



## طراحی یک مدل تولید کارگاهی سبز، با ایجاد توازن بین زمان تکمیل و مصرف انرژی (مورد مطالعه: شرکت پدیده ماشین سازی غرب)

مریم رحیمی أوقره

کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، گرایش مدیریت تولید و عملیات، موسسه غیر انتفاعی امین، فولادشهر، اصفهان، ایران.

سید محمدرضا داودی (نویسنده مسؤول)

استادیار مدیریت، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران.

Email: smrdavoodi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۸ \* تاریخ پذیرش ۹۹/۰۸/۱۷

### چکیده

امروزه مدیریت محیطی با تاکید بر حفاظت از محیط زیست به یکی از مهم ترین مسائل دولت ها تبدیل شده و فشارهای جهانی، سازمان ها را ملزم به تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط زیست کرده است. این چالش منجر به ایجاد مفهوم جدیدی به نام مدیریت زنجیره تامین سبز در حوزه کسب و کار شده که مورد توجه دولت ها و نهادهای مرتبط با محیط زیست قرار گرفته است. مدل ریاضی بکار گرفته شده در این تحقیق، برنامه ریزی عدد صحیح مختلط بوده و روش تحقیق از نوع توصیفی - تحلیلی و بر حسب هدف کاربردی است. هدف نهایی اجرای این مدل به حداقل رساندن زمان سیکل آخرین شغل بر آخرین دستگاه، کمینه سازی مجموع دیرکرد و زودکرد کارها و مصرف انرژی کل در واحد تولید می باشد. داده های مورد نیاز از طریق اطلاعات موجود در شرکت پدیده ماشین سازی غرب و مصاحبه ساختار یافته با روش تحلیل کمی گردآوری و سپس در نرم افزار متلب پیاده سازی شدند. تعداد ۳۰ مسئله با ابعاد مختلف و براساس شیوه های رایج تولید و با الگوریتم فراابتکاری چندهدفه (NSGA-II) و الگوریتم تکاملی چندهدفه ی بهینه سازی ازدحام ذرات (MOPSO) مورد ارزیابی قرار گرفت. از سه معیار مقایسه MS، MID و SNS در کنار معیار زمان حل برای مقایسات حالات مختلف الگوریتم ها بهره گرفته شد. در نظر گرفتن ملاحظات پایداری در مسئله زمان بندی تولید و ساخت با کمینه کردن مصرف انرژی به عنوان یک معیار در برنامه ریزی کارگاهی در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. این امر علاوه بر مزایای اقتصادی با کاهش انتشار کربن، به محیط زیست کمک شایانی می نماید. نتایج حاصل از مقایسه دو الگوریتم با استفاده از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس نشان داد خروجی حاصل از مقایسه الگوریتم NSGA-II نسبت به الگوریتم MOPSO، برای این مسائل عملکرد بهتری دارد.

**کلمات کلیدی:** زمان بندی سبز، زنجیره تامین، تولید، انرژی، پایداری.

## ۱- مقدمه

گذار از دوره‌های مختلف محصول‌گرایی و بازارگرایی و ظهور عصر فراصنعتی که در آن دانش و اطلاعات محور اصلی حرکت می‌باشد، شرکت‌ها و سازمان‌ها را با چالش‌ها و مشکلات جدیدی مواجه ساخته است. در محیط پویا و رقابتی عصر حاضر، سازمان‌هایی موفق می‌شوند که قادر به توسعه‌ی راهبردهای رقابتی زنجیره‌ی تأمین باشند (Ghorbanpoor et al., 2017). در حالت کلی زنجیره‌ی تأمین از دو یا چند سازمان تشکیل می‌شود که رسماً از یکدیگر جدا هستند و به وسیله‌ی جریان‌های مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی به یکدیگر مربوط می‌شوند. در دهه ۹۰ میلادی مدیران صنایع دریافته‌اند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرآیندهای داخلی و انعطاف‌پذیری در توانایی‌های شرکت کافی نیست، بلکه تأمین‌کنندگان قطعات و مواد نیز باید موادی با بهترین کیفیت و کم‌ترین هزینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار تولیدکننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تأمین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد (Ghasemi Sahebi, 2013). امروزه زنجیره تأمین به عاملی مهم و حیاتی در بازار تبدیل شده است، و در عرصه جهانی رقابت اصلی در بین زنجیره‌های تأمین صورت می‌گیرد (Azar & Hashemi, 2016).

در سال‌های اخیر، آلودگی‌های زیست‌محیطی به یک مسأله چالش‌برانگیز برای سازمان‌های تجاری تبدیل شده و منجر به افزایش تقاضای مشتریان و جوامع زیست‌محیطی برای محصولات سازگار با محیط زیست شده است. علاوه بر این، به منظور انطباق با مقررات محیطی، شرکت‌ها باید راهبردهایی را جهت کاهش تأثیرات محصولات خود بر محیط زیست اتخاذ کنند. بنابراین چالش تجاری مهم در قرن حاضر، یکپارچه‌سازی عملکردهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی در دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد (Ismailpour, Azar, and Malekzadeh, 2017).

در محیط پیچیده، پویای امروزی، شرکت‌ها نیازمند طراحی و اتخاذ راهبردهایی در زنجیره تأمین خود هستند که بتواند آنها را در بهبود روزافزون عملکردشان یاری رساند (Rezaee Kelidbari, Goudarzvand Chegini, and Alavi Foumani, 2014: 67). به نظر می‌رسد مدیریت زنجیره تأمین به یک عامل سیستماتیک که شامل هماهنگی جریان منابع در شبکه تأمین‌کنندگان، تسهیلات تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان تبدیل شده است (Ali Nejad, 2015:52). این در حالی است که پیاده‌سازی رویکردهای مدیریت زنجیره تأمین منجر به دستیابی بهتر به اهداف سازمانی از قبیل: افزایش رقابت، بهبود خدمات به مشتریان و افزایش سودآوری می‌گردد (Jamali, & Karimi Asl, 2018).

مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست‌محیطی در مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرآیندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و مدیریت بازیافت و مصرف مجدد به منظور بیشینه‌کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است (Olfat et al., 2015: 125).

مدیریت محیطی، تلاشی برای حداقل‌سازی تأثیرات منفی محیطی محصولات شرکت در سراسر چرخه عمر محصول می‌باشد. این اقدام به دلیل فشارهای سازمانی ضروری به نظر می‌رسد و موجب افزایش کارایی منابع استفاده‌شده در مدیریت محیطی می‌شود (Wu, Ding, & Chen, 2012:625).

ازجمله فرضیات کلاسیک مسائل زمانبندی می‌توان به این موارد اشاره کرد که کارها مستقل از هم هستند و هیچ روابط پیشینازی بین آنها وجود ندارد. همه کارها در زمان صفر در دسترس هستند. یک کار در یک زمان تنها در یک ایستگاه کاری می‌تواند باشد در نتیجه حداکثر می‌توان یک عملیات روی آن انجام شود. زمان پردازش عملیات‌های یک کار مشخص است. از سوی دیگر ماشین موجود در هر ایستگاه کاری همیشه در دسترس هستند و هیچ خرابی اتفاق نمی‌افتد. یک ماشین تنها قابلیت پردازش یک کار در یک زمان را دارد. در نتیجه یک ماشین نمی‌تواند چند کار را همزمان پردازش کند. زمان آماده‌سازی و همچنین زمان حمل و نقل بین ایستگاه‌های کاری ناچیز است و می‌توان از آنها صرف‌نظر کرد. یکی از فرضیاتی که در مسائل زمانبندی معمولاً در نظر گرفته می‌شود مشخص و ثابت بودن زمان پردازش عملیات‌های هر کار است. این ضعف به طور کلی

در ادبیات مسائل زمانبندی وجود دارد (Lee, Liao and Chung, 2014: 133). بعضی شرکت‌ها کوشش می‌کنند تا کنترل زنجیره تأمین خود را با استفاده از مالکیت و یکپارچگی تمام اجزای مختلف در امتداد زنجیره تأمین از تهیه مواد و خدمات تا تحویل محصول نهایی به مشتری به دست آورند. با توجه به مسائل و چالش‌های مطرح شده رهیافت تحقیق حاضر با استفاده از یک مدل‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسئله برنامه‌ریزی تولید کارگاهی دو ماشین، موازنه بین زمان تکمیل و مصرف انرژی است. در تحقیق حاضر تلاش بر آن است مسئله‌ی زمان‌بندی سبز در تولید کارگاهی دو ماشین در شرکت پدیده ماشین‌سازی غرب مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهادات کاربردی لازم برای صنایع ارائه گردد.

جهانی شدن و افزایش رقابت در بازار، شرکت‌ها را به سوی زنجیره تأمین سوق داده که به نیازهای مشتری پاسخ دهد؛ شرکت‌ها برای اینکه از دایره رقابت خارج نشوند، باید در کنار بهبود مستمر خدمت‌رسانی به مشتری‌ها، به صورت یکپارچه و هماهنگ عمل کنند (Beheshtinia & Akbari, 2015:142). افزایش نگرانی‌ها در رابطه با نگرانی‌های محیطی و تلاش برای کاهش هر چه بیشتر آلاینده‌های زیست‌محیطی موجب ظهور مفاهیم جدید نظیر مدیریت زنجیره تأمین سبز، بهره‌وری سبز و تولید پاک‌تر شده است. از آنجایی که اثرات نامطلوب محیطی در همه مراحل چرخه عمر محصول اتفاق می‌افتد و مدیریت آن تنها به داخل مرزهای سازمان محدود نمی‌شود؛ باید دیدگاه مدیریت زنجیره تأمین سبز به عنوان دیدگاهی جامع مورد توجه قرار گیرد. مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرآیندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالأخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد برای بیشینه کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است (Ghorbanpoor et al., 2017: 2). یکی از مسائلی که کارخانجات با آن برخورد می‌کنند، مسئله زمان‌بندی سیستم کارگاهی است. زمان‌بندی از اولویت زیادی در حوزه‌های مدیریت تولید، مهندسی و مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی برخوردار است و ارائه یا توسعه تکنیک‌هایی جهت حل آن می‌تواند بسیار پر اهمیت باشد؛ لذا بسیاری از محققین سعی نموده‌اند تا با ارائه روش‌هایی جهت زمان‌بندی بهتر، به شکل مناسب‌تری به سفارشات مشتریان پاسخ‌گو باشند و ضمن تأمین بهتر مواد و قطعات مورد نیاز از اتلاف زمان، سرمایه و نیروی انسانی نیز جلوگیری نمایند (Fattahi, Samouei, & Zandiyeh, 2016). زنجیره تأمین شامل فعالیت‌های مرتبط با جریان مواد و اطلاعات از تأمین‌کنندگان مواد اولیه تا تحویل محصول به مشتری نهایی است و بر بهبود خدمت‌رسانی به مشتری، سودآوری و عملکرد سازمان تمرکز دارد (Vinodh et al., 2011: 273). کمیابی منابع و انرژی مورد استفاده در آینده بسیار مورد توجه خواهد بود. برای حفظ منابع، به حداکثر رساندن بازیابی مواد، استفاده مجدد بازیافت و نیز به حداقل رساندن زباله‌ها و پاسخ‌گویی و آمادگی برای چالش‌های فنی و عملی تولید پایدار، نیازمند راه‌حل‌های اقتصادی و منابع کارآمد بدیع می‌باشد. تولیدکنندگان فشار آگاهی عمومی از پایداری، افزایش هزینه‌های انرژی و نگرانی‌های ناشی از امنیت انرژی رو به رشد را حس می‌کنند. از این رو تحقیقات جدیدی برای کاهش مصرف انرژی بدون به خطر افتادن سطوح خدمات توسعه می‌یابد (Mansouri, Aktas, & Besikci, 2016: 1). امروزه توسعه پایدار، پیشرفت‌های قابل توجهی در پایداری زیست‌محیطی نسبت به عملکرد زنجیره تأمین داشته است. از این رو اتخاذ راهبرد سرمایه‌گذاری در زمینه بهبود عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تأمین منجر به صرفه جویی در منابع انرژی، کاهش آلاینده‌ها، حذف یا کاهش ضایعات، ایجاد ارزش برای مشتریان و ارتقای بهره‌وری برای شرکت‌ها خواهد شد. در سال‌های اخیر بروز مسائلی همچون افزایش آلودگی هوا، پیشرفت تکنولوژی، افزایش استفاده از انواع سوخت‌ها و غیره، لزوم بکارگیری مدیریت زنجیره تأمین را آشکار ساخته است، چرا که مدیریت زنجیره تأمین شامل کلیه مراحل عمر یک محصول از طراحی تا بازیافت است که می‌تواند در جهت ارتقای عملکرد و ارائه خدمات به مشتریان موثر واقع گردد. فعالیت‌های اقتصادی به گونه‌ای است که بطور بالقوه محیط را آلوده می‌سازد و در صورتی که به پیامدهای ناشی از آن توجه نگردد، خسارات و هدر رفت ایجاد می‌نماید. افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی تولیدکننده‌ها را ملزم به اجرای فرایند زنجیره تأمین و زمان‌بندی سبز می‌کند. با پیشرفت اقتصاد و صنایع زنجیره تأمین بازار عرضه محور به بازار تقاضا محور تغییر یافته است و سازمان‌ها برای بقای خود ملزم به پاسخ‌گویی به نیاز مشتریان می‌باشند (Alam Tabriz, Modarressi, and Arab, 2017).

در واقع حرکت به سمت مدیریت زنجیره تأمین سبز و در نتیجه زمان بندی سبز، باعث افزایش کیفیت زیست محیطی در سطح محلی و جهانی می‌گردد؛ به نحوی که موجب افزایش سودآوری تجاری شده و همزمان به سه موضوع اصلی محیط، کیفیت ارائه محصول و سودآوری اقتصادی توجه می‌نماید. بنابراین کاهش هزینه‌های معمول زنجیره تأمین باعث افزایش کیفیت و برآورده ساختن نیازهای مشتریان می‌گردد. از طریق جلب رضایت مشتری از منظر زیست محیطی در زنجیره تأمین، مدیران سعی دارند تا با بهره‌گیری از لجستیک سبز و بهبود الزامات زیست محیطی خود در زنجیره تأمین به عنوان یک استراتژی مهم زمینه را جهت نائل شدن به موفقیت در رقابت فراهم آورند. مدیریت زنجیره تأمین و زمان بندی تولید در بردارنده‌ی منفی از جمله صرفه‌جویی در منابع، کاهش آلاینده‌ها، حذف یا کاهش هدر رفت، رضایت‌مندی مشتری و افزایش بهره‌وری برای سازمان-ها می‌باشد. ادغام الزامات زیست محیطی و مدیریت زنجیره تأمین، موجب افزایش کیفیت و عملکرد سازمان‌ها می‌گردد. زنجیره تأمین سبز و زمان بندی تولید تلاشی جهت کاهش اثرات منفی در زنجیره تأمین می‌باشد و موجب افزایش کارایی منابع و اثربخشی می‌گردد.

در این قسمت از مقاله به بررسی پیشینه تحقیق در این حوزه می‌پردازیم. مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح در دنیای واقعی اغلب با دشواری و پیچیدگی محاسباتی مواجه هستند، بنابراین محققان اغلب از روش‌های ابتکاری برای غلبه بر این پیچیدگی استفاده می‌کنند. به همین علت در پیشینه تحقیق روش‌های ابتکاری متعددی که هر یک مختص مسئله‌ای خاص هستند، وجود دارد.

جدول شماره (۱): پیشینه تحقیق

نویسندگان	روش تحقیق	نتایج تحقیق
حسینی و همکاران (۲۰۱۷)	در این مطالعه تلاش شده است تا یک مدل برنامه ریزی خطی مختلط برای مکان / تخصیص تسهیلات یک شبکه زنجیره تامین سبز بسته چند حلقه ای متشکل از مراکز تولید / بازسازی و مراکز بازرسی / بازرسی و همچنین مراکز تخلیه و بازارها بررسی شود .	اهداف زیست محیطی کاهش انتشار دی اکسید کربن در محیط زیست در سراسر شبکه مورد توجه قرار گرفته و نتایج نشان داد که این مدل قادر به کنترل عدم قطعیت شبکه می باشد.
مانزینی <sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵)	مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط متشکل از دو تابع هدف شامل کمینه کردن هزینه‌های شبکه برای شناسایی مکان‌های بهینه در ایجاد کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و جمع آوری و بازیافت و هدف دیگر به حداقل رساندن میزان کربن تولید شده برای بر آوردن تقاضای مشتری مطابق با محدودیت ظرفیت می‌باشد.	ارزیابی صرفه جویی بالقوه اقتصادی، زیست محیطی و جغرافیایی حمل و نقل در مدیریت چرخه عمر محصول برای طراحی استراتژیک شبکه حلقه بسته چند سطحی ارائه دادند.
دیابت <sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳)	در مبحث زنجیره تأمین سبز، آلاینده‌ی مواد اولیه‌ای بر اساس میزان انتشار کربن ناشی از فرآیند تأمین مواد خام و ناشی از حمل‌ونقل مواد اولیه و انتقال آن‌ها به سایت تولیدی مورد محاسبه قرار گرفت.	اثر قیمت‌های مختلف کربن بر هزینه‌ها و پیکره بندی زنجیره تأمین مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.
آذر و همکاران (۱۳۹۵)	یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی برای بازپرسازی سفارشات و الگوریتم ابتکاری جهت حل آن در ارتباط با ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز تدوین و سپس پرسشنامه مقایسه‌های زوجی، وزن معیارها و زیرمعیارها به روش مدلسازی غیرخطی محاسبه شد.	این ارزیابی نشان داد که پتروشیمی‌های عسلویه از نظر معیار سبز، هزینه و مشتری نسبت به معیارهای انعطاف پذیری و مالی در وضعیت نامناسبی قرار دارند.
اسماعیل پور و همکاران (۱۳۹۶)	در تحقیق خود با عنوان "ارایه مدل تلفیقی انتخاب شریک تجاری سبز و مدیریت زنجیره تأمین سبز" به ارایه مدل تلفیقی انتخاب شریک تجاری سبز و مدیریت زنجیره تأمین سبز با استفاده از تکنیک ساختاری تفسیری پرداختند	ابعاد و شاخص‌های انتخاب شریک تجاری سبز و مدیریت زنجیره تأمین سبز پس از استخراج معیارها از اطلاعات بدست آمده از پژوهش تعیین گردید.

<sup>1</sup> Manzini & et al

<sup>2</sup> Diabat & et al

<p>در نهایت از بین عوامل تکنولوژیکی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، عامل عدم تخصص فنی و طراحی جایگزین برای محصولات مطابق با الزامات زیست محیطی به عنوان مهم-ترین عامل در صنعت پالایش نفت شهر اصفهان معرفی شد.</p>	<p>در این تحقیق به بررسی موانع تکنولوژیکی در مسیر پیاده سازی مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنایع پالایش نفت ایران (مطالعه موردی صنعت پالایشپرداخته شد. ماهیت پژوهش میدانی و کتابخانه‌ای بوده و پس از تکمیل پرسش‌نامه‌ها اولویت‌بندی و رتبه‌بندی با فرایند تحلیل شبکه<sup>۲</sup> تعیین گردید.</p>	<p>و اعتزازیان همکاران (۱۳۹۴)</p>
<p>نتایج نشان داد که این مدل پایه‌ای را برای تصمیم‌گیری بهبود عملکرد زنجیره تأمین سبز فراهم می‌کند.</p>	<p>طی پژوهش خود تحت عنوان «ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز بر اساس مدل IEEE»، برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز از سیستم ارزیابی خاکستری برای ارزیابی چهار شرکت الکترونیکی استفاده کرد. پنج دسته از معیارها را شناسایی و به وسیله فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی کرد.</p>	<p>چن<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)</p>
<p>یکپارچه سازی تصمیمات پیشنهادی در رابطه قیمت‌گذاری با برنامه‌ریزی تولید و سفارشات به منظور افزایش سود تأمین‌کننده و افزایش سطح خدمت‌دهی.</p>	<p>در مطالعه خود با عنوان «تصمیم‌گیری قیمت‌گذاری مبتنی بر وعده داده شده توسط برنامه‌ریزی فازی و الگوریتم ژنتیک»، برنامه‌ریزی تولید از طریق برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با محدودیت‌های فازی فرموله نمودند.</p>	<p>چنج و چنج<sup>۵</sup> (۲۰۱۱)</p>
<p>به دلیل عدم اطمینان به رویدادهای آینده، برای حل مسئله ی ریسک‌های عملیاتی در مدیریت زنجیره تأمین مالی و فیزیکی از روش‌های بهینه-سازی نیرومند توصیه می‌شود.</p>	<p>در تحقیقی تحت عنوان «عملکرد مبتنی بر ارزش و مدیریت ریسک در زنجیره‌های عرضه» ارزش افزوده اقتصادی<sup>۶</sup> به عنوان ابزار سنجش متداول عملکرد ارزش-محور در میزان فروش‌های میان‌مدت و برنامه-ریزی عملیات به کار برده شد.</p>	<p>هان و کان<sup>۶</sup> (۲۰۱۲)</p>
<p>هنگامی که عوامل زنجیره تأمین جایگزین‌های محدودی دارند، جریان دانش افزایش یافته و رابطه مثبتی بین کسب دانش و عملکرد زنجیره تأمین ایجاد می‌گردد.</p>	<p>طی پژوهشی به «بررسی رابطه بین قدرت، کسب دانش و عملکرد زنجیره تأمین بین شرکای زنجیره تأمین تولیدکننده اصلی فولاد چین» پرداخته و برای جمع‌آوری داده‌ها از معادلات ساختار یافته استفاده شد.</p>	<p>کایل<sup>۸</sup> (۲۰۱۳)</p>
<p>ابعاد ریسک اجتماعی، ریسک زیست محیطی و ریسک اقتصادی و مولفه های نقض اخلاق در کسب و کار، آلودگی محیط زیست و عدم تحقق تعهد اجتماعی مهمترین مولفه های ریسک های پایدار در زنجیره تامین گروه صنعتی اروند می باشند.</p>	<p>در پژوهش خود تحت عنوان " بررسی و تجزیه و تحلیل ریسک های مدیریت زنجیره تامین پایدار برپایه روش FSWARA " با هدف شناسایی و اولویت بندی ریسک های موجود در زنجیره تامین پایدار با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه فازی سوارا که به عنوان یکی از نوین ترین روش های تصمیم گیری مطرح است، پرداختند.</p>	<p>عالم تبریز و همکاران (۱۳۹۶)</p>
<p>معیارهای تعداد کارکنان مشغول به کار در صنعت تامین کننده ، میزان انتشار کربن دی اکسید ، مسافت تا محل تامین و میزان مصرف آب به عنوان مهم ترین معیارها انتخاب شد.</p>	<p>در پژوهشی تحت عنوان " اولویت بندی معیارهای زنجیره تامین سبز پایدار در صنعت فولاد" معیارهای انتخاب تامین کننده سبز پایدار در صنعت فولاد با روش AHP انجام گردید.</p>	<p>عظیمی فرد و همکاران (۱۳۹۶)</p>
<p>نتایج تحقیق نشان داد که شاخص‌ها علمی با مطالعه موردی سازگار بودند و می‌توانند منجر به توسعه سطوح عملکرد زنجیره تأمین سبز شوند.</p>	<p>در پژوهش خود با عنوان «استفاده از مدل شبکه عصبی احتمالی در ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین برای صنایع» یک سیستم ارزیابی عملکرد با توجه به اهمیت آن در اقتصاد چین از چهار جنبه شامل مدیریت محیطی، سرمایه‌گذاری محیطی، مزایای اجتماعی، کیفیت را با استفاده از مدل شبکه طبیعی احتمالی مطرح کرد.</p>	<p>کالیون<sup>۹</sup> (۲۰۱۰)</p>

<sup>3</sup> ANP

<sup>4</sup> Chen

<sup>5</sup> Cheng & Cheng

<sup>6</sup> Hahn & kuhan

<sup>7</sup> EVA

<sup>8</sup> Qile

<sup>9</sup> Kailun

<p>غایبلو و تارخ (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان «طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه مستقیم و معکوس سازگار با محیط زیست»، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه را توسعه دادند.</p>	<p>در انتخاب تأمین کنندگان، قابلیت اطمینان و بازیافت پذیری قطعات را مد نظر قرار داده و تأثیر قابلیت اطمینان و سبز بودن بر درصد قطعات بازیافتی و ضایعاتی شناسایی شد.</p>
<p>شاهبندرزاده و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی تحت عنوان «کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی با رویکرد مدل سازی غیرخطی در شناسایی و رتبه بندی شاخص های مؤثر بر ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز شرکت های صنعتی کشور» پرداختند. به منظور تعیین عوامل مؤثر بر ریسک زنجیره تأمین از تکنیک های تحلیل رگرسیون چندگانه و تحلیل مسیر استفاده نمودند.</p>	<p>هفت عامل سیاسی، بازار، فناوری اطلاعات، اختلال، تأمین، تولید و همکاری و ارتباطات بر ریسک زنجیره تأمین اثرگذار هستند. در ادامه مشخص شد که عوامل فناوری اطلاعات، تولید و تأمین بیشترین اثر را بر ریسک زنجیره تأمین دارند.</p>
<p>قمی و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله ی خود تحت عنوان "مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط ریسک تامین" به بررسی مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط ریسک تامین پرداختند. این مسئله با استفاده برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته مدل می شود و همچنین از رویکرد دو مرحله ای احتمالی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل پیشنهادی استفاده شد.</p>	<p>کمیته کردن هزینه های زنجیره با توجه به تصمیمات مکان یابی، میزان جریان بین سطوح و فروش از دست رفته می باشد. اختلال در تامین کنندگان به کمک سناریوهای مختلف به صورت کامل در نظر گرفته می شود.</p>
<p>نیلی پور طباطبایی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی تحت عنوان «بهینه سازی کاربرد فناوری اطلاعات در مدیریت زنجیره تأمین و بازاریابی محصولات هوایی به روش ای اچ پی» معیارهای زنجیره تأمین و فناوری اطلاعات در این شرکتها تمایل مؤثر آنها بر یکدیگر شناخته شده و اولویت های فناوری اطلاعات بر مدیریت زنجیره تأمین تبیین شده اند.</p>	<p>منابع آموزش دیده در زمینه آی تی<sup>۱۰</sup>، حمایت مدیران ارشد، وجود زیر ساخت های سخت افزاری و نرم افزاری، تجارت الکترونیک و مبادله با شرکای تجاری، به عنوان الگوی بهینه سازی کاربرد فناوری اطلاعات در مدیریت زنجیره تأمین در نظر قرار گیرد.</p>
<p>تحقیق حاضر (۱۳۹۹) مدل ریاضی بکار گرفته شده در این تحقیق، برنامه ریزی عدد صحیح مختلط بوده و روش تحقیق از نوع توصیفی _تحلیلی و بر حسب هدف کاربردی است. تعداد ۳۰ مسئله با ابعاد مختلف و براساس شیوه های رایج تولید و با الگوریتم فراالکتاری چندهدفه (NSGA-II) و الگوریتم تکاملی چندهدفه ی بهینه سازی ازدحام ذرات (MOPSO) مورد ارزیابی قرار گرفت.</p>	<p>در نظر گرفتن ملاحظات پایداری در مسئله زمان بندی تولید و ساخت با کمیته کردن مصرف انرژی به عنوان یک معیار در برنامه ریزی کارگاهی مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس نشان داده شد که خروجی حاصل از الگوریتم NSGA-II نسبت به الگوریتم MOPSO، برای این مسائل عملکرد بهتری دارد.</p>

## ۲- روش شناسی

پژوهش حاضر به لحاظ روش و ماهیت کار توصیفی و از نظر هدف کاربردی و از نظر زمان مقطعی و از نوع همبستگی است. جامعه آماری تحقیق شرکت پدیده ماشین سازی غرب می باشد. روش تحقیق از نوع توصیفی \_تحلیلی و بر حسب هدف کاربردی است. داده های مورد نیاز از طریق اطلاعات موجود در شرکت پدیده ماشین سازی غرب و مصاحبه ساختار یافته با روش تحلیل کمی گردآوری و سپس در نرم افزار متلب پیاده سازی شدند. جهت جمع آوری اطلاعات دو روش کتابخانه ای و میدانی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق برنامه ریزی در راستای به حداقل رساندن زمان انجام کار و مصرف انرژی کل با استفاده از مدل ریاضی مناسب صورت گرفته، سپس کلیه پارامترها وارد نرم افزار متلب شده و مدل حل می شود.

یک مسئله زمان بندی خط تولید تبدیلی دو دستگای با زمان های برپایی وابسته به توالی، در جاهایی که دستگاه ها سرعت متغییر دارند، در نظر گرفته شده است. مدل بکار رفته نماینده واقعی با فرضیات و تقریب منطقی می باشد.

<sup>10</sup> AHP

<sup>11</sup> IT

مسئله زمان‌بندی خط تولید کلی شامل  $n$  شغل است که باید در  $m$  دستگاه متوالی با زمان فرآوری ثابت برای تمام مشاغل پردازش شوند. بدین منظور جهت تشریح و حل مسائل زمان‌بندی به سه بعد توجه می‌گردد؛ بعد اول محیط کارگاه و بعد دوم شرایط و جزئیات آن را نشان می‌دهد. در انتها بعد سوم نیز به دنبال کمینه‌سازی توابع هدف می‌باشد (Mansouri, Aktas, & Besikci, 2016: 3). مدل بکار رفته از مقاله منصور و همکاران (۲۰۱۶) استخراج گردیده و نماینده واقعیتی با فرضیات و تقریب منطقی می‌باشد. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهاد شده تعداد ۳۰ مسئله تولید گردید که با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم تکاملی چندهدفه‌ی بهینه‌سازی ازدحام ذرات (MOPSO)، در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است و عملکرد دو الگوریتم با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مقایسه شد.

معیارهای مقایسه الگوریتم‌ها عبارتند از:

- ۱) محاسبه‌ی فاصله‌ی نزدیکی بین جواب‌های نامغلوب حاصله و نقطه‌ی ایده‌آل حاصل (MID)
- ۲) محاسبه‌ی گستردگی جواب‌های جبهه‌ی پارتو بهینه‌ی حاصل از الگوریتم (MS)
- ۳) گستردگی محاسبه میزان تنوع در جواب‌های پارتو (SNS)
- ۴) زمان حل (CPU time)

الف) مفروضات مدل

مدل پیشنهادی قابلیت استفاده برای مسائل جریان کارگاهی با  $m$  ماشین (تعداد مختلف ماشین) را دارا می‌باشد. همچنین سیاست انجام کار به موقع نیز در مدل گنجانده شده است، به طوری که مجموع وزنی زمان‌های دیرکرد و زودکرد کارها کمینه خواهد شد. بنابراین مدل به دنبال کمینه‌سازی همزمان سه معیار (کمینه‌سازی زمان اتمام کل، کمینه‌سازی مجموع وزنی دیرکرد و زودکرد کارها و کمینه‌سازی مصرف انرژی کل) می‌باشد.

ب) پارامترهای مدل

پارامترهای مدل در جدول شماره (۲) بیان شده است.

جدول شماره (۲) پارامترهای مدل

$I$	اندیس ماشین آلات ( $i=1, \dots, m$ )	$p_{ij}$	زمان پردازش کار $j$ روی ماشین $i$
$J, k$	اندیس کارها ( $j, k=1, \dots, n$ )	$d_j$	موعد تحویل کار $j$
$L$	اندیس سرعت پردازش	$wt_j$	وزن دیرکرد کار $j$
$N$	تعداد کارها	$we_j$	وزن زودکرد کار $j$
$M$	تعداد ماشین آلات	$S_{ijk}$	زمان انتظار برای تغییر کار $k$ به $k$ بر روی ماشین $i$
$v_l$	فاکتور سرعت پردازش ( $l=1, 2, 3$ ) پردازش به ترتیب سرعت‌های آهسته، متوسط و تند)	$\mu_i$	توان ماشین $i$
$\alpha_l$	فاکتور تبدیل برای سرعت پردازش $l$	$\lambda_l$	فاکتور تبدیل برای پردازش سرعت $l$
$\varphi_i$	فاکتور تبدیل برای زمان بیکاری ماشین $i$	$v_i$	فاکتور پردازش زمان (مقدار $l$ به ترتیب برای سرعت‌های سریع، متوسط و کم = ۱، ۲، ۳)
$M$	یک عدد بسیار بزرگ		

ج) متغیرهای مدل

متغیرهای مدل در جدول (۳) آورده شده است.

جدول شماره (۳): متغیرهای مدل

$y_{jk}$	اگر کار $j$ بلافاصله قبل از کار $k$ برنامه ریزی شده باشد ۱، در غیر اینصورت ۰	$T_j$	دیرکرد کار $j$
$x_{ijl}$	اگر کار $j$ با سرعت $l$ روی ماشین $i$ پردازش شده باشد ۱، در غیر اینصورت ۰	$E_j$	زودکرد کار $j$
$\theta_j$	اگر کار $j$ اولین کار باشد ۱، در غیر اینصورت ۰	$C_j$	زمان اتمام کار $j$

$C_{ij}$	زمان اتمام کار $j$ بر روی ماشین $i$	$O_j$	تنظیم جابجایی <sup>۱۲</sup> برای کار $j$ بر روی ماشین دوم (برای حالتی که کار $j$ اولین کار در توالی باشد)
$\theta_i$	زمان بیکاری ماشین $i$	$TEC$	مصرف انرژی کل بر حسب کیلو وات ساعت
$C_{max}$	زمان اتمام کل (تکمیل آخرین کار بر روی آخرین ماشین)		

مدل ریاضی بکار گرفته شده در این تحقیق، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می باشد. هدف نهایی اجرای این مدل به حداقل رساندن زمان سیکل آخرین شغل بر آخرین دستگاه، کمینه‌سازی مجموع دیرکرد و زودکرد کارها و مصرف انرژی کل در واحد تولید می‌باشد. تابع هدف  $C_{max}$  در راستای کاهش زمان انجام کار، به عنوان مقیاس سطح خدمات است و مصرف انرژی کل به عنوان یک معیار پایداری به شمار می‌آید. روابط (۱) تا (۱۶) محدودیت‌های مدل را بیان می‌کند. در ادامه هریک از توابع هدف و محدودیت‌ها تشریح شده‌اند.

(د) توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\min C_{max}^{13}$$

تابع هدف (۱):

$$\min \sum_{j=1}^n (wt_j T_j + we_j E_j)$$

کمینه‌سازی زمان اتمام کل

تابع هدف (۲):

$$\min TEC^{14}$$

کمینه‌سازی مجموع دیرکرد و زودکرد کارها

تابع هدف (۳):

کمینه‌سازی مصرف انرژی کل

St.

$$M(1 - \vartheta_j) + o_j \geq s_{2jj} - c_{1j} \quad \forall j$$

رابطه (۱):

طول زمان جابجایی

$$c_{1j} \geq \frac{p_{1j}}{v_l} x_{1jl} + s_{1jj} \vartheta_j \quad \forall j.l$$

رابطه (۲):

زمان اتمام کار بر روی ماشین اول

$$c_{2j} \geq \frac{p_{2j}}{v_l} x_{2jl} + c_{1j} + o_j \quad \forall j.l$$

رابطه (۳):

زمان تکمیل کارها

$$c_{ij} \geq \frac{p_{ij}}{v_l} x_{ijl} + c_{(i-1)j} \quad \forall i = 3, \dots, m.j.l$$

رابطه (۴):

مشخص کردن زمان اتمام کار بر روی سایر ماشین

ها

$$M\vartheta_j + M(1 - y_{jk}) + c_{ik} \geq c_{ij} + \frac{p_{ik}}{v_l} x_{ikl} + s_{ijk} y_{jk} \quad \forall i = 2, \dots, m.j.k.l . j \neq k$$

رابطه (۵):

تضمین این که زمان اتمام کارهای پشت سر هم در

حال افزایش می باشد.

$$C_{max} \geq C_{mj} \quad \forall j$$

رابطه (۶):

محاسبه زمان اتمام کل

$$\theta_i = C_{max} - \sum_j \sum_l \frac{p_{ij}}{v_l} x_{ijl} \quad \forall i$$

رابطه (۷):

<sup>12</sup> Setup offset

<sup>13</sup> The makespan, the completion time of the last job on the last machine ( $C_{max}$ )

<sup>14</sup> Total Energy Consumption (TEC)



زمان بیکاری ماشین آلات

$$TEC = \sum_i \sum_j \sum_l \frac{\mu_i \alpha_l p_{ij}}{60 v_l} x_{ijl} + \sum_i \frac{\varphi_i \mu_i \theta_i}{60} \quad \text{رابطه (۸)}$$

مصرف انرژی کل

$$c_j = \max\{c_{ij}\} \quad \forall j \quad \text{رابطه (۹)}$$

زمان اتمام کار j

$$T_j = \max\{c_j - d_j, 0\} \quad \forall j \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

مقدار دیرکرد کار j

$$E_j = \max\{d_j - c_j, 0\} \quad \forall j \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

مقدار زودکرد کار j

$$\sum_j \vartheta_j = 1 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

تضمین این که تنها یک کار اول وجود دارد

$$\sum_k y_{jk} = 1 \quad \forall j, j \neq k \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

رعایت توالی کارها

$$\sum_j y_{jk} = 1 \quad \forall k, j \neq k \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

رعایت توالی کارها

$$\sum_l x_{ijl} = 1 \quad \forall i, j \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

برای هر کار یک فاکتور سرعت انتخاب شده است

$$\vartheta_j, x_{ijl}, y_{jk} \in \{0,1\}, \quad o_j, \theta_i, T_j, E_j, c_j, C_{max}, TEC \geq 0 \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

نشان دادن نوع متغیرهای استفاده شده در مدل (نوع باینری و

نامنفی بودن)

تابع هدف (۱) کمینه‌سازی زمان اتمام کل می‌باشد، تابع هدف (۲) مجموع دیرکرد و زودکرد کارها را نسبت به زمان مقرر برای انجام آن‌ها کمینه می‌نماید. در واقع سیاست just in time در مدل لحاظ گردیده است. تابع هدف (۳) مصرف انرژی کل را بر حسب کیلووات ساعت کمینه می‌نماید. محدودیت (۱) طول زمان جابجایی برای اولین کار را محاسبه می‌نماید به طوری تضمین نماید که زمان تکمیل بر روی ماشین دوم به تأخیر می‌افتد. محدودیت (۲) زمان اتمام کار بر روی ماشین اول را نشان می‌دهد. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که زمان تکمیل کارها بر روی ماشین دوم بزرگتر یا مساوی است با زمان تکمیل کار بر روی اولین ماشین به اضافه زمان پردازش بر روی ماشین دوم. محدودیت (۴) زمان اتمام کار بر روی سایر ماشین‌ها را مشخص می‌نماید. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که زمان اتمام کارهای پشت سر هم در حال افزایش می‌باشد (بر اساس زمان اتمام کار قبلی). محدودیت (۶) محاسبه زمان اتمام کل که باید از زمان اتمام آخرین کار بر روی آخرین ماشین بیشتر باشد. محدودیت (۷) زمان بیکاری ماشین آلات را نشان می‌دهد. محدودیت (۸) مصرف انرژی کل را نشان می‌دهد (بر حسب کیلو وات ساعت). محدودیت (۹) زمان اتمام کار j را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۰) مقدار دیرکرد کار j را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۱) مقدار زودکرد کار j را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۲) تضمین می‌نماید که تنها یک کار اول وجود دارد. محدودیت (۱۳) و (۱۴) رعایت توالی کارها را نشان می‌دهند. محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد که برای هر کار یک فاکتور سرعت انتخاب شده است. محدودیت (۱۶) نوع متغیرهای استفاده شده در مدل را از نوع باینری و نامنفی بودن نشان می‌دهد.

ه) توصیف شاخص‌ها

عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی فراابتکاری براساس شاخص‌های محاسبه‌ی فاصله‌ی نزدیکی بین جواب‌های نامغلوب حاصله و نقطه‌ی ایده‌آل حاصل<sup>۱۵</sup>، محاسبه‌ی گسترده‌ی جواب‌های جبهه‌ی پارتو بهینه‌ی حاصل از الگوریتم<sup>۱۶</sup>، گسترده‌ی محاسبه‌ی میزان تنوع در جواب‌های پارتو<sup>۱۷</sup> و همچنین زمان حل، بررسی می‌شود.

<sup>15</sup> Mean Ideal Distance (MID)

(و) توصیف متغیرها

محدوده مقادیر پارامترها به شرح جدول (۴) می‌باشد.

جدولش شماره (۴): محدوده مقادیر پارامترها

L	۳
a	Unif (۰/۵, ۲)
b	Unif (۰/۲, ۰/۸)
p <sub>ij</sub>	Unif (۱/۹۹)
v	۰/۸      ۱      ۱/۲
μ <sub>i</sub>	۶۰ kw
S <sub>ijk</sub>	Unif (۱, ۲۵), Unif (۱, ۵۰), Unif (۱, ۹۹), Unif (۱, ۱۲۵)

$l$  = شاخص‌های سرعت پردازش

$p_{ij}$  = زمان پردازش شغل  $j$  بر ماشین  $i$

$V$  = فاکتور پردازش زمان (مقدار  $l$  به ترتیب برای سرعت‌های سریع، متوسط و کم = ۱، ۲، ۳)

$\mu_i$  = نیروی دستگاه  $i$

$S_{ijk}$  = زمان مورد انتظار برای تغییر شغل  $j$  به  $k$  بر روی ماشین  $i$

برای تولید مقادیر زمان بیکاری<sup>۱۸</sup> از روش بکار رفته در مقاله ریز و استاتزل<sup>۱۹</sup> (۲۰۰۶) استفاده شده است. فرمول استفاده شده به صورت رابطه (۱۷) می‌باشد:

رابطه (۱۷):

$$d_j = \sum_{i=1}^m P_{ij} * (1 + r * 3)$$

$r = \text{unif}(0,1)$

وزن‌های کارها نیز به صورت روابط (۱۸) و (۱۹) تولید می‌شود:

$$wt_j = \text{rand}(0,1)$$

$$wt_j = \frac{wt_j}{\sum_j wt_j}$$

$$we_j = \text{rand}(0,1)$$

$$we_j = \frac{we_j}{\sum_j we_j}$$

رابطه (۱۸)

رابطه (۱۹)

### ۳- نتایج و بحث

الف) تولید مسائل

به منظور بررسی مدل و عملکرد الگوریتم پیشنهاد شده، تعداد ۳۰ مسئله با مشخصات ارائه شده زیر تولید گردید، (جدول‌های (۵)، (۶) و (۷)):

<sup>16</sup> Max-Spread (MS)

<sup>17</sup> Span of Non-dominant Solution (SNS)

<sup>18</sup> due date

<sup>19</sup> ruiz and stutzle

جدول شماره (۵): مسائل با مقیاس کوچک

تعداد مسائل	۳	۳	۴	۱۰ مسئله
n تعداد کار	۶	۷	۸	
m تعداد ماشین	۵			

جدول شماره (۶): مسائل با مقیاس متوسط

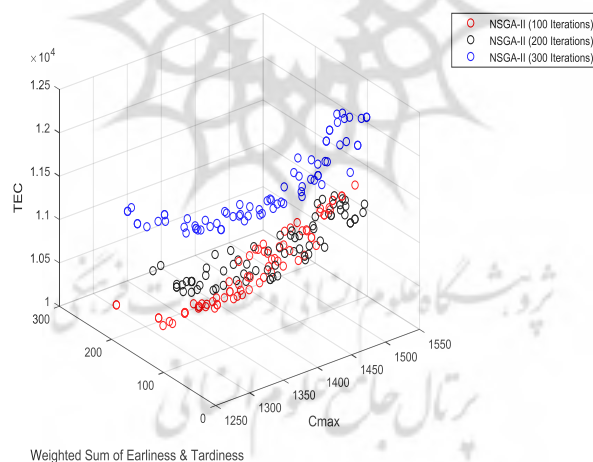
تعداد مسائل	۳	۳	۴	۱۰ مسئله
n تعداد کار	۱۵	۲۰	۳۰	
m تعداد ماشین	۱۰	۱۰	۱۰	

جدول شماره (۷): مسائل با مقیاس بزرگ

تعداد مسائل	۳	۳	۴	۱۰ مسئله
n تعداد کار	۵۰	۸۰	۱۰۰	
m تعداد ماشین	۳۰	۳۰	۳۰	

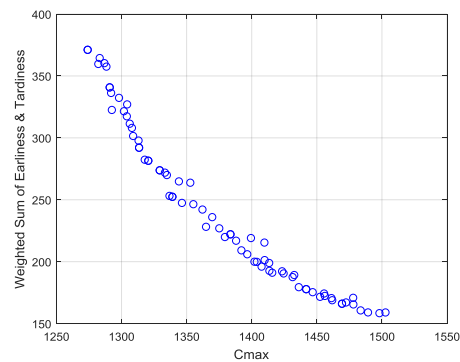
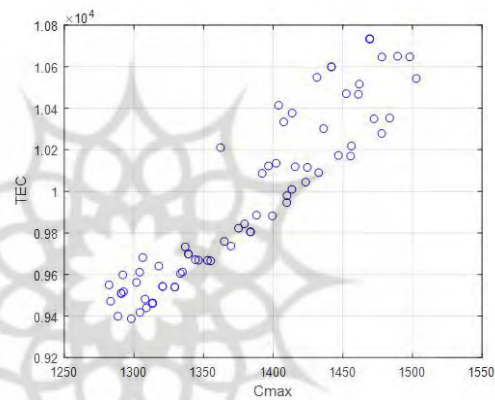
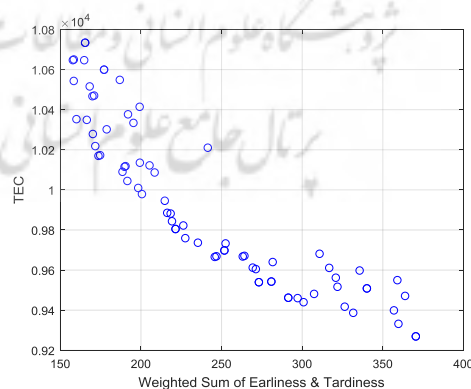
(ب) صحت‌سنجی و تقابل توابع هدف

پیش از ارائه نتایج عملکرد الگوریتم به طور کلی در قالب یکی از مسائل نمونه بررسی شد تا در رابطه با صحت‌سنجی مدل و روش حل و همچنین نحوه تقابل توابع هدف بحث گردد. به منظور مشاهده پاسخ‌های پارتو تولید شده توسط الگوریتم، یک نمونه نمودار پارتو سه حالت از الگوریتم پیشنهادی برای یکی از مسائل با مقیاس متوسط از خروجی نرم افزار متلب در شکل (۱) ترسیم گردیده است.



شکل شماره (۱): نمودار پارتو (حد مرزی جواب‌ها) برای مسئله شماره ۱ (از مسائل با مقیاس متوسط) برای حالات مختلف از الگوریتم

بر اساس این نمودار می‌توان دریافت که عملکرد الگوریتم با تعداد ۲۰۰ و ۱۰۰ تکرار نسبت به ۳۰۰ تکرار عملکرد بهتری داشته است. این نتیجه با آن چه در ردیف مربوطه به مسئله شماره ۱ از مسائل مقیاس متوسط (که در جدول (۶) در ادامه آورده می‌شود) هم‌خوانی دارد. برای نشان دادن تعارض بین توابع هدف ارائه شده در مدل ریاضی، یک نمونه از نمودارهای پارتو به صورت دو بعدی با در نظر گرفتن ترکیب‌های مختلف دو به دو از توابع هدف در شکل (۲) آورده شده است.

الف) تقابل توابع هدف  $C_{max}$  و مجموع وزنی زودکرد و دیرکردب) تقابل توابع هدف  $C_{max}$  و TEC

ج) تقابل توابع هدف مجموع وزنی زودکرد و دیرکرد و TEC

شکل شماره (۲): تقابل دو به دو توابع هدف

با توجه به نمودار (الف) از شکل (۲) تعارض بین کمینه‌سازی هم‌زمان  $C_{max}$  و مجموع وزنی زودکرد و دیرکرد کارها به وضوح مشخص می‌باشد. با مشاهده نمودار (ب) بین کمینه‌سازی هم‌زمان  $C_{max}$  و TEC تعارض ملموسی وجود ندارد. با توجه به تشکیل نقاط پارتو مختلف می‌توان ملاحظه نمود که در عین حال کمینه‌سازی هر دو تابع هدف در یک نقطه اتفاق نمی‌افتد. لازم

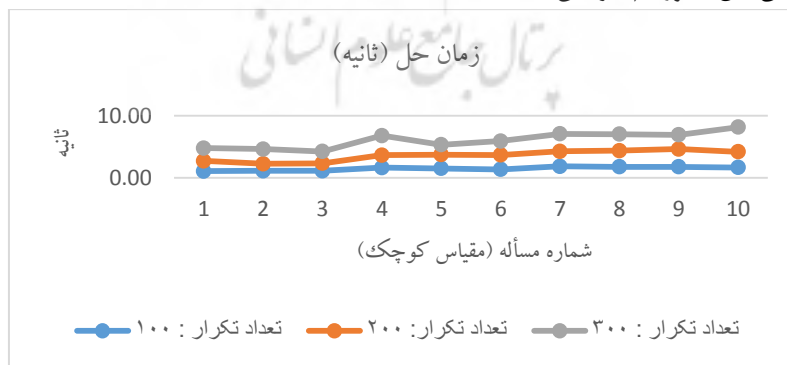
به ذکر است متعارض بودن تنها دو تابع هدف برای استفاده از روش‌های حل چند هدفه کیفیت می‌نماید. با توجه به نمودار (ج) تعارض بین کمینه‌سازی همزمان TEC و مجموع وزنی زودکرد و دیرکرد کارها به وضوح مشخص می‌باشد.  
 (ج) نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب  
 نتایج حاصل از حل مسائل با مقیاس کوچک در جدول (۸)، مسائل با مقیاس متوسط در جدول (۹) و مسائل با مقیاس بزرگ در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول شماره (۸): معیارهای ارزیابی الگوریتم با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس کوچک

تعداد تکرار: ۳۰۰				تعداد تکرار: ۲۰۰				تعداد تکرار: ۱۰۰				الگوریتم NSGA-2	
CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	ابعاد (n x m)	
۴/۷۹	۹۲/۹۶	۱۵/۹۳	۲۴۳/۷۰	۲/۷۳	۷۴/۲۹	۹/۳۱	۲۰۲/۵۰	۱/۰۸	۱۴۹/۹۳	۲۹/۰۶	۲۹۸/۹۲	۶x۵	۱
۴/۶۳	۳۲۱/۹۹	۱۵/۶۹	۶۴۴/۰۴	۲/۲۷	۲۲۹/۶۰	۱۷/۳۴	۴۷۶/۳۲	۱/۱۴	۲۶۱/۶۱	۱۷/۳۸	۴۶۴/۰۵	۶x۵	۲
۴/۲۶	۲۶۶/۲۷	۳۸/۹۴	۴۶۵/۶۲	۲/۳۵	۳۰۷/۸۷	۳۳/۴۸	۵۸۹/۵۹	۱/۱۳	۲۷۳/۲۱	۲۳/۰۰	۵۶۳/۸۷	۶x۵	۳
۶/۸۱	۹۶/۱۳	۸/۵۰	۱۴۷/۰۲	۳/۶۵	۹۶/۴۹	۱۷/۰۹	۳۴۵/۵۶	۱/۶۴	۵۹/۲۲	۱۵/۱۳	۱۷۶/۴۵	۵x۷	۴
۵/۳۴	۱۷۲/۷۶	۱۲/۹۶	۳۸۱/۰۳	۳/۷۳	۲۲۵/۲۴	۱۴/۹۸	۳۹۹/۵۸	۱/۵۱	۱۶۵/۴۵	۱۴/۰۶	۴۲۰/۷۲	۵x۷	۵
۵/۹۲	۷۵/۲۴	۲۴/۶۵	۳۰۱/۹۷	۳/۶۹	۴۲/۸۸	۱۸/۹۹	۲۸۱/۰۵	۱/۳۶	۴۵/۵۵	۱۷/۵۰	۲۱۸/۵۸	۵x۷	۶
۷/۰۹	۳۲۶/۸۷	۱۹/۴۴	۳۶۵/۳۶	۴/۲۸	۲۱۴/۹۱	۱۹/۴۹	۴۷۸/۶۷	۱/۸۷	۱۴۴/۶۱	۱۷/۸۰	۳۵۰/۰۱	۵x۸	۷
۷/۰۴	۲۶/۷۲	۹/۴۳	۱۳۰/۱۹	۴/۳۴	۳۷/۹۴	۶/۲۸	۱۳۵/۶۲	۱/۷۸	۶۵/۵۴	۱۲/۵۲	۱۷۱/۸۸	۵x۸	۸
۶/۹۳	۱۰۶/۶۲	۸/۶۴	۲۳۷/۰۰	۴/۶۳	۱۹۸/۳۳	۱۳/۶۴	۳۰۸/۳۷	۱/۷۷	۱۵۹/۹۰	۱۲/۳۵	۲۸۵/۵۷	۵x۸	۹
۸/۱۸	۱۹۴/۲۸	۱۹/۹۸	۴۹۶/۸۹	۴/۲۱	۲۲۰/۰۶	۱۷/۰۴	۴۳۸/۸۹	۱/۶۸	۱۷۸/۶۵	۲۵/۲۷	۳۸۶/۲۵	۵x۸	۱۰
۶/۸۹	۱۵۷/۹۸	۱۷/۴۲	۳۴۱/۲۸	۳/۸۵	۱۶۴/۷۶	۱۶/۷۶	۳۶۵/۶۱	۱/۶۷	۱۵۰/۳۷	۱۸/۴۱	۳۳۳/۶۳		میانگین

سایز کوچک

با توجه به جدول (۷) و بر اساس نتایج بدست آمده در مقیاس کوچک الگوریتم با تعداد ۱۰۰ تکرار بر اساس معیارهای کیفیت و زمان حل عملکردی بهتر ارائه می‌کند. براساس معیارهای نظم پارتو الگوریتم با تعداد ۲۰۰ تکرار عملکرد بهتری ارائه نموده است. نمودار (۱) زمان حل مسائل با مقیاس کوچک را برای سه حالت الگوریتم نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش تعداد تکرارها زمان حل الگوریتم افزایش یافته است.



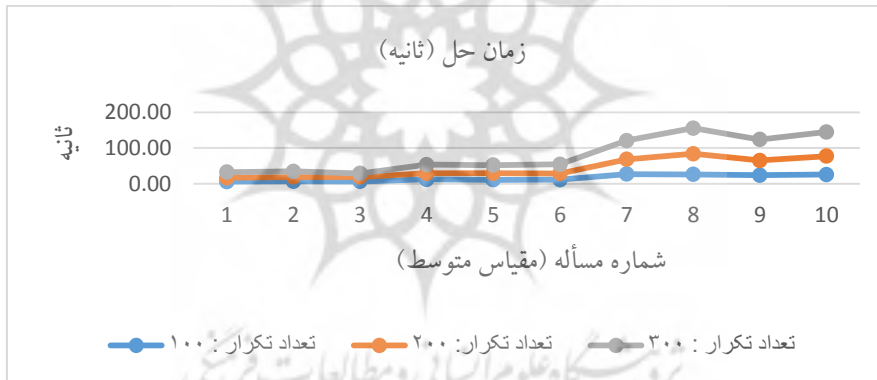
نمودار شماره (۱): نمودار مقایسه‌ای زمان حل مسائل با مقیاس کوچک در سه حالت الگوریتم (با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار)

تعداد تکرار: ۳۰۰				تعداد تکرار: ۲۰۰				تعداد تکرار: ۱۰۰				الگوریتم NSGA-2	
CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	ابعاد n x m	
۳۲/۱۹	۲۹۰/۴۵	۱۸/۸۷	۱۳۲۵/۵۳	۱۶/۴۸	۳۲۸/۴۸	۱۵/۸۴	۷۰۲/۵۰	۹۴۵	۳۲۸/۳۲	۲۰/۰۶	۵۳۴/۴۲	۱۰x۱۵	۱

سایز متوسط

۳۴/۵۹	۴۱۴/۵۴	۲۸/۶۳	۶۹۹/۹۰	۱۹/۰۵	۳۵۸/۵۹	۱۸/۰۹	۷۳۴/۰۷	۶/۸۰	۳۹۰/۴۲	۱۶/۴۳	۸۶۳/۳۳	۱۰×۱۵	۲
۲۸/۵۳	۳۵۵/۴۱	۳۲/۹۶	۱۶۰۸/۷۷	۱۸/۹۱	۷۷۳/۶۵	۲۱/۸۹	۶۶۰/۲۱	۶/۳۷	۶۵۶/۶۲	۲۶/۶۸	۹۸۶/۱۶	۱۰×۱۵	۳
۵۳/۳۹	۷۰۱/۹۰	۲۲/۳۴	۱۱۵۷/۵۹	۲۹/۰۲	۶۴۰/۲۲	۳۲/۸۲	۱۰۸ ۱۲۲۰	۱۲/۰۳	۳۱۱/۰۷	۲۶/۴۷	۱۱۵۲/۶۱	۱۰×۲۰	۴
۵۲/۳۲	۳۰۲/۶۸	۵۱/۸۲	۶۸۲/۲۵	۲۹/۲۶	۳۷۹/۹۷	۸/۸۰	۸۹۳/۲۸	۱۰/۷۸	۲۷۰/۱۲	۱۰/۹۰	۷۹۶/۳۹	۱۰×۲۰	۵
۵۴/۳۲	۵۴۲/۴۰	۲۲/۱۵	۸۱۲/۵۶	۲۸/۸۰	۳۹۸/۷۸	۲۰/۴۶	۸۰۷/۰۲	۱۱/۱۵	۳۹۶/۷۱	۳۵/۰۷	۹۲۹/۷۴	۱۰×۲۰	۶
۱۲۰/۸۹	۴۱۸/۶۸	۱۹/۲۰	۹۳۷/۱۹	۶۸/۴۸	۴۵۹/۶۲	۲۳/۱۵	۶۴۰/۸۱	۲۶/۷۷	۲۵۸/۳۲	۲۸/۰۷	۱۱۱۶/۸۳	۱۰×۳۰	۷
۱۵۵/۷۹	۳۱۵/۲۳	۱۵/۵۹	۴۲۹/۵۰	۸۴/۱۴	۲۳۵/۹۴	۱۱/۷۲	۸۵۴/۳۴	۲۶/۱۸	۴۴۱/۴۸	۱۵۱ ۱۴۸	۶۷۷/۴۳	۱۰×۳۰	۸
۱۳۴/۱۵	۲۵۱/۷۳	۱۵/۹۴	۴۱۴/۲۰	۶۵/۲۸	۲۰۱/۳۹	۱۲/۷۹	۸۴۵/۱۸	۲۳/۹۲	۹۸۱۶۹	۱۴/۸۷	۳۳۳/۹۹	۱۰×۳۰	۹
۱۴۵/۱۴	۱۹۹/۴۷	۱۲/۴۰	۴۶۶/۹۱	۷۷/۱۷	۱۵۹/۵۱	۱۳/۰۲	۴۳۲/۳۷	۲۵/۶۳	۳۱۰/۴۱	۳۳/۳۶	۵۸۲/۷۸	۱۰×۳۰	۱۰
۸۹/۹۴	۳۷۹/۲۵	۲۳/۹۹	۸۵۲/۴۴	۴۹/۶۳	۳۹۲/۶۲	۱۷/۸۶	۷۷۸/۰۳	۱۸/۰۸	۳۵۳/۳۵	۳۶/۰۴	۷۹۷/۳۷		میانگین

جدول شماره (۹): معیارهای ارزیابی الگوریتم با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس متوسط با توجه به جدول (۹) و بر اساس نتایج به دست آمده در مقیاس متوسط الگوریتم با تعداد ۲۰۰ تکرار بهترین حالت می باشد و بر اساس معیارهای کیفیت و نظم پارتو عملکرد بهتری ارائه نموده است. از لحاظ زمانی بدیهی است الگوریتم با تعداد تکرار ۱۰۰ عملکرد بهتری ارائه کرده است.



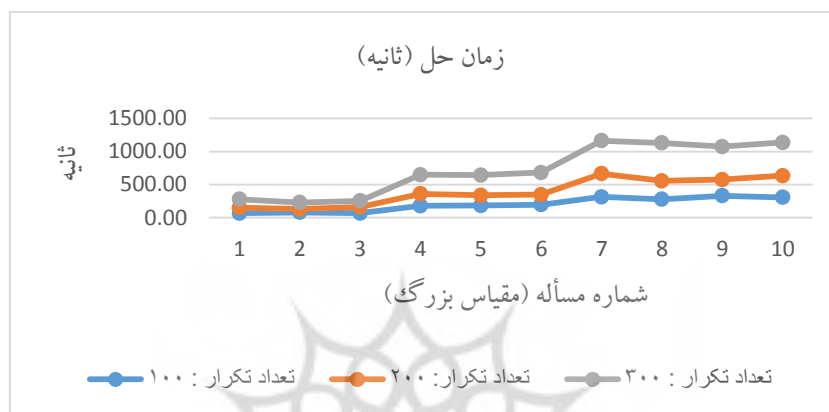
نمودار شماره (۲): مقایسه‌ی زمان حل مسائل با مقیاس متوسط در سه حالت الگوریتم (با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار) نمودار (۲) زمان حل مسائل با مقیاس متوسط را برای سه حالت الگوریتم نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می گردد با افزایش تعداد تکرارها و ابعاد مسائل زمان حل الگوریتم افزایش یافته است.

جدول شماره (۱۰): معیارهای ارزیابی الگوریتم با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس بزرگ

الگوریتم - NSGA-2			تعداد تکرار: ۱۰۰			تعداد تکرار: ۲۰۰			تعداد تکرار: ۳۰۰				
CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	n x m	
۳۷۸/۷۹	۱۶۸۰/۶۸	۵۳/۱۶	۷۲/۳۱۹۴	۱۵۳/۰۴	۱۶۰۱/۷۱	۱۱۳/۸۸	۲۱۴/۸۸	۶۶/۴۷	۱۷۳۹/۶۰	۴۴/۸۸	۲۶۵/۴۴	۳۰×۵۰	۱
۲۲۹/۹۲	۱۹۱۶/۲۵	۲۸/۳۳	۳۹۹۹/۰۴	۱۳۱/۲۳	۱۶۴۱/۷۹	۸۴/۸۳	۳۵۶/۳۷	۷۸/۸۶	۲۱۴۴/۸۴	۹۹/۸۲	۶۳۴۲/۰۲	۳۰×۵۰	۲
۲۵۷/۹۴	۱۶۱۸/۵۴	۲۶/۵۸	۲۸۱۹/۴۳	۱۶۰/۸۹	۱۴۵۵/۷۷	۲۹/۸۷	۲۴۵۷/۷۳	۶۷/۷۹	۱۶۰۳/۲۲	۷۶/۶۳	۳۸۸۳/۴۵	۳۰×۵۰	۳
۶۶۷/۲۸	۶۱۶/۶۵	۵۲/۴۱	۲۳۵۶/۰۳	۳۶۱/۵۰	۷۳۹/۶۳	۹۸/۶۰	۴۶۰/۷۱۶۴	۱۷۹/۴۹	۱۰۷۲/۶۶	۷۴/۱۹	۴۹۸۹/۷۸	۳۰×۸۰	۴
۶۴۶/۰۱	۱۲۲۵/۸۷	۷۱/۲۰	۱۶۶۲/۶۶	۳۳۸/۶۸	۷۶۷/۸۰	۶۲/۵۸	۱۷۷۴/۸۲	۱۸۴/۳۳	۹۱۶/۴۲	۵۰/۵۴	۳۵۰۱/۸۲	۳۰×۸۰	۵
۶۸۲/۱۵	۱۴۴۴/۵۱	۶۰/۲۵	۱۳۷۳/۶۶	۳۴۹/۲۰	۱۲۸۳/۳۱	۷۶/۳۴	۵۴۵۶/۴۸	۱۹۶/۶۳	۹۲۹/۳۲	۳۸۱/۰۱	۸۶۴/۴۸	۳۰×۸۰	۶
۱۱۶۴/۷۷	۲۴۲۱/۷۷	۶۱/۵۹	۱۶۷۴/۶۶	۶۶۵/۵۷	۱۴۳۳/۷۱	۷۴/۴۷	۲۱۰۵/۰۴	۳۱۵/۲۵	۵۸۳/۴۳	۱۷۷/۴۴	۳۷۴۲/۵۱	۳۰×۱۰۰	۷
۱۱۳۰/۴۹	۱۰۵۹/۲۶	۸۸/۴۴	۲۰۵۳/۱۲	۵۵۷/۲۰	۹۸۲/۳۷	۶۱/۹۳	۱۷۷۹/۵۴	۳۷۹/۲۴	۷۹۶/۱۴	۱۸۲/۲۹	۳۵۰۶/۴۶	۳۰×۱۰۰	۸

۱-۷۳/۴۰	۳۹۲/۴۲	۹۷/۲۳	۱۴۷۸/۴۹	۵۷۴/۶۵	۱۱۳-۹۰	۶۴/۱۶	۲۶۶-۷۱	۳۳-۵۴	۱-۹۱/۹۳	۱-۳/۶۱	۳۷۶۴/۳۶	۳۰×۱۰۰	۹
۱۱۳۷/۰۹	۱۴۳۳/۶۸	۵۴/۶۶	۳۳۲/۲۵	۶۳۳/۱۱	۱۰۰۳/۰۱	۵۳/۵۶	۱۳۶۶/۹۲	۳۰۷/۸۰	۱۳۵۰/۳۰	۹۶/۹۷	۵۲۹۹/۰۲	۳۰×۱۰۰	۱۰
۸-۶/۲۵	۱۳۷۸/۹۶	۵۹/۳۸	۲۳۹۰/۱۱	۴۴۷/۴۲	۱۲۰۲/۰۰	۷۰/۴۲	۲۷۹۲/۲۱	۲۳۰/۷۲	۱۲۲۲/۸۸	۱۱۸/۷۵	۴۶۲۲/۰۲	میانگین	

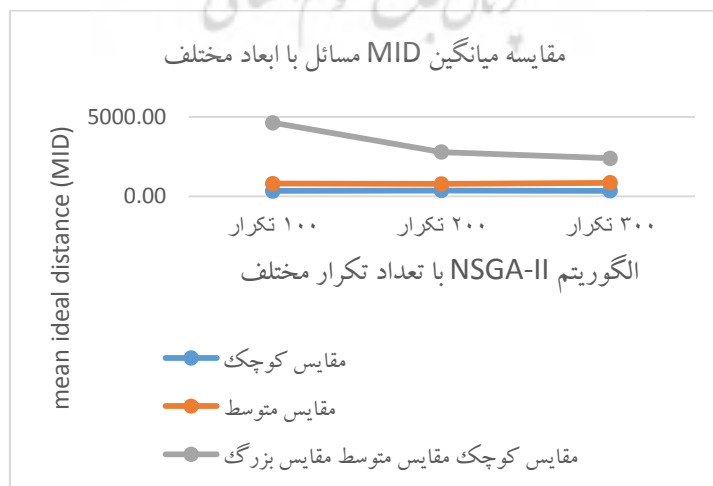
با توجه به جدول (۱۰) و بر اساس نتایج بدست آمده در مقیاس بزرگ الگوریتم با تعداد ۳۰۰ تکرار بهترین حالت می باشد و بر اساس معیارهای کیفیت و نظم پارتو عملکرد بهتری ارائه نموده است. بر اساس معیار زمانی الگوریتم با ۱۰۰ تکرار عملکرد بهتری از خود نشان می دهد که با توجه به تعداد کمتر تکرارها بدیهی می باشد. همچنین در نمودار (۳) زمان حل مسائل با مقیاس بزرگ را برای سه حالت الگوریتم نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می گردد با افزایش تعداد تکرارها و ابعاد مسائل زمان حل الگوریتم افزایش یافته است.



نمودار شماره (۳): زمان حل مسائل با مقیاس بزرگ در سه حالت الگوریتم (با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار) مقایسه میانگین های MID برای حالات مختلف الگوریتم و مقیاس های متفاوت در جدول (۱۱) آورده شده است. همچنین این مقایسه در نمودار (۴) نیز ارائه شده است.

جدول شماره (۱۱): مقایسه میانگین MID برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

MID			
	تکرار ۱۰۰	تکرار ۲۰۰	تکرار ۳۰۰
مقایس کوچک	۳۳۳/۶۳	۳۶۵/۶۱	۳۴۱/۲۸
مقایس متوسط	۷۹۷/۳۷	۷۷۸/۰۳	۸۵۲/۴۴
مقایس بزرگ	۴۶۳۲/۰۳	۲۷۹۲/۲۱	۲۳۹۰/۶۱

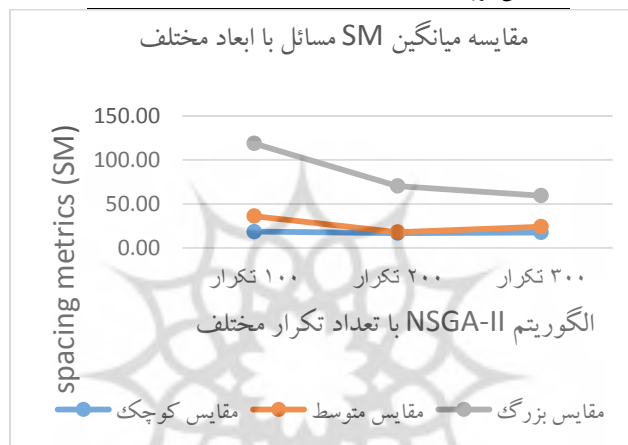


نمودار شماره (۴): مقایسه میانگین MID برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

در جدول (۱۱) و نمودار (۴) مشاهده می‌گردد مقادیر MID با افزایش ابعاد مسئله افزایش داشته است. همچنین ملاحظه می‌گردد که مقدار MID برای مسائل با مقیاس بزرگ با افزایش تعداد تکرارها کاهش یافته است که نشان از برتری الگوریتم در این حالت برای مسائل با مقیاس بزرگ دارد.

جدول شماره (۱۲): مقایسه میانگین MS برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

MS			
تکرار ۳۰۰	تکرار ۲۰۰	تکرار ۱۰۰	
۱۷/۴۲	۱۶/۷۶	۱۸/۴۱	مقایس کوچک
۲۳/۹۹	۱۷/۸۶	۳۶/۰۴	مقایس متوسط
۵۹/۳۸	۷۰/۴۲	۱۱۸/۷۵	مقایس بزرگ



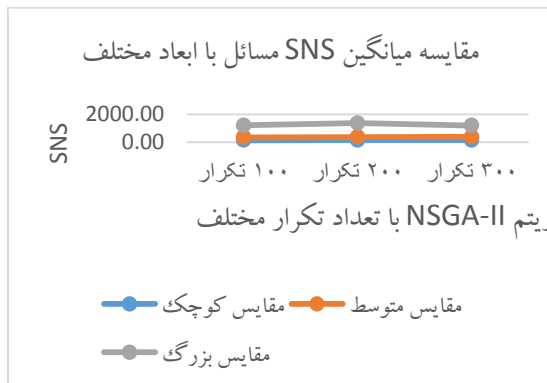
نمودار شماره (۵): مقایسه میانگین MS برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

با توجه به جدول (۱۲) و نمودار (۵) مشاهده می‌گردد مقادیر MS با افزایش ابعاد مسئله افزایش داشته است. بر اساس این نتایج برای مسائل با مقیاس کوچک الگوریتم با تعداد ۲۰۰ تکرار عملکرد بهتری ارائه نموده است. برای مسائل با مقیاس متوسط، الگوریتم با تعداد ۲۰۰ تکرار بهترین حالت و برای مسائل با مقیاس بزرگ نیز الگوریتم با ۳۰۰ تکرار بهترین نتایج را ارائه نموده است. همچنین با توجه به جدول (۱۲) و نمودار (۶) مشاهده می‌گردد مقادیر SNS با افزایش ابعاد مسئله افزایش داشته است.

جدول شماره (۱۳): مقایسه میانگین SNS برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

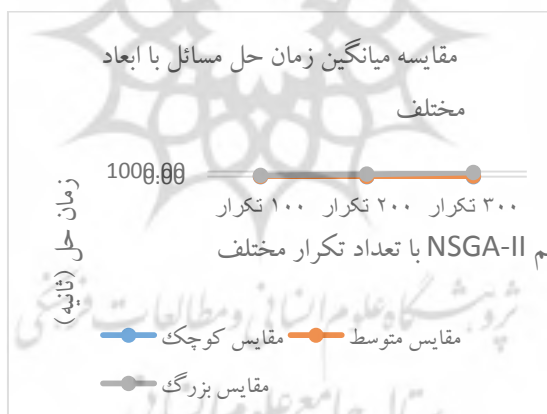
SNS			
تکرار ۳۰۰	تکرار ۲۰۰	تکرار ۱۰۰	
۱۶۴/۷۶	۱۵۷/۹۸	۱۵۰/۳۷	مقایس کوچک
۳۹۲/۶۲	۳۹۷/۲۵	۳۵۳/۳۵	مقایس متوسط
۱۲۰۲/۰۰	۱۳۷۸/۹۶	۱۲۲۲/۷۸	مقایس بزرگ





نمودار شماره (۶): مقایسه میانگین SNS برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف جدول (۱۴) و نمودار (۷) مقایسه میانگین زمان حل برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف را نشان می‌دهد که نشان‌گر افزایش زمان حل مسائل با افزایش ابعاد مسئله و افزایش تعداد تکرارهای الگوریتم می‌باشد. جدول شماره (۱۴): مقایسه میانگین زمان حل برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

CPU time (s)			
	تکرار ۱۰۰	تکرار ۲۰۰	تکرار ۳۰۰
مقایسه کوچک	۱/۶۷	۳/۸۵	۶/۸۹
مقایسه متوسط	۱۸/۰۸	۴۹/۶۳	۸۹/۹۴
مقایسه بزرگ	۲۳۰/۷۲	۴۴۷/۴۲	۸۰۶/۲۵



نمودار شماره (۷): مقایسه میانگین زمان حل برای حالات مختلف الگوریتم و برای مسائل با مقیاس مختلف

(د) نتایج حاصل از الگوریتم تکاملی چندهدفه‌ی بهینه‌سازی ازدحام ذرات نتایج حاصل از الگوریتم تکاملی چندهدفه‌ی بهینه‌سازی ازدحام ذرات با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب در جدول (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) آمده است. همچنین سایر پارامترهای الگوریتم تکاملی چندهدفه بر اساس آزمایشات اولیه مطابق جدول (۱۵) تنظیم گردیده است.

جدول شماره (۱۵): مقادیر تنظیم شده پارامترهای الگوریتم MOPSO		
نماد	تعریف	مقدار
C1	ضریب یادگیری شخصی	۲/۰۰
C2	ضریب یادگیری عمومی	۲/۰۵
W	وزن اینرسی	۱
npop	تعداد ذرات	$2 \times n_{job}$

جدول شماره (۱۶): معیارهای ارزیابی الگوریتم MOPSO با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس کوچک

MOPSO													ابعاد (n x m)	
تعداد تکرار : ۳۰۰			تعداد تکرار: ۲۰۰			تعداد تکرار : ۱۰۰			CPU time (s)	SNS	MS	MID		
CP U time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)					SNS	MS
۴/۸۵	۹۱/۳۶	۱۱/۷۶	۲۶۱/۹۳	۲/۷۷	۷۸/۰۲	۴/۴۹	۳۰۹/۷۲	۱/۰۰	۱۴۹/۶۵	۲۴/۴۲	۲۰۷/۶۱	۶X۵	۱	
۴/۸۰	۳۲۲/۴۹	۱۰/۸۲	۶۷۵/۰۳	۲/۳۱	۲۲/۱۸	۱۵/۲۳	۴۷۹/۰۰	۱/۰۵	۲۵۳/۷۲	۹/۳۴	۵۰۰/۷۶	۶X۵	۲	
۴/۳۴	۲۵۶/۹۴	۳۵/۹۰	۵۰۶/۰۶	۲/۴۶	۲۸۶/۷۵	۳۱/۷۶	۵۸۶/۶۶	۱/۰۷	۲۶۱/۸۰	۱۶/۸۶	۵۹۱/۷۲	۶X۵	۳	
۶/۸۲	۹۵/۵۳	۲/۵۲	۱۶۰/۰۹	۳/۷۰	۹۸/۴۴	۱۳/۱۹	۱۹۰/۳۸	۱/۶۵	۶۱/۱۴	۱۳/۱۳	۳۶۱/۲۴	۷X۵	۴	
۵/۵۸	۱۷۳/۱۱	۸/۹۳	۳۸۶/۱۲	۳/۸۳	۲۱۲/۳۳	۹/۶۴	۴۲۶/۹۹	۱/۵۱	۱۶۵/۰۱	۱۴/۰۸	۴۲۶/۳۴	۷X۵	۵	
۵/۹۹	۷۵/۹۹	۲۰/۵۶	۳۰۹/۵۲	۳/۸۳	۴۰/۳۱	۱۸/۶۷	۲۲۰/۰۵	۱/۴۰	۷۴/۴۰	۱۸/۳۴	۲۹۴/۸۷	۷X۵	۶	
۷/۴۴	۲۲۵/۴۰	۱۲/۲۵	۳۸۲/۳۳	۴/۳۶	۲۱۳/۵۲	۱۸/۹۲	۳۵۳/۰۴	۱/۹۲	۱۳۷/۲۶	۱۷/۶۳	۵۹۹/۶۱	۸X۵	۷	
۷/۱۰	۲۸/۸۸	۹/۱۹	۱۳۶/۹۳	۴/۵۷	۳۸/۶۱	۱/۸۵	۱۷۷/۴۳	۱/۷۹	۶۵/۱۱	۱۲/۰۲	۱۳۷/۱۹	۸X۵	۸	
۶/۹۸	۱۰۸/۰۹	۲/۶۰	۲۳۸/۶۸	۴/۷۴	۱۹۱/۶۳	۱۳/۲۱	۳۰۷/۳۴	۱/۷۹	۱۵۸/۴۷	۵/۴۶	۳۱۰/۸۱	۸X۵	۹	
۸/۴۹	۱۸۹/۸۶	۱۲/۰۶	۵۱۵/۳۸	۴/۲۷	۲۲۰/۴۲	۹/۲۹	۴۰۳/۹۹	۱/۷۳	۱۷۳/۸۳	۲۵/۴۴	۴۴۰/۲۰	۸X۵	۱۰	
۶/۲۴	۱۵۶/۷۶	۱۲/۶۶	۳۵۷/۲۱	۳/۶۸	۱۶۰/۰۲	۱۳/۶۳	۳۴۵/۴۶	۱/۴۹	۱۴۷/۳۴	۱۵/۶۷	۳۷۹/۰۳	میانگین		

میانگین

جدول شماره (۱۷): معیارهای ارزیابی الگوریتم MOPSO با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس متوسط

MOPSO													ابعاد (n x m)	
تعداد تکرار : ۳۰۰			تعداد تکرار: ۲۰۰			تعداد تکرار : ۱۰۰			CPU time (s)	SNS	MS	MID		
CP U time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)					SNS	MS
۳۲/۳۸	۳۹۰/۲۷	۱۰/۲۹	۱۴۸۴/۲۹	۱۶/۵۸	۳۱۸/۳۵	۷/۲۶	۷۲۰/۳۰	۵/۹۹	۳۱۴/۳۸	۱۴/۲۵	۵۶۶/۸۲	۱۵X۱۰	۱	
۳۴/۶۳	۳۹۷/۵۷	۳۰/۰۶	۷۷۹/۸۳	۱۹/۷۸	۳۴۹/۱۸	۱۱/۱۵	۷۶۶/۴۶	۷/۰۳	۳۵۲/۲۶	۱۶/۰۵	۸۹۰/۶۴	۱۵X۱۰	۲	
۲۸/۶۷	۳۴۵/۵۴	۳۰/۲۶	۱۷۸۹/۳۸	۱۹/۲۵	۷۶۷/۲۶	۲۱/۵۲	۶۶۷/۳۷	۶/۵۱	۶۲۰/۴۹	۱۸/۹۷	۱۰۱۳/۶۶	۱۵X۱۰	۳	
۵۳/۶۳	۶۹۶/۶۸	۲۱/۱۹	۱۱۶۱/۳۴	۳۰/۶۰	۵۵۱/۵۴	۲۵/۰۳	۱۴۹۰/۸۶	۱۲/۱۶	۲۸۱/۹۹	۲۲/۶۹	۱۱۷۸/۱۰	۲۰X۱۰	۴	
۵۲/۸۲	۲۹۵/۳۲	۴۹/۹۴	۶۹۲/۷۴	۳۰/۰۸	۳۶۲/۶۹	۸/۷۸	۹۴۰/۹۰	۱۰/۹۵	۲۷۴/۸۳	۷/۱۴	۸۰۶/۳۹	۲۰X۱۰	۵	
۵۴/۳۲	۵۲۸/۱۸	۱۶/۸۲	۸۷۲/۸۷	۳۰/۴۶	۳۸۵/۱۲	۱۳/۷۶	۸۴۳/۳۹	۱۱/۳۱	۳۷۰/۲۴	۲۹/۸۶	۱۰۱۵/۵۱	۲۰X۱۰	۶	
۱۲۱/۸۷	۳۸۹/۳۹	۱۳/۹۶	۱۰۳۰/۰۲	۷۰/۶۶	۴۰۸/۷۲	۱۵/۳۴	۶۷۴/۱۴	۲۷/۵۳	۲۵۱/۶۳	۲۴/۶۰	۱۱۴۳/۸۹	۳۰X۱۰	۷	
۱۵۵/۹۵	۳۱۵/۴۶	۱۵/۲۳	۴۶۳/۳۳	۸۸/۵۶	۱۹۵/۲۱	۵/۳۷	۸۹۲/۵۷	۲۶/۴۰	۴۰۱/۳۷	۱۴۱/۸۹	۷۰۳/۱۴	۱۰X۳۰	۸	
۱۲۴/۷۹	۲۳۷/۳۶	۷/۰۵	۴۵۲/۲۴	۶۷/۵۰	۱۸۸/۳۳	۴/۸۴	۹۱۸/۹۱	۲۴/۱۷	۱۶۲/۶۰	۹/۲۶	۳۶۱/۹۶	۱۰X۳۰	۹	
۱۴۵/۳۰	۱۸۹/۳۷	۹/۳۳	۴۷۰/۱۹	۷۹/۵۹	۱۶۱/۷۷	۳/۵۷	۴۴۲/۰۱	۲۶/۳۰	۳۱۲/۳۴	۲۸/۵۷	۶۲۴/۹۸	۱۰X۳۰	۱۰	
۸۰/۴۴	۳۶۸/۵۴	۲۰/۳۵	۹۱۹/۹۲	۴۵/۳۰	۳۶۸/۸۰	۱۱/۶۶	۸۱۵/۸۹	۱۵/۸۴	۳۳۴/۲۱	۳۱/۳۳	۸۳۰/۵۱	میانگین		

میانگین

جدول شماره (۱۸): معیارهای ارزیابی الگوریتم MOPSO با تعداد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تکرار برای مسائل با مقیاس بزرگ

MOPSO													
تعداد تکرار : ۳۰۰			تعداد تکرار: ۲۰۰			تعداد تکرار : ۱۰۰			CPU time (s)	SNS	MS	MID	ابعاد (n x m)
CP U time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)					

۲۲۹/۴۵	۱۳۹/۶۸	۴۳/۸۷	۳۲-۷/۲۰	۱۵۵/۸۱	۱۵۰-۰/۹۳	۱۱۳/۴۴	۲۳۵۹/۷۰	۵۶/۶۸	۱۶۱۰/۹۲	۴۰/۳۸	۲۹۵۷/۶۸	۵۰-۳۳۰	۱
۱۵۷/۵۶	۱۸۴۷/۵۵	۲۳/۴۳	۴۵۷۷/۲۹	۱۳۳/۸۴	۱۴۷۵/۶۱	۸۴/۷۵	۳۲۲۱/۹۰	۷-۰/۸	۲۰۲۰/۳۸	۱۱-۰/۳۱	۷۱۸۹/۲۶	۵۰-۳۳۰	۲
۲۰۶/۹۴	۱۵۰۶/۶۰	۲۸/۰۸	۳۲۸۷/۰۱	۱۶۷/۱۷	۱۲۷-۰/۸۱	۳۰/۸۲	۲۶۵۷/۴۶	۶۸/۸۸	۱۶۶۵/۴۷	۷۹/۰۰	۴۱۷۱/۹۴	۵۰-۳۳۰	۳
۶۱۶/۶۰	۵۱۲/۴۷	۴۰/۳۱	۲۶۵۰/۰۲	۳۶۴/۸۶	۷۰۴/۸۹	۱۰۶/۱۷	۴۸۹۲/۳۸	۱۷۲/۵۶	۹۸۴/۶۵	۷۵/۶۳	۵۲۱۸/۴۹	۸۰-۳۳۰	۴
۶۰۵/۷۶	۱۰۸۲/۴۶	۷۴/۰۷	۱۹۳۹/۹۸	۳۴۹/۴۷	۷۰۶/۹۹	۴۲/۳۴	۱۷۸۶/۰۱	۱۸۵/۸۹	۹۰۴/۹۲	۴۷/۰۵	۲۸۴۸/۲۹	۸۰-۳۳۰	۵
۶۴۴/۰۳	۱۳۰۹/۱۸	۶۰/۴۸	۱۴۳۸/۲۸	۳۷۹/۱۹	۱۲۷۵/۰۱	۷۹/۲۶	۵۶۰۱/۰۳	۱۹۹/۵۹	۹۲۸/۳۴	۳۱۱/۳۹	۹۵۰۲/۲۰	۸۰-۳۳۰	۶
۱۱۲۶/۰۵	۲۰۷۸/۳۱	۵۰/۷۳	۱۸۶۱/۶۱	۷۰۲/۱۲	۱۲۹۶/۳۷	۷۳/۹۲	۲۳۵۴/۵۵	۳۱۹/۵۴	۵۷۹/۳۵	۱۷۸/۱۶	۴۰۸۴/۱۴	۱۰۰-۳۳۰	۷
۱۰۹۰/۰۸	۱۰۵۸/۶۲	۹۳/۲۳	۲۱۸۰/۲۷	۵۶۷/۲۷	۸۹۸/۱۸	۵۸/۳۲	۱۹۸۰/۸۹	۲۸۰/۵۲	۷۳۹/۳۸	۱۹۳/۹۶	۳۶۹۵/۶۷	۱۰۰-۳۳۰	۸
۱۰۶۴/۳۳	۳۷۵/۰۶	۹۰/۹۶	۱۷۵۱/۰۸	۶۰۴/۹۶	۱۰۰۷/۲۸	۶۲/۷۶	۲۷۶۶/۶۷	۳۳۶/۹۵	۱۰۴۴/۴۸	۹۹/۱۵	۳۸۹/۵۸	۱۰۰-۳۳۰	۹
۱۱۰۸/۳۳	۱۱۹۹/۱۳	۵۷/۶۶	۳۶۳۱/۵۷	۶۴۴/۸۹	۸۶۵/۰۲	۵۶/۴۰	۱۴۷۳/۱۷	۳۱۱/۷۰	۱۳۱۵/۰۱	۹۶/۷۰	۵۶۱۰/۷۱	۱۰۰-۳۳۰	۱۰
۶۸۶/۶۹	۱۱۲۰/۹۱	۵۶/۲۸	۲۶۴۸/۸۳	۴۰۴/۷۶	۱۱۰۰/۱۱	۷۰/۹۲	۳۹۴۹/۴۱	۲۰۰/۲۴	۱۱۴۸/۳۱	۱۳۳/۱۷	۵۰۱۴/۹۹		میانگین

سایز بزرگ

بر اساس نتایج بدست آمده، برای مسائل با مقیاس کوچک و متوسط الگوریتم با ۲۰۰ تکرار و برای مسائل با مقیاس بزرگ الگوریتم با ۳۰۰ تکرار عملکرد بهتری ارائه داده است. بنابراین برای مقایسه دو الگوریتم پیشنهاد شده در این تحقیق، بهترین مقادیر معیارهای بدست آمده در الگوریتم را با یکدیگر مقایسه خواهیم نمود. مقادیر چهار معیار ارزیابی در جدول (۱۹) آمده است. جدول شماره (۱۹): معیارهای ارزیابی برای دو الگوریتم NSGA-II و MOPSO برای مسائل با مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ

mopso				nsga2				ابعاد (n x m)	
CPU time (s)	SNS	MS	MID	CPU time (s)	SNS	MS	MID		
۲/۷۷	۷۸/۰۲	۴/۴۹	۳۰۹/۷۲	۱/۰۸	۱۴۹/۹۳	۲۹/۰۶	۲۹۸/۹۲	۶X۵	۱
۲/۳۱	۲۲۰/۱۸	۱۵/۲۳	۴۷۹/۰۰	۱/۱۴	۲۶۱/۶۱	۱۷/۳۸	۴۶۴/۰۵	۶X۵	۲
۲/۴۶	۲۸۶/۷۵	۳۱/۷۶	۵۸۶/۶۶	۱/۱۳	۲۷۲/۲۱	۲۳/۰۰	۵۶۳/۸۷	۶X۵	۳
۳/۷۰	۹۸/۴۴	۱۳/۱۹	۱۹۰/۳۸	۱/۶۴	۲۲/۵۹	۱۵/۱۳	۱۷۶/۴۵	۷X۵	۴
۳/۸۳	۲۱۲/۳۳	۹/۶۴	۴۲۶/۹۹	۱/۵۱	۱۶۵/۴۵	۱۴/۰۶	۴۲۰/۷۲	۷X۵	۵
۳/۸۳	۴۰/۳۱	۱۸/۶۴	۲۲۰/۰۵	۱/۳۶	۴۵/۵۵	۱۷/۵۰	۲۱۸/۵۸	۷X۵	۶
۴/۳۶	۲۱۳/۵۲	۱۸/۹۲	۳۵۳/۰۴	۱/۸۷	۱۴۴/۶۱	۱۷/۸۰	۳۵۰/۰۱	۸X۵	۷
۴/۵۷	۳۸/۶۱	۱/۸۵	۱۷۷/۴۳	۱/۷۸	۶۵/۵۴	۱۲/۵۲	۱۷۱/۸۸	۸X۵	۸
۴/۷۴	۱۹۱/۶۳	۱۳/۲۱	۳۰۷/۳۴	۱/۷۷	۱۵۹/۹۰	۱۲/۳۵	۲۸۵/۵۷	۸X۵	۹
۴/۲۷	۲۲۰/۴۲	۹/۲۹	۴۰۳/۹۹	۱/۶۸	۱۷۸/۶۵	۲۵/۲۷	۳۸۶/۲۵	۸X۵	۱۰
۱۶/۵۸	۳۱۸/۳۵	۷/۲۶	۷۲۱/۳۰	۱۶/۴۸	۳۲۸/۴۸	۱۵/۸۴	۷۰۲/۵۰	۱۵X۱۰	۱
۱۹/۷۸	۳۴۹/۱۸	۱۱/۱۵	۷۶۶/۴۶	۱۹/۰۵	۳۵۸/۵۹	۱۸/۰۹	۷۲۴/۰۷	۱۵X۱۰	۲
۱۹/۲۵	۷۶۷/۰۶	۲۱/۵۲	۶۶۷/۳۷	۱۸/۹۱	۷۷۳/۶۵	۲۱/۸۹	۶۶۰/۲۱	۱۵X۱۰	۳
۳۰/۶۰	۵۵۱/۵۴	۲۵/۰۳	۱۲۹۰/۸۶	۲۹/۰۲	۶۴۰/۲۲	۳۲/۸۲	۱۲۲۰/۰۸	۲۰X۱۰	۴
۳۰/۰۸	۳۶۲/۶۹	۸/۷۸	۹۴۰/۹۰	۲۹/۲۶	۳۷۹/۹۷	۸/۸۰	۸۹۳/۲۸	۲۰X۱۰	۵
۳۰/۴۶	۳۵۸/۱۲	۱۳/۷۶	۸۴۳/۳۹	۲۸/۸۰	۳۹۸/۷۸	۲۰/۴۶	۸۰۷/۰۲	۲۰X۱۰	۶
۷۰/۶۶	۴۰۸/۷۲	۱۵/۳۴	۶۷۴/۱۴	۶۸/۴۸	۴۵۹/۶۲	۲۳/۱۵	۶۴۰/۸۴	۳۰X۱۰	۷
۸۸/۵۶	۱۹۵/۲۱	۵/۳۷	۸۹۳/۵۷	۸۴/۱۴	۲۲۵/۹۴	۱۱/۷۲	۸۵۴/۷۴	۳۰X۱۰	۸
۶۷/۵۰	۱۸۸/۳۳	۴/۸۴	۹۱۸/۹۱	۶۵/۲۸	۲۰۱/۳۹	۱۲/۷۹	۸۴۵/۱۸	۳۰X۱۰	۹
۷۹/۵۹	۱۶۱/۷۷	۳/۵۷	۴۴۲/۰۱	۷۷/۱۷	۱۵۹/۵۱	۱۳/۰۲	۴۳۲/۳۷	۳۰X۱۰	۱۰
۲۲۹/۴۵	۳۹۱۴/۶۸	۴۳/۸۷	۳۲۰۷/۲۰	۲۷۸/۷۹	۱۶۸۰/۶۸	۵۳/۱۶	۳۱۹۴/۷۲	۵۰X۳۰	۱
۱۷۵/۵۶	۱۸۴۷/۵۵	۲۳/۴۳	۴۵۷۷/۲۹	۲۲۹/۹۲	۱۹۲۶/۲۵	۲۸/۳۳	۳۹۹۹/۰۴	۵۰X۳۰	۲
۲۰۶/۹۴	۱۵۰۶/۶۰	۲۸/۰۸	۳۲۸۷/۰۱	۲۵۲/۹۴	۱۶۱۸/۵۴	۲۶/۵۸	۲۸۱۹/۴۳	۵۰X۳۰	۳

سایز کوچک

سایز متوسط

سایز بزرگ

۶۱۶/۶۰	۵۱۲/۴۷	۴۰/۳۱	۲۶۵۰/۰۲	۶۴۷/۲۸	۶۱۶/۶۵	۵۲/۴۱	۲۳۵۶/۰۳	۸۰.۸۳۰	۴
۶۰۵/۷۶	۱۰۸۲/۴۶	۷۴/۰۷	۱۹۳۹/۹۸	۶۴۴/۰۱	۱۲۲۵/۸۷	۷۱/۲۰	۱۶۶۲/۶۶	۸۰.۸۳۰	۵
۶۴۴/۰۳	۱۲۰۹/۱۸	۶۰/۴۸	۱۴۳۸/۲۸	۶۸۲/۱۵	۱۴۷۴/۵۱	۶۰/۲۵	۱۳۹۷۳/۶۶	۸۰.۸۳۰	۶
۱۱۲۶/۰۵	۳۱۲۰/۷۸	۵۰/۷۳	۱۸۶۱/۶۱	۱۱۴۶/۷۷	۲۴۲۱/۷۷	۶۱/۵۹	۱۶۴۷/۶۶	۱۰۰.۸۳۰	۷
۱۰۹۰/۰۸	۱۰۵۸/۶۲	۹۳/۲۳	۲۱۸۰/۲۷	۱۱۳۰/۴۹	۱۰۵۹/۲۶	۸۸/۴۴	۲۰۵۳/۱۲	۱۰۰.۸۳۰	۸
۱۰۶۴/۲۳	۲۷۵/۰۶	۹۰/۹۶	۱۷۱۵/۰۸	۱۰۷۳/۴۰	۲۹۲/۴۲	۹۷/۲۳	۱۴۷۸/۴۹	۱۰۰.۸۳۰	۹
۱۱۰۸/۲۳	۱۱۹۹/۱۳	۵۷/۶۶	۳۶۳۱/۵۷	۱۱۳۷/۰۹	۱۴۷۳/۶۸	۵۴/۶۶	۳۳۲۱/۲۵	۱۰۰.۸۳۰	۱۰
۲۴۵/۲۳	۵۸۳/۲۴	۲۷/۱۹	۱۲۷۰/۰۶	۲۵۶/۴۱	۶۴۰/۶۵	۳۱/۸۸	۱۱۶۷/۴۲	میانگین	

ه) مقایسه عملکرد دو الگوریتم

رتبه‌بندی کلی الگوریتم‌های پیشنهادی از نظر معیارهای مورد استفاده، از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه ترکیبی به نام تکنیک ترکیبی روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی و تاپسیس صورت گرفته است. برای بکارگیری روش باید ابتدا وزن هر کدام از معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های چندهدفه را مشخص نمود. برای این کار ماتریس مقایسات زوجی بر اساس اهمیت شاخص‌ها از نظر متخصصان در جدول (۱۹) آورده شده است.

جدول شماره (۲۰): ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌های ارزیابی

MS	MID	SNS	TIME	
۱	۰/۵	۰/۵	۲	MS
۲	۱	۳	۱۰	MID
۲	۰/۳۳	۱	۵	SNS
۰/۵	۰/۱	۰/۲	۱	TIME

با توجه به ماتریس مقایسات زوجی و با استفاده از روش AHP وزن هر یک از شاخص‌های ارزیابی الگوریتم‌ها بدست خواهد آمد. در اینجا از روش میانگین هندسی مطابق با رابطه (۴-۱) وزن نسبی شاخص‌ها بدست خواهد آمد.

$$W_i = \sqrt[4]{f_{i1} \times f_{i2} \times f_{i3} \times f_{i4}} \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

در این رابطه  $W_i$  وزن نسبی شاخص  $i$  ام و  $f_{ij}$  مقدار موجود در درایه  $i, j$  ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد. با توجه به اینکه باید مجموع وزن‌های شاخص‌ها برابر با یک باشد، وزن شاخص‌ها با نرمال کردن وزن‌های نسبی شاخص‌ها بدست خواهد آمد. برای این منظور کافیست وزن نسبی هر یک از شاخص‌ها بر مجموع وزن‌های نسبی تمامی شاخص‌ها تقسیم گردد. وزن‌های نرمال شده شاخص‌ها در جدول (۲۱) نشان داده شده است.

جدول شماره (۲۱): مقادیر وزن معیارهای ارزیابی بدست آمده با استفاده از روش AHP

شاخص	وزن
MS	۰/۱۷
MID	۰/۵۰
SNS	۰/۲۷
TIME	۰/۰۷

بنابراین تا به این جا با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی توانستیم وزن هر یک از شاخص‌های ارزیابی الگوریتم‌ها را محاسبه نماییم. در گام بعد با استفاده از روش تاپسیس الگوریتم‌ها رتبه‌بندی خواهند شد و نهایتاً الگوریتم کارا تر مشخص می‌شود. برای انجام روش تاپسیس گام‌های زیر انجام می‌گردد.

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

در جدول (۲۲) مقادیر میانگین هر یک از شاخص‌ها که برای هر کدام از الگوریتم‌ها محاسبه گردیده است از جدول (۱۹) آورده شده است.

جدول شماره (۲۲): ماتریس تصمیم‌گیری

CPU time (s)	SNS	MS	MID	
۲۵۶/۴۱	۶۴۰/۶۵	۳۱/۸۸	۱۱۶۷/۴۲	NSGA-II
۲۴۵/۲۳	۵۸۳/۲۴	۲۷/۱۹	۱۲۷۰/۰۶	MOPSO

گام ۲: تشکیل ماتریس تصمیم نرمال

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه (۲-۴) صورت می‌گیرد.

رابطه (۲۱):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

در این رابطه  $x_{ij}$  مقادیر درایه‌های ماتریس تصمیم و  $r_{ij}$  مقادیر نرمال شده ماتریس تصمیم می‌باشند. ماتریس تصمیم نرمال شده در جدول (۲۳) نشان داده شده است.

جدول شماره (۲۳): ماتریس تصمیم‌گیری

CPU time (s)	SNS	MS	MID	
۰/۵۱۱	۰/۵۲۳	۰/۵۴۰	۰/۴۷۹	NSGA-II
۰/۴۸۹	۰/۴۷۷	۰/۴۶۰	۰/۵۲۱	MOPSO

گام ۳: تشکیل ماتریس نرمال وزن دار

در این گام وزن‌های بدست آمده با استفاده از روش AHP در ماتریس تصمیم نرمال ضرب خواهد شد. مقادیر این ماتریس با استفاده از رابطه (۲۴) محاسبه خواهند شد.

رابطه (۲۲):

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_i$$

جدول شماره (۲۴): ماتریس نرمال وزن دار

CPU time (s)	SNS	MS	MID	
۰/۰۳۵	۰/۱۳۹	۰/۰۸۹	۰/۲۴۰	NSGA-II
۰/۰۳۳	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶	۰/۲۶۱	MOPSO

گام ۴: تعیین ماتریس ایده‌آل

مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی به ترتیب به عنوان بزرگترین ارزش معیارهای مثبت و کوچک ترین مقدار معیار منفی است. در نقطه مقابل جواب ایده‌آل منفی به عنوان کوچک‌ترین مقدار معیارهای مثبت و بزرگترین مقدار معیارهای منفی در نظر گرفته می‌شود. مقادیر ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای شاخص‌ها در جدول (۲۵) آورده شده است.

جدول شماره (۲۵): مقادیر ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای شاخص‌های ارزیابی

CPU time (s)	SNS	MS	MID	
۰/۰۳۳	۰/۱۳۹	۰/۰۷۶	۰/۲۴۰	مقادیر مثبت
۰/۰۳۵	۰/۱۲۷	۰/۰۸۹	۰/۲۶۱	مقادیر منفی

گام ۵: تعیین فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی

در این گام فاصله اقلیدسی گزینه‌ها با استفاده از جواب ایده‌آل مثبت و منفی از رابطه‌های (۴-۴) و (۵-۴) به ترتیب برای فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی محاسبه می‌شود.

رابطه (۲۳):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}$$

رابطه (۲۴):

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

در این روابط  $V_j^+$  مقدار ایده آل مثبت شاخص  $j$ ،  $V_j^-$  مقدار ایده آل منفی شاخص  $j$  و  $d_i^+$  و  $d_i^-$  به ترتیب مقادیر فاصله از ایده آل مثبت و منفی برای گزینه  $i$  ام می‌باشند. مقادیر بدست آمده برای فاصله‌های گزینه‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی در جدول (۲۶) آمده است.

جدول شماره (۲۶): مقادیر فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی

فاصله از ایده‌آل مثبت		فاصله از ایده‌آل منفی		
d1+	۰/۰۱	d1-	۰/۰۲	NSGA2
d2+	۰/۰۲	d2-	۰/۰۱	MOPSO

گام ۶: تعیین نزدیکی نسبی نسبت به ایده‌آل مثبت

در گام آخر با استفاده از رابطه (۴-۶) نزدیکی نسبی گزینه‌ها (الگوریتم‌ها) به پاسخ ایده‌آل مثبت محاسبه می‌گردد. هر گزینه که مقدار نزدیکی بیشتری به ایده‌آل مثبت داشته باشد به عنوان گزینه برتر انتخاب خواهد شد.

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (25)$$

مقادیر نزدیکی گزینه‌ها به ایده‌آل مثبت محاسبه و در جدول (۲۷) نمایش داده شده است. بر اساس خروجی بدست آمده از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی - تاپسیس مشاهده می‌گردد که الگوریتم NSGA-II در مقایسه با الگوریتم MOPSO کارایی بهتری داشته است.

جدول شماره (۲۷): مقادیر فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و رتبه گزینه‌ها

رتبه	فاصله از ایده‌آل مثبت	گزینه‌ها
۱	۰/۶۵	NSGA2
۲	۰/۳۵	MOPSO

یکی از سرشاخه‌های مطرح در حوزه‌های تحقیقاتی و کاربردی مدیریت صنایع و تولید، مبحث زمان‌بندی صحیح و مناسب عملیات مختلف است، که همواره به عنوان یک مسئله مهم فرا روی برنامه‌ریزان قرار دارد. از دیدگاه عملی، بهبود برنامه‌ریزی پروژه جزئی از علم مدیریت پروژه است و ممکن است به میزان چشم‌گیر به افزایش سود سازمان‌ها منجر شود. در تمام پروژه‌های اجرایی که با محدودیت منابع انسانی متخصص یا ماشین‌آلات روبه‌رو هستند، مسئله‌ی زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع کاربرد دارد. امروزه صنایع از یک سو با مشتریانی سروکار دارند که به علت فضای رقابتی شدید، راضی نگه داشتن آنان کار بسیار دشواری است و از طرف دیگر با تأمین‌کنندگانی سروکار دارند که کیفیت مواد و قطعات دریافتی از آنان با رضایتمندی مشتریان ارتباط مستقیم و تنگاتنگی دارد. بنابراین سازمان‌ها چاره‌ای جز این ندارند که اقدامات خود را با مشتریان و تأمین‌کنندگان خود هماهنگ و یکپارچه سازند. مطالعات صورت گرفته حاکی از این است که، اتخاذ راهبرد سرمایه‌گذاری در زمینه بهبود عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تأمین منجر به صرفه‌جویی در هزینه، مصرف انرژی و منابع، کاهش آلاینده‌ها، حذف یا کاهش ضایعات، ایجاد ارزش برای مشتریان و افزایش بهره‌وری برای شرکت‌ها خواهد شد. زمان‌بندی تولید به عنوان یکی از جنبه‌های مهم از مباحث برنامه‌ریزی تولید، به چالشی پیچیده و حائز اهمیت در حوزه زمان‌بندی و تخصیص منابع تبدیل شده و همواره مسائل آن مورد توجه محققان قرار دارد. مسئله زمان و زمان‌بندی در زندگی روزمره افراد نقش اساسی دارد، تا جایی که بسیاری افراد به دنبال کاهش زمان در فعالیت‌های روزمره خود هستند. با توجه غیر قابل بازگشت بودن این عنصر ناشناخته، زمان در هر صورت حائز اهمیت می‌باشد. از این رو روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی جهت این مسائل در سیستم‌های تولید کارگاهی و

غیر کارگاهی وجود دارد. در پژوهش حاضر مسئله زمان بندی تولید کارگاهی با کمک الگوریتم فراابتکاری مورد بررسی قرار گرفت. ضمن حل این دسته مسائل به تحلیل و بررسی آن پرداخته شد. مسئله زمان بندی تولید کارگاهی یکی از مشهورترین و پیچیده ترین مسائل زمان بندی است؛ که در آن می بایست  $n$  کار روی  $m$  ماشین با حفظ توالی و نظم مشخصی انجام پذیرد. هر کار در این محیط از عمل های مختلفی تشکیل شده و مسیر پردازش آن ها بر روی ماشین ها از قبل مشخص است، لذا بین عملیات مربوط به یک کار روابط پیش نیازی وجود دارد. در حقیقت هر کار، جهت تکمیل نیازمند عبور از تمامی ماشین ها طبق نظم و قاعده ی مشخصی می باشد. کنکاش در مباحث نظری حاکی از این است که، روش های فرا ابتکاری در حل مسائلی که با حجم زیادی از متغیرها و محدودیت ها رو به رو می باشد، توانایی بالایی دارد. استفاده از این روش ها برای حل مسائل دارای اندازه ی بزرگتر به لحاظ محدودیت های مدل، زمان پردازش، حجم حافظه اشغال شده و خطا به صرفه تر است. به طوری که بر مبنای خصوصیات مسئله همواره حداقل سازی تابع هدف که معمولاً از نوع زمان و هزینه است، مدنظر می باشد. در این تحقیق دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب و الگوریتم تکاملی چندهدفه ی بهینه سازی ازدحام ذرات که تاکنون در مسائل زمان بندی متعدد و متنوعی به کار گرفته شده است برای حل مدل پیشنهادی توسعه داده شد. تعداد ۳۰ مسئله با ابعاد مختلف و براساس شیوه های رایج در پیشینه تحقیق تولید و ارائه گردید و الگوریتم های پیشنهادی با تکرارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. از سه معیار مقایسه MS، MID و SNS در کنار معیار زمان حل برای مقایسات الگوریتم ها بهره گرفته شد. با توجه به اینکه هیچ کدام از دو الگوریتم در تمامی معیارهای ارزیابی بر دیگری برتری نداشت به منظور تحلیل و مقایسه خروجی ها از تکنیک ترکیبی دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس بهره گرفته شد. خروجی حاصل از این روش، برتری عملکرد الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب نسبت به الگوریتم تکاملی چندهدفه ی بهینه سازی ازدحام ذرات برای این مسائل را نشان داد.

به منظور واقعی تر کردن مسئله، می توان مفروضات جدیدی پیرامون پارامترهای عملکردی در مدل در نظر گرفت. از جمله تحقیقات و مفروضات جدیدی که به محققین آتی پیشنهاد می گردد، عبارتند از:

- ۱- توسعه مدل و حل مسئله با در نظر گرفتن جزئیاتی نظیر برنامه زمان بندی حمل و نقل کالای تولیدی
- ۲- توسعه مدل در حالت چند ایستگاهی به صورت جریان کارگاهی
- ۳- در نظر گرفتن محدودیت های فرایندی نظیر خرابی ماشین آلات، تعمیرات و نگهداری آن ها
- ۴- در نظر گرفتن زمان آماده سازی وابسته به توالی
- ۵- در نظر گرفتن تقاضای فازی

معمولاً در تحقیقاتی که در زمره رشته های علوم انسانی قرار می گیرد، همیشه محدودیت هایی وجود دارد. در برخی موارد پژوهشگران طی تحقیقات خود با محدودیت هایی مواجه بوده، که بخشی از آن ها حتی در ابتدای کار خود را نشان می دهند. برخی از محدودیت های تحقیق حاضر به شرح ذیل هستند:

- ۱- جمع آوری داده های لازم از جامعه آماری
- ۲- بررسی و درک فعالیت های انسانی
- ۳- کمبود منابع پیرامون مسئله ی زمان بندی سبز
- ۴- همکاری محدود برخی از افراد در مصاحبه

#### ۴-منابع

1. Alam Tabriz, A, Modarressi, M and Arab, A. (2017). Study and analysis of sustainable supply chain management risks based on FSWARA method, 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Management, Babolsar, Mazandaran University.
2. Ali Nejad, AS; Shahriari, Z; Seyed Rahmati, H.; Simiari, K. (2015). Dynamic multi-facility location in a supply chain in fuzzy conditions. *Industrial Management Studies*, 12(35), 151-178.

3. Azar A, Hashemi M. (2016). Providing A Method To Assess the Assaluyeh Petrochemical Plants Green Supply Chain Performance By Using a Combination of Fuzzy Method and Nonlinear Modeling. *QEER*, 12 (48), 173-194.
4. Azimi Fard, A., Mousavi Rad, Sa. and Ariafard, Sh. (2017). Prioritization of Sustainable Green Supply Chain Criteria in Steel Industry, 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran.
5. Beheshtinia, M.A., Akbari, E.(2015). Rescheduling Of Three-Stage Supply Chain with a Focus on Integration of the Stages. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems (Ierps)* 3 (6), 191-205.
6. Cabral, I., Espadinha-Cruz, P., & Grilo, A. (2011). Decision- making Models for Interoperable Lean, Agile, Resilient and Green supply chains. Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process.
7. Chen, J. (2009). Performance Evaluation of Green Supply Chain Based on Entropy Weight Grey System Model. *IEE*, 474-478.
8. Cheng, C. B., Cheng, C. J. (2011). Available-to-promise based bidding decision by fuzzy mathematical programming and genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 993-1002.
9. Diabat, A., Abdallah, T., Al-Refaie A., Svetinovic, D & Govindan K. (2013). Strategic closed- loop facility location problem with carbon market trading. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60 (2), 398-408.
10. Etrazian, F., Kharazian Akhavan, M. and Barati, M. (2016). Investigating Technological Barriers in Implementing Green Supply Chain Management in Iran's Oil Refining Industries (Case Study: Isfahan Oil Refining Industry). *First National Conference on Strategic Services Management*, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Isfahan (Najafabad).
11. Fattahi, Parviz; Samouei, Parvaneh & Zandiyeh, Mostafa. (2017). A Multi-objective Simulated Annealing for Simultaneous Two-Sided Assembly Line Balancing and Operators Assignment. *Production and Operational Management*, 14 (15), 1-20.
12. Ghasemi Sahebi, Hani & Zanjirchi, Seyyed Mahmoud. (2013). Measuring Supply Chain Agility Using Fuzzy Rule Base and Fuzzy Agility Index in the Electronics Industry (Case Study: Pishraneh Company, Sari, Iran). *Journal of Industrial Management Studies*, 11, (30), 57-76.
13. Ghayebloo, S., and Tarokh, M. (2015). Designing an integrated direct and reverse supply chain network compatible with the environment. *Specialized Journal of Industrial Engineering*, No. 1, 93-106.
14. Ghomi-Avili, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Jalali, G., & Jabbarzadeh, A. (2017). A network design model for a resilient closed-loop supply chain with lateral transshipment. *International Journal of Engineering-Transactions C: Aspects*, 30(3), 374-383.
15. Ghorbanpoor, A., Pooya, A., Nazemi S., & Naji Azimi, Z. (2017). The Design Structural Model Of Green Supply Chain Management Practices To Using Fuzzy Interpretive Structural Modeling Approach. *Journal of Operational Research and Its Applications (Journal of Applied Mathematics)*, 13 (4 (51)),1-20.
16. Hahn, G.J & Kuhn, H. (2012). Value-based performance and risk management in supply chains: A robust optimization approach. *Int. J. Production Economics*, 139, 135-144.
17. Hassani, H., Danesh, M. A., Javan, A., Pospiech, R., & Odulaja, A. (2017). A statisticsbased approach for crude oil supply risk assessment. *OPEC Energy Review*, 41(3), 187-200.



18. Ismailpour, R., Azar, A. and Malekzadeh, M. (2017). Presenting an integrated model of green business partner selection and green supply chain management. *Second International Conference on Industrial Management*, Babolsar, Mazandaran University.
19. Jamali, G., Karimi Asl, E. (2018). Competitive positioning for LARG Supply Chain in Cement Industry and its Strategic Requirements Importance-Performance Analysis. *Industrial Management Studies*, 16(50), 53-77. doi: 10.22054/jims.2018.9106.
20. Kailun HE, H. X. (2010). The Application of Probabilistic Neural Network Model in the Green Supply Chain Performance Evaluation for Pig Industry. *International Conference on E-Business and E-Government*, 3310-3313.
21. Mansouri, S.A., Aktas, E & Besikci, U. (2015). Green scheduling of a two-machine flowshop: Trade-off between makespan and energy consumption. *European Journal of Operational Research*, 1-17.
22. Lee C.H., Liao, C.J., Chung, T.P., (2014). Scheduling with multiattribute setup times on two identical parallel machines. *International Journal of Production Economics*, 153, 130-138.
23. Mansouri, S. A., Aktas, E., & Besikci, U. (2016). Green scheduling of a two-machine flowshop: Trade-off between makespan and energy consumption. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 772-788.
24. Manzini, R., Accorsi, Ch.Pini, S.Penazzi. (2015). On the design of closed-loop networks for product life cycle management: Economic, environmental and geography considerations. *Journal of Transport Geography* 48, 121-134
25. Mocquillon, C. d., Lente, C., et al. (2011). An efficient heuristic for medium-term planning in shampoo production. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 178-185.
26. Nilipour Tabatabai, A., Khayamian, B., Karbasian, M. and Shariati, M. (2013). Optimizing the Application of Information Technology in Supply Chain Management and Marketing of Aviation Products by AHP Method. *New Marketing Research*, 2 (2), 52-47.
27. Norol, Holcomb. (2016). Development of a measure to assess quality management in certified firms. *European journal of operational research*, 156, 683-697.
28. Olfat, Laya; Khatami Firouzabadi, Ali & Khodaverdi, Roohollah. (2012). Green Supply Chain Management within Iranian Automobile Industry. *Iranian Journal of Management Sciences*, 6 (21), 123 - 140.
29. Qile, H., Ghobadian, A., Gallear, D. 2013. Knowledge acquisition in supply chain partnerships. The role of power. *Int. J. Production Economics*, 141, 605-618.
30. Rezaee Kelidbari, H., Goudarzvand Chegini, M., Alavi Foumani, S. (2014). The Impact of Supply Chain Management on Improving the Performance of Automotive Parts Industry through Competitive Advantage. *Journal of Business Management*, 6(1), 67-88. doi: 10.22059/jibm.2014.51605.
31. Shah Bandarzadeh, H., Jamali, Gh and Hashemi, M. (2014). Application of fuzzy network analysis process with nonlinear modeling approach in identifying and ranking the indicators affecting the evaluation of green supply chain performance of industrial companies in the country, 9<sup>th</sup> Management Conference, Sharif University of Technology, Tehran.
32. Taghizadeh, H., Mohammad pour Shattery, M. (2009). Analyzing the Reasons for Not Using the Value Analysis and Lean Approach (case study). *The Journal of Productivity Managment*, 3, 2 (9), 77-101.
33. Verghese, K., & Lewis, H. (2007). Environmental innovation in industrial packaging a supply chain approach. *International Journal of Production Research*, 45, 4381-4401.

34. Vinodh, S., Anesh Ramiya, R & Gautham, S.G. (2011). Application of fuzzy Analytic network *Process* for supplier selection in a manufacturing organization, *Expert Systems with Applications*, 38, 272-280.
35. Wu, G.C., Ding, J.H., & Chen, P.S. (2012). The effects if GSCM drivers and institutional pressures GSCM practices in Taiwan's textile and apparel industry. *International Journal Production Economics*, 135, 618-636.



## **Designing a Green Workshop Model, By Balancing Between Completion Time and Energy Consumption (Case Study: Western Machine Building Corporation)**

**Maryam Rahimi Alooghareh**

M.S in Industrial Management, Production and Operations Management, Amin Higher Education Institute, Fooladshahr, Isfahan, Iran.

**Sayyed Mohammad Reza Davoodi** (Corresponding Author)

Assistant Professor of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.

Email:smrdavoodi@ut.ac.ir

### **Abstract**

Today, environmental management, with its emphasis on environmental protection, has become one of the most important issues for governments, and global pressures have forced organizations to produce environmentally friendly products and services. This challenge has led to the creation of a new concept called green supply chain management in the field of business, which has been considered by governments and environmental institutions. The mathematical model used in this research is complex integer programming and the research method is descriptive-analytical and applied according to the purpose. The ultimate goal of implementing this model is to minimize the cycle time of the last job on the last machine, minimize the total delay and speed of work and total energy consumption per unit of production. The required data were collected through the information available in Padideh Gharb Machinery Company and structured interviews by quantitative analysis method and then implemented in MATLAB software. Thirty problems with different dimensions and based on common production methods were evaluated with multi-objective meta-heuristic algorithm (NSGA-II) and multi-objective particle swarm optimization algorithm (MOPSO). Three comparison criteria of MID, MS and SNS along with the solution time criterion were used to compare the different states of the algorithms. Consideration of sustainability considerations in the issue of production and manufacturing scheduling by minimizing energy consumption as a criterion in workshop planning has been considered in this research. In addition to the economic benefits, this helps the environment by reducing carbon emissions. The results of comparing the two algorithms using the two methods of hierarchical analysis and TOPSIS showed that the output of the NSGA-II algorithm compared to the MOPSO algorithm has a better performance for these problems.

**Keywords:** Green scheduling, Supply chain, Production, Energy, Sustainability.