فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال شانزدهم/ شماره ۵۶ / تابستان ۱۴۰۰

الگوریتم پرندگان فاخته توسعه یافته جهت حل یک مدل جدید زمان بندی ماشین و وسیله حمل

حجت نبوتی
استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران
Email: hnabovati@iau-saveh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۹ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۲/۲۸

چکیده

در این مقاله یک مدل جدید زمان بندی ماشین با در نظر گرفتن امکان پذیری حمل، وابستگی زمان حمل به نوع کار، در نظر گرفتن زمان توقف ماشین و زمان تعمیر آن، که انطباق با محیط صنعت داشته باشد، توسعه داده شده است. برای یافتن جواب الگوریتم پرندگان فاخته توسعه داده شده است و جهت مقایسه و تست کارایی آن از دو الگوریتم دیگر با همان ساختار جواب استفاده شده است. نتایج بدست آمده که توسط الگوریتم جدید استخراج شده است را با الگوریتم های دیگر مقایسه گردید و نتایج بدست آمده نشان دهنده برتری کیفیت جوابهای الگوریتم پرندگان فاخته چند هدفه توسعه یافته برای حل این نوع مساله می باشد. لذا بکارگیری این مساله جدید با روش حل پیشنهادی در محیط صنعت باعث کاهش همزمان هزینه ها و افزایش سطح کیفیت و افزایش سطح خدمت رسانی به مشتریان می‌گردد.

کلمات کلیدی: الگوریتم پرندگان فاخته، زمان بندی ماشین، زمان بندی وسایل حمل و نقل.

۱-مقدمه

شرکت‌ها امروزه در محیط‌های بسیار پیچیده به منظور بقا خود با چالش‌های متعددی ازجمله محدودیت در منابع، سرعت رشد و تغییرات فناوری، پیچیدگی‌ها و تنوع تولید، سرعت تغییر در تقاضا، افزایش وظایف و فعالیت‌ها، فشار برای پاسخگویی بیشتر، روبرو می‌باشند. از سویی دیگر در دنیای صنعتی امروز، راهکارها و روش‌های بهینه به منظور استفاده مؤثر از منابع و کاهش هزینه و افزایش کیفیت و بهره‌وری در تولید محصولات، خدمات و در نهایت سیستم‌های حوزه تولیدی، عرصه اصلی رقابت مدیران و صاحبان صنایع می‌باشد. در همین راستا یکی از مسائلی که مدیران تولیدی با آن درگیر می‌باشند. زمان بندی سیستم‌های تولیدی می‌باشد. بیشتر مسائل زمان بندی در سیستم تولید انعطاف‌پذیر می‌تواند به سه نوع زمان بندی قطعات ورودی، زمان بندی ماشین و زمان بندی وسایل حمل و نقل مواد دسته بندی شود که با توجه به اهمیت مساله حمل و نقل در سیستم های تولیدی در این مقاله به مدل‌سازی جدید ریاضی زمان بندی همزمان ماشین و وسایل حمل و نقل اتوماتیک (AGV[1]) می پردازیم، که توامان افزایش خدمت‌رسانی به مشتریان با تحویل به موقع و همچنین در نظر گرفتن همزمان کیفیت محصول و کاهش هزینه های عملیاتی را در نظر می گیرد. در کشور ما کیفیت محصولات و خدمات، دچار مشکلات و پیچیدگی‌هایی است که رفع آن نیازمند راهبرد و برنامه‌ریزی‌های دقیق و علمی است. زمان بندی کارها در سیستم حمل و نقل در صورتی که در هنگام کار وسیله نقلیه امکان توقف کار به دلایل گوناگون از جمله خرابی ماشین الات، نرسیدن پالت، مواد اولیه و ... داشته باشد، اهمیت بالایی در صنایع تولیدی در فضای واقعی دارد و توسعه رویکردهای فراابتکاری برای حل اینگونه مسائل به جهت غلبه بر وجود پیچیدگی الگوریتمی در زمانبندی با توجه به اثبات سخت بودن[2] این نوع مساله توسط زنگ و همکاران مورد توجه می‌باشد (Zeng, Tang, & Yan, 2014). لذا برای حل ان الگوریتم فرابتکاری توسعه داده شده است. در ادامه مروری بر مطالعات گذشته در این حوزه پرداختیم و سپس مدل پیشنهادی غیرخطی عدد صحیح مختلط در بخش بعد تبیین شده است.

۲- روش شناسی پژوهش

الف) بیشینه تحقیق:

زنگ[3] و همکاران (۲۰۱۴) دو مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح برای حل مساله BJS-AGV[4] معرفی کردند و برای حل آناز یک الگوریتم ابتکاری دو مرحله ای که ترکیبی از روش جدول زمانی بهبود و جستجوی محلی استفاده کردند. در تحقیق مذکور ساختار همسایگی در جستجوی محلی بر اساس یک مدل نمودار انفصالی گسسته ارائه شده است. و با توجه به ویژگی‌های مسالهBJS-AGV، چهار اصل برای تضمین امکان جستجو همسایگی پیشنهاد کرده اند. در این تحقیق نتایج محاسبات برای مجموعه ای از معیار بهینه کاوی، ارائه و نتایج عددی تاثیر الگوریتم دو مرحله پیشنهادی را نشان دادند (Zeng, Tang, & Yan, 2014). عمر[5]و همکاران (۲۰۱۵) یک الگوریتم ژنتیک هیبریدی را برای یافتن راه حل های نزدیک بهینه برای مساله زمان بندی ترکیبی مسیریابی و توزیع در ساختار سیستم های تولید انعطاف پذیر ارائه دادند. هدف آنها بهینه سازی به حداقل رساندن زمان کامل اتمام کارها و زمان حمل و نقل AGV و هزینه زودکرد بوده است. آنها یک رویکرد وزن سازگاری را برای تعیین وزن مطلوب اهداف و محاسبه ارزش مطلوبیت در هر نسل به کار بردند (Umar, Ariffin, Ismail, & Tang, 2015). فن[6] و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به اینکه AGV به طور گسترده ای در سیستم تولید انعطاف پذیر استفاده می‌شود در مطالعه‌ای به منظور جلوگیری از برخورد AGV برای یک کارگاه با مسیر پیچیده و متقاطع برای AGV، یک روش حلقه تکرار طراحی مسیر AGV پویا را بررسی کردند. آنها یک مدل ریاضی با حلقه پشت سر هم بهینه سازی مسیر AGV با هدف به حداقل رساندن جریان مواد بین حلقه های مختلف از مسیر AGV را ارایه کردند و تعادل بار AGV و مواد جریان در حلقه تعادل

[1] - Automatic Guided Vehicles
[2] - NP-Hard
[3] - Zeng
[4] - Block Job Shop scheduling – AGV
[5] - Umar
[6] - Fan

بین حلقه‌های مختلف به عنوان محدودیت در نظر گرفته اند. یک الگوریتم ترکیبی ژنتیکی با شبیه سازی تبرید برای بهینه سازی ارائه و در نهایت الگوی بهینه تخصیص ایستگاه های کاری به حلقه پشت سر هم مختلف را به دست آورند. نتایج مطالعات موردی، از جمله در کارگاه مونتاژ تهویه مطبوع طراحی مسیر AGV، نشان داده اند که روش آنها عملی و موثر است (Fan, He, & Zhang, 2015). فضل الله تبار[۷] و همکاران (۲۰۱۵) با مقاله تحت عنوان بهینه سازی ریاضی برای کمینه کردن زودکرد و دیرکرد سیستمهای تولیدی با AGV چندگانه توسط الگوریتم ابتکاری یکپارچه، با توجه به در نظر گرفتن موعد تحویل، AGV مورد نیاز برای جابجایی مواد بین کارگاه ها در چیدمان کارگاهی، به زمان بندی اینگونه مسائل پرداختند. زودکرد، منجر به انتظار AGVها و دیرکرد، منجر به ذخیره‌سازی موقت قطعات در کارگاه می‌شود بنابراین با مدلسازی ریاضی در این مطالعه سعی بر به حداقل رسانی هزینه زودکرد ودیرکرد شده است و با توجه به سختی حل مساله از روش بهینه سازی دو مرحله ای یعنی ابتدا جستجوی فضای راه حل و سپس پیدا کردن راه حلهای بهینه استفاده شده است. با توجه به غیر خطی بودن مدل ابتدا فرایند خطی سازی مدل ریاضی انجام شده است سپس، یک الگوریتم جستجوی اکتشافی و یک روش راه حل مبتنی بر مفاهیم شبکه برای رفع این مشکل توسعه داده شد. نتایج محاسباتی نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی آنها موثر برای پیدا کردن راه حل بهینه برای مشکلات مقیاس بزرگ در زمان حل قابل اغماض است. لذا الگوریتم جستجوی اکتشافی همراه با معماری راه حل پیشنهاد شده را یک الگوریتم کامل کارآمد برای برخورد با مشکلات اندازه بزرگتر با زمان حل قابل اغماض معرفی کردند (Hamed Fazlollahtabar, 2015). نوری[۸] و همکاران (۲۰۱۶) مساله زمان‌بندی کارها با در نظر گرفتن زمان حمل و نقل توسط تعدادی از روبات ها که تعمیم مسئله زمان بندی کار کارگاهی است را توسعه دادند که در آن مجموعه ای از کارها باید بین ماشین ها توسط چند ربات حمل شود. از این رو، از لحاظ محاسباتی سخت تر از زمان بندی کار کارگاهی است که همزمان دو مسئله سخت شامل مساله زمان بندی کار کارگاهی و مساله حمل ربات می باشد. در مقاله آنها یک رویکرد متاهیورستیک ترکیبی مبتنی بر مدل چند گانه خوشه ای ارائه شده است. در ابتدا، یک عامل زمان بندی در الگوریتم ژنتیک مبتنی بر همسایگی برای اکتشاف فضای جستجو اعمال شده و سپس، مجموعه ای از عوامل خوشه ای از روش جستجوی ممنوع برای هدایت جواب در مناطق که احتمال جواب بهتر بیشتر است استفاده شده است. نتایج محاسباتی با استفاده از دو مجموعه ادبیات ارائه مقایسه شده و اثربخشی رویکرد ارائه شده را نشان دادند(Nouri, Driss, & Ghédira, 2016).

هگر و ووس (۲۰۱۸) یک مدل خطی یکپارچگی خطی را برای یافتن یک راه حل بهینه برای مساله زمان بندی تولید سفارشی و زمان بندی وسایل نقلیه راهنمایی اتوماتیکرا در محیطBJS-AGV با هدف به حداقل رساندن زمان اتمام کارها ارایه کردند و نتایج را با یک سیستم استقرار مبتنی بر اولویت مقایسه کردند (Heger & Voss, 2018). فواد رحمان و نیلسن (۲۰۱۹) به منظور بهره برداری از تجهیزات پیشرفته انتقال مواد، رویکردهای برنامه ریزی جدید که قادر به تضمین عملیات یکپارچه برای وسایل نقلیه حمل و نقل هستند، را توسعه دادند. روش آنها شامل یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط و دو الگوریتم متاهیورستیک است که برای رسیدن به زمان بندی کیفیت در یک زمان معقول پیشنهاد شده است. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش چشمگیر زمان تحویل مواد و بهبود عملکرد است (Rahman & Nielsen, 2019). لی یو و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل ریاضی چند هدفه جهت به دست آوردن سرعت قابل تغییر برای به حداقل رساندن تعداد AGV های استفاده شده و میزان مصرف برق AGV را در نظر گرفتند. آزمایش های عددی ایشان نشان دادند که الگوریتم ژنتیک تطبیقی از بین سه الگوریتم بهترین است. ارزش اهداف قبل و بعد از بهینه سازی حدود ۳۰٪ تغییر کرده است، که منطقی بودن و اعتبار مدل را ثابت کردند (Liu, Ji, Su, & Guo, 2019). زنگ و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه نویسی صحیح مختلط مبتنی بر بهینه سازی مسیر، برنامه ریزی یکپارچه و درگیری ها و بن بست ها برای به حداقل رساندن زمان تاخیر AGV تحت شرایطی که تخصیص وظیفه مشخص است، را توسعه دادند. یک سری آزمایشات در مقیاس کوچک و بزرگ برای تأیید در دسترس بودن بهینه سازی ازدحام الگوریتم ژنتیک ذرات (HGA-PSO) با کنترل کننده منطق فازی برای تنظیم خودکار تطبیقی انجام شده است. با شبیه سازی پویا از گره های مسیر نشان دادند که مدل پیشنهادی در واقع می تواند مشکل AGV و بن بست را حل کند و ممکن است به

[7] - Fazlollahtabar
[8] - Nouri

طور عملی برای ترمینال های کانتینر خودکار موجود قابل استفاده باشد (Zhong, Yang, Dessouky, & Postolache, 2020). فواد رحمان و همکاران (۲۰۲۰) به مساله طراحی یک خط مونتاژ رباتیک متعادل و برنامه ریزی AGV برای تغذیه مواد به خطوط پرداخته اند، به طوری‌که زمان چرخه و تاخیر کلی سیستم مونتاژ به حداقل برسد. به دلیل ترکیب دو مسئله پیچیده تعادل خط و جابجایی مواد و رویکرد تصمیم گیری مبتنی بر ابتکاری و فرا ابتکاری ارائه کردند. و نشان دادند که چگونه یک رویکرد تصمیم یکپارچه می تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی کارآمد در طراحی مجدد سیستم های خط مونتاژ و پشتیبانی خودکار زیرساختهای حمل و نقل عمل کند (Rahman Humyun, Janardhanan Mukund, & Nielsen, 2020). ژائو و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله ای یک پلت فرم آزمایشی برای وسایل نقلیه هدایت شده خودکار با ساختار مکانیکی شش چرخ ایجاد می‌کند و یک سیستم برنامه ریزی چند AGV برای کارخانه های بدون سرنشین طراحی کرده اند. سیستم زمان بندی، انحراف هر AGV از نوار مغناطیسی بر اساس داده های سنسور مغناطیسی محاسبه و سرعت چرخ های محرک چپ و راست بر اساس انحراف تنظیم و AGV حفظ می‌شود. در مرحله بعدی، الگوریتم تا مسیری بدون برخورد و کارآمد را برنامه ریزی کردند. سرانجام، نقاط مقابله و اولویت های AGV با مقایسه مسیرهای مختلف AGV تعیین کردند و. به این ترتیب چندین AGV می توانند به طور هماهنگ روی یک نقشه کار کنند. سیستم برنامه ریزی چند AGV پیشنهادی از طریق شبیه سازی و آزمایشات عملی موجب شد هزینه کار را کاهش دهند و بهره وری تولید را بهبود دادند (Zhao, Liu, Lin, & Chen, 2020).

جدول شماره (۱): بررسی مطالعات انجام شده مساله زمانبندی همزمان ماشین و AGV

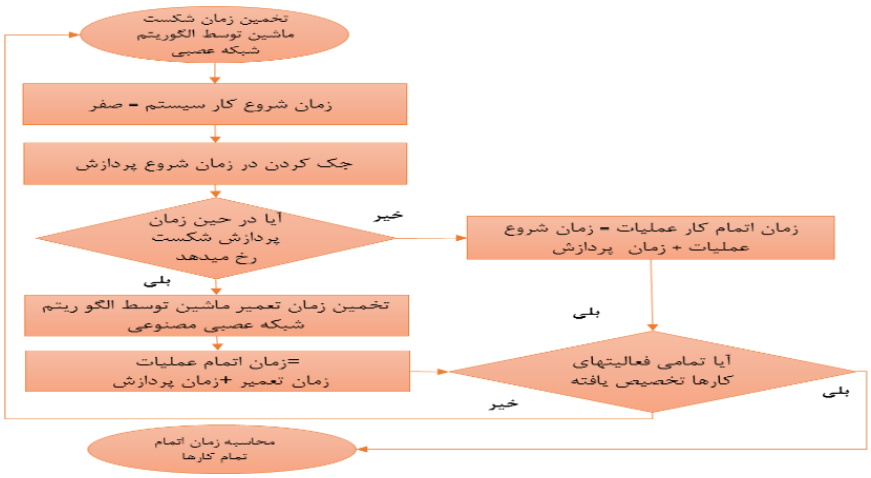
نام محقق	زمانبندی ماشین و AGV	زمان‌بندی AGV	فرا ابتکاری	نوع الگوریتم	ابتکاری	حل دقیق	توقف ماشین	تابع هدف
هی و همکاران (۲۰۱۰)		✓			✓			حداکثر رساندن تعدادتولید،
فضل الله تبار و همکاران (۲۰۱۰)	✓					✓		حداقل کردن هزینه‌های انبارداری
هیاکومار و همکاران (۲۰۱۰)		✓	✓	ACA				کمینه کردن تفاوت میان مجموع زمان‌های سفر هر کدام از AGVها
میشرا (۲۰۱۱)		✓		PSA				هدف کم کردن زمان سیکل
سوادا و همکاران(۲۰۱۱)		✓						کنترل تجمع AGVها روی تقاطع‌های مسیرهای حمل و نقل
چاودری و همکاران (۲۰۱۱)	✓		✓	GA				حداقل کردن زمان سیکل
کومار و همکاران(۲۰۱۱)	✓		✓	GA				حداقل کردن زمان سیکل
نیشی و همکاران(۲۰۱۱)		✓				✓		حداقل کردن تاخیر در وظایف عملیاتی
لاکومه و همکاران(۲۰۱۳)	✓		✓	MA				کمترین مقدار زمان سیکل
زنگ و همکاران (۲۰۱۴)	✓				✓			مجموع مدت زمان اتمام کار ها
عمر و همکاران (۲۰۱۴)	✓		✓	Hybrid GA				مجموع مدت زمان اتمام کار ها و زمان حمل و زمان زودکرد
فن و همکاران (۲۰۱۵)		✓	✓	GA/SA				به حداقل رساندن جریان مواد بین حلقه های مختلف
فضل الله تبار و سعیدی (۲۰۱۵)	✓				✓			کمینه کردن زودکرد و دیرکرد

ونگ و چنگ (۲۰۱۵)	✓			✓	تابع اتلاف هزینه حرکت
نوری و همکاران (۲۰۱۶)	✓		✓	GA/TA	حداقل کردن تأخیرها ,مجموع مدت زمان اتمام کار ها
هگر و ووس (۲۰۱۸)	✓				مجموع مدت زمان اتمام کار ها
فواد رحمان و نیلسن (۲۰۱۹)		✓	✓	GA/IG	زمان تحویل مواد
لی یو و همکاران (۲۰۱۹)		✓	✓	GA	حداقل کردن تعداد AGV و میزان مصرف برق ان
زنگ و همکاران (۲۰۲۰)		✓	✓	HGA-PSO	حداقل رساندن زمان تاخیر AGV
فواد رحمان و نیلسن (۲۰۲۰)		✓	✓	PSO	زمان سیکل تولید و دیرکرد
تحقیق حاضر	✓		✓	MOCS	حداقل‌کردن هزینه ها، افزایش کیفیت محصول و سطح خدمت به مشتریان

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده در حوزه زمان بندی وسایل نقلیه هدایت شونده اتوماتیک AGV، در تحقیقات انجام شده که خلاصه ان در جدول ۱ آمده است، شکاف های تحقیقاتی در حوزه مورد مطالعه شامل مواردی همچون تخصیص نوع کار مشخص به نوع AGV قابل استفاده، تاثیر نوع کار و قطعه بر زمان حمل AGV، زمانهای تحویل کار و تاخیر و تعجیل دارای بازه زمانی، لحاظ شدن زمان خرابی تجهیزات، لحاظ شدن زمان تعمیر تجهیزات، هر AGV چندین کار را در یک زمان بتواند حمل کند از مواردی است که در تحقیق فعلی به مدل اضافه شده است و نواوری نسبت به کار سایر محققین دارد.

ب- مدل ریاضی

مساله زمان بندی کار کارگاهی با محدودیت بافر و زمان جابجایی توسط چندین AGV را می توان به شرح زیر توصیف کرد: یک مجموعه ای m تا از کارها ($i = 1,2,..., m$) با مجموعه ای n تا از فعالیتها ($j= 1,2,..., n$) وجود دارد که باید بر روی مجموعه ای K تا از ماشین ها پردازش شود ($k =1,2,...,K$)، کارها در بین ماشین آلات مختلف توسط مجموعه ای از AGV ها ($v =1,2,...,V$) جابجا می شود. مسیر ساخت هر کار در ماشین های مختلف با حداقل یک ماشین انجام می‌شود. هر AGV نمی‌تواند در یک زمان بیش از یک کار را حمل کند. پردازش یک کار در یک ماشین به عنوان یک عملیات ماشین نامیده می شود. AGV برای انجام عملیات حمل و نقل بین ماشین آلات که دو عملیات متوالی بر روی این ماشین ها انجام می شود استفاده می‌شود. از آنجایی که محدودیت بافر وجود دارد، ماشین تا زمانی که محصولی پردازش شده است ولیکن برای مرحله بعدی ارسال نشود مسدود می شود لذا AGV باید منتظر بماند تا دستگاه بعدی آزاد شود هنگامی که دستگاه بعدی آزاد می شود، کار از روی دستگاه برداشته خواهد شد. مدت زمان انتظار AGV ها برای حمل و نقل کار اتمام شده به مدل تحمیل شود. یک AGV باید در هنگام کار کردن ماشین در نزدیکی دستگاه منتظر باشد. علاوه بر این، کار در دستگاه رهاشده مرحله بعدی بار گذاری خواهد شد. مجموعه ای خاص از AGV ها باید برای حمل هر کار اختصاص داده شود و زمان حمل و نقل بین ماشین ها وابسته به انواع کار است. این مدل شامل موعد تحویل بازه ای نرم می باشد. الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی در این رساله برای برآورد زمان شکست و تعمیر ماشین استفاده شده است. برای انجام این کار، داده های اولیه دوره های قبلی مدت زمان فاصله بین دو توقف (MTBF) و مدت زمان تعمیر (MTTR) به نرم افزار متلب برای برآورد زمان شکست و تعمیر ماشین در حین اجرای الگوریتم های حل ارایه می شود. بنابراین، الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین زمان شکست و تعمیر ماشین های متوقف شده استفاده می شود. جریان کار در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): فلوچارت نحوه تخمین بکارگیری زمان شکست و تعمیر ماشین

در این بخش مدل زمان بندی ماشین و AGV با زمان حرکت AGV وابسته به نوع کار و امکان توقف و شکست ماشین ارایه شده است. مدل ارائه شده در این بخش شامل سه هدف متضاد متفاوت است. اولین هدف مدل به منظور به حداقل رساندن هزینه های تولید شامل دو جزء مختلف تعریف شده است: کمینه سازی هزینه های پردازش و کمینه سازی هزینه های جابجایی، هدف دوم به حداکثر رساندن سطح خدمات مشتری در نظر گرفته شده است. هدف سوم به حداکثر رساندن سطح کیفیت محصول می باشد بدین معنی که تولید با دستگاه های که عملیات را با کیفیت بالاتری نسبت به سایر دستگاه ها در اولویت قرارداده میشود که با هدف اول در تضاد است. مفروضات مدل شامل: هر کار مسیر تولیدی مشخص بر روی ماشین آلات دارد و حداقل یک ماشین را دارد. هر AGV حداکثر یک کار را در یک زمان میتواند حمل کند. هر کار توسط یک مجموعه ای از AGV ها خاص قابل حمل می باشد. اولویت بندی در انجام کار وجود ندارد، امکان قطع کار با اولویت ندارد. زمان حمل بین ماشینها با توجه به نوع کار متفاوت در نظر گرفته می شود. منابع همواره در دسترس و ثابت هستند. زمان تعمیر و خرابی بر اساس تخمین روش شبکه عصبی مصنوعی برآورد می شود.

– اندیس ها

i	اندیس کارها	$i= 1.2. \dots . m$
j	اندیس عملیات	$j= 1.2. \dots . n$
k	اندیس ماشین	$k = 1.2. \dots . K$
v	اندیس AGV	$v= 1.2. \dots . V$
S	اندیس شکست	$s = 1.2. \dots . S$

– پارامترها

PT_{ijk}	زمان پردازش عملیات j کار i توسط ماشین k
$t_{kk'v}$	زمان جابجایی بین دو ماشین k , k' توسط AGV v
$t_{Un kv}$	زمان جابجایی بین ایستگاه بارگیری تا ماشین توسط AGV v
$t_{Lo kv}$	زمان جابجایی بین ایستگاه تخلیه تا ماشین توسط AGV v
PC_{ijk}	هزینه پردازش عملیات j کار i توسط ماشین k
$UD_i \& LD_i$	حد بالا، حد پایین موعد تحویل کار i
$CT_i \& CE_i$	هزینه زودکرد، هزینه دیرکرد کار i
HC_v	هزینه حمل توسط AGV v
A_{ijk}	اگر عملیات j کار i امکان پردازش در ماشین k را داشته باشد مقدار یک و در غیر اینصورت صفر
PO_{iv}	در صورت امکان پذیری حمل کار i توسط AGV شماره v مقدار یک و در غیر اینصورت صفر
R_{ij}	اگر کار i نیاز به عملیات j داشته باشد مقدار یک و در غیر اینصورت صفر

Q_{ijk} سطح(درصد) کیفیت محصول تولیدی در عملیات j از کار i که توسط ماشین k انجام میشود

W مقدار بزرگ

$E(MTBF)_{ks}$ ارزش انتظاری زمان بین خرابی شکست s ماشینk

$E(MTTR)_{ks}$ ارزش انتظاری زمان تعمیر خرابی شکست s ماشینk

- متغیر تصمیم

Tr_i &Er_i مقدار زودکرد و دیرکرد کارi

S_{ij} زمان شروع عملیات j کار i

St_{ij} زمان شروع جابجایی بین عملیات j و j-1 کارi

C_{ij} زمان اتمام عملیات j کارi

Ct_{ij} زمان پایان جابجایی بین عملیات j و j-1 کارi

Y_{ijk} اگر عملیات j کار i در ماشین k پردازش شود مقدار یک

x_{ijv} اگر جابجایی بین j ,j-1 توسط AGV شماره v انجام شود مقدار یک

M_{ks} زمان رخداد خرابی s در ماشینk

Z_{ijks} اگر شکست s در ماشین k در حین انجام عملیات j کار i انجام شود یک و در غیر اینصورت صفر

EP_i اگر کار i زودتر از موعد تحویل انجام شود مقدار یک و در غیر اینصورت یک

TP_i اگر کار i دیرتر از موعد تحویل انجام شود مقدار یک و در غیر اینصورت یک

- مدل ریاضی

$$Costs = \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K}\sum_{v=1}^{V}\sum_{j=2}^{n} HC_v.Y_{ijk'}.Y_{i(j-1)k}.t_{k'kv}.x_{ijv} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n} Y_{ijk}.PT_{ijk}.PC_{ijk} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} HC_v.Y_{i(n+1)k}.t_{U_nkv}.x_{i(n+1)v} \quad (۱)$$

$$Quality = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K} Y_{ijK} \times Q_{ijk}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K} Y_{ijK}} \quad (۲)$$

$$Customer\ Service\ Level = (1 - (\sum_{i=1}^{m} EP_i + TP_i)/m) \quad (۳)$$

$$\sum_{v=1}^{V} x_{ijv} = 1 \quad \forall i = 1.\dots.m\ .\ j = 1.\dots.n+1 \quad (۴)$$

$$C_{ij} = S_{ij} + \sum_{k=1}^{K} PT_{ijk}.Y_{ijk} + \sum_{s=1}^{s'}\sum_{k=1}^{K} E(MTTR)_{sk}.Z_{ijsk}.Y_{ijk} \quad \forall i = 1.\dots.m\ .\ j = 1.\dots.n \quad (۵)$$

$$St_{ij} \geq 0 \qquad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 1 \quad (۶)$$

$$St_{ij} \geq C_{i(j-1)} \qquad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 2.\dots.n+1 \quad (۷)$$

$$S_{ij} \geq St_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} Y_{ijk}.t_{L_Okv}.x_{ijv} \qquad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 1 \quad (۸)$$

$$S_{ij} \geq St_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} Y_{i(j-1)k'}.Y_{ijk}.t_{kk'v}.x_{ijv} \quad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 2.\dots.n \quad (۹)$$

$$Ct_{ij} = St_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} Y_{ijk}.t_{L_Okv}.x_{ijv} \qquad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 1 \quad (۱۰)$$

$$Ct_{ij} = St_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} Y_{i(j-1)k'}Y_{ijk}.t_{kk'v}.x_{ijv} \quad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 2.\dots.n \quad (۱۱)$$

$$Ct_{ij} = St_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{v=1}^{V} Y_{i(j-1)k}.t_{kU_o v}.x_{ijv} \quad \forall i = 1.\dots.m. \quad j = n+1 \tag{۱۲}$$

$$x_{ijv}.x_{i'j'v}.\left(St_{ij} - S_{i'j'} + \sum_{k'=1}^{K} Y_{i'j'k'}.t_{Lok'v}\right).\left(St_{i'j'} - S_{ij} + \sum_{k=1}^{K} Y_{ijk}.t_{Lokv}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.\ i \ne i'.\ v = 1.\dots.V.\ j = 1.j' = 1 \tag{۱۳}$$

$$x_{ijv}.x_{i'j'v}.\left(St_{ij} - S_{i'j'} - \sum_{k'=1}^{K} Y_{i'j'k'}.t_{Lok'v}\right).\left(St_{i'j'} - S_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K} Y_{ijk}.Y_{i'(j'-1)k'}.t_{kk'v}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.\ i \ne i'.\ v = 1.\dots.V.\ j = 1.j' = 2.\dots.n \tag{۱۴}$$

$$x_{ijv}.x_{i'j'v}.\left(St_{ij} - S_{i'j'} - \sum_{k'=1}^{K} Y_{i'j-1'k'}.t_{\boldsymbol{U_n}k'v}\right).\left(St_{i'j'} - S_{ij} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K} Y_{ijkl}.Y_{i'(j'-1)k'}.t_{kk'v}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.\ i \ne i'.\ v = 1.\dots.V.\ j = 1.j' = n+1 \tag{۱۵}$$

$$x_{ijv}.x_{i'j'v}.\left(St_{ij} - S_{i'j'} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K} Y_{i'j'k'}.Y_{i(j-1)k}.t_{k'kv}\right).\left(St_{i'j'} - S_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K} Y_{ijk}.Y_{i'(j'-1)k'}.t_{kk'v}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.\ i \ne i'.\ v = 1.\dots.V.\ j = 2.\dots.n.j' = 2.\dots.n \tag{۱۶}$$

$$x_{ijv}.x_{i'j'v}.\left(St_{ij} - St_{i'j'} - \sum_{k'=1}^{K} Y_{i'(j'-1)k'}.t_{\boldsymbol{U_n}k'v} - \sum_{k=1}^{K} Y_{i(j-1)k}.t_{\boldsymbol{U_n}kv}\right).\left(St_{i'j'} - S_{ij} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{k'=1}^{K} Y_{ijk}.Y_{i'(j'-1)k'}.t_{kk'v}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.\ i \ne i'.\ v = 1.\dots.V.\ j = 2.\dots.n.j' = n+1 \tag{۱۷}$$

$$x_{ijv}.x_{i'j'v}.\left(St_{ij} - St_{i'j'} + \sum_{k'=1}^{K} Y_{i'(j'-1)k'}.t_{\boldsymbol{U_n}k'v} - \sum_{k=1}^{K} Y_{i(j-1)k}.t_{\boldsymbol{U_n}kv}\right).\left(St_{i'j'} - St_{ij} + \sum_{k=1}^{K} Y_{i(j-1)k}.t_{\boldsymbol{U_n}kv} - \sum_{k'=1}^{K} Y_{i'(j'-1)k'}.t_{\boldsymbol{U_n}k'v}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.i \ne i'.\ j = n+1.\ j' = n+1 \tag{۱۸}$$

$$Y_{ijk}.Y_{i'j'k'}.\left(S_{ij} - St_{i'(j'+1)}\right).\left(S_{i'j'} - St_{i(j+1)}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.i \ne i'.\ k.k' = 1.\dots.K.\ \ j = 1.\dots n-1.j' = 1.\dots n-1 \tag{۱۹}$$

$$Y_{ijk}.Y_{i'j'k'}.\left(S_{ij} - C_{i'j'}\right).\left(S_{i'j'} - St_{i(j+1)}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.i \ne i'.\ k.k' = 1.\dots.K.\ .\ j = 1.\dots n-1.j' = n \tag{۲۰}$$

$$Y_{ijk}.Y_{i'j'k'}.\left(S_{ij} - C_{i'j'}\right).\left(S_{i'j'} - C_{ij}\right) \le 0 \quad \forall i.i' = 1.\dots.m.i \ne i'.\ k.k' = 1.\dots.K.\ \ .j = n.j' = n \tag{۲۱}$$

$$x_{ijv} \le PO_{iv} \quad \forall i = 1.\dots.m.\ j = 1.\dots.n+1\ \ v = 1.\dots.V \tag{۲۲}$$

$$\sum_{l=1}^{L} Y_{ijk} \le A_{ijk}.R_{\mathrm{ij}} \quad \forall i = 1.\dots.m. \quad j = 1.\dots.n. \quad k = 1.\dots.K \tag{۲۳}$$

$$Er_i \geq LD_i - Ct_{ij} \qquad \forall i = 1. \ldots . m. \qquad j = 1. \ldots . n \tag{۲۴}$$

$$Tr_i \geq Ct_{ij} - UD_i \qquad \forall i = 1. \ldots . m. \ j = 1. \ldots . n \tag{۲۵}$$

$$Er_i \leq EP_i \times W \qquad \forall i = 1. \ldots . m \tag{۲۶}$$

$$Tr_i \leq TP_i \times W \qquad \forall i = 1. \ldots . m \tag{۲۷}$$

$$M_{ks} = \sum_{s'=1}^{s} E(MTBF)_{ks'} + \sum_{s'=1}^{s-1} E(MTTR)_{ks'} \qquad k = 1.2. \ldots . K. \ s = 1. \ldots . S \tag{۲۸}$$

$$Z_{ijsk}. S_{ij} \leq M_{sk}. Y_{ijk} \tag{۲۹}$$

$$Z_{ijsk}. (S_{ij} + P_{ij}) \geq M_{sk}. Y_{ijk} \tag{۳۰}$$

$$(1\text{-}Z_{ijsk}). (S_{ij} - M_{sk} - E(MTTR_{ks})). (E(MTTR_{ks}) + M_{sk} - S_{ij}) \leq 0 \tag{۳۱}$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_{ijk} \leq \sum_{v=1}^{V} x_{ijv} \qquad \forall i = 1. \ldots . m. \ j = 1. \ldots . n \tag{۳۲}$$

$$Tr_i. Er_i \geq 0 \qquad \forall i = 1. \ldots . m \tag{۳۳}$$

$$Y_{ijk}, X_{ijv}, Z_{ijks}, EPi, TPi = \{0 \ or \ 1\} \ \forall i. j. k. v. s \tag{۳۴}$$

رابطه های (۱الی۳) سه تابع هدف شامل هزینه، سطح کیفیت محصول و سطح خدمت رسانی به مشتریان را محاسبه می‌کنند. رابطه (۴) تضمین می کند یک عملیات حمل توسط یک AGV انجام می شود. رابطه (۵) زمان تکوین هر فعالیت کار را محاسبه می نماید. رابطه (۶) تضمین میکند زمان شروع حرکت ماشین منفی نگردد. رابطه (۷) نشان می دهد زمان شروع جابجایی حرکت AGV از پایان کار ماشین شروع می شود. رابطه (۸) نشان می دهد زمان شروع اولین فعالیت کار اول پس از طی زمان جابجایی از ایستگاه بارگذاری است. رابطه (۹) نشان می دهد زمان شروع فعالیت ماشین پس از زمان شروع حرکت AGV بعلاوه زمان جابجایی محاسبه می شود. رابطه های(۱۰ الی ۱۲) زمان پایان هر فعالیت AGV را محاسبه می نمایند. رابطه های (۱۳ الی ۱۸) تضمین می‌کنند که دو عملیات حمل در یک زمان توسط یک AGV انجام نشود. رابطه های (۱۹ الی ۲۱) تضمین می‌نمایندکه دو عملیات توسط ماشین یکسان در یک زمان انجام نشود. رابطه (۲۲) AGV قابل حمل کار i تخصیص می دهد. رابطه (۲۳) توانایی امکان انجام کار محول شده به ماشین را تضمین می کند. رابطه های (۲۴و۲۵) زمان زودکرد و دیرکرد مشخص می شود. در رابطه های (۲۶ و ۲۷) تعداد زودکرد و دفعات دیرکرد محاسبه می شود. رابطه (۲۸) زمان شکست محاسبه می شود. توسط رابطه های (۲۹ و ۳۰) شکست حین عملیات مشخص می شود. رابطه (۳۱) تضمین می کند درحین تعمیر کار به ماشین تخصیص داده نشود. رابطه (۳۲) اگر فعالیتی از کاری انجام شود باید برای حمل آن کار، AGV تخصیص یابد. رابطه (۳۳) مثبت بودن زمانهای زودکرد و دیرکرد را تضمین می‌کند و رابطه (۳۴) متغیرهای صفر و یک را مشخص می‌کند.

در این مقاله ابتدا جهت تست اعتبار مدل مساله توسط نرم افزاز گمز با solver بارون حل شده و سپس با توجه به اثبات سخت بودن مساله که در قسمت قبل اشاره شد، الگوریتم پرندگان فاخته چند هدفه با مکانیزم رتبه بندی فازی توسعه داده شده است و از آنجا که مساله الگو جهت تست کارایی الگوریتمهای پیشنهادی در دسترس نیست لذا برای سنجش کارایی نتایج با الگوریتم های ژنتیک و الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری مقایسه و تحلیل شده است.

الگوریتم جستجوی فاخته چند هدفه فازی: با الهام گرفتن از الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه MOPSO (Coello, Pulido, & Lechuga, 2004)توسعه دیگری بر روی الگوریتم جستجوی فاخته انجام شده است و نام الگوریتم توسعه یافته را جستجوی فاخته چند هدفه (MOCS)نامیدند در این الگوریتم در ابتدا جوابها به صورت تصادفی تولید می شوند وسپس ارزیابی می گرد. در هر تکرار جمعیت جدید بر اساس حرکت تعالی و حرکت تصادفی جمعیت جدید ایجاد می شود و مطابق مراجع (Maghsoudlou, Afshar-Nadjafi, & Niaki, 2016;Coello et al., 2004) جوابهای نامغلوب را در پایان هر نسل در آرشیوی محدود به نام مخزن جواب اضافه می شود و در پایان هر نسل جوابهای نامغلوب درمجموعه مخزن جواب را در مجموعه نگهداری و با استفاده از روش فازی مرتب‌سازی می شود. در شکل ۲ مراحل الگوریتم نمایش داده شده است.

شکل شماره (۲): فلوچارت الگوریتم جستجوی فاخته چند هدفه فازی

الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری برای اولین بار در مقاله ای توسط *راوو و همکاران* ارائه شده است(Rao & Kalyankar, 2011) که هدف آنها در ابتدا برای حل مسائل طراحی مکانیکی بوده است. اما در سال ۲۰۱۲ همان الگوریتم TLBO در مقاله (Rao, Savsani, & Vakharia, 2012) مجددا معرفی شده، اما این بار برای کلاس کلی تر از مسائل بهینه سازی ولی در کل خیلی تفاوت زیادی با هم دیگر ندارند و می توان گفت که تنها در حد اپلیکیشن با هم متفاوت هستند. در الگوریتم TLBO یک مدل ریاضی به منظور آموزش و یادگیری مد نظر بوده که در آخر در دو مرحله اجرا می شود و باعث به بهینه سازی گردد.

الگوریتم ژنتیک چندهدفه مرتب‌سازی جواب‌های نا مغلوب: در طی دو دهه گذشته، به الگوریتم‌های ژنتیک به خاطر پتانسیل بالای آن به‌عنوان یک رویکرد جدید به مسائل بهینه‌سازی چندهدفه که تحت عنوان روش‌های تکاملی یا بهینه‌سازی چندهدفه ژنتیک شناخته می‌شود، توجه خاصی شده است. الگوریتم ژنتیک چندهدفه مرتب‌سازی جواب‌های نا مغلوب توسط دیب و همکاران ارایه شده است ویژگی‌های ذاتی الگوریتم‌های ژنتیک بیانگر دلایل مناسب بودن جستجوی ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه هستند(Deb, Agrawal, Pratap, & Meyarivan, 2000). ویژگی‌های اصل این الگوریتم چندجهته بودن آن و جستجوی سراسری با حفظ جمعیتی از حل‌های خوب از نسلی به نسل دیگر است. رویکرد نسل به نسل در زمان بررسی حل‌های پارتو مفید است.

روش نمایش جواب : با توجه به مفروضات و مدل ارائه شده در فصل قبل هر کار چندین فعالیت دارد و هر فعالیت در ماشینهای مختلف مطابق روش تولید انجام می پذیرد. جابجایی بین ماشین‌آلات توسط AGV مختص به خود انجام می شود. لذا ابتدا به تعداد سه سطر، و به تعداد عملیات بعلاوه تعداد کار، ستون، عدد تصادفی بین صفر و یک به تولید می شود. سطر اول مشخص کننده کار، سطر دوم مشخص کننده ماشین، سطر سوم AGV می باشد.

تخصیص کار و عملیات	0.9270	0.1413	0.3720	0.3245	0.2106	0.9999	0.1693	0.1892	0.0319
تخصیص ماشین	0.7136	0.3412	0.9469	0.6125	0.1783	0.2295	0.7943	0.6711	0.5656
تخصیص AGV	0.1645	0.5451	0.1145	0.5112	0.8154	0.5040	0.3922	0.1402	0.7509

شکل شماره (۳): روش نمایش جواب برای مدل

بطور مثال فرض کنید ۳ کار با ۶ عملیات داریم در ابتدا سطر اول و شش ستون ابتدایی را در نظر می گیریم. همانطور که ملاحظه می شود دو عدد کوچکتر سطر اول ۰.۱۴۱۳و ۰.۲۱۰۶می باشد که کار اول را به آن دو اختصاص می باید (کار اول دو عملیات دارد) عدد کوچکتر عملیات اول و عدد بعدی عملیات دوم با این رویه نحوه تخصیص کار به شرح زیر می شود:

شکل شماره (۴): نمایش توالی انجام فعالیت‌ها و کارها به‌دست‌آمده از روش نمایش جواب

برای تخصیص ماشین و AGV نیز مطابق همین رویه انجام میدهیم، نمونه از توالی یک جواب در شکل ۵ آمده است.

شکل شماره (۵): نمایش توالی ماشین و AGV به‌دست‌آمده از روش نمایش جواب

لذا بطور مثال در ستون اول مشخص است که عملیات دوم کار سوم توسط ماشین سوم و AGV شماره دوم انجام می‌پذیرد. حال از سطر آخر سه ستون انتهای شکل ۳ جهت تخصیص AGV برای حمل از ایستگاه بارگیری و تخلیه مطابق همین رویه استفاده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

الف) شاخص های عملکرد الگوریتم‌های چندهدفه:

شاخص فاصله نزدیکی بین جواب‌های نا مغلوب[9]: هرچه شاخص MID کوچکتر باشد الگوریتم به دلیل تولید جواب‌هایی با متوسط فاصله کمتر از نقطه ایده‌آل، اولویت بالاتری دارد (Karimi, Zandieh, & Karamooz, 2010).

شاخص یکنواختی انتشار جواب‌های نامغلوب[10]: هرچه شاخص SM کوچکتر باشد، الگوریتم اولویت بالاتری دارد (Coello, Lamont, & Van Veldhuisen, 2007).

شاخص گستردگی[11] که هرچه شاخصSNS بزرگتر باشد، الگوریتم اولویت بالاتری دارد (Jolai, Asefi, Rabiee, & Ramezani, 2013).

شاخص گستردگی مجموعه جواب‌ها[12]هرچه این شاخص بزرگتر باشد، الگوریتم اولویت بالاتری دارد (Jolai et al., 2013).

شایان ذکراست که شاخص‌های معرفی شده برای مسایل چند هدفه ارائه شده است. درصورت افزایش تعداد توابع هدف تنها کافی است مقادیر توابع هدف مورد نظر در فرمول گنجانده شود. در این پژوهش از متریک های MID,DM,SNS,SM استفاده شده است.

ب) روش تنظیم پارامترهای الگوریتم:

در تمامی الگوریتم‌های فراابتکاری همواره پارامتر یا پارامترهایی وجود دارد که بایستی مقادیر آن‌ها بسته به هر مسئله‌ای تعیین شوند. برای تنظیم پارامترهای موجود در الگوریتم‌های پیشنهادی این مقاله، از روش آماری طراحی آزمایشات تاگوچی استفاده شده است. در روش ارایه شده بر اساس توابع هدف جواب های الگوریتم از شاخص یکنواختی فضا DM و شاخص فاصله از نقطه ایده‌آل MID استفاده می شود برای انجام آزمایش تاگوچی از مقادیر $MOCV = \frac{MID}{DM}$ برای هر آزمایش استفاده شده است و با توجه به این‌که در متغیر پاسخ MOCV از مقدار شاخص یکنواختی فضا و فاصله از نقطه ایده‌آل در هر آزمایش بکار گرفته می شود .مقدار متغیر پاسخ هر چه کمتر باشد بهتر است و از نرخS/N کوچک‌تر، بهتر استفاده شده است (Naderi, Fatemi Ghomi, Aminnayeri, & Zandieh, 2011). جدول سطوح مورد استفاده روش تاگوچی در جدول ۲ نمایش داده شده است. در این تحقیق، یک درجه آزادی برای میانگین کل و دو درجه آزادی برای فاکتورهای سه سطحی خواهیم داشت. بنابراین درجه آزادی کل موردنیاز برای الگوریتم‌های MOCS برابر با $11 = 1 + (2 \times 5)$خواهد بود. درجه آزادی متناظر با این پنج فاکتور برابر با ۱۱ است. بنابراین آرایه متعامد انتخاب‌شده برای این الگوریتم بایستی حداقل ۱۱ سطر و ۵ ستون داشته

[9] - Mean Ideal Distance Metric(MID)
[10] - Spacing Metric(SM) ،
[11] - Spread of non-dominance solution (SNS)
[12] - Diversification Metric (DM)

باشد. تا با ۵ فاکتور مورد نظر مطابقت کند. از جداول استاندارد آرایه‌های متعامد(ارتوگونال) مناسب‌ترین آرایه برای الگوریتم‌های MOCS، $L^{27}(3^5)$ است. درجه آزادی کل موردنیاز برای الگوریتم‌های MOTLBO برابر با $(3 \times 2) + 1 = 7$خواهد بود. درجه آزادی متناظر با این ۳ فاکتور برابر با ۷ است. بنابراین آرایه متعامد انتخاب‌شده برای این الگوریتم بایستی حداقل ۷ سطر و ۳ ستون داشته باشد. تا با ۳ فاکتور موردنظر مطابقت کند. از جداول استاندارد آرایه‌های متعامد(ارتوگونال) مناسب‌ترین آرایه برای الگوریتم‌های MOTLBO، $L^9(3^3)$ است و درجه آزادی کل مورد نیاز برای الگوریتم‌های NSGA-II برابر با $(4 \times 2) + 1 = 9$خواهد بود. درجه آزادی متناظر با این چهار فاکتور برابر با ۹ است. بنابراین آرایه متعامد انتخاب‌شده برای این الگوریتم بایستی حداقل نه سطر و چهارستون داشته باشد. تا با چهار فاکتور موردنظر مطابقت کند. از جداول استاندارد آرایه‌های متعامد(ارتوگونال) مناسب‌ترین آرایه برای الگوریتم NSGA-II ، $L^9(3^4)$ می‌باشد.

جدول شماره (۲).Error! No text of specified style in document : سطوح فاکتورهای الگوریتم‌های فراابتکاری برای روش تاگوچی

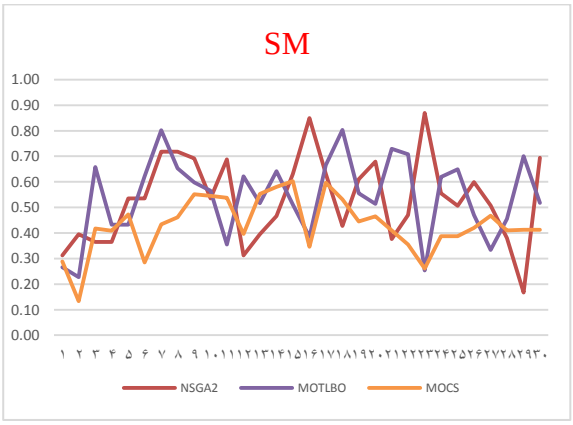
الگوریتم	نام پارامتر	نماد	سطوح پارامتر		
			اول	دوم	سوم
NSGA-II	درصد تقاطع	P.C.	۰/۷	۰/۸	۰/۹
	درصد جهش	P.M.	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱
	حداکثر تعداد تکرار الگوریتم	Max iteration	۵ برابر	۱۰ برابر	۱۵ برابر
	تعداد جمعیت	N.POP	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
MOCS	حداکثر تعداد تکرار الگوریتم	Max iteration	۵ برابر	۱۰ برابر	۱۵ برابر
	تعداد جمعیت در هر تکرار	N Cuckoo	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	شعاع حرکتی	BETA	۱	۱/۵	۲
	اندازه گام	ALPHA	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱۵
	نرخ تغییرجواب در حرکت تصادفی	P.A.	۰/۵	۰/۶	۰/۷
MOTLBO	حداکثر تعداد تکرار الگوریتم	Max iteration	۵ برابر	۱۰ برابر	۱۵ برابر
	تعداد جمعیت	N.POP	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	درصد جهش	P.M.	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲

ج) روش های رتبه بندی الگوریتم چند هدفه

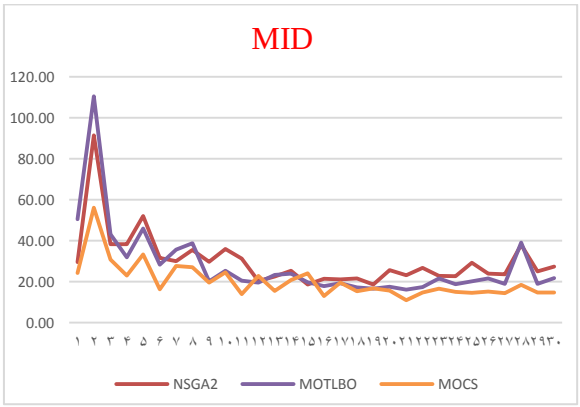
برای حل بهینه مدل‌های چندهدفه در مقیاس‌های کوچک، متوسط و بزرگ الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه و مفهوم جبهه پارتو به کار گرفته می‌رود و الگوریتم فر ابتکاری چندهدفه پیشنهادی را با الگوریتم‌های فرابتکاری چندهدفه دیگر سنجیده می‌شود. با توجه به اینکه جواب‌های این الگوریتم‌ها یک جبهه از جواب‌های نا مغلوب می‌باشد برای مقایسه جواب‌های الگوریتم از مکانیسم‌های زیر استفاده می‌شود. در مدل‌های چند هدفه با توجه به اینکه وزن هر شاخص با توجه نظرات کارشناسان و الویت بندی شاخص‌ها نسبت با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP محاسبه می‌شود و در ادامه میانگین جوابهای هر الگوریتم را بر اساس شاخص های الگوریتم را بر اساس سایز مسایل را بدست می آوریم و سپس با توجه مجموع حاصل‌ضرب وزن‌ها شاخص‌ها میانگین جوابها، هر الگوریتم را بر اساس روش TOPSIS رتبه بندی می‌کنیم.

سی مساله در سه سایز کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی تولید شده اند و این مسایل بر اساس تعداد کار، تعداد AGV، تعداد عملیات، تعداد ماشین طبقه بندی شده است هر مساله سه بار اجرا شده است و میانگین جواب برای ارزیابی الگوریتم ارائه شده به کار گرفته می شود. پارامتر زمان انجام عملیات برای هر فعالیت بر اساس تابع توزیع یکنواخت در بازه[۲,۷] تولید می شود. زمان جابجایی توسط AGV بین ماشین آلات بر اساس تابع توزیع یکنواخت در بازه[۱,۳] تولید می شود. زمان تعمیر و بین دو شکست بر اساس تابع توزیع یکنواخت در بازه[۳,۷] و [۲۵,۵۰]تولید می شود که به شبکه عصبی ورودی می دهد برای پیش بینی زمان شکست و زمان تعمیر (با برآورد دو شاخص متوسط زمان بین دو خرابی و متوسط زمان تعمیر ماشین) استفاده

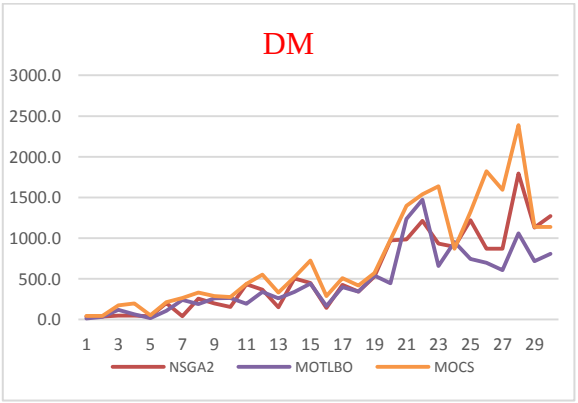
میشود. مقدار هزینه زودکرد و دیرکرد از تابع توزیع یکنواخت در بازه[۱۰,۲۰] تولید می شود. هزینه عملیات از تابع توزیع یکنواخت در فاصله [۵,۷] می باشد و هزینه جابجایی از تابع توزیع یکنواخت در فاصله [۵,۱۰] می باشد در تمام مسایل آزمایشی پارامترها مساله توسط بازه های عددی که شرح داده شده است تولید شده است. برای پیش بینی زمان شکست و زمان تعمیر (با برآورد دو شاخص متوسط زمان بین دو خرابی و متوسط زمان تعمیر ماشین) که به شبکه عصبی ورودی می دهد. برای آزمایش کارآیی روش های حال ارایه شده ۳۰ مثال در سایز کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی تولید شده است که مسایل ۱–۱۰ جزو مسایل سایز کوچک، مسایل ۱۱–۲۰ جزو مسایل سایز متوسط و مسایل ۲۱–۳۰ جزو مسایل سایز بزرگ می‌باشند. برای تحلیل عملکرد الگوریتم ها نسبت به شاخص ها در شکلهای ۶ الی ۹ مقادیر هر الگوریتم در هر مساله برحسب شاخص های ارزیابی چند هدفه نمایش داده شده است که بر اساس آن در شکل ۶ حاکی از برتری نسبی الگوریتم MOCS در شاخص SM نسبت به الگوریتم های MTLBO و NSGA-II دارد. در شکل۷ الگوریتم های MOCS و MOTLBO در شاخص DM رقابت نزدیکی با یکدیگر دارند و نسبت به الگوریتم NSGA-II برتری دارند و در شکل ۸ الگوریتم MOCS نسبت به شاخص ارزیابی DM نسبی الگوریتم های MOTLBO و NSGA-II دارد و در پایان در شکل۹ در شاخص SNS الگوریتم های MOCS و MOTLBO رقابت نزدیکی با یکدیگر دارند و نسبت به الگوریتم NSGA-II دارای عملکرد بهتری می باشد.



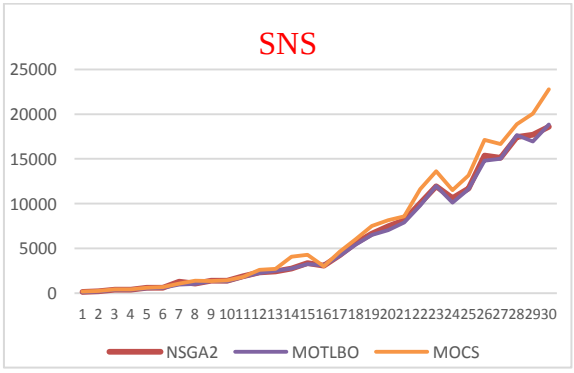
شکل شماره (۶): مقایسه الگوریتم ها بر حسب شاخص ارزیابی SM



شکل شماره (۷): مقایسه الگوریتم ها بر حسب شاخص ارزیابی MID



شکل شماره (۸): مقایسه الگوریتم ها بر حسب شاخص ارزیابی DM



شکل شماره (۹): مقایسه الگوریتم ها بر حسب شاخص ارزیابی SNS

د) رتبه بندی الگوریتم های روش حل

برای انتخاب الگوریتم مناسبتر همانطور که در حل مدل اول این رساله اشاره شد از روشی بر اساس ترکیب AHP و TOPSIS استفاده می کنیم. ماتریس تصمیم گیری، ماتریس تصمیم گیری نرمالیزه شده، ماتریس تصمیم گیری نرمالیزه موزون و فاصله اقلیدسی هر الگوریتم و نرخ نزدیکی هر الگوریتم برای سایز کوچک ،متوسط و بزرگ به ترتیب در جداول۳ و۴ و۵ نمایش داده شده است و نتایج این جداول حاکی از برتری الگوریتم MOCS در هر سه سایز کوچک، متوسط و بزرگ می باشد.

جدول شماره (۳): نتایج روش تاپسیس برای مسائل سایز کوچک

الگوریتم	ماتریس تصمیم گیری نرمال شده				ماتریس نرمالیزه موزون				فاصله تا حل ایده آل مثبت	فاصله تا حل ایده آل مثبت	نرخ نزدیکی	رتبه بندی الگوریتم
	SM	MID	DM	SNS	SM	MID	DM	SNS				
NSGA-II	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۵۶	۰/۹۶	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۱۶	۳
MOTLBO	۱	۱	۰/۶۹	۰/۸۸	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۲۷	۲
MOCS	۰/۷۶	۰/۶۶	۱	۱	۰/۱	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۲۱	۰	۰/۱۹	۱	۱

جدول شماره (۴): نتایج روش تاپسیس برای مسائل سایز متوسط

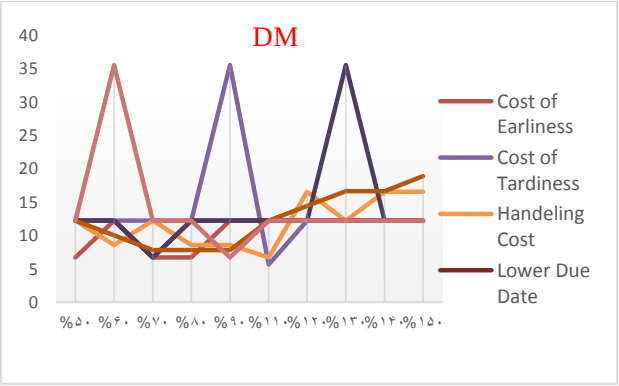
الگوریتم	ماتریس تصمیم گیری نرمال شده				ماتریس نرمالیزه موزون				فاصله تا حل ایده آل مثبت	فاصله تا حل ایده آل مثبت	نرخ نزدیکی	رتبه بندی الگوریتم
	SM	MID	DM	SNS	SM	MID	DM	SNS				
NSGA-II	۰/۲۴	۱	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۱	۰/۰۸	۰/۳۱	۰/۱	۰/۲۵	۳
MOTLBO	۱	۰/۸۶	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۵۲	۲
MOCS	۰/۹۱	۰/۷۸	۱	۱	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۷۸	۱

جدول شماره (۵): نتایج روش تاپسیس برای مسائل سایز بزرگ

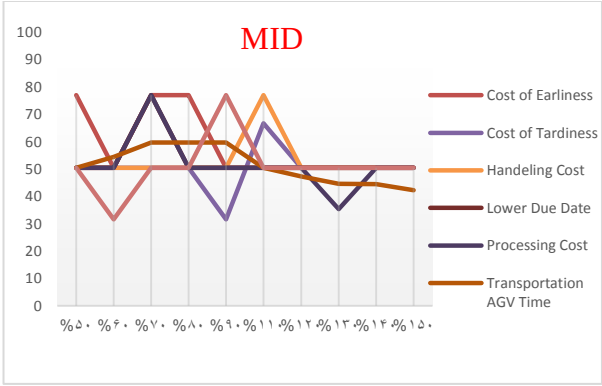
الگوریتم	ماتریس تصمیم گیری نرمال شده				ماتریس نرمالیزه موزون				فاصله تا حل ایده آل مثبت	فاصله تا حل ایده آل مثبت	نرخ نزدیکی	رتبه بندی الگوریتم
	SM	*MID*	*DM*	*SNS*	*SM*	*MID*	*DM*	*SNS*				
NSGA-II	۰/۹۴	۱	۰/۷۵	۰/۸۹	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۲۶	۲
MOTLBO	۱	۰/۸۲	۰/۶	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۲۴	۳
MOCS	۰/۷۲	۰/۵۷	۱	۱	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۲۱	۰	۰/۲	۱	۱

ه) آنالیز حساسیت پارامترهای مدل

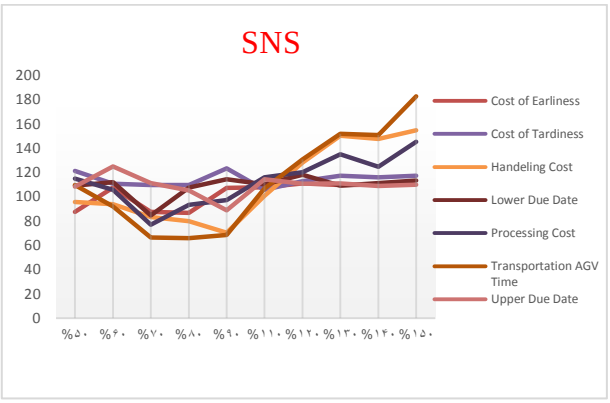
به جهت بررسی حساسیت پارامتر های مدل بر جواب مساله در الگوریتم MOCS یک مساله انتخاب شد و پس از انجام آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای مدل با در نظر گرفتن ضریب ۰.۵ الی ۱.۵ (±۵۰٪) مشخص گردید پارامترهای هزینه پردازش و هزینه جابجایی در خصوص شاخصهای MID وDM بیشترین حساسیت را دارد. همچنین پارامترهای زمان حمل و هزینه حمل در خصوص شاخص SNS بیشترین حساسیت را دارد. ولیکن شاخص SM در تمامی پارامترها حساس است. نتایج گزارش تحلیل حساسیت در شکلهای ۱۰ الی ۱۳ نمایش داده شده است.



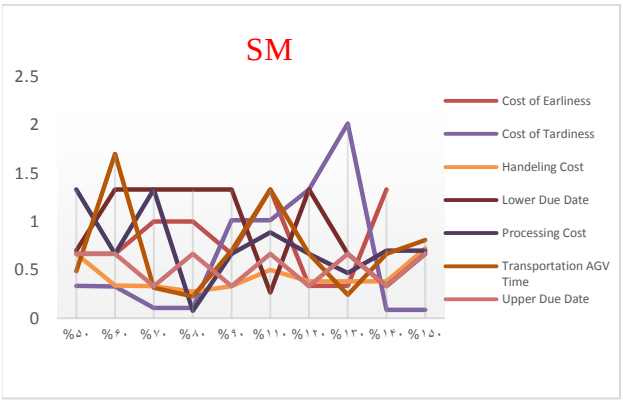
شکل شماره (۱۰): نتایج آنالیز حساسیت برروی پارامترها شاخص DM



شکل شماره (۱۱): نتایج آنالیز حساسیت برروی پارامترها شاخص MID



شکل شماره (۱۲): نتایج آنالیز حساسیت برروی پارامترها شاخص SNS



شکل شماره (۱۳): نتایج آنالیز حساسیت برروی پارامترها شاخص SM

در این مقاله مساله جدیدی در حیطه زمان بندی همزمان ماشین با وسیله حمل بادر نظر گرفتن زمان شکست ماشین و زمان تعمیر با استفاده از تخمین پارامترهای شکست توسط الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی توسعه داده شده است. سه هدف حداقل سازی هزینه پردازش تولید و حداکثر سازی سطح خدمت رسانی به مشتریان و حداکثر سازی سطح کیفت محصول تولید شده تعریف شد و برای حل آن الگوریتم MOCS با مکانیزم رتبه بندی فازی توسعه داده شده استفاده گردید. جهت تست کارایی الگوریتم پیشنهادی از دو الگوریتم چند هدفه MOTLBO و *NSGA*-II استفاده شده است. در ابتدا الگوریتمها توسط روش تاگوچی تنظیم پارامتر شده و در پایان نتایج حل الگوریتم و رتبه آنها توسط روشTOPSIS -AHP تحلیل شده اند. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم MOCS توسعه داده شده نسبت به دو الگوریتم دیگر بهتر می باشد و رتبه نخست رتبه بندی را در هر سه سایز مساله را بدست آورد و لذا به جهت افزایش کارایی جوابها استفاده از این الگوریتم توسعه یافته برای این نوع مساله که امکان به کارگیری آن در محیط صنعت با توجه به در نظر گرفتن شرایط واقعی کسب و کار توصیه می‌گردد. همچنین پس از انجام تحلیل حساسیت مشخص گردید پارامترهای هزینه پردازش و هزینه جابجایی در شاخصهای MID وDM تغییرات زیادی دارد و پارامترهای زمان حمل و هزینه حمل در شاخص **SNS** بیشترین حساسیت و تغییر را دارد.

در این تحقیق از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل استفاده‌شده است و به دلیل اینکه جواب‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری دقیق نمی‌باشند می‌توان به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی استفاده از روش‌های دقیق برای حل پیشنهاد شود. در این تحقیق از مدل‌سازی ریاضی استفاده‌شده است و مدل‌سازی ریاضی نسبت به مدل‌سازی با برنامه‌ریزی محدودیت زمان حل بالاتری دارد و شاید اگر مسائل به‌صورت برنامه‌ریزی محدودیت مدل‌سازی شوند توان حل دقیق مسائل بیشتری وجود داشته باشد پس این خود می‌تواند به‌عنوان یک پیشنهاد آتی ارائه گردد. در این تحقیق تمامی پارامترهای مدل قطعی هستند در زندگی واقعی خیلی از این پارامترهایی که در مدل به‌کاررفته‌اند مشخص و قطعی نیستند و مدام در حال تغییر هستند پس یکی از ضعف‌هایی که به مدل وارد هست این است که دنیای واقعی را پوشش نمی‌دهد بدین منظور می‌توان غیرقطعی لحاظ نمودن پارامترها از قبیل زمان اجرای فعالیت‌ها و... را به‌عنوان پیشنهادها آتی تلقی نمود.

٤-منابع

1. Coello, C. A. C., Lamont, G. B., & Van Veldhuisen, D. A. (2007). *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*, (Vol. 5, pp. 79-104). New York: Springer.
2. Coello, C. A. C., Pulido, G. T., & Lechuga, M. S. (2004). Handling multiple objectives with particle swarm optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, *8*(3), 256-279.
3. Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., & Meyarivan, T. (2000). A Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II. In M. Schoenauer, K. Deb, G. Rudolph, X. Yao, E. Lutton, J. J. Merelo, & H.-P. Schwefel (Eds.), *Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI: 6th International Conference Paris, France, September 18–20, 2000 Proceedings* (pp. 849-858). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

4. Fan, X., He, Q., & Zhang, Y. (2015). Zone Design of Tandem Loop AGVs Path with Hybrid Algorithm. *IFAC-PapersOnLine, 48*(3), 869-874.
5. Hamed Fazlollahtabar, M. S.-M., Jaydeep Balakrishnan. (2015). Mathematical optimization for earliness/tardiness minimization in a multiple automated guided vehicle manufacturing system via integrated heuristic algorithms. In *Robotics and Autonomous Systems*. *72*, 131-138.
6. Heger, J., & Voss, T. (2018). Optimal scheduling of AGVs in a reentrant blocking job-shop. *Procedia CIRP, 67*, 41-45.
7. Jolai, F., Asefi, H., Rabiee, M., & Ramezani, P. (2013). Bi-objective simulated annealing approaches for no-wait two-stage flexible flow shop scheduling problem. *Scientia Iranica, 20*(3), 861-872.
8. Karimi, N., Zandieh, M., & Karamooz, H. R. (2010). Bi-objective group scheduling in hybrid flexible flowshop: A multi-phase approach. *Expert Systems with Applications, 37*(6), 4024-4032. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.005.
9. Liu, Y., Ji, S., Su, Z., & Guo, D. (2019). Multi-objective AGV scheduling in an automatic sorting system of an unmanned (intelligent) warehouse by using two adaptive genetic algorithms and a multi-adaptive genetic algorithm. *PloS one, 14*(12), e0226161.
10. Maghsoudlou, H., Afshar-Nadjafi, B., & Niaki, S. T. A. (2016). A multi-objective invasive weeds optimization algorithm for solving multi-skill multi-mode resource constrained project scheduling problem. *Computers & Chemical Engineering, 88*, 157-169. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.02.018
11. Naderi, B., Fatemi Ghomi, S., Aminnayeri, M., & Zandieh, M. (2011). Scheduling open shops with parallel machines to minimize total completion time. *Journal of Computational and Applied Mathematics, 235*(5), 1275-1287.
12. Nouri, H. E., Driss, O. B., & Ghédira, K. (2016). Hybrid metaheuristics for scheduling of machines and transport robots in job shop environment. *Applied Intelligence*, 1-21. doi:10.1007/s10489-016-0786-y.
13. Rahman, H. F., & Nielsen, I. (2019). Scheduling automated transport vehicles for material distribution systems. *Applied Soft Computing, 82*, 105552.
14. Rahman Humyun, F., Janardhanan Mukund, N., & Nielsen, P. (2020). An integrated approach for line balancing and AGV scheduling towards smart assembly systems. *Assembly Automation, 40*(2), 219-234. doi:10.1108/AA-03-2019-0057.
15. Rao, R., & Kalyankar, V. (2011). Parameters optimization of advanced machining processes using TLBO algorithm. *EPPM, Singapore, 20*, 21-31.
16. Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. (2012). Teaching–learning-based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problems. *Information Sciences, 183*(1), 1-15.
17. Umar, U. A., Ariffin, M. K. A., Ismail, N., & Tang, S. H. (2015). Hybrid multiobjective genetic algorithms for integrated dynamic scheduling and routing of jobs and automated-guided vehicle (AGV) in flexible manufacturing systems (FMS) environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 81*(9), 2123-2141. doi:10.1007/s00170-015-7329-2.
18. Zeng, C., Tang, J., & Yan, C. (2014). Scheduling of no buffer job shop cells with blocking constraints and automated guided vehicles. *Applied Soft Computing, 24*, 1033-1046.
19. Zhao, X., Liu, H., Lin, S., & Chen, Y. (2020). Design And Implementation Of A Mu+6302ltiple Agv Scheduling Algorithm For A Job-Shop. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM), 19*(1).
20. Zhong, M., Yang, Y., Dessouky, Y., & Postolache, O. (2020). Multi-AGV scheduling

for conflict-free path planning in automated container terminals. *Computers & Industrial Engineering, 142*, 106371. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106371.

A Developed Cuckoo Search Algorithm for Solving a New Model of the Machine and Vehicle Scheduling

Hojat Nabovati
Department of Industrial Engineering, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
Email: hnabovati@iau-saveh.ac.ir

Abstract
In this paper, a new machine-scheduling model has been developed taking into account the feasibility of transport, the dependence of transport time on the type of work, considering the stopping time of the machine and its repair time, which is compatible with the industry environment. To find the answer, the cuckoo search algorithm has been developed and for comparing and testing its efficiency, two other algorithms with the same structure have been used. The results obtained by the developed algorithm were compared with other algorithms and the results show the superior quality of the solutions of the multi-objective cuckoo search algorithm for solving this type of problem. Therefore, using this new problem with the proposed solution method in the industrial environment will simultaneously reduce costs, increase the level of quality, and increase the level of customer service.
Keywords*:* Cuckoo search algorithm; Machine Scheduling; Vehicle Scheduling.