حل مدل ریاضی چند هدفه تعادل بار آنلاین در خط تولید با روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و شیر مورچه

نیما رحمانی[۱]، علیرضا ایرج‌پور[۲،*]، ناصر حمیدی[۳]، اکبر عالم تبریز[۴]، رضا احتشام رایی [۵]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

[۲] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

[۳] استاد، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

[۴] استاد، دانشگاه شهید بهشتی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

[۵] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۱، اصلاحیه: مهر ۱۴۰۱، پذیرش: آبان ۱۴۰۱

چکیده

تولید به موقع سفارشات و تحویل آن به مشتری،مزیت رقابتی سیستم های تولیدی است و موجب رضایت مشتری می شود.تخصیص متوازن سفارشات به ایستگاه های کاری، عامل تاثیر گذار در تولید به موقع و حداقل نمودن هزینه ی از دست رفته است. ایجاد توازن بار سفارشات روی ایستگا های کاری ،کاهش زمان دوره ی تولید و کمینه کردن هزینه های مهارت نیروی انسانی و دسترسی به ماشین آلات مولفه های موثر در مسئله بالانس خطوط تولید می باشد. در این مقاله با پرداختن به مولفه های فوق مدل ریاضی چند هدفه برای مسئله بالانس آنلاین بار تولید ارائه شده است. حل مدل ریاضی با معرفی الگوریتم ترکیبی فراابتکاری ژنتیک چند هدفه و شیر مورچه انجام می شود ، این روش حل با داشتن حافظه جستجو جواب های با کیفیت را در زمان مناسب تولید می نماید. نتایج حاصل از رویکرد ارائه شده نسبت به روش های پیشین بالانس آنلاین بار نشان می دهد که زمان دوره تولید و توازن بار روی ایستگاه های کار بهبود یافته اند.

واژه‌های اصلی: بالانس آنلاین بار تولید، مدل ریاضی چند هدفه، الگوریتم ترکیبی ژنتیک و شیر مورچه

۱- مقدمه

در سیستم های تولید کارگاهی که ماشین آلات خودکار یا نیمه خودکار دارند، با توجه به محدودیت های حجم بالای سفارشات کار، برنامه ریزی موجودی کالا و مواد اولیه ، تعمیرات و نگه داری و خرابی ماشین ها، تحقق برنامه ی تولید و دست یابی به اهداف شاخص تولید به موقع و تحویل به موقع با چالش مواجه است. **Error! Reference source not found.**سیستم های تولید کارگاهی یکی از مهم ترین اجزای تولید انبوه می باشند که در آن جریان مواد و حمل و نقل درون کارگاهی بین ایستگاه های مختلف کاری برقرار است. سفارشات کار طی زمان بندی تولید به ماشین ها و ایستگاه های کاری تخصیص می یابد. در کارخانجاتی که فرآیندشان تولید سفارشی انبوه می باشد، ایستگاه های کاری محصولات متنوعی که دارای ویژگی های مشابهی هستند را به طور همزمان تولید می کنند. این گونه سیستم های تولید در صنایعی چون خودرو ، لوازم خانگی ، چاپ و دارو سازی مورد استفاده قرار می گیرد..**Error! Reference source not found.** در خطوط تولید کارگاهی، برنامه ریزی و تخصیص سفارشات کار به صورت بهینه به ایستگاه های کاری با توجه به محدودیت ها یکی از هدف های اصلی است. بالانس برنامه ی تولید مسئله اصلی در مدیریت عملیاتی به حساب می آید. در بسیاری از موارد با مشاهده ی نحوه کار یک فرآیند می توان دید که تعدادی از ماشین آلات، مشغول کار نیستند ولی تعداد دیگری از تجهیزات، یکسره مشغول بکار بوده و در جلوی آنها مقدار زیادی از قطعات، آماده بسته شدن روی ماشین جهت انجام عملیات ساخت هستند و در مقابل تعدادی از کارگران به شدت مشغول کار می باشند و حجم قابل توجهی از کار انجام نشده، در کنار آنها انباشته گردیده است.[۱۳] زمان های بیکاری و یا وجود کار بیش از حد، به معنای نبود توازن و تعادل در فرآیند تولید است.

عدم توازن تولید، مشکلاتی را برای مدیریت سیستم ایجاد می کند. برای رفع این معضلات مدیران ناچار به ارائه ی راهکارهایی جهت بهبود وضع موجود هستند. **Error! Reference source not found.**[۱۹] مسئله بالانس خط تولید به عنوان یک تصمیم برنامه ریزی میان مدت در نظر گرفته می شود. در افق برنامه ریزی شرایط تقاضا و سفارشات ممکن است ناپایدار باشد ودر هر شیفت کاری نسبت به شیفت دیگر می تواند تغییر نماید. در تخصیص سفارشات به فرآیند تولید، میزان بار وارد شده

به ایستگاه های کاری و ماشین از هر

*nimarehmani@yahoo.co.uk

سفارش به سفارش دیگر تغییر می یابد و محدودیت در تنظمات ماشین آلات و ظرفیت پردازش ، سبب عدم قطعیت در برنامه ریزی تولید می گردد. در این حالت برای اجتناب از هزینه های عملیاتی ناشی از عدم توازن در برنامه تولید لازم است به صورت آنلاین تغییرات لازم را در برنامه اعمال نمود.[۶]

در روش های آفلاین بالانس تولید، بیشترپژوهش های انجام شده بر روی دو نوع از مسایل بالانس خط مونتاژ متمرکز شده اند. در مسئله نوع اول، زمان دوره خط مونتاژ به عنوان ورودی مسئله مشخص است و هدف کاهش تعداد ایستگاه های کاری است. در مسئله نوع دوم، تعداد ایستگاه های مونتاژ به عنوان ورودی مسئله معین است و تابع هدف کمینه سازی زمان سیکل کاری است. [۱۵][۱۶]

مسایل نوع اول و دوم به وزن توزیع شده ناشی از سفارشات کار روی ایستگاه کاری نمی پردازند. با توجه به ناپایداری شرایط سفارشات کار، برای اجتناب از عدم قطعیت در برنامه ریزی تولید و عدم توازن آن، لازم است از الگوریتم هایی استفاده شود که بتواند با در نظر گرفتن بار حاصل از سفارشات کار روی ماشین آلات، به صورت آنلاین برنامه ریزی تولید را جهت تخصیص سفارشات کار روی ماشین آلات انجام دهند. [۱] در بالانس خطوط تولید در نظر گرفتن تمامی مولفه های تاثیر گذار که به صورت به خط، قابلیت پاسخ گویی به هر تغییر احتمالی در سفارشات و محدودیت های درون سازمانی را داشته باشد حایز اهمیت است. با توجه به محدودیت هایی که الگوریتم های بالانس خط تولید دارند و نادیده گرفتن بار سفارش کار در ماشین آلات، از الگوریتم رابین هود که به صورت برخط متوازن سازی برنامه ی تولید را انجام می دهد استفاده می گردد. مطابق نظر کارمیا و دل المو این الگوریتم کاراترین الگوریتم بالانس آنلاین بار می باشد.[۷] روش رابین هود به وقتی که سفارشات کار زیاد و ایستگاه های کاری متنوع باشند برای حل مسئله بالانس بار با کندی مواجه می شود و نمی تواند پاسخ گو باشد.

بر اساس تحقیقات آلوارز میراندا و همکاران و هم چنین بویسن و همکاران که به بررسی مسئله بالانس خط تولید در ۵۰ سال اخیر پرداخته اند، می توان عنوان کرد که در خطوط تولید به لحاظ پیچیدگی با توجه به چهار عامل سایکل تایم، تعداد ایستگاه های کاری و نحوه ی تخصیص سفارش کارها به ایستگاه ها و محدودیت زمان، مسئله بالانس تولید در دسته مسایل ان پی سخت[1]قرار می گیرد، برای اینگونه از مسایل راه حل سریع و قابل انجام در زمان معقول پیدا نشده‌است.[۲][۲۳]

با توجه به توضیحات ارایه شده درمورد مسئله بالانس آنلاین بار در خط تولید، در حالتی که سفارشات زیاد است و محدودیت تعداد ماشین آلات و ایستگاه های کاری وجود دارد با موارد ذیل مواجه می شویم :

۱. قرار گرفتن مسئله در دسته مسایل بسیارسخت ۲.کندی روش

[1] NP-Hard (Non-deterministic Polynomial-time hard)

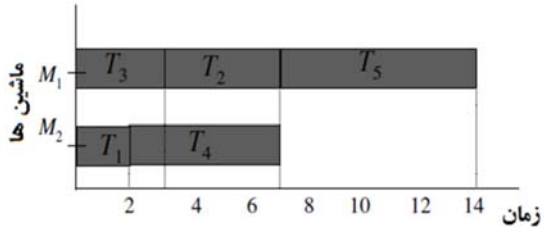
های موجود آنلاین بار در حل مسئله ۳.لحاظ نشدن عوامل تاثیر گذار در وزن سفارشات کار و بار وارده به ماشین آلات ۴.عدم پرداختن به توازن بار سفارشات و حداقل سازی زمان دوره تولید به صورت توامان ۵. نبود مکانیزمی که سابقه سفارشات در خط تولید را بتواند در برنامه ریزی بعدی تاثیر دهد.

این مقاله قصد دارد با پرداختن به پنج معضل ذکر شده بتواند، از طریق ارائه رویکردی مسئله بالانس بار در خط تولید را حل نماید، با توجه به هدف ذکر شده روش تحقیق مقاله هر دو دسته پژوهش های بنیادین و کاربردی را در بر می گیرد، زیرا که این پژوهش به دنبال تبیین میان روابط و شاخص ها می باشد. از نظر زمان در این پژوهش از روش پیمایشی و بر حسب نحوه ی گردآوری داده ها و طبقه بندی آنها، در رده ی پژوهش های توصیفی (غیر آزمایشی) است. این مقاله در بخش ۲ خود به مبانی نظری و پیشینه را بیان می نماید، در بخش ۳ به توسعه مدل ریاضی الگوریتم رابین هود و ارایه نسل چهارم این الگوریتم می پردازد ،در بخش ۴ روش حل و نتایج محاسباتی ارایه می گردد و در بخش ۵ به بحث و بررسی نتایج حاصل و بیان پیشنهادات آتی پرداخته می شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه

۲-۱- بالانس آنلاین بار خط تولید

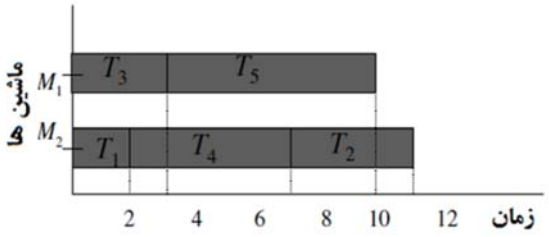
در برنامه ریزی تولید در لحظه ممکن است سفارش کار جدیدی وارد سیستم شوند و برنامه ریز بدون هیچگونه دانش قبلی باید این سفارش را زمان بندی کند. نبود دانش کافی برای برنامه ریزی سفارشاتی که در آینده وارد خواهند شد به طور کلی مانع دستیابی به یک زمان بندی بهینه می شود. به همین دلیل برخی تحقیقات در این زمینه متمرکز شده اند تا بتوانند به یک زمانبندی نزدیک به بهینه دست یابند. درمسئله زمان بندی خط تولید m ماشین یکسان و n سفارش کار با زمان های Tوجود دارد و عملیات پردازش تولید در آن متوقف نمی شود و هدف حداقل سازی زمان انجام فعالیت هاست. [۷]



شکل (۱): زمان بندی آنلاین در زمان بندی خط تولید

در شکل (۱) مشاهده می شود که یک کار غیر منتظره با طول زمانی ۷ واحد به لیست فعالیت کاری اضافه می شود در این شرایط برنامه زمان بندی برای فعالیت های قبلی در ایستگاه کاری وجود دارد و تنها کاری که می توان انجام داد تخصیص کار جدید به یکی از دو ماشین است ، مشکل در این جا این است که ازقبل اطلاعی برای ورود کار جدید و مدت زمان آن به هنگام زمان بندی وجود نداشته است و زمان بندی در حالت

آفلاین به صورت ذیل انجام شده است:



شکل (۲): زمان بندی آفلاین در زمان بندی خط تولید

همان طور که مشاهده شد در الگوریتم های آنلاین تصمیم گیرنده با این مشکل مواجه است که چگونه می تواند هنگام ورود کار جدید، تخصیص را انجام دهد. در صورتی که در الگوریتم های آفلاین تصمیم گیرنده بر اساس اطلاعات پیشین زمان بندی بهینه را انجام داده است. [۷]

در بالانس بار خط تولید اختصاص دادن سفارشات کار به m ماشین با فوریت صورت می گیرد، افزایش بار هر سفارش به روی ماشین موجب افزایش زمان اتمام سفارشات کار می گردد، نکته حایز اهمیت این است که امکان زمانبندی و تخصیص مجدد وجود ندارد، هدف در حل این مسئله، کمینه کردن بیشینه بار بر روی ماشین و متوسط بار برروی سیستم تولید است. در این حالت دو دسته فعالیت بر روی ماشین وجود دارد که یکی ناشی از فعالیت مرتبط به هر سفارشات کار است که ست آپ خاص خود را روی ماشین خواهد داشت و دیگری فعالیت های دایمی هر ماشین همانند لود و آنلود کردن محصول بر روی ماشین می باشد، که این فعالیت ها در زمان اتمام کار تاثیر می گذارد و افق زمانی مجموع فعالیت ها را بر روی سیستم تولید بیشتر می کند،الگوریتم های حل مسئله آنلاین بار و الگوریتم های آفلاین بالانسT سناریو های متفاوتی را برای زمان بندی تولید ارایه می دهند. [۴] ماشینی که دارای یک سفارش کار است و در هنگام انجام فعالیت، سفارش کار دیگری برای ماشین تعریف می شود، این سفارش کار جدید باعث افزایش بار بر روی ماشین می شود و این افزایش بار چند درصد اضافه تر از ظرفیت ماشین را به خود تخصیص می دهد و به مجموع زمان انجام فعالیت می افزاید. هر کار ورودی j یک بردار بار به همراه دارد: $P_j = \{P_{1j}. P_{2j} \cdots . P_{nj}\}$ که P_ij افزایش بار روی ماشین i است اگر هر کار j به آن تخصیص پیدا کند ، این افزایش بار در مدت زمان d_j برای هر کار انجام می شود. برای حل این مشکل الگوریتم های متفاوتی ارایه شده است آن چه که مشخص است برای حل مسئله بالانس آنلاین بار در خط تولید، الگوریتم های ارایه شده با توجه به ویژگی بردار بار می توانند دسته بندی های متفاوتی داشته باشند. از آن جا که در این مسئله کار های ورودی باید بدون دانش قبلی به ماشین ها تخصیص داده شود طبیعی است که عملکرد سیستم تولید را تحت تاثیر قرار می دهند به این گونه که بیشترین احتمال، تاثیر اضافه بار (زمان بیش از وقت معین شده جهت اتمام فعالیت یا اضافه شدن ماشین) بر حداکثر بار در زمان بندی انجام شده در الگوریتم بهینه سازی آفلاین می باشد، نسبت رقابتی بین این دو الگوریتم ممکن است به تعداد ماشین m بستگی داشته باشد که معمولا تعداد ماشین ها ثابت است و بستگی کمتری به تعداد کارها دارد.[۲۲]

۲-۲- الگوریتم رابین هود

نام این الگوریتم بر اساس رویکرد رابین هود گونه اش انتخاب شده است زیراکه رابین هود از ثرتمندان می گرفت و به فقرا می داد این الگوریتم نیز این رویکرد را دنبال می کند .فرض می شود که سفارش کارj باید به یک ماشین در مجموعه ی M_j تخصیص داده شود تخصیص این سفارش کار j به ماشین i باری به اندازه ی ω_j را به ماشین i وارد می کند. مشخص کردن توالی عملیات، تعیین توالی سفارش کار ها شامل سفارش کار ورودی و سفارش کارها باقی مانده بر روی ماشین آلات است. زمان t مربوط به رویداد t ام در خط تولید است در ابتدا عملیات زمان صفر است و زمان یک مربوط به اولین سفارش کار ورودی می باشد .هر زمان که در مورد حالتی از سیستم در زمان t صحبت می کنیم به معنی وضعیت سیستم بعد از رویداد t ام است به عبارت دیگر این زمان مرتبط به دوره ی t-1 تا t می باشد. در این حالت بار روی ماشین توسط یک الگوریتم آفلاین بهینه شده است.$L_{i(t)}$ بار روی ماشینiدر زمان t بعد از رویداد t ام است در هر زمانی از t می توان برآورد نمود که $L_{(t)}$ در صورتی که $L_{(t)} \leq OPT$ بهینه است . جهت تعریف اینکه یک ماشین برای رویکرد رابین هود چه هنگام غنی و چه هنگام فقیر است باید رابطه زیر جهت غنی بودن برقرار باشد و در غیر این صورت ماشین فقیر محسوب می شود :

$$L_{i(t)} \geq \sqrt{n} L_t \qquad (۱)$$

یک ماشین ممکن است در طول زمان به طور متناوب غنی یا فقیر باشد مثلا ماشین j می تواند در زمان t_0 در طول t فقیر و در زمان t_{0-1} غنی باشد. الگوریتم رابین هود ساده و قطعی است و به صورت به هنگام سفارش کارها را تخصیص می دهد و به طور قابل توجه ای تصمیم خود را در مورد اختصاص سفارش کار جدید نه تنها بر اساس لود کار فعلی بلکه با در نظر گرفتن سابقه تخصیص کار قبلی انجام می دهد. با توجه به حالت مسئله موجود هر سفارش کار می تواند به بیش از یک ماشین خاص تخصیص یاید و هر سفارش کار دارای وزن مشخصی است.

در این روش جهت تخصیص اولین سفارش کار به ماشین دلخواه L(1) هنگامی که سفارش کار jدر زمان t به ماشین به وزن w_j رابطه زیر برقرار است :

$$L(t) = max\{L(t-1), wj.\mu(t)\} \qquad (۲)$$

مقدار $\mu(t)$ نیز با استفاده از رابطه ی زیر :

$$\mu(t) = \frac{1}{n}(w_j + \sum_{i=1}^{n} l\, i)(t\text{-}1)) \qquad (۳)$$

محاسبه می گردد.در این حالت بررسی می شود که ماشین های قابل بارگذاری و غیر قابل بار گذاری کدامند و این فرآیند تا تخصیص متوازن سفارش کار ها ادامه می یابد.برای مشخص کردن ماشین های قابل بار گذاری و غیر قابل باری گذاری از رابطه زیر استفاده می شود:

$$L_{i(t)} < \sqrt{n} \times L_{(t)} \qquad (۴)$$

در صورت تحقق رابطه فوق ماشین قابل بار گذاری و در صورت عدم تحقق ماشین غیر قابل بار گذاری است. [۷]

۳- مدل ریاضی بالانس آنلاین بار

با بررسی الگوریتم رابین هود و پیاده سازی آن در خطوط تولید که رحمانی و همکاران انجام دادند، مشخص گردید که این الگوریتم به هنگام مواجه با تعداد زیاد سفارش کار و تعداد زیاد ایستگاه های کاری و ماشین های تولید، نمی تواند پردازش بالانس آنلاین بار را در زمان مناسب انجام دهد و کند عمل می کند.[۱] با توجه به اینکه مسئله بالانس بار جزو مسایل NP-Hard است، به منظور دستیابی به جواب نزدیک به بهینه در زمان مناسب، لازم است الگوریتمی ارایه شود که بتواند عملکرد مناسب را ارایه دهد. در این مقاله به دنبال ارایه رویکردی می باشیم که بتواند جواب با کیفیت را در زمان مناسب برای مسئله بالانس آنلاین بار در خط تولید ارایه دهد، در همین راستا با استفاده از ماهیت الگوریتم رابین هود و با در نظر گرفتن مولفه های زمان تکمیل فرآیند تولید برای دسته سفارشات، هزینه نیروی انسانی، هزینه تعمیرات ماشین آلات یک مدل ریاضی چند هدفه ارایه می گردد.

مفروضات مدل به شرح ذیل می باشد:

۱. ماشین آلات و ایستگاه های کاری در شروع برنامه ریزی در دسترس می باشند.

۲.تمامی سفارشات تولید در زمان صفرشروع می شوند.

۳.زمان اتمام سفارشات کار و تحویل تعیین نشده است.

۴.زمان حمل و نقل میان ایستگاه های کاری و ماشین آلات مطرح نمی باشد.

جهت مدل ریاضی اهداف ذیل در نظر گرفته می شود:

هدف۱:کمینه کردن هزینه نیروی انسانی (رابطه ۵)

هدف۲:کمینه کردن هزینه تعمیرات و نگه داری ماشین آلات (رابطه ۶)

هدف۳:کمینه کردن زمان تکمیل فرآیندتولید کلیه محصولات بر روی سیستم (رابطه ۷)

هدف۴:کمینه کردن میانگین زمان فرآیند تولید محصول بر روی ماشین های مختلف (رابطه ۸)

هدف۵:کمینه کردن میانگین اختلاف بار ماشین های مختلف نسبت به بار میانگین یا کمینه کردن انحراف معیار استاندارد بار ماشین های مختلف نسبت به بار میانگین کل ماشین ها (رابطه ۹)

$$Z_1 = min \sum_{m\in M}\sum_{l\in L} H_l\, X_{ml} \quad (۵)$$

$$Z_2 = min \sum_{m\in M} \frac{\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} t_{ijlm}X_{ilm}}{MTBF_m} B_m \quad (6)$$

$$Z_3 = min(\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} t_{ijlm}X_{ilm}) \quad (۷)$$

$$Z_4 = min\frac{1}{M}\sum_{m\in M}(\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} t_{ijlm}X_{ilm}) \quad (۸)$$

$$Z_5 = min\frac{1}{M}\sum_{m\in M}\left|L_m - \frac{1}{M}\sum_{m'\in M} L_{m'}\right| \quad (۹)$$

s.to:

$$X_{ml} = \begin{cases} 1 & \text{اگر مهارت } l \text{ برای ماشین } m \text{ درنظرگرفته شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$X_{im} = \begin{cases} 1 & \text{اگر سفارش } i \text{ بر روی ماشین } m \text{ اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱۱)$$

$$X_{ilm} = X_{im}.X_{ml} \quad (۱۲)$$

$$X_{ilm} = \begin{cases} 1 & \text{اگر سفارش } i \text{ با مهارت} l \text{ بر روی ماشین } m \text{ اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱۳)$$

$$\mu_{im} = \frac{L_{i'm} + W_{im}}{M} \quad (۱۴)$$

$$L_{im} = Max\,(\,L_{i'm}\,.W_{im}\,.\mu_{im}) \quad (۱۵)$$

$$L_{im} < \sqrt{M} < L_{i'm} \quad (۱۶)$$

$$i = 1,2,\dots,n_i\,, j = 1,2,\dots,k_j\,, m = 1,2,\dots,C_m\,, l = 1,2,3 \quad (۱۷)$$

i' سفارشی است که قبل از سفارش i بر روی ماشین m اجرا شده است .

جدول (۱): نماد و علائم ریاضی

ردیف	اندیس ها	توضیحات
۱	i	سفارش
۲	j	عملیات
۳	l	مهارت ها
۴	m	ماشین ها
۴	I	مجموعه سفارش ها
۶	J	مجموعه عملیات
۷	L	مجموعه مهارت ها
۸	M	مجموعه ماشین ها

جدول (۲): متغیرها و پارامترها

ردیف	متغیرها	توضیحات
۱	H_l	هزینه نیروی انسانی با مهارت l
۲	t_{ijlm}	زمان انجام عملیات j از سفارش i با مهارت l بر روی ماشین m
۳	B_m	هزینه تعمیرات ماشین m
۴	$MTBF_m$	متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین m
۴	L_m	مجموع بار ماشین m
۶	L_{im}	بار سفارش i بر روی ماشین m
۷	ω_{im}	وزن سفارش i بر روی ماشین m
۸	μ_{im}	وزن میانگین ناشی از سفارش i بر روی ماشین m

روابط (۵)(۶)(۷)(۸)(۹) نشان دهنده توابع هدف هستند، تمامی اهداف به صورت حداقل سازی می باشند.در مدل برنامه ریزی ارایه شده در کنار هدف الگوریتم رابین هود که در رابطه (۹) آورده شده است چهار هدف کمینه سازی اضافه شده است.هدف مرتبط به هزینه نیروی انسانی در خصوص تاثیر عامل مهارت نیروی انسانی در بالانس و نحوه برنامه ریزی خط تولید می باشد، واضح است که هر گاه مهارت نیروی انسانی در شرایط مناسبی باشد، فعالیت لود و آنلود مواد اولیه و محصول و انجام تنظیمات و ست آپ ماشین آلات با عملکرد مناسب و در زمان کمتری انجام می پذیرد. سه سطح مهارت خوب ، متوسط و ضعیف برای نیروی انسانی در نظر گرفته شده است. هدف هزینه تعمیرات ماشین آلات به عامل سلامت و دسترس پذیری ماشین ها می پردازد، آماده به کار بودن و حصول اطمینان از عملکرد آن ها در فرآیند برنامه ریزی سفارشات در خط تولید اهمیت دارد. اهداف سوم و چهارم به عامل زمانی در هر ماشین جهت اتمام عملیات تولید و تکمیل تولید کل سفاشات می پردازد، هدف زمانی جزو اهداف مهم در بالانس و برنامه ریزی تولید است که در پژوهش های پیشین در مباحث متوازن سازی آنلاین بار به این مهم پرداخته نشده است.

محدویت های مدل طی روابط (۱۰) الی (۱۶) آورده شده است.

در محدودیت نشان داده شده در رابطه (۱۰) به این موضوع اشاره داردکه به ازای هر ماشین یک کارگر با یک سطح ازمهارت وجود دارد. رابطه (۱۱) اشاره دارد که یک سفارش مشخص تنها می تواند روی یک ماشین مشخص انجام شود. روابط (۱۳،۱۲) نشان می دهد هر سفارش با چه مهارتی، روی چه ماشینی انجام می شود.روابط (۱۶،۱۵،۱۴) مجموع وزن سفارشات کار و نحوه انتخاب ماشین فقیر به لحاظ لود سفارش کار را بیان می کند. رابطه(۱۷) مقادیر اندیس ها را مشخص می نماید.

با در نظر گرفتن اهداف و محدودیت های مدل برنامه ریزی ارائه شده و تعداد ایستگاه های کاری، حجم سفارشات و ماهیت مسایل بالانس خط تولید، مسئله به صورت NP-Hard خواهد بود.اینگونه مسائل ابعاد مختلفی دارند که با افزوده شدن یک بعد، زمان حل مسئله به صورت نمایی افزایش می یابد. استفاده از روش های دقیق برای حل مسئله ارائه شده به علت طولانی شدن زمان محاسبات فاقد توجیه است. در مقالات مشابه از روش هایی استفاده می شود که بتواند جواب های بهینه و یا نزدیک به بهینه را در زمان مناسب بدست آورد.[۹]

۴- حل مدل برنامه ریزی چند هدفه و محاسابات

الگوریتم های بهینه سازی جهت حل مسایل به سه دسته روش های دقیق ، ابتکاری و فرابتکاری تقسیم می شوند.[۱۸] در روش های دقیق تمامی راه حل های موجود ارائه می شوند و بهترین جواب از میان آن ها انتخاب می گردد. روش های ابتکاری وابسته به نوع مسئله هستند و برای حل یک مسئله خاص با الهام از اطلاعات موجود درمسئله توسعه می یابند، پیاده سازی این روش ها بسیار راحت است و در زمان کوتاهی جواب مسئله را به دست می آورند ولی ایرادی که به این روش های وارد است اینکه فضای جستجو را به طور موثر بررسی نمی کنند، از این رو برای به دست آوردن بهترین جواب در مسائل پیچیده از روش های فرابتکاری استفاده می شود. روش های فراابتکاری به علت پیچیدگی زمان زیادی را برای محاسبات لازم دارند.[۲۰] الگوریتم های فرابتکاری به لحاظ ماهیت جستجو در دسته های مختلفی قرار می گیرند، الگوریتم های تکاملی، الگوریتم های هوش مصنوعی ، الگوریتم های الهام گرفته از طبیعت و الگوریتم های مبتنی بر فیزیک از جمله دسته بندی های روش های فرا ابتکاری می باشد.[۸]

ماهیت مسئله بالانس آنلاین بار در الگوریتم های ارائه شده ی پیشین موجب شده بود که از الگوریتم های یک مرحله ای و ابتکاری برای حل مسئله بهره گرفته شود، اما حل مدل ریاضی ارائه شده که قویا به صورت NP-Hard است نیازمند روش محاسباتی پیچیده تری برای حل مسئله می باشد. بدست آوردن جواب با کیفیت درزمان مناسب، برای مدل ریاضی ارائه شده، نیازمند بهره بردن از روش های فرا ابتکاری است. انتخاب الگوریتم فرا ابتکاری مناسب کاملا مرتبط به نوع مسئله می باشد. برخی از روش های فرا ابتکاری عملکرد خود را در مسئله های پیوسته نشان می دهند و برخی از آن ها عملکرد بهتری را در مسئله بهینه سازی باینری ، گسسته و یا ترکیبی ارائه می کنند.[۵]

برخی از الگوریتم های فرابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک توانایی جستجوی

کامل را دارند و برخی از الگوریتم ها حل تکی مانند الگوریتم تبرید، قابلیت جستجوی محلی بهتری را دارند. [۱۸] سموئی و فتاحی درپژوهش خود مقایسه ای بین الگوریتم های فرابتکاری جهت حل مسئله بالانس خط تولید میان روش های انجماد تدریجی ، بهینه سازی توده ذرات و جستجوی ممنوع و ژنتیک انجام دادند که بر اساس مقایسات صورت گرفته بهترین نتیجه نسبت به سایر روش ها متعلق به الگوریتم ژنتیک بود.[۱۷]

الگوریتم ژنتیک بهینه سازی را بر اساس مکانیسم تکامل بیولوژیکی تحقق می بخشد. در بهینه سازی، اطلاعات مربوط به فضای جستجو به طور خودکار برای تولید راه حل های بهینه جمع می شود. با توجه به چند هدفه بودن مسئله لازم است نوعی از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شود که بتواند بهینه یابی چند هدفه را نیز انجام دهد.الگوریتم تکاملی که بتواند مسئله چند هدفه را حل کند روش NSGA-II[۲] می باشد. روش مرتب سازی نامغلوب یکی از کاراترین روش های بهینه سازی چند هدفه مبتنی بر جمعیت است، مجموعه ای از راه حل های غیر سلطه را در هر نسل ، به عنوان راه حل های بهینه پارتو فراهم می کند. سپس از این راه حل ها برای انجام محاسبات تکرار بعدی استفاده می نماید.[۱۲]

مسئله برنامه ریزی چند هدفه ارائه شده از نوع مقید است، در حالتی که تعداد سفارشات کار زیاد و تعداد ایستگاه های کاری نیز متنوع باشد، فضای جستجو حالات مختلف دارد، مناسب است فضای جستجو به طور کامل بررسی شود،د بخش های نامعلوم آن نیز کنترل گردد. الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب از عملگر های تصادفی بهره می برد که این موضوع باعث تمایز آن از راه حل های قطعی می شود اما در ارائه این موضوع که راه حل ارائه شده تا چه مقداری بهینه است ، ناتوان می باشد.

[2] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

برای ایجاد نوآوری و بهره بردن از توانمندی الگوریتم های جدید در کنار الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب، در این مقاله قصد بر ارائه روش ترکیبی میان الگوریتم NSGA-II و الگوریتم بهینه ساز شیر مورچه برای حل مسئله بالانس آنلاین بار خط تولید است. الهام اصلی الگوریتم ALO [۳]از جستجوی غذا است. ابتدا رفتار شیر مورچه ها و طعمه آنها در طبیعت به صورت ریاضی مدل سازی می گردد. سپس یک الگوریتم بهینه سازی براساس مدل ریاضی ارائه می شود. الگوریتم ALO از تعامل بین شیر مورچه ها و مورچه ها در دام تقلید می کند. برای مدل سازی چنین تعاملاتی، مورچه ها باید در فضای جستجو حرکت کنند، و شیرهای مورچه مجاز به شکار آنها و با استفاده از تله ها می شوند.[۱۴] شکل (۳) نحوه عمل الگوریتم ترکیبی NSGA-II و ALO را نشان می دهد.

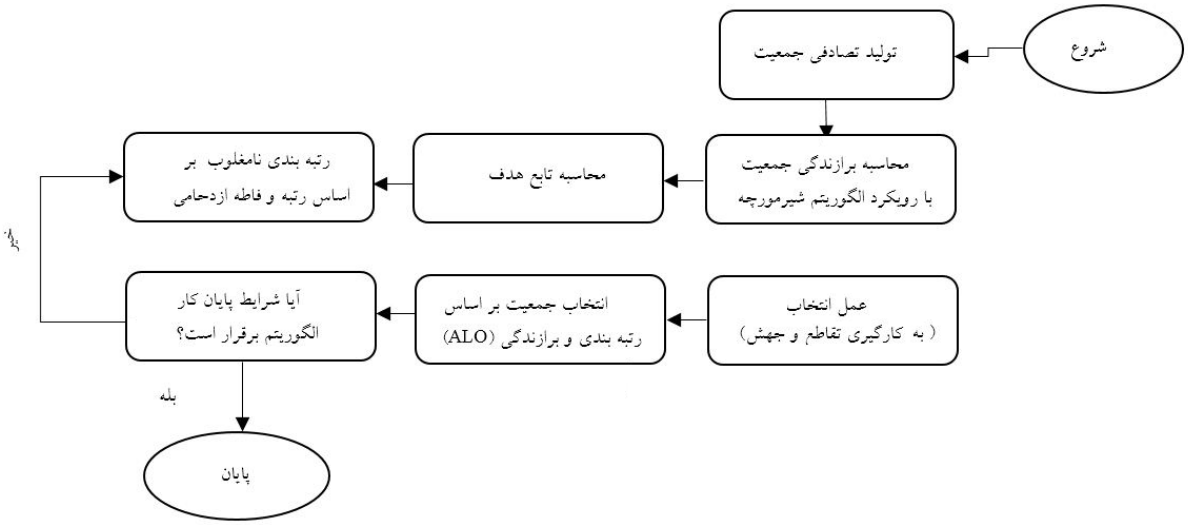
استفاده از روش حل ترکیبی بیان شده می تواند بررسی کامل فضای جستجو را انجام دهد، جواب های نزدیک به بهینه را ارائه نماید. برای مسئله ی مورد بررسی نمایش جواب به صورت متغیر های تصمیم شامل بخش سفارشات ، بخش مهارت ها ،بخش عملیات در هر ماشین می باشد که در شکل شماره (۴) نشان داده می شود.

در جدول (۳) مقادیر پارمتر های مثال عددی ذکر شده است.

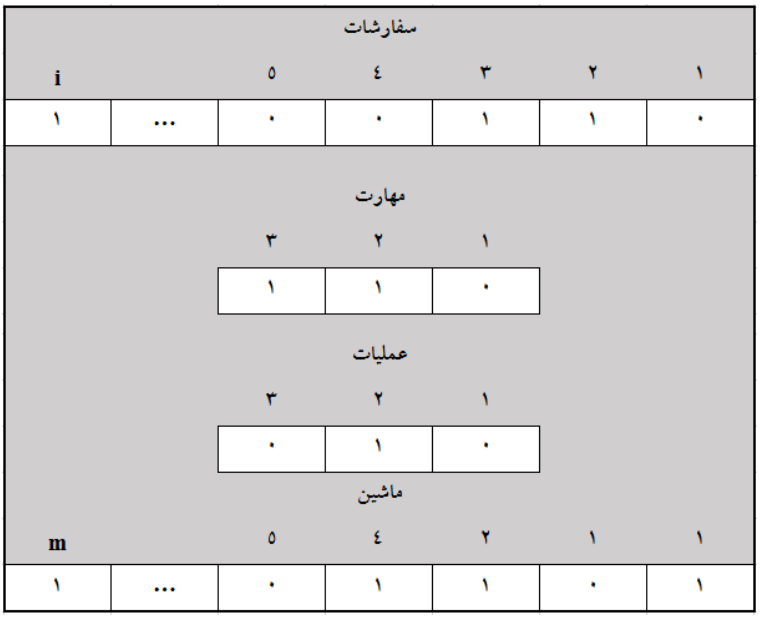
جدول (۳): مقادیر پارامترهای مثال عددی

ردیف	اندیس	توضیحات	تعداد
۱	I	مجموعه سفارش ها	۳۰
۲	J	مجموعه عملیات	۳
۳	L	مجموعه مهارت ها	۳
۴	M	مجموعه ماشین ها	۴

[3] Ant lion optimization algorithm



شکل (۳): نمایشی از از نحوه عملکرد عملگر تلفیقی NSGA-II و ALO



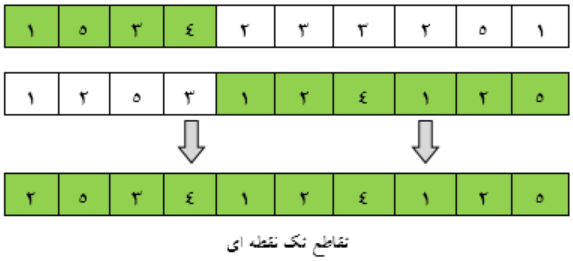
شکل (۴): نمایش راه حل های عملی

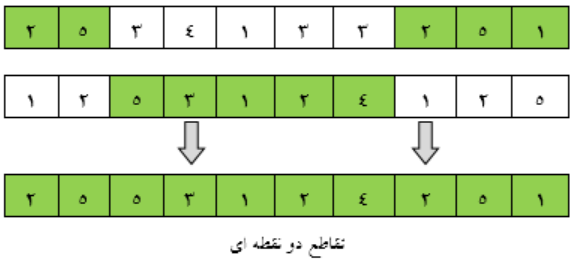
تولید تصادفی جمعیت بر اساس رویکرد الگوریتم شیر مورچه صورت می پذیرد. در مسئله نمایش جواب به صورت حرکت مورچه ها به اندازه تعداد سفارشات و مسیرهای تصادفی به عنوان یک سطح از مهارت ،ماشین و عملیات در توالی سفارشات مورد نظر است، به دلیل اینکه فرض رد کردن کارها در نظر گرفته شده است. هر مسیر تصادفی بین صفر یا یک است که اگر مسیر تصادفی صفر باشد به این معنی است که سفارش کار پذیرفته نشده است و در مسیر قرار نمی گیرد و سفارشات کاری در مسیر قرار می گیرند در توالی ازکوچک به بزرگ مرتب شده اند.

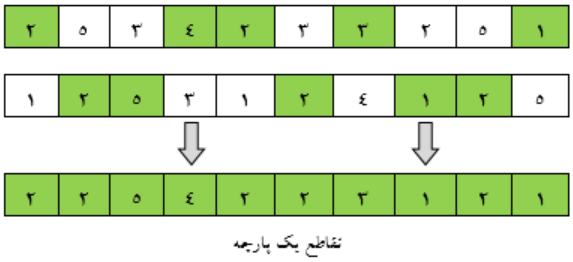
تقاطع: دراین عمل تولید فرزندان جدید از والدین نخبه براساس نسل کروموزوم‌های والد می‌باشد که درمرحله تولید جمعیت بر اساس روش شیر مورچه جمعیت برازنده ایجاد شده است. فرزندان جدید باید بیشتر خصوصیات والدین را داشته باشند و از آن‌ها نخبه‌تر باشند. نحوه تولید فرزندان به ساختار جمعیت بستگی دارد. در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد درایه‌های تصادفی، تولید می شود. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده، بیان‌کننده‌ی محل تقاطع در کروموزوم‌های والد است، سپس

ژن‌های متناظر والدین را از محل درایه موردنظر تعویض می‌کنیم و فرزندان جدید تولید می‌شوند. مراحل تقاطع در شکل (۵) آورده شده است.

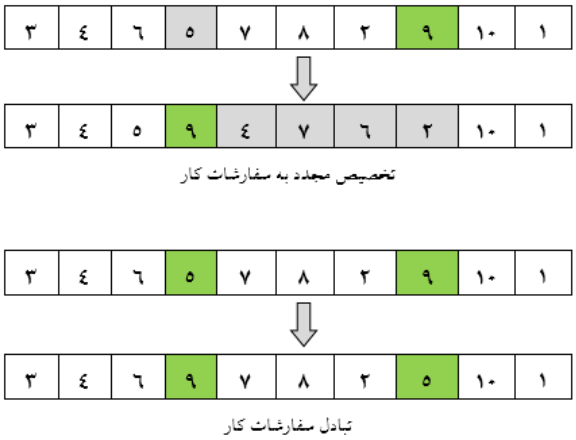
جهش: این فرآیند برای ایجاد تغییر و جلوگیری از واگرایی جمعیت به‌کار برده می‌شود، این فرآیند به‌طور یکسان برروی جمعیت اقدام می کند تا در پارتوی توزیع شده گوناگونی بیشتری ایجاد کند. در این حالت یک عدد تصادفی در بازه‌ی درایه‌های تصادفی، تولید می شود. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده‌ی محل جهش در جمعیت والد است، سپس اگر در محل درایه عدد صفر بود به عدد یک تبدیل و اگر عدد یک بود به صفر تبدیل می‌شود و فرزند جدید تولید می‌شود. فرآیند جهش سفارش کار ها در شکل (۶) آورده شده است.





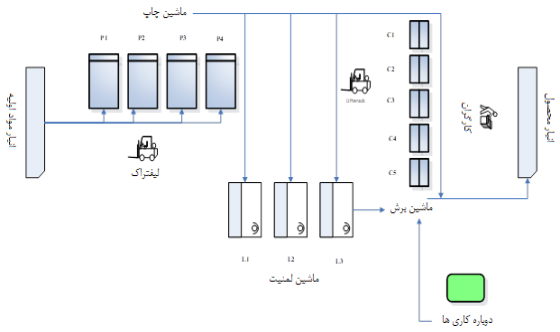


شکل (۵): **فرآیند تقاطع فعالیت ومهارت و سفارشات کار**



شکل (۶): **فرآیند جهش در سفارشات کار**

فرآیند جهش عملیات به سفارش کار و مهارت به عملیات نیز به همین صورت اتجام می شود.عملکرد صحیح الگوریتم ارائه شده جهت حل مدل به پارامتر های تنظیمی آن مرتبط است. به منظور حل مدل ریاضی ارائه شده توسط الگوریتم ترکیبی NSGA-II و ALO به ارائه یک مثال عددی پرداخته می شود.داده ها به صورت تصادفی از یک مجموعه تولیدی که در صنعت چاپ فعالیت دارد، استخراج شده است. زمان استاندارد تولید سفارشات بر اساس اطلاعات واقعی خط تولید مذکور به دست آمده است. در شکل (۷) نحوه ی استقرار سالن تولید آورده شده است، این سالن شامل ۴ دستگاه چاپ، سه دستگاه لمینیت و ۵ واحد بسته بندی است. جهت حل این مسأله از نرم‌افزار MATLAB R2018a بهره گرفته می‌شود که در یک پردازنده Intel® Core™ i72670Qm CPU@2. 20GHz جرا می‌شود.



شکل (۷): جانمایی سالن چاپ

مطالعه موردی برای برنامه سفارشات روی دستگاه های چاپ صورت می گیرد. به منظور تنظیم داده های مسئله از روش تاکوچی استفاده شده است .به دست آوردن داده ها به توسط این روش به این صورت است که در مثال عددی به تعداد اجراهایی که تاکوچی مشخص می کند ، مسئله از طریق مثال عددی حل می شود و در گام بعدی

شاخص های اندازه گیری عملکرد برای مثال، مشخص می شود.[۲۱]

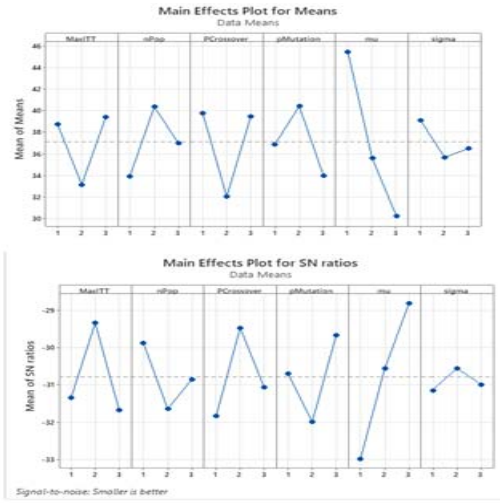
به‌منظور بی‌مقیاس کردن داده ها از رابطه‌ی درصد نسبی انحرافRPD استفاده می‌گردد.[۱۱]

$$RDP = \frac{Alg_{sol} - Min_{sol}}{Min_{sol}} \times 100 \quad (۱۸)$$

Alg_{sol} مقادیر عینی الگوریتم برای داده‌های مسأله است. Min_{sol} بهترین راه حل است که برای هر نمونه به‌دست می‌آید. مقادیر کمتر RPD ترجیح داده می‌شوند.تاگوچی برای تنظیم داده ها، رابطه ی S/N[۴] را مبنا قرار می دهد، این رابطه بیانگر تغییرات میانگین است و هر چه مقدار بزرگتری داشت باشد ، بهتر است.[۱۰]

$$SN\ Ratio = -10\log(RPD)^2 \quad (۱۹)$$

اهمیت زمان حل الگوریتم در مسئله بالانس آنلاین بار،موجب می شود که زمان حل نیز به‌عنوان معیار ارزیابی عملکرد به مسأله اضافه شود؛ سپس این معیارها را با استفاده از روش انحراف درصد نسبی بی‌مقیاس کرده و جمع وزنی آن‌ها به نرم‌افزار داده می‌شود. در شکل (۸) نمودار آنالیز تاگوچی آورده شده است که نشان می‌دهد پارامترها به‌درستی تنظیم شده اند.



شکل (۸): جدول آنالیز تنظیم پارامترها با استفاده از روش تاکوچی

راه حل به صورت یک رشته جواب در خصوص تخصیص سفارشات کار به ماشین هایی است که به لحاظ بار لود شده فشار کمتری روی آن ها وارد است. برای انجام الگوریتم ترکیبی ALO و NSGA-II، اندازه‌ی جمعیت را برابر ۳۰ و احتمال تقاطع و جهش را برابر ۰/۷ و ۰/۴ درنظر گرفته‌ایم. مقادیر بهینه الگوریتم ترکیبی به شرح جدول (۴) می باشد.

جدول (۴): مقادیر بهینه الگوریتم ترکیبی ALO و NSGA-II

پارامتر	تعریف	سطح بهینه
MaxITT	حداکثر تعداد تکرارهای الگوریتم	۱۰۰
nPop	تعداد جمعیت اولیه	۳۰
PCrossover	احتمال انجام تقاطع	۰/۷
pMutation	احتمال انجام جهش	۰/۴
mu	نرخ جهش	۰/۰۲
sigma	اندازه‌ی گام جهش	۰/۰۶

مقادیر مثال عددی براساس داده‌های تصادفی در یک مقطع از سیستم تولید آورده شده است. سفارشات کار در یک خط تولید چاپ در لحظه بین ۳۰ سفارش کار می‌باشد که می بایست به چهار ماشین چاپ تخصیص داده شود. برای مهارت نیروی انسانی، سه سطح عالی ، متوسط و ضعیف در نظر گرفته می شود. جهت هزینه نیروی انسانی و هزینه تعمیرات بر اساس داده های واقعی، واحد مالی در نظر گرفته شد تا از لحاظ کردن واحد های پولی اجتناب شود. جهت محاسبه‌ی فاصله‌ی ازدحام پنج تابع هدف در مسأله داریم. برای محاسبه‌ی این مقادیر، هر پنج هدف را به صورت جداگانه توسط الگوریتم ترکیبی حل نموده و بهترین و بدترین حل‌های به‌دست آمده آورده می شود؛ برای مثال عددی موردنظر، آن را به تعداد ۱۰۰ مرتبه اجرا و نتایج حاصله را در جدول (۵) نمایش و سپس به تحلیل آن می‌پردازیم. متوسط زمان محاسبات ۱۹/۴ ثانیه در صد مرتبه تکرار ثبت گردید. پس از تعیین مقادیر اهداف، توالی تخصیص سفارشات کار مطابق الگوریتم ارائه شده در جدول شماره (۶) نشان داده می شود. مطابق جدول (۷) برمبنای منطق روش رابین‌هود توالی تخصیص سفارشات کار به ماشین‌های چاپ نشان داده شده است. ازآنجایی‌که هدف از بهینه‌سازی چندهدفه، یافتن مجموعه جواب‌های پارتو (نامغلوب) مسأله‌ی موردنظر است؛ ازاین‌رو، شکل (۹) نشان‌دهنده‌ی نمودار پارتوی حاصل از اجرای الگوریتم ترکیبی چندهدفه ارائه شده برای حل مدل با درنظر گرفتن پنج تابع کمینه سازی می‌باشد. در بین مجموعه جواب‌های پارتو پنج پاسخ به‌عنوان بهترین مقدار در این اجرا محسوب می‌شوند که این پنج مقدار در جواب‌های پارتو به‌شرح زیر می‌باشند:

بهترین جواب Z۱: ۳۵۰ واحد مالی برای هدف کمینه کردن هزینه نیروی انسانی

بهترین جواب Z۲: ۹۴ واحد مالی برای هدف کمینه کردن هزینه تعمیرات و نگه داری ماشین آلات

بهترین جواب Z۳: ۱۵۲۹ دقیقه برای هدف کمینه کردن کمینه کردن زمان تکمیل فرآیندتولید کلیه محصولات بر روی سیستم

بهترین جواب Z۴: ۱۳۵۹ دقیقه برای هدف کمینه کردن میانگین زمان فرآیند تولید محصول بر روی ماشین های مختلف

بهترین جواب Z۵: ۲/۹۱ بار برای هدف کمینه کردن میانگین اختلاف بار ماشین های مختلف نسبت به بار میانگین یا کمینه کردن

[4] Signal to noise (S/N)

انحراف معیار استاندارد بار ماشین های مختلف نسبت به بار میانگین کل ماشین ها

جدول (۵): مقدار توابع هدف در مجموعه جواب‌های پارتو در تکرارهای مختلف

تکرار	Z۱	Z۲	Z۳	Z۴	Z۵	تکرار	Z۱	Z۲	Z۳	Z۴	Z۵
۱	۳۷۳	۱۳۶	۱۶۱۲	۱۳۶۷	۲/۹۹	۱۶	۳۵۲	۱۳۲	۱۶۲۱	۱۴۲۲	۲/۹۱
۲	۴۰۶	۱۰۳	۱۵۵۸	۱۵۵۷	۳/۱	۱۷	۳۷۹	۱۰۶	۱۶۱۷	۱۳۶۰	۲/۹۳
۳	۳۸۵	۱۱۰	۱۵۷۳	۱۳۹۵	۳	۱۸	۳۸۷	۱۱۶	۱۵۶۰	۱۵۳۶	۳/۰۶
۴	۳۹۷	۱۴۳	۱۵۷۰	۱۴۶۲	۳/۲۳	۱۹	۴۰۲	۱۲۳	۱۵۲۹	۱۳۷۳	۲/۹۵
۵	۳۷۱	۹۶	۱۵۳۵	۱۴۶۳	۳/۳	۲۰	۳۸۰	۱۳۶	۱۵۸۱	۱۵۲۰	۳/۲۱
۶	۳۷۶	۱۱۴	۱۵۵۸	۱۵۰۹	۳/۰۸	۲۱	۳۹۰	۱۱۵	۱۵۴۷	۱۵۹۳	۳/۰۱
۷	۳۷۱	۹۷	۱۵۸۸	۱۴۰۷	۳/۰۲	۲۲	۴۱۷	۹۴	۱۵۸۲	۱۴۵۹	۳/۰۹
۸	۳۸۱	۱۱۱	۱۵۹۰	۱۶۰۵	۳/۱۵	۲۳	۴۱۷	۱۰۰	۱۵۷۱	۱۵۸۵	۲/۹۶
۹	۴۱۳	۱۲۰	۱۶۰۶	۱۵۹۵	۲/۹۸	۲۴	۳۸۳	۱۱۵	۱۵۴۹	۱۵۱۸	۳/۱۱
۱۰	۳۷۶	۱۳۲	۱۵۳۱	۱۴۶۰	۲/۹۵	۲۵	۳۵۰	۱۲۰	۱۵۵۷	۱۳۸۸	۳/۰۴
۱۱	۳۷۸	۹۷	۱۵۵۵	۱۴۸۵	۳/۳۴	۲۶	۳۶۷	۱۲۲	۱۵۸۰	۱۴۶۱	۳/۰۲
۱۲	۳۷۷	۱۰۷	۱۶۲۹	۱۵۰۰	۳/۲۶	۲۷	۳۵۶	۱۳۳	۱۵۶۲	۱۶۳۰	۲/۹۳
۱۳	۳۹۱	۱۳۷	۱۵۷۷	۱۳۷۵	۳/۱۹	۲۸	۳۶۳	۹۶	۱۵۸۱	۱۵۲۹	۲/۹۸
۱۴	۳۷۶	۹۵	۱۵۶۶	۱۳۸۱	۳/۰۱	۲۹	۳۹۱	۱۱۴	۱۵۷۴	۱۵۶۶	۳/۰۶
۱۵	۳۸۶	۱۱۲	۱۶۱۲	۱۴۵۶	۲/۹۷	۳۰	۴۱۶	۱۴۵	۱۶۲۷	۱۵۱۷	۲/۹۷

مسأله با روش رابین‌هود ارائه شده توسط کارمیا و دل‌اهمو که در بخش ۲-۲ مقاله توضیح داده شد، با داده های یکسان حل گردید؛ متوسط زمان حل مسأله با روش رابین هود در تکرار های مختلف ۳۲ ثانیه است که نسبت به زمان حل برای مدل ریاضی چند هدفه ارائه شده با استفاده از الگوریتم ترکیبی NSGA-II و ALO طولانی تر می باشد. با توجه به نتایج جدول (۶) که ترتیب قرار گیری سفارشات روی ماشین ها و زمان اتمام آن ها را از طریق روش رابین‌هود نشان می‌دهد، مشخص گردید که زمان اتمام سفارشات با استفاده از روش رابین هود بیشتر است و توازن بار روی ماشین‌ها کمتر می باشد.

انجام محاسبات با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله نشان می دهد که زمان کلی اتمام سفارشات و نهایی شدن تولید نسبت به روش رابین هود کاهش یافته ، توازن بار بهتر شده است. هم چنین با توجه به اینکه محاسبه و حل مدل ریاضی مقاله حاضر و روش رابین هود با سخت افزار و نرم افزار یکسان انجام شده است، زمان انجام عملیات برای الگوریتم ارائه شده در این مقاله ۱۲/۶ ثانیه سریعتر نسبت به روش رابین هود می باشد. درمورد اعتبار سنجی مدل ریاضی ارائه شده و روش حل آن لازم به ذکر است که پژوهش‌های زیادی در ارتباط با مسئله بالانس تولید با اهداف و محدودیت‌های گوناگون صورت پذیرفته است، اما پرداختن به مسئله بالانس آنلاین بار و لحاظ نمودن مولفه های زمان اتمام سفارشات، هزینه های نیروی انسانی و تعمیرات نگه داری به عنوان هدف مسئله، پژوهش جدیدی است که در این مقاله ارائه گردیده است. این مقاله می‌تواند اقدام تازه ای برای پژوهش های بعدی در این چارچوب باشد. پیرو این توضیحات، امکان مقایسه‌ی نتایج با دیگر تحقیقات میسر نیست. ارائه ی مثال عددی و مقایسه الگوریتم ها مورد بحث در این مقاله به بررسی اعتبار نتایج می پردازد. با توجه به جداول شماره های (۶) (۷) مشاهده می شود و جواب هدف پنج، مشاهده می شود که رویکرد ارائه شده در این مقاله به لحاظ زمانی و بار وارد به ماشین آلات توازن بسیار بهتری را نسبت به روش رابین هود ایجاد کرده است.

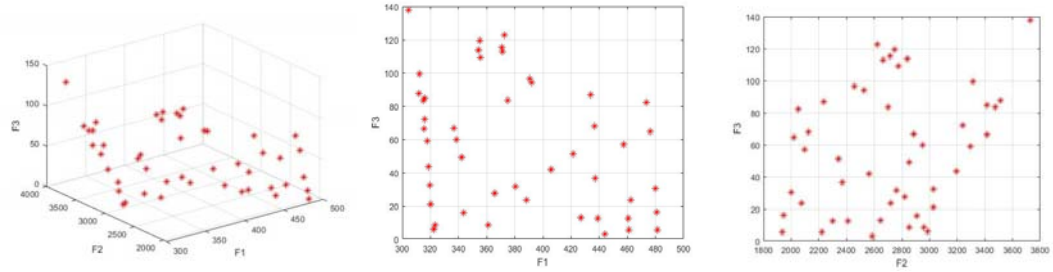
جدول (۶): ترتیب تخصیص سفارشات به ماشین‌ها

تخصیص سفارشات کار برروی دستگاه‌های چاپ با استفاده از حل مدل برنامه ریزی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ترکیبی NSGA-II, ALO							
ماشین چاپ۱		ماشین چاپ ۲		ماشین چاپ ۳		ماشین چاپ ۴	
سفارش	زمان تولید	سفارش	زمان تولید	سفارش	زمان تولید	سفارش	زمان تولید
۴i	۳۶	۱۰i	۴۱	۹i	۵۱	۱۸i	۴۹
۲i	41	۸i	۳۵	۱۱i	۴۹	۲۳i	۳۹
۲۷i	۵۴	۱۷i	۴۰	۲۵i	۶۰	۲۲i	۴۹
۲۶i	۴۳	۱۶i	۳۵	۱۲i	۴۷	۲۸i	۵۱

۵۳	۲۰i	32	۲۴i	۴۱	۷i	۳۰	۱۵i
۵۰	۶i	۳۵	۱i	۵۹	۵i	۴۶	۱۹i
۵۲	۳i	۴۶	۱۳i	44	۲۱i	۳۷	۳۰i
				۴۷	۲۹i	۴۴	۱۴i
۳۴۳		۳۴۳		۳۴۲		۳۴۱	مجموع زمان

جدول (۷): ترتیب تخصیص سفارشات به ماشین‌ها

تخصیص سفارشات کار برروی دستگاه‌های چاپ با استفاده از الگوریتم رابین‌هود نسل دوم											
ماشین چاپ ۴			ماشین چاپ ۳			ماشین چاپ ۲			ماشین چاپ ۱		
زمان تولید	بار	سفارش	زمان تولید	بار	سفارش	زمان تولید	بار	سفارش	زمان تولید	بار	سفارش
۴۶	۳/۹۷	۱۳i	۵۱	۴/۳۵	۹i	۵۲	۳/۵۲	۳i	۴۷	۴/۵۸	۱۰i
۳۵	۳/۰۸	۸i	۴۷	۳/۶۴	۱۲i	۵۱	۳/۵۷	۲۸i	۵۴	۳/۵۲	۲۷i
۴۷	۲/۳۶	۲۹i	۵۹	۲/۹۹	۵i	۴۴	۳/۰۴	۲۱i	۴۱	۳/۷۳	۲i
۴۰	۲/۸۷	۱۷i	۴۹	۳/۲۰	۱۱i	۴۳	۳/۴۰	۲۶i	۳۵	۲/۹۶	۱۶i
۳۰	۳/۱۳	۱۵i	۳۹	۳/۲۰	۲۳i	۳۲	۲/۸۸	۲۴i	۴۱	۳/۱۱	۷i
۴۴	۴/۸۸	۱۴i	۳۶	۲/۴۶	۴i	۳۷	۲/۴۱	۳۰i	۵۳	۳/۰۴	۲۰i
۴۶	۲/۹۲	۱۹i	۵۰	۳/۴۰	۶i	۳۵	۲/۹۸	۱i	۶۰	۳/۵۰	۲۵i
						۴۹	۳/۹۱	۱۸i	۴۹	۳/۴۱	۲۲i
۲۸۸	۳/۳۲	۳۳۱	۷۵۰	۳/۳۲		۳۴۳	۳/۲۱		۳۸۰	۳/۴۸	مجموع



شکل (۹): نمودار پارتو اجرای الگوریتم **ALO,NSGA-II** برای مثال حل شده

۵- نتیجه گیری

رویکرد جدید ارائه شده در این مقاله، این قابلیت را به موضوع برنامه ریزی خط تولید می دهد که مولفه های تاثیر گذار در مسئله بالانس را در برنامه ریزی دخیل نماید. بررسی سوابق پژوهش های انجام شده در پنجاه سال اخیر در خصوص بالانس خط تولید مشخص می کند که تمرکز تحقیقات بر کاهش زمان دوره تولید و کاهش ایستگاه های کاری بوده است.[۵] در تحقیقات بالانس آنلاین بار نیز مسایل تنها به موازنه بار پرداخته اند که مشکل این روش ها نیز کندی الگوریتم در مواجه با مسائل پیچیده و زیاد بودن تعداد سفارشات کار و ماشین آلات می باشد. در نظر گرفتن مولفه های بار سفارشات کار، مهارت نیروی انسانی، آماده به کار بودن ماشین آلات و مبحث تعمیر و نگه داری و کاهش زمان دوره تولید به عنوان اهداف اصلی مسئله بالانس خط تولید می باشد. ارائه الگوریتم تلفیقی NSGA-II,ALO جهت حل مسئله، منجر به ارائه روش جدیدی در حل مسائل پیچیده بالانس خط تولید شد. الگوریتم ارائه شده چون از ویژگی هر دو روش NSGA-II,ALO در حل مسئله بهره می برد، سابقه‌ی سفارش قبلی را در برنامه ریزی سفارش جدید دخیل می نماید که این می تواند سبب ایجاد موازنه بار نزدیک به بهینه در سیستم تولید گردد، ویژگی دیگر اینکه در تولید جمعیت اولیه تصادفی عامل برازندگی جمعیت به خاطر وِیژگی روش شیر مورچه دخیل می گردد که جمعیت اولیه و والدین با کیفیت را برای تولید فرزندان نخبه درپی خواهد داشت.

تعیین راه حل های معتبر و بهینه سازی مسئله بالانس، حجم و زمان زیاد محاسبات را در پی دارد، بهره بردن از روش حلی که بتواند

منطق جستجوی جواب را با داشتن حافظه از حیث تاثیر گذاری سوابق سفارش قبلی رعایت کند و حجم و زمان محاسبات را کاهش دهد از ویژگی های رویکرد حل مسئله در این مقاله است.

پرداختن به ابعاد مختلف در برنامه ریزی و ایجاد توازن در خطوط تولید، سیستم های کارگاهی و مونتاژ، موضوع جدیدی است که مباحث مختلفی برای پژوهش های آینده در این راستا را نیاز دارد. این مباحث به شرح ذیل می باشد:

- توسعه مدل ریاضی ارائه شده در مباحث غیر قطعی و فازی
- بررسی روش بهینه‌سازی چندهدفه مختلف جهت حل مدل برنامه ریزی ارائه شده به منظور ارزیابی کیفیت جواب ها و طول زمان محاسبات

منابع و مأخذ

[۱] رحمانی، نیما. ایرج پور، علیرضا. حمیدی، ناصر. عالم تبریز، اکبر. احتشام رایی، رضا. (۱۳۹۹). **توسعه الگوریتم موازنه بهنگام بار در سیستمهای کارگاهی (مطالعهی کمّی)**. نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید, ۱۷(۸), ۴۳۷-۴۵۱.

[2] Alavidoost, MH., Babazadeh, H., Sayyari ST. (2016). **An Interactive Fuzzy Programming Approach for Bi-Objective Straight and U-Shaped Assembly Line Balancing Problem**. Appl Soft Comput 40, 22-35.

[3] Alvarez-Miranda, E., Chace, S., Pereira, J. (2021). **Assemly Line Balancing With Parallel Workstations.** Int.J.Prod.Res 59(21), 6486-6506.

[4] Azar,Y., Broder, A., Karlin, A. (1994). **On-Line Load Balancing** . Theoretical Computer Science, 73-84.

[5] Blum, C., Puchinger, J., Raidl, G. R., Roli, A. (2011). **Hybrid Metaheuristics in Combinatorial Optimization: A Survey**. Applied Soft Computing, 11, 4135-4151.

[6] Boysen, N., Schulze, P., Scholl, A. (2022). **Assembly Line Balancing: What Happened in the Last Fifteen Years?** European Journal of Operational Research 301, Issue 3, 797-814.

[7] Caramia, M., Dell'Olmo, P. (2006). **Effective Resource Management in Manufacturing Systems Optimization Algorithms for Production Planning. Pringer Series in Advanced Manufacturing.**

[8] Dokeroglu, T., Sevinc, E., Kucukyilmaz, T., Cosar, A. (2019). **A Survey on New Generation Metaheuristic Algorithms**. Computers & Industrial Engineering,, 137, 106-114.

[9] Girit, U., Azizoglu, M. (2021). **Rebalancing the Assembly Lines With Total Squared Workload and Total Replacement Distance Objectives.** International Journal of Production Research, 59 (22), 6702–6720.

[10] Hamta, N., Fatemi Ghomi, S.M.T., Jolai, F., Akbarpour, M. (2013). **A Hybrid PSO Algorithm for a Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem With Flexible Operation Times**, Seluence-Dependent Setup Times and Learning Effect. 141, 99-111.

[11] Hamta, N., Fatemi Ghomi, S.M.T., Jolai, F., Bahalke, U. (2011). **Bi-Criteria Assembly Line Balancing by Considering Flexible Operation Times.** Applied Mathematical Modelling, 35, 5592-5606.

[12] Konishi, T., Kojima, H., Nakagawa, H., Tsuchiya, T. (2020). **Using Simulated Annealing for Locating Array Construction.** Information and Software Technology., 126, 106346.

[13] Liu, X., Yang, X., Lei, M. (2021). **Optimisation of Mixed-Model Assembly line Balancing Problem Under Uncertain Demand**. Journal of Manufacturing Systems 59, 214-227.

[14] Mirjalili, S. (2015). **The Ant Lion Optimizer**. Advances in Engineering Software, 83, 80-98.

[15] Paksoy, T., Özceylan, E.,Gökçen, H. (2012). **Supply Chain Optimisation With Assembly Line Balancing.** International Journal of Production Research 5, 3115-3136.

[16] Salveson, M.E. (1995). **The Assembly Line Balancing Problem**. The Journal of Industrial Engineering, 18-25.

[17] Samoei, P., Fattahi, P. (2016). **Comparison and Analysis on the Use of Metacognitive Algorithms to Solve Workshop Production Scheduling Problems**. Journal of Operations Research in its Applications, Volume I, 52, 63-76.

[18] Shokouhifar, M., Jalali, A. (2017). **Simplified Symbolic Transfer Function Factorization Using Combined Artificial Bee Colony and Simulated Annealing.** Applied Soft Computing, 55, 436-451.

[19] Sikora, C., Lopes, Schibelbain., T., Magatã, D. (2017). **Integer Based Formulation for the Simple Assembly Line Balancing Problem With Multiple Identical Tasks.** Computers & Industrial Engineering 104, 134-144.

[20] Stojanovi´c, I., Brajevi´c, I., Stanimirovi´c, P. S., Kazakovtsev, L. A., Zdravev, Z. (2017). **Application of H euristic and metaheuristic algorithms in solving constrained weber problem with feasible region bounded by arcs.** Mathematical Problems in Engineering.

[21] Taguchi, G. (1986). **Introduction to Iuality Engineering**: Designing Iuality into Products and Processes.

[22] Wei, J., Xu, D., Qin, Y., Huang, R. (2017). **On-Line Load Balancing With Task Buffer.** Computing and Informatics, Vol. 36. doi:10.4149/cai 2017 5 1207