فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال چهاردهم/ شماره ۵۰ / زمستان ۱۳۹۸

ارائه مدل ریاضی جدید MILP جهت بهینه‌سازی خطوط مونتاژ مختلط با رویکرد فراابتکاری روش ABC-PSO

ندا مظفری
دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت صنعتی–تولید و عملیات، دانشکده مدیریت،
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.
حسن مهرمنش (نویسنده مسؤول)
استادیار گروه مدیریت صنعت، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.
Email: Has.mehrmanesh@iauctb.ac.ir
محمود محمدی
استادیار گروه مدیریت صنعت، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۴ * تاریخ پذیرش ۹۹/۰۲/۱۳

چکیده
مسئله متعادل‌سازی خطوط مونتاژ از جمله مسائل بهینه‌سازی است که توسط محققین مختلف بسیاری مورد مطالعه قرارگرفته است. با این‌وجود و پس از شش دهه تحقیق و توسعه، وجود شکافی عمیق بین مطالعات دانشگاهی انجام‌شده در این زمینه با کاربردهای عملی مسئله متعادل‌سازی خط مونتاژ در محیط واقعی صنعت محسوس می‌باشد. به‌همین دلیل این تحقیق با هدف ایجاد تعادل در خطوط مونتاژ مختلط در جهت کاهش هزینه نیروی‌انسانی و کاهش تعداد ایستگاه‌های کاری انجام شده است. برای حل مساله از مجموعه داده شامل ۷ ایستگاه کاری و ۷۰ وظیفه و زمان حل ۵۰۰ ثانیه و زمان انجام هر فعالیت شامل ۲۶۰ فعالیت مشخص، با روابط پیش‌نیازی تعیین شده دو رویکرد کلی به کار گرفته می شود، ابتدا مساله با روش دقیق از طریق نرم افزار گمز مدل حل شده است. سپس یک بار دیگر مساله با الگوریتم فراابتکاری زنبورعسل تغییر یافته در نرم افزار متلب بهینه شده است و در نهایت با استفاده از روش جدید و تلفیقی الگوریتم زنبورعسل هیبریدی و الگوریتم ازدحام ذرات نیز حل شده است و در آخر مقادیر بدست آمده تابع هدف هر دو روش باهم مقایسه شده است و نتایج نشان می‌دهد که مساله با روش ABC-PSO در همان مراحل اولیه بهینه سازی به جواب بهینه رسیده است و مقدار تابع هدف آن به مینیمم مقدار خود رسیده است و کمترین مقدار تخطی قیود را نیز بدست آورده است و نشان از کاهش هزینه و کاهش ایستگاه‌های کاری به ۳ ایستگاه دارد.

کلمات کلیدی: الگوریتم فراابتکاری زنبورعسل، بالانس خطوط مونتاژ ،بهینه سازی، روش MILP II.

۱-مقدمه

در کشور ایران یکی از عمده‌ترین علل عدم استفاده از ظرفیت‌های موجود واحدهای صنعتی، متعادل نبودن خطوط تولید و مونتاژ محصولات است و در حال حاضر. محصولات باید نسبت به گذشته رقابتی‌تر باشند تا بتوانند در برابر تغییرات بازار واکنش نشان دهند. این بدان معنی است که خط تولید باید نسبت به تغییرات مداوم محکم باشد. مشتریان بیشتر متمایل به تولید هستند و بنابراین تولیدکنندگان مجبور به ارائه تنوع وسیعی از محصولات هستند و از این طریق نیاز به طراحی خط مونتاژ مدل مختلط مناسب دارند (Samouei & Ashayeri, 2019). در خطوط مونتاژ مختلط، مدل‌هایی از یک محصول به‌صورت همزمان در یک خط مونتاژ واحد تولید میگردند (Tapakan & et al, 2012). علارغم وجود تفاوت در برخی از ویژگی‌های اجزا محصول فرآیند مونتاژ مدل‌های مختلف محصول تولیدی در این خطوط کاملا شبیه به یکدیگر میباشد (keckl & et al, 2016). به‌طور کلی، این نوع خطوط به تولید کالای همگن واحد برای یک دوره طولانی در مقادیر زیاد اختصاص می‌یابد. در خطوط مونتاژ مدل مختلط مجموعه‌ای از محصولات مختلف به‌طور همزمان در یک خط مونتاژ واحد تولید می‌شوند. تفاوت بین محصولات در خطوط مونتاژ مختلط فقط به گزینه‌های سفارشی یک محصول اساسی محدود نمی‌شود (Jafariasl & et al, 2019). از مهمترین عواملی که در عملکرد خطوط مونتاژ مؤثرند، میتوان به بالانس آنها اشاره کرد که در آن مشخص میشود فعالیتها با توجه به روابط پیش‌نیازی که میانشان وجود دارد به چه شکل به ایستگاه‌ها تخصیص میبابند (Battaia & Dolgui, 2013). در نتیجه از فرآیند بالانس خط مونتاژ انتظار میرود که بهترین ترکیب بین نیروی‌انسانی و تجهیزات و تسهیلات به‌منظور برآورده کردن نیازمندی‌های یک سیستم بدست آید (Mahmoudirad & et al, 2016). ادغام برنامه‌ریزی فرایند و زمان‌بندی یکی از مهمترین توابع برای اجرای برنامه‌ریزی منعطف در یک محیط تولید کارگاهی است (Wang & et al, 2010). شرکت‌ها برای افزایش توان رقابتی خود تلاش می‌کردند با استانداردسازی و بهبود فرآیندهای داخلی خودشان محصولی با کیفیت بهتر و هزینه کمتر تولید کنند. در آن زمان تفکر غالب این بود که مهندسی و طراحی قوی و همچنین عملیات تولید منسجم و هماهنگ، پیش‌نیازی دستیابی به خواسته‌های بازار و در نتیجه کسب سهم بیشتر بازار است به‌همین دلیل سازمان‌ها تمام تلاش خود را برای افزایش کارایی معطوف می‌کردند (Nouridarian & Talei zade, 2018). به‌همین دلیل با بزرگ‌تر شدن سیستم های تولیدی و افزایش اجزا و روابط متقابل بین آنها، بیش از پیش به پیچیدگی آنها افزود تا حدی که فرآیند تصمیم‌گیری، هدایت و کنترل را بسیار حساس و مشکل ساخت. به‌همین‌دلیل از مدت‌ها قبل، برای شناخت و بهبود عملکرد سیستم‌ها و تصمیم‌گیری در مورد آنها، روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی نظیر تجزیه و تحلیل‌های ریاضی، مشاهده عینی و تجربی و فنون مختلف پژوهش عملیاتی ابداع شده اند. علاوه بر ظهور رایانه‌ها، بهبود و توانایی‌های محاسباتی سریع و ارزان، روش شبیه‌سازی نیز به روش‌های فوق اضافه گردید (Aghajani & et al, 2014). ظرفیت موثر، ماکزیمم مقدار کاری است که یک سازمان قادر به تکمیل در یک دوره زمانی با توجه به محدودیت‌هایی مثل مشکلات کیفیت، تاخیرها، جابجایی مواد و غیره است (Anthory, 2016). مسائل بالانس خط مونتاژ جز مسائل چندهدفه سخت هستند و روشهای فراابتکاری بطور وسیعی برای حل آن پیشنهاد شده است (Zhang & et al, 2011). بسیاری از مدلهای بهینه‌سازی دارای متغیرهای پیوسته و عدد صحیح بوده که به صورت خطی و تفکیک پذیر در قیدها و تابع هدف قرار دارند. در مدلهای ریاضی این‌گونه مسائل به صورت مدلهای عدد صحیح مختلط خطی[1] بیان میشوند (Hossainy malekabady, 2012). همچنین در تحقیقی نشان داده شده است که به‌کارگیری خواص هندسی در مدل MILP باعث کاهش چشمگیر متغیرهای تصمیم صفر و یک شدند. این روش باعث کاهش تکرارهای سیمپلکس در طول حل مساله نیز میشود (Ding & et al, 2011). با توجه به تنوع روزافزون محصول که در صنعت تولید با آن روبرو هستیم، بازده سرمایه‌گذاری فقط با استفاده از سیستم‌های مونتاژ چند محصول قابل حفظ است. در چنین سیستم‌هایی، طراحی محصول، برنامه‌ریزی فرایند و مشکلات برنامه‌ریزی تولید مربوط به محصولات مختلف به شدت به‌هم پیوسته‌اند. مشکلات بهینه‌سازی مشترک مربوط به طراحی تحمل محصول و پیکربندی منابع مونتاژ برای اولین بار به‌عنوان

[1]. MILP

یک برنامه خطی با عدد صحیح مختلط تدوین می‌شود (Tsutsumia & et al, 2020). بنابراین مدیران با توجه به پیچیدگی سیستمها، باید با استفاده از ابزارهای مناسب مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی اعداد صحیح، شبیه‌سازی، تئوری صف و ... که برای تحلیل سیستمهای وجود دارند، برنامه‌ریزی صحیحی انجام داده و از به‌هدر رفتن منابع جلوگیری کنند (Company & et al, 2011). طرح‌ریزی فرآیند تولید نیز شامل تعیین مناسب‌ترین و کارآمدترین فرآیندهای ساخت مونتاژ و نیز تعیین توالی آنها به منظور تولید یک محصول (قطعه)، مطابق با مشخصه‌های مورد نیازی است که در مستندات طراحی محصول، ذکر شده است (Adithan, 2007). زمانبندی نیز در تلاش است تا براساس برنامه تعیین شده فرایند، تخصیص منابع و زمانبندی بهره برداری از آنها برای عملیات تولید را بر مبنای معیارهای کمی و کیفی بهینه‌سازی کند. برنامه‌ریزی فرآیند و زمان‌بندی در یک سیستم تولید انعطاف پذیر و یافتن ترکیبی بهینه یکی از مسائل NP-HARD می‌باشد (Taghavi fard, 2011). و یافتن جواب بهینه در زمان معقول با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی امکان‌پذیر نمی‌باشد (Mohamadi zanjirani &et al, 2012). چرا که در دنیای واقعی بسیاری از پارامترهای کلیدی برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت هستند و نیاز است تا تاثیر آنها در فرآیند برنامه‌ریزی در نظر گرفته شود. لحاظ نکردن عدم قطعیت در فرآیند برنامه‌ریزی باعث کاهش کارایی و اثربخشی تصمیمات در مرحله‌ی اجرا خواهد شد. علاوه بر آن تصمیم‌گیری هم‌زمان تخصیص کارها به تسهیلات و تعیین توالی آنها، بر پیچیدگی‌های این مسئله می‌افزاید (Hassnai, 2018). مسائل برنامه‌ریزی تولید عموما به‌عنوان مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مدل‌سازی می‌شوند و به علت پیچیدگی محاسباتی بالا و ذاتی این نوع مسائل، از طریق‌الگوریتم‌های فرابتکاری حل می‌شوند.، در مطالعات پیشین، غالباً سیستم‌های صنعتی از طریق تکنیک‌های مهندسی برنامه‌ریزی و طرح ریزی می‌شوند تا به‌واسطه کاهش زمان مونتاژ و افزایش میزان تولید، زمینه بهبود بهره‌وری فراهم گردد (Makssoud & et al, 2015). در این تحقیق با ارائه یک مدل MILP از تلفیق محدودیت‌های مسائل TSALB (یعنی محدودیت فضا) و محدودیت مسائل UALBP (یعنی محدودیتی که بیان می‌کند، یک وظیفه در سمت ورودی باید پیش‌نیازی را رعایت و یک وظیفه در سمت خروجی باید تخصیص پس‌نیازی را رعایت کنند)، و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ABC-PSO که در تحقیقات پیشین مشابه به آن پرداخته نشده است می‌پردازد.

۲-مواد و روش‌ها

الف) پیشینه تحقیق

مدل ریاضی مسئله خط بالانس برای اولین بار در سال ۱۹۵۵ توسط سالوسون[2] ارایه شده است و مسائل متعادل‌سازی بیش از چند دهه توسط پژوهشگران به‌دقت مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل سنتی یک خط مونتاژ، یک سیستم تولیدی است که از ترکیب ایستگاه‌های کاری متوالی تشکیل شده است، به‌طور معمول با استفاده از برخی از تجهیزات انتقال مواد برای حمل قطعات در پایین خط با سرعت ثابت، مشکل متعادل‌سازی خط مونتاژ یک مشکل برنامه‌ریزی تولید است که مربوط به اختصاص وظایف به ایستگاه‌های روی خط مونتاژ است، اولین بار به‌عنوان یک مسئله برنامه‌نویسی ریاضی مطرح و تدوین شده است (Pearce & et al, 2019). بیشتر پژوهش‌های انجام شده بر روی دو نوع از مسائل بالانس خطوط مونتاژ متمرکز شده‌اند. در مسئله نوع اول، زمان سیکل خط مونتاژ به‌عنوان ورودی مسئله در نظر گرفته شده است و هدف کاهش تعداد ایستگاه‌های کاری است و در مسئله نوع دوم، تعداد ایستگاه‌های مونتاژ به عنوان ورودی مسئله معین است و تابع هدف کمینه زمان سیکل کاری است (Samaria & Vilarinho, 2004). اغلب این مطالعات بر دو نوع از محدودیت‌ها تمرکز داشته و در نهایت با استفاده از روش‌های ریاضی و الگوریتم های فراابتکاری به بهینه‌سازی مدل پرداخته اند. ونکسیانگ کو و همکارانش بیان داشتند که مسائل بهینه‌سازی نقش مهمی را در حوزه‌های کاربردی صنعتی و در دنیای تحقیقات علمی بازی می‌کنند و همچنین به اهمیت حل مسائل بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های فراابتکاری و تاکید بر الگوریتم زنبورعسل به‌جهت مکاشفه‌ای بودن این الگوریتم پرداختند (Wengxiang gu & et al, 2012). هوانگ و همکاران رویکردهای الگوریتم ژنتیک را برای حل مشکل تعادل با هدف به حداقل رساندن تعداد ایستگاه‌ها ارائه کردند (Hwang, 2008). متی کوویستو به بررسی اهمیت

[2]. Salouson

مدل‌سازی و شبیه‌سازی در صنعت به‌جهت بیشینه‌سازی حاشیه سود پرداختند (Matti Koivisto, 2017). در سال ۲۰۱۲ یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای خطوط مونتاژ U توسط ربانی و همکاران ارائه شد (Rabbani & et al, 2012). با مطالعه‌ی این تحقیات مشخص می‌شود که بیشتر موضوعات کار شده از طریق الگوریتم‌های فراابتکاری انجام شده‌اند. لذا برقراری تعادل برای حل مسائل خطوط مونتاژ عمدتا بر توسعه الگوریتم‌های فراابتکاری تاکید داشت و توجه به مدل ریاضیاتی خیلی بالا نبود. لی و همکارانش با استفاده از مدل‌های ریاضی در بحث خطوط مونتاژ در جهت رسیدن به تعادل با استفاده از روش‌های فراابتکاری پرداختند (Li & et al, 2017). فلساز به چگونگی استفاده از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به‌جهت حل مشکل تعادل در خطوط مونتاژ پرداخت (Felesaz, 2017). و همچنین باچین و همکارانش نیز در همان سال به بررسی روش‌هایی از مدل ریاضی عدد صحیح مختلط در جهت حل مشکل تعادل در خطوط مونتاژ پرداخته است (Bukchin, 2017). و در ادامه تحقیقات مرتبط پاپویوز و همکارانش از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به‌جهت تعیین تعداد بهینه تجهیزات اتوماسیون برای نصب در شبکه توزیع با توجه به انواع مختلف دستگاه‌ها در راستای رسیدن به تعادل پرداختند (Popovic & et al, 2017). اکپینار و همکارانش به بررسی مشکل تعادل با هدف اختصاص کارهای مشابه به ایستگاه‌های کاری مشابه و مقایسه نتایج با فرمول‌نویسی خطی پرداختند (Akpinar & et al, 2017). تقوی فرد در سال ۱۳۹۰ به ارائه یک مدل ریاضی جدید جهت مسائل خطوط مونتاژ پرداخت (Taghavi fard, 2011). چن برای تعادل و برنامه‌ریزی تولید در تولید سلولی و توجه به اینکه مسئله از نوع NP-Hard است از روش جدید برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک مدل را توسعه دادند (chen, 2018). سیکورا همکارانش نیز در سال ۲۰۱۸ برای متعادل‌سازی خطوط مونتاژ انعطاف پذیر از روش چرخه‌ای ترتیب گذاری هیبرید استفاده کردند (Sikora & et al ,2018). در تحقیق لی و همکاران هدف کاهش تعداد ایستگاه‌های کاری و محدودیت‌های تخصیص وظایف و محدودیت زمان انجام فعالیت‌ها مدنظر قرار داده گرفته و از این‌رو، یکی از محورهای پیشنهادی جهت تحقیقات آتی، توسعه مدل‌های ریاضی با لحاظ کردن چندین محدودیت و بطور همزمان مقایسه نتایج چند روش‌های فراابتکاری می‌باشد. با توجه به همین توصیه تحقیق حاضر محدودیت فضای مجاز ایستگاه‌ها را نیز در مدل توسعه داده شده لحاظ کرده است.

ب) مدل‌سازی ریاضی

در مسائل بهینه‌سازی باید متغیرهای مسئله مشخص‌شده، و بر حسب این متغیرها، تابع هدف و قیود مساله مشخص‌گردند. تابع هدف بسته به اهداف مورد نظر در برنامه‌ریزی متفاوت خواهد بود و میتواند فاکتورهای مختلفی مانند هزینه، و... را شامل گردد. تابع هدف بیانگر میزان اولویت‌های اختصاص یافته به مصارف و منابع می‌باشد و قیود مجموعه محدودیت‌های فیزیکی در مسئله را بیان می‌کند.

۱- مجموعه‌ها(ایندکس‌ها):

I ، p و q وظایف

n تعداد کل وظایف

m کران بالای تعداد ایستگاه‌ها

CT نشان‌دهنده زمان چرخه

پارامتر t_i نشان‌دهنده زمان عملیات وظیفه i است

پارامتر j شاخصی برای ایستگاه‌ها است

۲- متغیر تصمیم:

Z_j یک متغیر دودویی برای بررسی این است که آیا ایستگاه j استفاده شده است یا نه(اگر ایستگاه j استفاده شده باشد 1 و در غیر این صورت 0)

x_{ij} و y_{ij} متغیرهای دودویی برای توصیف تخصیص وظیفه هستند. اگر وظیفه i به طرف ورودی ایستگاه j تخصیص یافته باشد x_{ij}=1 درغیر این‌صورت x_{ij}=0 و اگر وظیفه i به طرف خروجی ایستگاه j تخصیص یافته باشد y_{ij}=1 و در غیر این صورت y_{ij}=0.

۳- تابع هدف و محدودیت‌ها (برگرفته از مدل اوربان و چیانگ):

رابطه(۱)

$$Min \sum_{j=1}^{m} z_j \sum_{j=1}^{m} EC_j$$

رابطه(۲)

$$\sum_{j=1}^{m} (x_{ij} + y_{ij}) = 1 \; for \; i = 1, \dots, n$$

رابطه(۳)

$$\sum_{i=1}^{n} t_i \,.\, (x_{ij} + y_{ij}) \leq CT \; for \; j = 1, \dots, m$$

رابطه(۴)

$$\sum_{j=1}^{m} (\mathrm{m} - \mathrm{j} + 1).\left(x_{pj} - x_{qj}\right) \geq 0 \; \forall (p,q) \in \wp$$

رابطه(۵)

$$\sum_{j=1}^{m} (\mathrm{m} - \mathrm{j} + 1).\left(y_{qj} - y_{pj}\right) \geq 0 \; \forall (p,q) \in \wp$$

رابطه(۶)

$$\sum_{i=1}^{n} \left(x_{ij} + y_{ij}\right) \leq \emptyset . z_j \; for \; j = 1, \dots, m$$

رابطه(۷)

$$\sum_{j=1}^{m} S_j \, Z_j \; \leq SC$$

$$x_{ij}, y_{ij}, z_i \in \{0,1\} \; for \; all \; i,j$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رابطه (۲) نشان می‌دهد که یک وظیفه یا به سمت ورودی یا به سمت خروجی اختصاص داده می‌شود (چیدمان تجهیزات u شکل) ، رابطه (۳) یعنی زمان انجام فعالیت‌ها از زمان سیکل فرآیند تجاوز نکند، رابطه (۴) نشان می‌دهد که وظیفه q وقتی‌که تمام فعالیت‌های پیشین‌آن تخصیص یافته باشند قابل تخصیص است، در حالی که رابطه (۵) نشان می‌دهد که وظیفه p اگر تمام فعالیت‌های پسین‌های آن تخصیص یافته باشند قابل تخصیص است. و رابطه (۶) برای بیان تعادل ایستگاه‌ها می‌باشد و در آخر رابطه (۷) برای بیان حداکثر فضای مجاز ایستگاه‌ها می‌باشد. رابطه ۴ و ۵ از مدل مسائل USALBP و رابطه ۷ از مدل مسائل TSALBP برگرفته شده‌اند.

ج) فرضیات بنیادین مدل:

۱. انواع دستگاه ها و ویژگی های آنها از قبل شناخته شده اند. هزینه هر دستگاه شامل هزینه خرید و هزینه عملیاتی می باشد.
۲. روابط پیش نیازی بین فعالیتهای مونتاژ مشخص هستند.
۳. فعالیت ها نمی توانند به عناصر کوچکتری تقسیم شوند.
۴. زمان انجام فعالیت ها قطعی است، اما ممکن است متفاوت باشد، مادامیکه نوع تجهیزات تغییر کند.
۵. یک فعالیت میتواند در هر ایستگاه خط مونتاژ انجام شود، بشرطی که نوع تجهیزات اختصاص یافته به ایستگاه بتواند این فعالیت را انجام داده و از روابط پیش نیازی پیروی کنند.
۶. کل زمان ایستگاه نمی تواند از زمان سیکل مشخص شده تجاوز کند.
۷. زمانهای حمل و نقل مواد، بارگیری و تخلیه بار در زمانهای فعالیتها لحاظ شده است.

د) روش حل

برای حل مساله دو رویکرد کلی به‌کار گرفته می شود. برای ارزیابی مساله از مجموعه داده شامل ۷ ایستگاه کاری و ۷۰ وظیفه و زمان حل ۵۰۰ ثانیه و زمان انجام هر فعالیت شامل ۲۶۰ فعالیت مشخص، با روابط پیش نیازی تعیین شده، ابتدا مساله در نرم افزار گمز حل می شود. سپس یک بار دیگر مساله با الگوریتم فراابتکاری زنبورعسل تغییر یافته در نرم افزار متلب حل شده و نتایج آن با روش دقیق مقایسه می شود و از این طریق صحت و دقت روش فراابتکاری سنجیده می شود تا بتوان از آن برای حل مساله با اندازه بزرگ استفاده کرد. در نهایت مساله با الگوریتم تلفیقیABC-PSO نیز حل می‌شود و نتایج مقادیر تابع هدف هر دو روش و میزان تخطی قیود ارائه می‌شود.

بر اساس الگوریتم زنبورعسل هیبریدی مرحله به مرحله مقادیر اولیه را به سمت مقادیر بهینه سوق می دهیم. مساله بهینه سازی مورد بررسی به دو روش حل شده است:

۱-روش تغییر یافته کلونی زنبورعسل مصنوعی[3]، این روش، روش پایه را به شکلی تغییر داده است که متناسب با مسئله این تحقیق شود.این تغییرات شامل:

-Binary یا دودویی کردن متغیرها

-Map کردن یا محدود کردن متغیرها در هر مرحله است.

۲-روش هیبریدی است که از تلفیق روش تغییر یافته‌ی مورد اول با روش Particle Swarm Optimization (PSO) ایجاد شده است.

روش تلفیقی ABC – PSO شامل مراحل زیر می‌باشد:

-مقدار دهی اولیه

-کار زنبورهای کارگر

-بروزرسانی مکان و سرعت ذرات (PSO)

-کار زنبورهای ناظر

-بروز رسانی مکان و سرعت ذرات (PSO)

-کار زنبورهای Scouts

-بروز رسانی بهترین جواب

-روش جستجوی تصادفی بین بهترین جواب‌ها (PSO)

روش Modified – ABC که بصورت زیر انجام شده است:

-مقدار دهی اولیه

[3]. Artifical Bee Colony

-کار زنبورهای کارگر

-کار زنبورهای ناظر

-کار زنبورهای Scouts

-بروزرسانی بهترین جواب

برای این کار از روش دبز[۴] استفاده شده است، به این صورت که از بین دو جواب تعیین می کند کدام یک بهتر است:

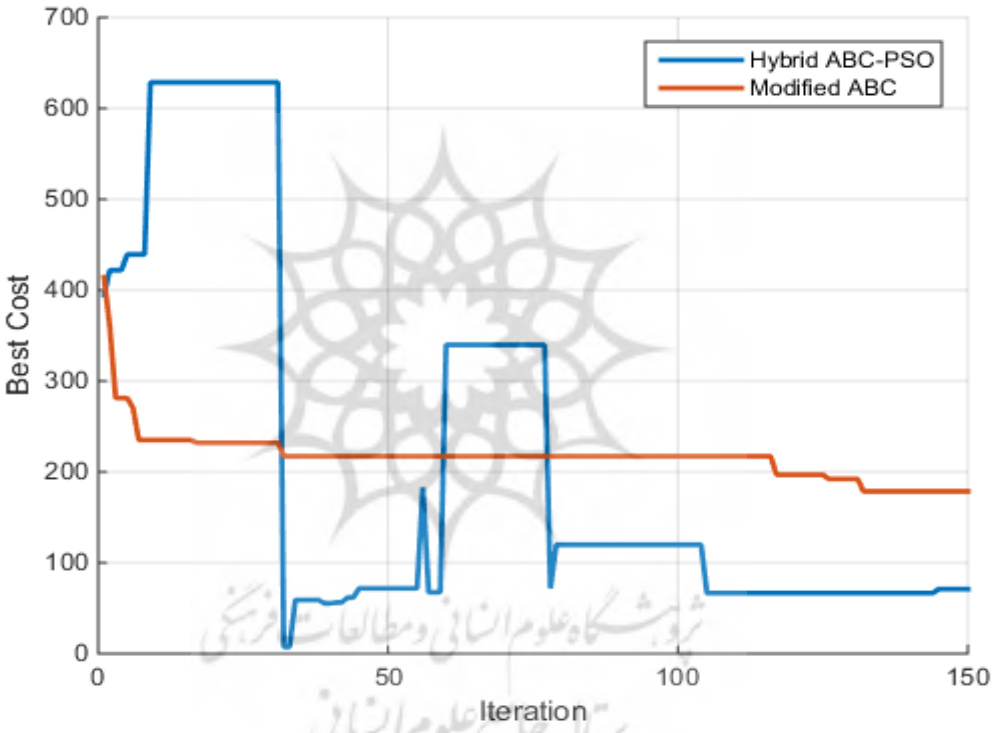
-اگر قیدهای دو جواب معادلات قید را نقض کنند، آن جواب که تخطی کمتر دارد انتخاب می شود.

-اگر یک جواب قیدها را نقض کند و دیگری نقض نکند، آن جواب که نقض کرده قید را انتخاب می‌شود.

-اگر هر دو جواب قید را نقض کنند، آن جوابی بهتر است که مقدار تابع هدف کمتری دارد انتخاب می‌شود.

۳-بحث و نتایج

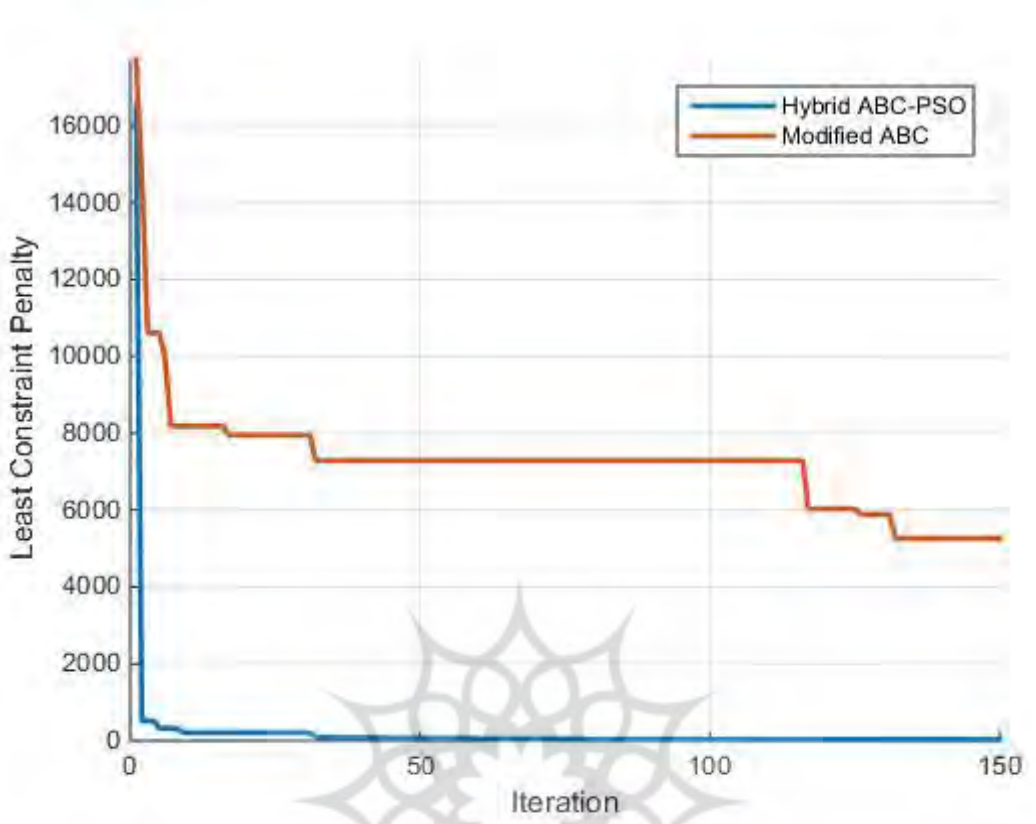
پس از اتمام کدنویسی و بهینه‌سازی خروجی هردو روش بصورت نمودارهای زیر ارائه گردیده است:



شکل شماره (۱): مقدار تابع هدف در الگوریتم زنبورعسل و الگوریتم ABC-PSO

همانگونه که مشاهده می‌شود از یک مقدار cost function بالا در مرحله اولیه مقداردهی (Iteration=1) به کمترین مقدار تابع هدف در انتها (Iteration=PSO) رسیده ایم.

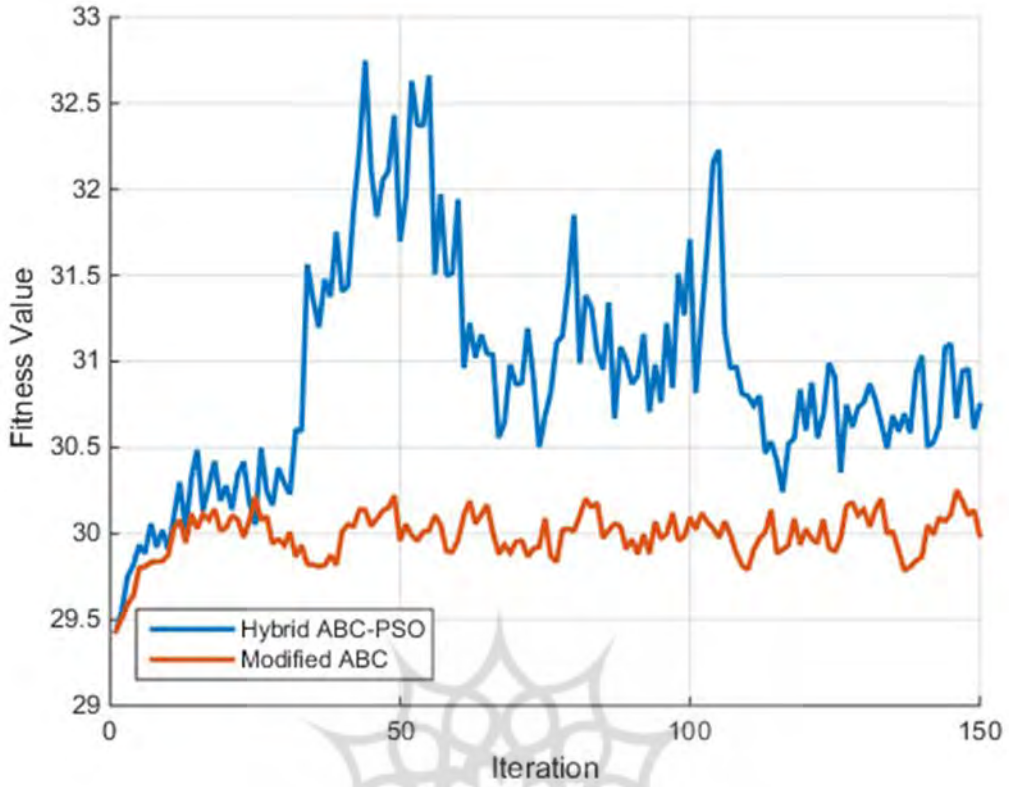
[4]. Debs



شکل شماره (۲): تغییرات قیود و میزان تخطی محدودیت ها در الگوریتم زنبورعسل و الگوریتم ABC-PSO

در شکل شماره (۲) مشخص است که در اولین مرحله ها مقدار جریمه بالا و به سرعت به مقدار جریمه ی (اگر مقادیر اختصاص داده شده به متغیرهای مسئله، قیدهای مسئله را تامین کنند، هدف فقط مینیمم سازی اهداف است، در غیر اینصورت اگر مقادیر خارج از محدوده ی مشخص شده ی قیود باشند، برای حل این تخطی جریمه تعیین می شود تا زمانی که جریمه را به صفر برسانیم.) پایین تری رسیده ایم. یعنی در تعداد کمتر مرحله ها به حداقل جریمه رسیده ایم، چراکه در نهایت بهترین روش، روشی است که در انتهای RUN گرفتن مقدار جریمه‌ی آن کمتر باشد. و با توجه به آنچه توضیح داده شد کاملا مشخص است که روش هیبریدی ABC – PSO سریع‌تر و دقیق‌تر به مقدار بهینه رسیده است.

الگوریتم زنبورعسل بهینه سازی روش پیشنهادی را قبل از ورود زنبورهای ناظر و در همان مراحل اولیه مقدار دهی و بروزرسانی بهترین جواب نشان می‌دهد:



شکل شماره (۳): نمودار بهینگی قبل از ورود زنبورهای ناظر

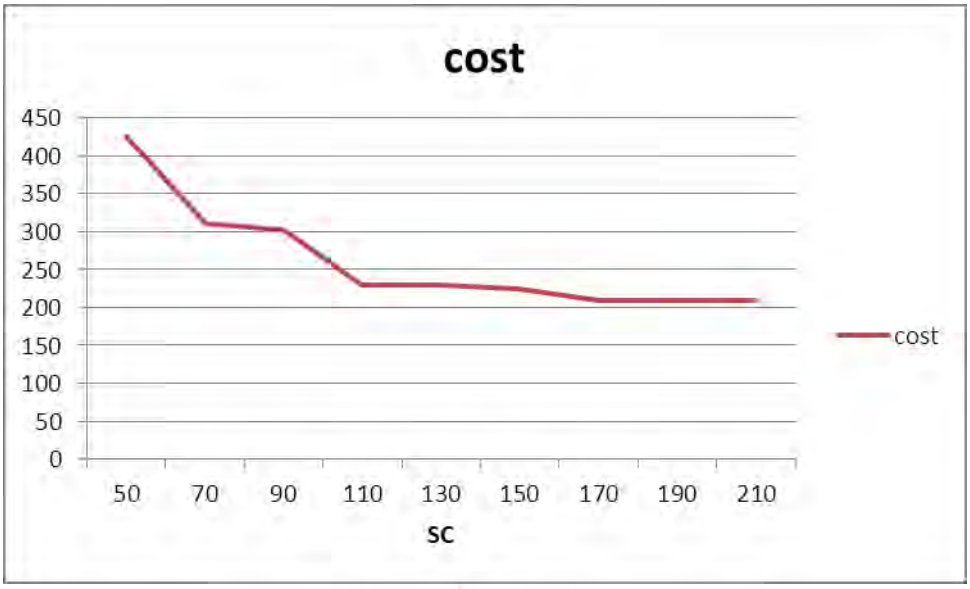
الگوریتم‌های پیشنهادی	مقادیر تابع هدف بعد از حل
زنبورعسل تغییریافته اولیه	۱۷۸
زنبورعسل هیبریدی با PSO	۸۷

جدول شماره (۱): مقدار تابع هدف بعد از حل توسط هر دو روش پیشنهادی

الف) تحلیل حساسیت و اعتبار مدل

در این بخش به تحلیل حساسیت پارامترهایی که بر مدل تاثیر دارند می‌پردازیم. نتایج این بخش به مدیریت کمک می‌کند تا بتواند میزان فضای بهینه را با توجه به شرایط مسئله تعیین کند و تغییرات تابع هزینه بر حسب فضای مجاز و زمان چرخه برای او مشخص شود.

همان‌طور که در شکل شماره(۴) مشاهده می‌شود با افزایش فضای در دسترس هزینه ایجاد ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش حداکثر فضای مجاز، فضای ناحیه شدنی بزرگتر شده و مقدار تابع هدف بهتر می‌شود. در مواردی که با افزایش فضا مقدار تابع هدف ثابت می‌ماند، به این دلیل است که در چنین حالتی مساله جواب بهتری پیدا نمی‌کند. برای مثال اگر فضای مجاز بین ۷۰ تا ۹۰ باشد مقدار بهینه تابع هدف حدود ۳۰۰ خواهد بود.



شکل شماره (۴): نمودار تغییرات هزینه بر حسب حداکثر فضای مجاز برای خط

ب) نتیجه‌گیری و پیشنهادات

استفاده از روش‌های حل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در نرم افزار گمز جهت مدل‌سازی و حل مسئله باعث بهبود عملکرد مدل گردید، برخی از مدل‌های MILP با استفاده از محدودیت‌های خط مونتاژ برای بیان روابط بکار گرفته شده و به ما نشان می‌دهد که این رویکرد مدل‌سازی ممکن است اغلب راه حل‌های مطلوب را پیدا کند که غیر قابل انجام است و این را بر روی یک مجموعه بزرگ از مشکلات معیار بررسی می‌کند و در تحقیق حاضر، یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط، برای خطوط مونتاژ مختلط با هدف به حداقل رساندن هزینه و کاهش ایستگاه های کاری ارائه گردیده است که علاوه بر در نظر گرفتن محدودیت‌های خطوط مونتاژ ساده محدودیت‌های فضا و پس نیازی فعالیت‌ها را نیز در نظر گرفته است(با توجه به فرض چیدمان U شکل تجهیزات و مدل مختلط خط مونتاژ) و بعد از مدل سازی ریاضی و کدنویسی در نرم افزار متلب جهت بهینه سازی با هر دو روش تلفیقی کلونی زنبورعسل و الگوریتم ذرات و الگوریتم زنبورعسل تغییریافته اولیه، همانگونه که در نمودارهای ارائه شده نشان داده شد، الگوریتم هیبریدی به مینیمم مقدار تابع هدف و کمترین مقدار تخطی قیود مسئله رسیده است و در همان مراحل اولیه بهینه سازی به جواب رسیده است و نتایج کدنویسی با روش ارائه شده تعداد ایستگاه‌های کاری را از ۷ ایستگاه به ۳ ایستگاه کاری کاهش داده است و با کاهش ایستگاه کاری نیز تعداد اپراتورهای فعال کمتر می‌شود و هزینه‌های نیروی انسانی کاهش می‌یابد. اما از آن جهت که تمامی پارامترهای مورد استفاده در این مقاله قطعی در نظر گرفته شده است که در نظر گرفتن زمان عملیات تصادفی و یا داده‌های فازی و مقایسه آن با نتایج حاصل از این مطالعه، می‌تواند گزینه خوبی برای تحقیقات آینده باشد. و همینطور پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی زمان انجام فعالیت ها ثابت در نظر گرفته نشود و مطابق با هر عملیات زمان مشخص آن در نظر گرفته شود تا نتایج بسیار دقیقی جهت پیاده‌سازی تحقیقات در صنعت مشابه انجام گیرد.

۴- منابع

1- Adithan, M. (2007). Process Plsnning and Cost Estimation. Publishing for one world new age.*computers &industrial engineering*.pp.165-173.

2- Agha jani, Hasan Ali; Samadi Miarkalani, Hamzeh; Samadi Miarkalani, Hamzeh, Hussein; Lotfi, Hussein. (2015). A Simulation Approach for Improving the Assembly Line of DESA, *Industrial Management Magazine*, Volume 6, No. 4, pp. 635-664.

3- Akpinar, S., Elmi, A., & Bektaş, T. (2017). Combinatorial Benders cuts for assembly line balancing problems with setups. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 527-537.

4- Anthony, K. A. (2016). Effect of Capacity Planning On Performance in Nigeria Brewing Industry: Southeast Perspective. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(1).
5- Battaïa, O., & Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. International Journal of Production Economics, 142(2), 259-277.
6- Bukchin, Y., & Raviv, T. (2017). Constraint programming for solving various assembly line balancing problems. *Omega*.
7- Chen, J. C., Chen, T. L., & Harianto, H. (2018). Capacity planning for packaging industry. *Journal of manufacturing systems*, 42, 153-169.
8- Company, Mahmud Saeed; Parham, Azimi. (2015). The Development of a New Two-Dimensional Model and its Solution by Optimization through Simulation for the Optimal Allocation of Human Resources and Parallel Equipment to the Stations in a Production Line, *Industrial Management Studies* . 15th year.
9- Ding, H., Reißig, G., Groß, D., & Stursberg, O. (2011). Mixed-integer programming for optimal path planning of robotic manipulators. In Automation Science and Engineering *(CASE), 2011 IEEE Conference* (pp. 133-138).
10- Fleszar, K. (2017). A new MILP model for the accessibility windows assembly line balancing problem level 2 (AWALBP-L2). *European Journal of Operational Research*, 259(1), 169-174.
11- Hasani, Ali Akbar. (2018). Multi-objective Meta-Heuristic for the Distributed Scheduling of M-Machine Reentrant Permutation Flowshop Problem by Considering the Preventive Maintenance under Uncertainty Conditions,*Journal of Production Management and Operations,*Volume (9), Issue 17, No. 2, pp. 1-21.
12- Husseini Malekabadi, Rasool. (2016). An Overview of the Problems Related to Improper Math Optimization, *Isfahan University, Mathematics and Society*, Vol. 1
13- Hwang, R.K., Katayama, H. & Gen, M. (2008). U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 46(16), 4637-4649.
14- Jafari Asl,Abolfazl,solimanipour,maghsoud.ShankarRavi.(2019).Multi‐objectivemulti‐model assembly line balancing problem: a quantitative study in engine manufacturing industry. *Operational Research Society of India*.
15- Keckl, S., Kern, W., Abou-Haydar, A., & Westkämper, E. (2016). An analytical framework for handling production time variety at workstations of mixed-model assembly lines. *Procedia CIRP*, 41, 201-206.
16- Li, Z., Kucukkoc, I., & Tang, Q. (2017). New MILP model and station-oriented ant colony optimization algorithm for balancing U-type assembly lines. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 107-121.
17- Mahmudi Rad, Ali; Nirumand, Sadegh; Sanei, Masoud. (2016). Fuzzy Multi-Objective Assembly Line Balance Problem: Fuzzy Mathematical Programming Method, *New Research in Mathematics.*
18- Makssoud, F., Battaïa, O., Dolgui, A., Mpofu, K., & Olabanji, O. (2015). Re-balancing problem for assembly lines: new mathematical model and exact solution method. *Assembly Automation*, ۳۵(۱), .۱۱-۶۶.
19- Matti Koivisto.(2017).Modelling, Simulation and Optimization of the Materials Flow of a Multi-product Assembling Plant.*Procedia Manufacturing*, Volume 8, Pages 59-66.
20- Mohammadi Zanjirani, Dariush; Jokar, Saeedeh; Ismailis, Majid. (2016). Integrated Scheduling and Programming of Process Based on the Combination of Fuzzy Knowledge Base and Meta-Heuristic Methods. *Quarterly Journal of Industrial Management Studies* – 14th year, No. 34.
21- Nouri Darian, Mahsa; Talei Zadeh, Ataullah. (2018). The Development of Economic Production Model in Three-Level Integrated and Non-Integrated Supply Chains

Regarding the Integrated Management of Inventory Control, *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 52, No. 1, pp. 125 -137.

22- Pearce Bryan W., Kavit Antani, Laine Mears, Kilian Funk, Maria E. Mayorga, Mary E. Kurz.(2019). An effective integer program for a general assembly line balancing problem with parallel workers and additional assignment restrictions. *Journal of Manufacturing Systems*.50 .2019.180-192.

23- Popović, Ž, Brbaklić, B., & Knežević, S. (2017). A mixed integer linear programming based approach for optimal placement of different types of automation devices in distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 148, 136-146.

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

25- Samiaria A.S. Vialarinhop.M (2004).A Genetic algorithm based approach to the mixed model assembly line balancing problem of type .*computers&industrial engineering* .47:391-407.

26- Samoue،Parvaneh،Ashayeri Jalal (2019). Developing optimization & robust models for a mixed-model assembly line balancing problem with semi-automated operations. *Applied Mathematical Modelling*. 72. 259-275.

27- Sikora, C. G. S., Lopes, T. C., & Magatão, L. (2018). Traveling worker assembly line (re) balancing problem: Model, reduction techniques, and real case studies. *European Journal of Operational Research*, 259(3), 949-971.

28- Tapkan, P., Ozbakir, L., & Baykasoglu, A. (2012). Modeling and solving constrained two-sided assembly line balancing problem via bee algorithms. *Applied Soft Computing*, 12(11), 3343-3355.

29- Taghavi Fard, Muhammad Taghi. (2011). A New Mathematical Model to Solve the Problems of Multi-Product Assembly Line Balance", *Industrial Management Magazine*, Volume (3), No.6, pp. 1-16.

30- Tsutsumia Daisuke ,b,*,Dávid Gyulaic, András Kovácsc,Bence Tiparyc,Yumiko Uenoa, Youichi Nonakaa,Kikuo Fujitab.(2020). Joint optimization of product tolerance design ,process plan ,and production plan in high-precision multi-product assembly. *Journal of Manufacturing Systems*.54 (2020)336-347.

31- Wang, Y.F; Zhang, Y.F; & Fuh, J.Y.H. (2010). A PSO-based multiobjective optimization approach to the integration of process planning and scheduling. IEEE International Conference on Control and Automation, *Xiamen, China*, June 9-11.

32- Wengxiang gu.minghao yin.chunying wang. (2012).Self Adaptive Artificial Bee Colony for Global Numerical Optimization.*Journal: IERI Procedia*, Volume 1, Pages 59–65.

33- Zhang, W., & Gen, M. (2011). An efficient multiobjective genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem considering demand ratio-based cycle time. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(3), 367-378.

The New MILP Model for Optimization of Complex Assembly Lines with the ABC-PSO Method

Neda Mozaffari
Ph.D. student of Industrial Management, Faculty of Management, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran.
Hasan Mehrmanesh*
Associate professor, Faculty of Management, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran
Mahmud Mohamadi
Associate professor, Faculty of Management, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

Abstract
The issue of balancing assembly lines is one of the optimization issues that has been studied by many different researchers. For this reason, this study aimed to balance the complex assembly lines in order to reduce the cost of manpower and reduce the number of workstations. To solve the problem from the dataset consisting of 7 workstations and 70 tasks and the time to solve 500 seconds and the time of performing each activity including 260 specific activities, two general approaches are used to determine the prerequisite relationships. Gams model software is resolved. Then the problem is solved once again with the modified honeycomb algorithm in MATLAB software and finally solved by the new hybrid honeycomb algorithm with PSO method and finally the obtained values of the objective function of both methods are combined. Have been compared and the results show that the hybrid honeycomb algorithm is optimized at the same early stages of optimization and its objective function value reaches its minimum value and also obtained the least amount of constraint violation and shows cost and cost reductions. Reduces workstations to 3.problem of balancing assembly lines is one of the optimization problems that have been studied by many researchers. However, after six decades of research and development, there is a profound gap between.
Keywords: Assembly Line Balance, bee Algorithm Meta Heuristic, MILP Method, Optimization.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی