematical model for the balancing of assembly lines. *Journal of Beyond Management*, 3 (1), 7-30. (In Persian)
4. Arcus, A. (1965). A computer method of sequencing operations for assembly lines. *International Journal of Production Research*, 4(4), 259-277.
5. Askin, R., & Zhou, M. (1997). A parallel station heuristic for the mixed-model production line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 35(11), 3095-3106.
6. Bard, J. (1989). Assembly line balancing with parallel workstations and dead time. *The International Journal of Production Research*, 27(6), 1005-1018.
7. Assaf, G., Josiassen, A., Gillen, D., (2013), Measuring firm performance: Bayesian estimates with good and bad outputs, *Journal of Business Research*, 2013.
8. Bautista, J., & Pereira, J. (2007). Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 2016-2032.
9. Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management science*, 32(8), 909-932.
10. Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management science*, 32(8), 909-932.
11. Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European journal of operational research*, 168(3), 694-715.

12. Becker, C., & Scholl, A. (2009). Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. *European journal of operational research*, 199(2), 359-374.
13. Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2008). Assembly line balancing: which model to use when? *International Journal of Production Economics*, 111(2), 509-528.
14. Bukchin, Y., & Rabinowitch, I. (2006). A branch-and-bound based solution approach for the mixed-model assembly line-balancing problem for minimizing stations and task duplication costs. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 492-508.
15. Chan, A. T., Ngai, E. W., & Moon, K. K. (2017). The effects of strategic and manufacturing flexibilities and supply chain agility on firm performance in the fashion industry. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 486-499.
16. Chutima, P., & Naruemitwong, W. (2014). A Pareto biogeography-based optimisation for multi-objective two-sided assembly line sequencing problems with a learning effect. *Computers & Industrial Engineering*, 69, 89-104.
17. Esmaelian, G., Sulaiman, S., Ismail, N., Ahmad, M., & Hamed, M. (2008). Application of MATLAB to Create Initial Solution for Tabu Search in Parallel Assembly Lines Balancing. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 8, 132-136.
18. Erel, E., & Sarin, S. C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning & Control*, 9(5), 414-434.
19. Gokcen, H., & Erel, E. (1998). Binary integer formulation for mixed-model assembly line balancing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 34(2), 451-461.
20. Gokcen, H., Agpak, K., & Benzer, R. (2006). Balancing of parallel assembly lines. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 600-609.
21. Gisbert, A., Navallas, B. (2015). The association between voluntary disclosure and corporate governance in the presence of severe agency conflicts. *Advances in Accounting, incorporating Advances in International Accounting*, 22(28), 171,350.
22. Hazbany, S., Gilad, I., & Shpitalni, M. (2007). About the efficiency and cost reduction of parallel mixed-model assembly lines *The Future of Product Development* (pp. 483-492): Springer.
23. Jiapeng, L., Xiuwu, L., Zhao, W., & Yang, N. (2015). A classification approach based on the outranking model for multiple criteria ABC analysis.
24. Kima, D. H., Kima, J., Byun, Y., Chunc, S.H. (2014). A Study on the Effect of Governance Adequacy on the Corporate Performance, *Procedia -Social and Behavioral Sciences* 107, 2013,59-
25. Lusa, A. (2008). A survey of the literature on the multiple or parallel assembly line balancing problem. *European Journal of Industrial Engineering*, 2(1), 50-72.
26. Lim, M., How, J., Verhoeven, P. (2013). Corporate ownership, corporate governance reform and 4 timeliness of earnings: Malaysian evidence, *Journal of Contemporary Accounting & economics*, 1(5), 1-14.
27. Martinez-Sanchez, A., & Lahoz- Leo, F. (2018). Supply chain agility: a mediator for absorptive capacity. *Baltic Journal of Management*, 13(10), 20-28.
28. Mc., M.S & S.M., Gupta. (2005). A balancing method and genetic algorithm for disassembly line balancing", *European Journal of Operational Research*, 40(179).
29. Mohammad taghi taghavi fard , M.( 2012 ) . A new mathematical model of multi-product assembly line balancing problem. *Journal of Industrial Management*, 3(6), 1-16. (in Persian).
30. Mohammadi, G. (2015). Multi-objective flow shop production scheduling via robust genetic algorithms optimization technique. *International Journal of Service Science, Management and Engineering*, 2(1), 1-8 (In Persian).
31. Miltenburg, J. (2002). Balancing and scheduling mixed-model U-shaped production lines. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14(2), 119-151.
32. McMullen, P. R., & Frazier, G. V. (1997). A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations. *International Journal of Production Economics*, 51(3), 177-190.

33. Momeni, Mansour & Qayyomi, Ali. (2010). Statistical analysis using spss, Tehran, Ganj Shayegan Publication. (In Persian).
34. Negahban, A. (2005). Guidance for research method using spss11 questionnaire. *Publisher: Jahad Daneshgahi*. (In Persian)
35. Ozcan, U., & Toklu, B. (2009). A new hybrid improvement heuristic approach to simple straight and U-type assembly line balancing problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(1), 123-136.
36. Raff, D., & Summers, L. H. (1989). Did Henry Ford pay efficiency wages? : *National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA*.
37. Rekiek, B., & Delchambre, A. (2006). Assembly line design: the balancing of mixed-model hybrid assembly lines with genetic algorithms: Springer.
38. Seyed Esfehiani, M.M., Heidari, M. & Jaber, S.(2014). Tabrid simulation algorithm representation for optimization of parallel serial system certainty, k-from-n substitution by fuzzy parameters. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 4(24), 414-422. (In Persian).
39. Sparling, D., & Miltenburg, J. (1998). The mixed-model U-line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 36(2), 485-501.
40. Toksari, M. D., Isleyen, S. K., Guner, E., & Faruk, B. m. (2012). Assembly line balancing problem with deterioration tasks and learning effect. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1223-1228.
41. Taghizadeh, Hooshang, Zinolzadeh, Amin (2009). The application of weight-priority hypersurfacic methods and the longest operation time (LCR) of aligning assembly lines and their impact on the organization's performance. *Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 3(20), 44-55.
42. Taghavi Fard, M.(2013). A new mathematical model for solving the balancing problem of multi product assembly lines *Industrial Management Journal*, 3 (6), 1-16. (In Persian)
43. Vilarinho, P. M., & Simaria, A. S. (2002). A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. *International Journal of Production Research*, 40(6), 1405-1420.

## **Model to Determine Optimization Number of Work Stations and Balancing Line Using Genetic Algorithm in the Saipa Company**

**Reza Ehtesham Rasi**

Assistant Prof., Department of Management and Accounting, Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran

**Saeed Amini** (Corresponding Author)

MSc., Department of Business Management, Department of Management and Accounting , Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran

**Email: saeed02668 @gmail.com**

**Vahid Amini**

MSc., Department of mining Engineerin , Department of mining faculty , Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**Hossein Taheri**

Ph.D. Candidate, Sport Management, Department of Management and Accounting, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran

### **Abstract**

Given the importance and attractiveness of the mixed product parallel lines balancing problem and the importance of the human factor in the development process and also very few studies in relation to several simultaneous objectives that is a new approach in the field of parallel assembly lines, this paper presents a two-objective combined integer mathematical model for balancing mixed-model parallel assembly lines. Because of the complexity of the problem is in the class of NP-hard problems, the mathematical model can't be solved for the actual dimensions of the industry. Genetic algorithm was used to solve this problem, coding and designing is done with MATLAB. The proposed model is evaluated by data set provided in this area. Results show the good performance of the model and improved objectives. Therefore, proposed model leads to reduce the number of stations required in lines and minimize the total cost of human resources in mixed model parallel assembly lines.

**Keywords:** Assembly line balancing, Multi-Criteria Decision Making, Genetic algorithm (Meta Innovative), optimization.