

ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله چیدمان تسهیلات پویا با در نظر گرفتن وسایل حمل کننده

سید شمس‌الدین حسینی،* پرهام عظیمی،** مانی شریفی،*** مصطفی زندیه****

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۳۱

چکیده

هدف مسئله چیدمان تسهیلات پویا، یافتن بهترین چیدمان برای تسهیلات در یک افق زمانی با تعدادی دوره زمانی مشخص است به گونه ای که مجموع هزینه‌های حمل مواد و جابجایی تسهیلات حداقل گردد. این نوشتار به توسعه یک مدل دو هدفه می‌پردازد و سعی دارد تا به طور همزمان هزینه انتقال مواد بین تسهیلات و هزینه جابجایی تسهیلات و نیز زمان مورد نیاز برای حمل مواد را کمینه کند. با توجه به احتمالی بودن مشخصات کارکردی حمل کننده‌ها، مانند زمان انجام عملیات حمل و وجود خرابی، محاسبه زمان مورد نیاز برای حمل مواد با استفاده از روابط تحلیلی امکان پذیر نمی‌باشد؛ بنابراین این نوشتار از رویکرد شبیه سازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده می‌کند. در این رویکرد ابتدا سناریوهای زیادی از ترکیب سطوح مختلف متغیرها ایجاد می‌شود که هر سناریو نشان دهنده مکان تسهیلات و چگونگی انجام عملیات‌های حمل در هر دوره است. سپس هر یک از این سناریوها از طریق شبیه سازی کامپیوتری اجرا و نتایج حاصل از شبیه سازی به عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته می‌شود. در نهایت با استفاده از متغیرهای ورودی و پاسخ، یک شبکه عصبی مصنوعی تربیت می‌شوند تا بتواند زمان انجام عملیات‌های حمل را به خوبی برآورد کرد. با توجه به که این مساله در درجه پیچیدگی سخت قرار می‌گیرد، این نوشتار استفاده یک الگوریتم فراابتکاری جدید را برای بهینه سازی مسئله پیشنهاد می‌دهد و کارایی الگوریتم پیشنهادی را با الگوریتم‌های موجود در ادبیات مقایسه می‌کند.

کلمات کلیدی: مساله چیدمان تسهیلات پویا، شبیه سازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفه

* دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

** دانشیار، دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
(نویسنده مسئول) <mailto:p.azimi@yahoo.com>

*** استادیار، دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

**** دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی

مقدمه

هدف مسئله چیدمان تسهیلات، تعیین کارآمدترین چیدمان تسهیلات در یک سیستم می‌باشد. تسهیل می‌تواند یک واحد تولیدی، ساختمان اداری و یا ماشین‌های درون کارخانه باشد. چیدمان مناسب می‌تواند منجر به ایجاد جریان مواد کارا بین تسهیلات و در نتیجه کاهش مواد در جریان و هزینه نگهداری مواد شود. همچنین به وسیله چیدمان مناسب می‌توان هزینه‌ی حمل مواد بین تسهیلات را کاهش داد. هزینه حمل مواد مهم‌ترین شاخص برای تعیین کارایی الگوی چیدمان است و از آنجایی که ۲۰ تا ۴۰ درصد هزینه‌های عملیاتی و ۱۵ تا ۷۰ درصد کل هزینه‌های سیستم تولیدی به آن وابسته است، اغلب به عنوان شاخص اصلی کارایی در نظر گرفته می‌شود (تامپکینز و همکاران^۱، ۱۹۹۶). در صورت عدم بهینه بودن چیدمان، مبالغ هنگفتی صرف حمل و نقل مواد می‌شود که منجر به افزایش قیمت تمام شده‌ی محصول خواهد شد. هزینه‌ی حمل، به میزان جریان و فاصله بین تسهیلات بستگی دارد. همچنین نوع سیستم حمل مورد استفاده نیز بر روی هزینه‌ی حمل تأثیر می‌گذارد؛ به عبارت دیگر نوع سیستم حمل مواد، الگوی چیدمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و متقابلاً الگوی چیدمان نیز بر نوع سیستم حمل مواد تأثیرگذار خواهد بود. در شرایط واقعی، در صورتی که جریان حمل و نقل مواد بین بخش‌ها برای مدت زمان زیادی تغییر نکند، مسائل چیدمان ایستا می‌تواند جوابگوی نیاز ما باشد؛ اما وقتی تقاضا تغییر می‌کند باعث تغییر در جریان مواد می‌شود؛ در نتیجه چیدمان فعلی کارایی خود را از دست می‌دهد و نیاز به تغییر پیدا می‌کند تا با شرایط جدید هماهنگ شود. ارزیابی مجدد چیدمان، زمانی صورت می‌گیرد که مواد در جریان، افزایش یا کاهش یابند. چیدمان مجدد تسهیلات یک کارخانه به منظور به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های حمل مواد و جایجایی تسهیلات را مسئله چیدمان تسهیلات به شکل پویا^۲ گویند. نیاز به تغییر چیدمان در هر کارخانه‌ای به یکی از دلایل تغییر در تقاضا و یا ترکیب محصول، تغییر در توالی عملیات، تغییر در استراتژی‌های تولید، تغییر در تجهیزات و تغییر در

1. Tompkins

2. Dynamic Facility Layout Problem (DFLP)

قوانین و استانداردهای ایمنی می‌باشد. تغییر در تقاضای محصول مهمترین عامل تغییر چیدمان است که در نتیجه آن هزینه‌ی حمل‌دچار نوسان شده و اغلب افزایش می‌یابد. به علاوه معرفی محصول ماشین جدید و یا اسقاط محصول ماشین می‌تواند موجب تغییر در الگوی حمل مواد شود. تغییرات به وجود آمده باعث می‌شود تا چیدمان فعلی کارایی خود را از دست بدهد و هزینه‌های اضافی را بر سیستم تحمیل نماید. برای حل این مشکل، چیدمان باید انعطاف پذیر و قابل تغییر باشد. توضیح بیشتر این که در یک کارخانه‌ی تولیدی، تولید هر محصول نیازمند انتقال مواد اولیه و کار در جریان، بین تسهیلات است. این انتقال مواد در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی دارای هزینه است. اگر در دوره‌های مختلف برنامه‌ریزی، سازمان مجبور به تغییر برنامه و یا تغییر محصول یا فرایند باشد، مسیر انتقال مواد بین تسهیلات دچار تغییر و تحولاتی خواهد شد؛ که ممکن است هزینه‌های بیشتری را بر سیستم تحمیل نماید. برای کاستن از این هزینه‌های انتقال، تغییر چیدمان تجهیزات مطرح می‌گردد. باید توجه داشت که همین تغییر چیدمان نیز به نوبه‌ی خود دارای هزینه می‌باشد. یک مسئله چیدمان تجهیزات پویا به دنبال چیدمانی است که به موجب آن، هزینه‌های جابجایی و هزینه‌های انتقال مواد بین تجهیزات کمینه گردد. این انتخاب به گونه‌ای خواهد بود که تغییرات جریان مواد را در دوره‌های آتی برنامه‌ریزی، در نظر گرفته و نیاز به تغییر در آرایش تجهیزات را در دوره‌های بعدی را در پایین‌ترین سطح نگاه دارد.

مسئله چیدمان برای هر دوره را می‌توان تحت عنوان یک مسئله چیدمان تسهیلات ایستا^۱ در نظر گرفته و حل کرد. زمانی که مسئله را به صورت دوره‌های جداگانه حل می‌کنیم، هزینه جابجایی تسهیلات در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین مسائل جداگانه SFLP باید به شکل یک مسئله DFLP تبدیل شود. یک جواب برای DFLP شامل مجموعه‌ای از طرح‌ها است که هر یک مربوط به یک دوره‌ی زمانی است. از این رو اصولاً مسائل چیدمان پویا، به دنبال تعیین طرح چیدمان برای هر دوره در افق برنامه‌ریزی^۲، به منظور کمینه کردن مجموع

1. Static Facility Layout Problem (SFLP)

2. Planning horizon

هزینه‌های انتقال مواد^۱، برای تمام دوره‌ها و مجموع هزینه‌های آرایش مجدد^۲ بین دوره‌های زمانی می‌باشند.

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای حل مسئله چیدمان تسهیلات به شکل پویا انجام گرفته است که در اکثر آن‌ها هزینه‌های انتقال مواد و جابجایی تسهیلات به عنوان عامل اصلی تعیین چیدمان بهینه در نظر گرفته شده است. این هزینه‌ها به جریان مواد بین ماشین‌ها بستگی دارد. نکته اساسی در انتقال مواد در نظر گرفتن وسایل حمل کننده است. در مسائل چیدمان همواره مکان تسهیلات‌ها طوری تعیین می‌شود که تسهیلات که بیشترین عملیات حمل بین آن‌ها انجام می‌شود در نزدیکترین فاصله ممکن قرار بگیرند. با این وجود به جزئیات عملیات‌های حمل توجه نمی‌شود. توجه و برنامه ریزی بهینه عملیات‌های حمل ممکن است بتواند منجر به افزایش کارآمدی چیدمان شود. از طرف دیگر عدم توجه به عملیات‌های حمل، به هنگام تعیین چیدمان بهینه، می‌تواند منجر به انتخاب چیدمان‌های ناکارآمد شود. بنابراین مسئله چیدمان و سیستم حمل و نقل مواد تاثیرات متقابل انکار ناپذیری داشته و می‌بایست به شکل یکپارچه برنامه ریزی شوند (دیلپ^۳، ۲۰۰۹). همچنین بن جفر^۴ و همکاران ۲۰۰۲ اشاره کرده اند که در این حوزه تحقیقات به شدت نیازمند پیشنهاد یا بهبود روش‌های طراحی هستند. این نوشتار قصد دارد تا دو مساله برنامه ریزی وسایل حمل کننده و چیدمان تسهیلات پویا را به شکل یکپارچه بررسی، مدل سازی و بهینه کند. در نظر گرفتن وسایل حمل کننده می‌تواند مدل ریاضی را به شرایط دنیای واقعی بسیار نزدیک کند. مدل پیشنهادی در این نوشتار به طور همزمان چیدمات تسهیلات در تمامی دوره‌ها و چگونگی انجام عملیات‌های حمل را بهینه می‌کند. باقیمانده این نوشتار به صورت زیر سازماندهی شده است:

در بخش دوم مروری کلی خواهیم داشت بر پیشینه مسائل چیدمان تسهیلات پویا. بخش سوم، مسئله مورد بررسی و مدل ریاضی مسئله را تشریح می‌کند. بخش چهارم به طرح الگوریتم پیشنهادی می‌پردازد و مراحل آن را در قالب مثال تشریح می‌کند. در بخش پنجم یک مثال

1. Material Handling Costs

2. Rearrangement Costs

3. Dileep

4. Benjaafar

عددی تشریح می‌گردد. سپس پارامترهای الگوریتم پیشنهادی تشریح و نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌گردد. در نهایت در بخش پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی بیان می‌گردد.

مرور ادبیات

بر طبق تحقیقات موجود، دو دیدگاه روش‌های دقیق و روش‌های ابتکاری برای حل DFLP وجود دارند. از آنجا که این مسئله از نظر محاسباتی بسیار پیچیده است، بیشتر تلاش‌ها برای ایجاد و گسترش روش‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌باشد که در زمان محاسباتی قابل قبول، به جواب مناسب می‌رسند. بالاکریشنان و چنگ^۱ (۱۹۹۸) یک بررسی جامع بر روی روش‌های حل DFLP انجام داده است. رزنبلات^۲ (۱۹۸۶) از برنامه‌ریزی پویا برای حل DFLP استفاده کرد. در تکنیک برنامه‌ریزی پویا، هر دوره به عنوان یک مرحله در نظر گرفته می‌شود و به طرح چیدمان هر دوره، وضعیت گفته می‌شود. یک طرح برای یک دوره از میان یک سری طرح‌های پیشنهادی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که بیشترین بهبود را در تابع هدف داشته باشد. بنابراین برنامه‌ریزی پویا برای حل مسائل بزرگ دارای پیچیدگی‌های محاسباتی فراوان خواهد بود. رزنبلات (۱۹۸۶) برای تقلیل این پیچیدگی از دو روش استفاده کرد: روش اول بر پایه ی روش ابتکاری بالو (۱۹۸۶) است که در آن از برنامه‌ریزی پویا برای حل مسئله چیدمان انبار استفاده شده است. روش دوم تولید طرح‌های چیدمان به شکل تصادفی است. هر دو روش بر روی مسائل در ابعاد کوچک آزمایش شد و نتایج بدست آمده ثابت کرد که روش اول کارآمدتر است. لاکسونن و انسکر^۳ (۱۹۹۳) پنج الگوریتم تحت عنوان گرفت، صفحات برشی، شاخه و حد، برنامه‌ریزی پویا و درختان برشی برای حل DFLP پیشنهاد دادند. هر پنج الگوریتم معرفی شده، با استفاده از داده‌های نمونه‌ای ارزیابی شدند که از میان آنها روش

1. Balakrishnan and Cheng
2. Rosenblatt
3. Lacksonen and Ensore

صفحات برشی عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشت. آرین^۱ (۱۹۹۳) از الگوریتم جابجایی دوتایی برای حل DFLP استفاده کرد. وی در این روش از اصل دریچه‌های پیش بینی استفاده کرد. مفهوم این تکنیک این است که به هر الگوی چیدمان اجازه بدهیم تا در همه ی دوره‌ها اجرا شود و هزینه‌ی جابجایی را در نظر نگیریم. کانوی و ونکاتارامانان^۲ (۱۹۹۴) برای اولین بار مسئله DFLP را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل کردند. در این روش جواب‌های اولیه به شکل کاملاً تصادفی تولید می‌شد. هر جواب نشان دهنده یک طرح چیدمان طی افق برنامه ریزی مورد نظر است. توکلی مقدم و شایان^۳ (۱۹۹۸) یک الگوریتم ژنتیک را برای حل مسئله تخصیص درجه دوم از مسائل مکان یابی تسهیلات برابر و نابرابر (از لحاظ اندازه) ارائه کردند. میر و امام^۴ (۲۰۰۱) یک FLP با اندازه نابرابر را با استفاده از روش ترکیبی که شامل استفاده از الگوریتم شبیه ساز تبرید برای تولید یک حل اولیه و روش جستجوی تحلیلی برای تخمین بهترین موقعیتهای تسهیلات بود، را حل کردند. بایکاسوگلو و گیندی^۵ (۲۰۰۱) یک الگوریتم شبیه ساز تبرید را برای حل یک DFLP دارای شکل مشابه و تسهیلات دارای اندازه برابر پیشنهاد دادند. آنها ثابت کردند که این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک از نقطه نظر زمان انجام محاسبات، خیلی موثرترند. محققان دریافتند که با کاهش دماست که اتم‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند و به حداقل نقطه انرژی در کل فضا نزدیک می‌شوند. این فضا در کمترین نقطه می‌باشد تا جایی که فرآیند سرمایه‌ش پایان یابد.

یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل مکان یابی تسهیلات در فضای تولید متفاوت از سوی ال باز و عادل^۶ (۲۰۰۴) پیشنهاد شد که در آن الگوهای مختلف جریان مواد در محیط‌های گوناگونی از جمله مکان یابی تسهیلات خط تولید، مکان یابی تسهیلات تک خطه با چند محصول، مکان یابی تسهیلات چند خطه، مکان یابی تسهیلات نیم دایره ای و همچنین مکان

1. Urban

2. Conway and Venkataramanan

3. Tavakkoli-Moghaddam and Shayan

4. Mir and Imam

5. Baykasoglu and Gindy

6. El-Baz and Adel

یابی تسهیلات حلقه ای مورد بررسی قرار می‌گرفتند. آیلو^۱ و همکاران (۲۰۰۶) یک رویکرد چند هدفه را برای حل مسائل مکان یابی تسهیلات به کمک الگوریتم ژنتیک و با بهره‌گیری از روش الکترا ارائه کردند که در آن تصمیم گیرنده بر اساس ترجیحات خود اقدام به مکان یابی تسهیلات با هدف بیشینه کردن بهره‌وری ماشین آلات می‌نماید.

بایکاسوگلو و همکاران^۲ (۲۰۰۶) با در نظر گرفتن موارد با بودجه محدود و نامحدود، از روش حل کلونی مورچه برای حل یک DFLP استفاده کرد. ماروین و همکاران^۳ (۲۰۰۶) عملکرد الگوریتم‌های جستجوی ممنوع^۴، شیه ساز تبرید^۵ و الگوریتم ژنتیک^۶ را روی انواع مختلف FLP تحت سه شرایط، یعنی شرایط محدود به زمان، شرایط محدود به راه حل و شرایط بدون وجود محدودیت مقایسه کردند. آنها در میان همه موارد، TS را به عنوان بهترین مورد یافتند. مک‌کندال^۷ و همکاران (۲۰۰۶) الگوریتم SA ابتکاری را برای حل مسئله DFLP معرفی کردند. در روش اول، آنها SA را به طور سنتی اجرا کردند. ابتکار آنها در انتخاب پارامترهای موثر بر الگوریتم بود. در روش دوم، آنها الگوریتم را با یک استراتژی کنترل مراحل گذشته و کنترل مراحل پیش رو ترکیب کردند. الریس و سعید^۸ (۲۰۰۹) یک برنامه ریزی برای چیدمان موقعیت پویا را توسط برنامه ریزی پویای تقریبی پیشنهاد نموده‌اند که به عنوان تکنیکی برای حل مسائل با تجزیه به مسائل ساده‌تر دیگر است. این روش در پی استفاده از برنامه ریزی فوق و نیز زنجیره‌ای از تصمیمات و غیره برای نمایش دادن تصمیمات مرتبط به موقعیت یابی و تعیین محل کل تسهیلات است.

مک‌کندال وهاکوبیان^۹ (۲۰۱۰) برای تولید راه حل اولیه که توسط روش TS بهبود داده شده بود، یک DFLP با اندازه بزرگ و پیوسته و دارای تسهیلات با جهت گیری آزادانه و اندازه

-
1. Aiello
 2. Baykasoglu
 3. Marvin
 4. Tabu search (TS)
 5. Simulated annealing (SA)
 6. Genetic algorithm (GA)
 7. McKendall
 8. El-Rayes and Said
 9. McKendall and Hakobyan

نابرابر را با استفاده از تکنیک جستجوی مرزی حل کردند. سمرقندی و عشقی^۱ (۲۰۱۰) یک مسئله با چیدمان تک ردیفی با تسهیلات دارای اندازه نابرابر را با استفاده از یک الگوریتم جستجوی ممنوع دارای حافظه انطباقی برای روشهای تنوع و تشدید، برای یافتن راه حلهای موجود در همسایگی راه حل خوب و راه حلهایی که هنوز یافته نشده اند، حل کردند. این روشها از حافظه طولانی مدت در لیست ممنوعه استفاده کردند. عظیمی و چرمچی^۲ (۲۰۱۲) یک روش ابتکاری مبتنی بر شبیه سازی برای حل مساله چیدمان تسهیلات پویا ارائه دادند. در این روش ابتدا مدل ریاضی آزاد شده و محدودیت صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم در نظر گرفته نمی شود. سپس مدل حل شده و نتایج بدست آمده به عنوان احتمال تخصیص تسهیلات به موقعیتها در نظر گرفته می شود. این احتمالات به شبیه سازی داده شده و مدل شبیه سازی به هنگام تخصیص تسهیلات به موقعیتها از این احتمالات استفاده می کند. نتایج محاسباتی نشان داد که این روش از کارایی بالایی بر حسب کیفیت جواب و زمان محاسباتی برخوردار است.

وانگ و همکاران^۳ (۲۰۱۵) یک روش حل مسائل چیدمان تسهیلات دو ردیفه پویا با ترکیب الگوریتم AS و برنامه ریزی ریاضی از سوی پیشنهاد شد که در نهایت مشخص شد این روش قابلیت تعیین راه حل بهینه برای مسائل با اندازه کوچک و نیز تعیین یک روش واقعی برای مسائل با سایزهای واقعی را دارد. آلتوتاس و ایزلر^۴ (۲۰۱۵) تحقیقی در یک کارخانه تولید کفش جهت حل مسئله چیدمان تسهیلات پویا توسط و با هدف کمینه کردن مجموع مواد حمل شونده و نیز هزینه های بازچیدمان با در نظرگیری چند دوره کاری، انجام دادند. بدین ترتیب یک الگوریتم مبتنی بر کلونی مورچگان برای حل مسئله چیدمان تسهیلات پویا پیشنهاد شد که نهایتاً در مقایسه با آزمایشها و نتایج عددی که حاصل می شد روش پیشنهادی از عملکرد مناسب تری برخوردار بود. ژاو و سونگ^۵ (۲۰۱۵) مسئله DFLP را با

1. Samarghandi and Eshghi

2. Azimi and Charmchi

3. Wang

4. Ulutas and Islier

5. Xu and Song

در نظر گرفتن اندازه تسهیلات نابرابر بررسی کردند. آنها هزینه جابجایی بین ماشین‌ها را به شکل پارامترهای فازی لحاظ کردند و تسهیلات را به شکل اشکال دوبعدی تصور کردند. سپس مسئله پیشنهادی را با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات بهینه کردند. در نهایت کارایی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از یک مطالعه موردی بررسی و اثبات شد.

نقابی و تاری^۱ (۲۰۱۶) بر اساس روابط نزدیکی تسهیلات یک رویکرد جدید برای مسئله چیدمان پیشنهاد دادند. در این رویکرد بر اساس میزان نزدیکی تسهیلات یک امتیاز خاص به طرح داده می‌شود. همچنین به منظور اعمال شاخص‌های ایمنی دور بودن بعضی تسهیلات نیز امتیاز محسوب می‌شود. آن‌ها یک مدل ریاضی برای مسئله پیشنهاد دادند و کارایی آن را با استفاده از آزمایش‌های محاسباتی سنجیدند. نتایج محاسباتی کارامدی مدل پیشنهادی را در لحاظ کردن همزمان معیارهای اقتصادی و ایمنی و ایجاد طرح‌های چیدمان متنوع اثبات کرد. گوان و لین^۲ (۲۰۱۶) یک الگوریتم ترکیبی برای بهینه‌سازی مسئله چیدمان تسهیلات پیشنهاد دادند. الگوریتم پیشنهادی بر اساس ترکیب دو الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر و کلونی مورچگان بود. آن‌ها سه ساختار همسایگی کارآمد پیشنهاد دادند و همچنین یک تکنیک جدید به منظور کاهش زمان محاسباتی در محاسبه تابع هدف ارائه کردند. از طرف دیگر یک روش جدید برای به روزرسانی فرمون‌ها در الگوریتم کلونی مورچگان به کار گرفته شد. آن‌ها از مسائل استاندارد موجود در ادبیات به منظور ارزیابی الگوریتم استفاده کردند و برتری آن را نسبت به روش‌های قبلی اثبات نمودند.

آزودو^۳ و همکاران (۲۰۱۷) مسئله مکان‌یابی تسهیلات با اندازه‌های نابرابر را به اهداف حداقل رساندن هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های بازپرداخت به حداکثر رساندن میزان هم‌افزایی کمینه بودن عدم تعادل بین بخش‌ها و مکان‌ها بررسی و حل کردند. پاس^۴ و همکاران (۲۰۱۷) دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک ترکیبی برای حل مسئله چیدمان تسهیلات با اندازه‌های نابرابر ارائه دادند. الگوریتم‌های پیشنهادی با روش‌های موجود در ادبیات مقایسه

1. Neghabi and Tari

2. Guan and Lin

3. Azevedo

4. Paes

شد و نتایج محاسباتی نشان داد که الگوریتم ژنتیک ترکیبی به جواب‌های باکیفیت تر در زمان کمتر دست پیدا می‌کند. جدول ۱ تحقیقات اخیر مرتبط با مساله چیدمان تسهیلات را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تحقیقات اخیر مرتبط با مساله چیدمان تسهیلات			
نویسنده و سال	مساله مورد بررسی	رویکرد مدل سازی و حل	اهداف
آلوتاس و ایزلر ^۱ ۲۰۱۵	مسئله چیدمان تسهیلات پویا در کارخانه تولید کفش	۱. الگوریتم سیستم ایمنی ۲. الگوریتم پردازشی بی نظمی	۱. هزینه حمل مواد ۲. هزینه بازآرایی چیدمان تسهیلات
نوآوری و توضیحات: به کمک الگوریتم‌های مذکور و با بهره گیری از مسئله ای که اطلاعات آن بر پایه زندگی واقعی ^۲ می‌باشد، چیدمانی پویا تعیین نمودند که بر هزینه‌ها، کیفیت و کمیت انواع مدل‌های کفش که در این کیس تولید می‌شود تاثیر گزار است و در نهایت پیشنهاد کردند که مدل تعریف شده برای هر نوع کارخانه ای قابل استفاده است.			
مک کندال و هاکوبیان ^۳ ۲۰۱۰	مسئله چیدمان تسهیلات پویا با بخش‌هایی با اندازه نابرابر	۱. الگوریتم جستجو ممنوع BSH الگوریتم BSH	۱. هزینه حمل مواد ۲. مجموع محصول در جریان مواد ۳. فاصله بین دو بخش ۴. هزینه حمل و نقل بین هر یک جفت بخش
نوآوری و توضیحات: یک الگوریتم جستجو ممنوع به منظور حل مسئله چیدمان تسهیلات پویا ارائه کردند و سپس با مسئله چیدمان از نوع ایستا مقایسه نمودند. همچنین یک الگوریتم BHS اصلاح شده را برای حل مسائل هم با اندازه کوچک و هم بزرگ پیشنهاد دادند.			

1. Ulutas and Islier

2. Real Life

3. McKendall and Hakobyan

مجموع فواصل موزون بین همه جفت بخش‌ها	۱. الگوریتم جستجو ممنوع ۲. ABSMODEL	مسئله چیدمان تسهیلات تک ردیفه با تسهیلات نابرابر	سمرقندی و عشقی ^۱ ۲۰۱۰
نوآوری و توضیحات: قاعده ای را برای پیدا کردن بهترین راه حل ممکن برای مسئله چیدمان تسهیلات تک ردیف اثبات می‌کنند. با استفاده از الگوریتم جستجو ممنوع، این قاعده (قضیه) را حل می‌کنند و سپس با ۵۰ مسئله ی موجود در مرور ادبیات مقایسه می‌شود.			
۱. هزینه‌های حمل مواد ۲. هزینه‌های حمل و نقل بین تسهیلات	الگوریتم PSO	مسئله چیدمان تسهیلات پویا با در نظر گرفتن اندازه تسهیلات نابرابر	ژاو و سونگ ^۲ ۲۰۱۵
نوآوری و توضیحات: هزینه جابجایی بین ماشین‌ها را به شکل پارامترهای فازی لحاظ کردند و تسهیلات را به شکل اشکال دوبعدی تصور کردند. مسئله پیشنهادی را با استفاده از الگوریتم PSO بهینه کردند			
۱. هزینه‌های حمل مواد ۲. روابط نزدیکی تسهیلات	برنامه ریزی ریاضی	مسئله چیدمان تسهیلات با در نظر گرفتن شاخص‌های ایمنی	نقابی و تاری ^۳ ۲۰۱۶
نوآوری و توضیحات: بر اساس میزان نزدیکی تسهیلات یک امتیاز خاص به طرح داده می‌شود. همچنین به منظور اعمال شاخص‌های ایمنی دور بودن بعضی تسهیلات نیز امتیاز محسوب می‌شود.			

1. Samarghandi and Eshghi

2. Xu and Song

3. Neghabi and Tari

گوان و لین ^۱ ۲۰۱۶	مسئله چیدمان تسهیلات	الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر و کلونی مورچگان	۱. هزینه‌های حمل مواد
نوآوری و توضیحات: آن‌ها سه ساختار همسایگی کارآمد پیشنهاد دادند و همچنین یک تکنیک جدید به منظور کاهش زمان محاسباتی در محاسبه تابع هدف ارائه کردند			
وانگ و همکاران ^۲ ۲۰۱۵	بهبود سازی چیدمان تسهیلات دو ردیفه پویا	۱. الگوریتم AS و برنامه ریزی ریاضی	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی
نوآوری و توضیحات: از الگوریتم AS و انواع آن برای بهبود سازی چیدمان تسهیلات در کارخانه تولید اتوبوس در کشور هند استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی با آزمایش در کیس استادی، اهداف مربوطه را محقق ساخت.			
آیلو ^۳ و همکاران ۲۰۰۶	بهبود سازی چیدمان تسهیلات الکتره	۱. الگوریتم ژنتیک ۲. روش	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی
نوآوری و توضیحات: یک رویکرد چند هدفه را برای حل مسائل چیدمان تسهیلات به کمک الگوریتم ژنتیک و با بهره گیری از روش الکتره ارائه کردند که در آن تصمیم گیرنده بر اساس ترجیحات خود اقدام به چیدمان تسهیلات با هدف بیشینه کردن بهره وری ماشین آلات می‌نماید.			
بایکاسوگلو ^۴ و همکاران ۲۰۰۶	بهبود سازی مسئله چیدمان پویا با محدودیت بودجه	۱. الگوریتم کلونی مورچه	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی
نوآوری و توضیحات: با در نظر گرفتن موارد با بودجه محدود و نامحدود، از روش حل کلونی مورچه برای حل یک مسئله چیدمان تسهیلات پویا استفاده کرد			
بایکاسوگلو و گیندی ^۵ ۲۰۰۱	بهبود سازی مسئله چیدمان	۱. الگوریتم شبیه سازی تبرید	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی

1. Guan and Lin

2. Wang et al

3. Aiello

4. Baykasoglu

5. Baykasoglu and Gindy

		تسهیلات پویا دارای تسهیلات اندازه برابر	
نوآوری و توضیحات: یک الگوریتم شبیه سازی تبرید را برای حل یک مسئله چیدمان تسهیلات پویا دارای شکل مشابه و تسهیلات دارای اندازه برابر پیشنهاد دادند. آنها ثابت کردند که این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های الگوریتم ژنتیک از نقطه نظر زمان انجام محاسبات، خیلی موثرترند			
ماروین ^۱ و همکاران ۲۰۰۶	بهبود سازی مسئله چیدمان تسهیلات تحت شرایط محدود به زمان	۱. الگوریتم جستجو ممنوع ۲. الگوریتم شبیه سازی تبرید ۳. الگوریتم ژنتیک	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی
نوآوری و توضیحات: عملکرد الگوریتم جستجو ممنوع و الگوریتم شبیه سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک را روی انواع مختلف مسئله چیدمان تسهیلات تحت سه شرایط، یعنی شرایط محدود به زمان، شرایط محدود به راه حل و شرایط بدون وجود محدودیت مقایسه کردند. آنها در میان همه موارد، الگوریتم جستجو ممنوع را به عنوان بهترین مورد یافتند.			
آزودو ^۲ و همکاران ۲۰۱۷	بهبود سازی مسئله چیدمان تسهیلات با اندازه‌های نابرابر	۱ الگوریتم ژنتیک	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی
نوآوری و توضیحات: مسئله مکان یابی تسهیلات با اندازه‌های نابرابر را به اهداف حداقل رساندن هزینه‌های جابه جایی مواد و هزینه‌های بازپرداخت به حداکثر رساندن میزان هم افزایی کمینه بودن عدم تعادل بین بخش‌ها و مکان‌ها بررسی و حل کردند			
پاس ^۳ و همکاران	بهبود سازی مسئله چیدمان	الگوریتم ژنتیک ترکیبی	۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی

1. Marvin

2. Azevedo

3. Paes

		تسهیلات ۲۰۱۷
<p>نوآوری و توضیحات: الگوریتم فرابتنکاری ژنتیک ترکیبی برای حل مسئله چیدمان تسهیلات با اندازه‌های نابرابر ارائه دادند. الگوریتم‌های پیشنهادی با روش‌های موجود در ادبیات مقایسه شد و نتایج محاسباتی نشان داد که الگوریتم ژنتیک ترکیبی به جواب‌های باکیفیت تر در زمان کمتر دست پیدا می‌کند.</p>		
<p>۱. هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی ۲. زمان تکمیل عملیات‌های حمل</p>	<p>۱. الگوریتم شبیه ساز تبرید چند هدفه بر اساس نظریه ابر ۲. الگوریتم الگوریتم ژنتیک رتبه بندی کردن نامغلوب‌ها ۳. الگوریتم الگوریتم ژنتیک مرتب سازی کردن نامغلوب‌ها</p>	<p>بهبود سازی مسئله چیدمان تسهیلات چند هدفه</p>
<p>نوآوری و توضیحات: توسعه یک مدل دو هدفه و کمینه کردن همزمان هزینه انتقال مواد بین تسهیلات و هزینه جابجایی تسهیلات و نیز زمان مورد نیاز برای حمل مواد استفاده از رویکرد شبیه سازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای محاسبه زمان انجام عملیات‌های حمل. استفاده از یک الگوریتم فرابتنکاری جدید را برای بهبود سازی مسئله.</p>		

تشریح مسئله

عموما هدف اساسی مدل‌های ارائه شده برای مسئله چیدمان پویا حداقل کردن هزینه‌های که حمل مواد در تمامی دوره‌ها و هزینه جابجایی تسهیلات است. در مدل‌های ریاضی که تا کنون برای مسئله چیدمان تسهیلات پویا ارائه شده است، $F_{t,i,k}$ به عنوان پارامتر اساسی در محاسبه هزینه حمل مواد در نظر گرفته شده است. $F_{t,i,k}$ نشان دهنده جریان مواد بین ماشین i و ماشین k در دوره t می‌باشد. در سیستم‌های واقعی تولیدی مواد بین ماشین‌ها به شکل دسته ای منتقل می‌شوند. در این حالت به جای تعداد محصولات، تعداد جابجایی‌های انجام شده بین دو ماشین اهمیت پیدا می‌کند. از آنجایی که تعداد جابجایی‌ها به ظرفیت وسیله حمل بستگی دارد بنابراین نوع و ظرفیت وسیله حمل به عنوان یک پارامتر اساسی در مدل پیشنهادی

لحاظ خواهد شد. در نتیجه پارامتر $F_{t,i,k}$ به صورت $\left[\frac{F_{t,i,k}}{cap^{tr}} \right]$ بیان می‌شود که می‌تواند تعداد جابجایی بین ماشین‌های i و k را بر طبق نوع وسیله حمل بین آنها محاسبه کند. با در نظر گرفتن نوع وسیله حمل، چگونگی تخصیص وسایل حمل به ماشین‌ها مطرح می‌شود که به شکل متغیر تصمیم $Y_{t,i,k}^{tr}$ در مدل ریاضی لحاظ شده است. از طرف دیگر علاوه بر حداقل کردن هزینه‌های حمل مواد و جابجایی ماشین‌ها، شاخص کارایی دیگری با عنوان حداقل کردن زمان حمل و نقل مطرح می‌شود که به شکل یک هدف ثانویه در مدل تحلیلی لحاظ شده است. زمان حمل و نقل شامل مجموعه زمان‌هایی می‌شود که در آن حمل‌کننده‌ها مشغول جابجایی مواد بین ماشین‌ها هستند. به عبارت دیگر زمان‌هایی که مواد در حال جابجایی بین ماشین‌ها هستند به عنوان زمان‌های حمل و نقل در نظر گرفته می‌شود. می‌توان گفت که با کاهش زمان‌های حمل، مسافت جابجایی نیز کاهش می‌یابد اما این دو معیار (زمان حمل و مسافت حمل) لزوماً در یک راستا نیستند. به عنوان مثال ممکن است ترافیک در یک مسیر افزایش یابد و با وجود فاصله کم، زمان زیادی برای عبور از آن مسیر صرف شود. در چنین شرایطی حرکت حمل‌کننده‌ها از مسیر خلوت‌تر منجر به کاهش زمان حمل و افزایش مسافت حمل می‌شود. با در نظر گرفتن چنین شرایطی می‌توان ادعا نمود که در نظر گرفتن اهداف به صورت مجزا قابل قبول می‌باشد. محاسبه زمان حمل و نقل از طریق روابط ریاضی ممکن نیست. مهم‌ترین دلیل این موضوع وجود عوامل احتمالی مانند زمان انتقال محصولات توسط حمل‌کننده‌ها، مدت زمان تخلیه و بارگیری حمل‌کننده‌ها و همچنین احتمال وقوع خرابی در حمل‌کننده‌ها می‌باشد که امکان توسعه یک مدل احتمالی را غیر ممکن می‌کند. زیرا خرابی و تعمیر حمل‌کننده‌ها حتی به شکل احتمالی نیز قابل فرموله شدن و مدل‌سازی نمی‌باشد. در نتیجه به منظور تخمین زمان حمل از شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. به منظور تربیت این شبکه عصبی از یک مدل شبیه‌سازی استفاده می‌شود. در مدل شبیه‌سازی

توسعه داده شده تمامی مشخصات احتمالی سیستم لحاظ می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که شبکه عصبی تربیت شده بر اساس این مدل شبیه سازی نیز مشخصات احتمالی سیستم را لحاظ خواهد کرد.

در نهایت سوال اساسی در مورد مساله چیدمان تسهیلات مورد بررسی در این نوشتار این است که در هر دوره چگونه مکان ماشین‌ها را انتخاب کنیم و هر یک از عملیات‌های انتقال محصولات بین ماشین‌ها توسط کدام حمل کننده انجام شود تا هزینه انتقال مواد بین ماشین‌ها، هزینه جابجایی ماشین‌ها و زمان تولید محصولات کمینه گردد. سایر فرضیات در نظر گرفته شده در مدل به قرار زیر است:

- میزان جابجایی بین تسهیلات در هر دوره قطعی و از قبل مشخص است.
- فاصله بین تسهیلات اقلیدسی مرکز به مرکز در نظر گرفته می‌شود.
- فاصله بین موقعیت‌ها ثابت و از قبل مشخص است.
- تعداد و سرعت حمل کننده‌ها از قبل مشخص است.
- ماشین‌ها امکان جابجایی در دوره‌های مختلف را دارند و هزینه جابجایی هر ماشین در هر دوره قطعی و معین است.
- در هر موقعیت فقط یک تسهیل می‌تواند قرار گیرد.
- هر تسهیل فقط در یک موقعیت می‌تواند قرار بگیرد.
- تعداد تسهیلات و موقعیت‌ها با هم برابر است.

با در نظر گرفتن فرضیات بالا مدل ریاضی و متغیرهای تصمیم، نمادها و پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل به شرح زیر خواهد بود.

اندیس‌ها و پارامترها

تعداد تسهیلات یا موقعیت‌ها	N
تعداد دوره‌های برنامه ریزی شده	T
جریان مواد بین ماشین i و ماشین k در دوره t	$F_{t,i,k}$
هزینه جابجایی تسهیل i از موقعیت j به l در دوره t	A_{tijl}
فاصله بین موقعیت j و l در دوره t	$D_{t,j,l}$
حداکثر تعداد وسایل حمل‌کننده در دسترس از نوع tr در دوره t	m_t^{tr}
ظرفیت وسیله حمل‌کننده نوع tr	cap^{tr}
۱ اگر بین ماشین‌های k و i در دوره t جریان برقرار باشد ۰ در غیر این صورت	$R_{t,i,k}$

متغیرهای تصمیم وابسته

زمان تکمیل عملیات‌های حمل در دوره t C_t

متغیرهای تصمیم مستقل

۱ اگر تسهیل i در دوره t به موقعیت j تخصیص پیدا کند ۰ در غیر این صورت	$X_{t,i,j}$
۱ اگر در دوره t وسیله حمل‌کننده tr برای جابجایی مواد از ماشین i به ماشین k انتخاب شود. ۰ در غیر این صورت	$Y_{t,i,k}^{tr}$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{tr=1}^{TR} \left(\left\lceil \frac{F_{t,i,k}}{cap^{tr}} \right\rceil \right) * D_{t,j,l} * X_{t,i,j} \\ & * X_{t,k,l} * Y_{t,i,k}^{tr} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N \sum_{t=2}^T (Re_{t,i,j,l} * A_{t,i,j,l}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{t=1}^T C_t \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{t,i,j} = 1, \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{t,i,j} = 1, \forall j = 1, 2, \dots, N, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

$$\sum_{tr=1}^{TR} Y_{t,i,k}^{tr} = R_{t,i,k}, \forall i = 1, 2, \dots, N-1; \forall k$$

$$= i + 1, 2, \dots, N; \forall t = 1, 2, \dots, T$$

$$, Y_{t,i,k}^{tr} = Y_{t,k,i}^{tr} \quad (5)$$

$$\forall i, k = 1, 2, \dots, N; \forall t = 1, 2, \dots, T; \forall tr = 1, 2, \dots, TR$$

$$\forall tr = 1, 2, \dots, TR; \forall t = 1, 2, \dots, T, m_t^{tr} \geq \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N Y_{t,i,k}^{tr} \quad (6)$$

$$1, 2, \dots, T$$

$$Re_{t,i,j,l} = X_{t-1,i,j} \times X_{t,i,l}, \forall i, j, l = 1, 2, \dots, N; \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

$$C_t = f(X_{t,i,l}, Y_{t,i,k}^{tr}) = ANN \quad (9)$$

$$X_{t,i,j} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

$$Y_{t,i,k}^{tr} \in \{0, 1\}, \quad i, k = 1, 2, \dots, N; \forall tr = 1, 2, \dots, TR; \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

تابع هدف اول (۱) حداقل می‌کند مجموع هزینه‌های حمل و هزینه‌های جابجایی تسهیلات. تابع هدف دوم (۲) مجموع زمان تکمیل عملیات‌های حمل را حداقل می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۳) تضمین می‌کنند که هر تسهیل فقط در یک موقعیت قرار گیرد و مجموعه محدودیت‌های (۴) تضمین می‌کنند که در هر موقعیت فقط یک تسهیل قرار بگیرد. مجموعه محدودیت‌های (۵) بیان می‌کنند که به هر جفت ماشین، در صورت وجود جریان مواد، یک وسیله حمل تخصیص داده شود. مجموعه محدودیت‌های (۶) تضمین می‌کنند که وسیله حمل تخصیص داده شده به هر جفت ماشین، یک نوع وسیله حمل تخصیص داده شود. مجموعه محدودیت‌های (۷) به منظور کنترل کردن وسایل حمل‌کننده در هر دوره است. مجموعه محدودیت‌های (۸) جابجایی تسهیلات در طی دوره‌ها را کنترل می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۹) زمان تکمیل عملیات‌های حمل در هر دوره را حساب می‌کند. $f(X_{t,i,l}, Y_{t,i,k}^{tr})$ نشان می‌دهد که این زمان تابعی از مکان تسهیلات و نوع حمل‌کننده انتخابی بین هر جفت تسهیل است. همان‌طور که بیان شد محاسبه زمان تکمیل عملیات‌های حمل از طریق روابط تحلیلی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه از شبکه عصبی مصنوعی (ANN^1) به منظور برآورد آن استفاده خواهد شد. مجموعه محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) به

¹ Artificial neural network

منظور تضمین کردن صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم ایجاد شده اند. می توان نشان داد که در یک مسئله چیدمان تسهیلات پویای تک هدفه با N دپارتمان و T دوره برنامه ریزی، $T(N)$ گزینه^۱ بایستی به منظور یافتن جواب بهینه ارزیابی گردد. بنابراین به دست آوردن جواب بهینه برای مسائل بزرگ، نیازمند مراحل محاسباتی بسیار زیاد بوده و عملاً امری غیرممکن به نظر می رسد؛ که این پیچیدگی ضرورت استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری را برای این مسئله مطرح می سازد (آرین^۲ ۱۹۹۸). با توجه به اینکه مدل پیشنهادی، توسعه ای از مدل پایه مسئله چیدمان تسهیلات پویا است می توان NP Hard بودن آن را نتیجه گرفت.

الگوریتم های حل

در این بخش روش پیشنهادی برای تصمیم گیری بهینه در راستای حداقل کردن مجموع هزینه های حمل و هزینه های جابجایی تسهیلات و مجموع زمان تکمیل عملیات های حمل تشریح می گردد. از آنجایی که تمامی روابط و معادلات برای محاسبه زمان تکمیل عملیات های حمل به کمک مدل های تحلیلی امکان پذیر نمی باشد از این رو یک رویکرد بهینه سازی با تکیه بر شبیه سازی و طراحی آزمایش ها را پیشنهاد می دهد. در روش پیشنهادی ابتدا اصول طراحی آزمایش ها به کار گرفته شده و تعدادی آزمایش یا سناریو طراحی می شود. هر سناریو بیان کننده یک جواب برای سیستم است. سپس تمامی سناریوها در محیط کامپیوتر شبیه سازی و اجرا شده و زمان تکمیل عملیات های حمل در هر یک از سناریوها محاسبه می شود. سپس این داده ها برای تربیت شبکه عصبی به کار می روند. تربیت شبکه عصبی قادر است تا زمان تکمیل عملیات های حمل را به ازای سناریوهای گوناگون محاسبه کند. با اضافه کردن تابع هدف اول و سایر محدودیت های اساسی یک مدل ریاضی ایجاد می شود. همان گونه که ذکر شد به علت NP-hard بودن مدل ایجاد شده، استفاده از روش های دقیق برای حل مسئله در زمان معقول ممکن نیست و باید از روش های ابتکاری یا فرا ابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد.

1. Option

2. Urban

در این نوشتار از سه الگوریتم فراابتکاری چند هدفه به منظور بهینه سازی مدل استفاده شده است. الگوریتم اول یک الگوریتم فراابتکاری جدید، به نام الگوریتم شبیه ساز تبرید چند هدفه- تئوری ابر، می باشد. این الگوریتم با استفاده از تئوری ابر قادر است تا به جواب های بهتری در مقایسه با الگوریتم شبیه ساز تبرید معمولی دست یابد. این الگوریتم برای اولین بار برای حل مسئله چیدمان تسهیلات پویا به کار می رود. به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در بهینه سازی مدل از دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب ها و ژنتیک با رتبه بندی نامغلوب ها استفاده خواهد شد. علت این انتخاب را می توان این دانست که در ادبیات موضوع، استفاده از الگوریتم ژنتیک از اقبال بیشتری نسبت به سایر روش های فرا ابتکاری برخوردار بوده است. در تمامی این الگوریتم ها به منظور محاسبه زمان تکمیل عملیات های حمل در طی فرایند بهینه سازی از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده خواهد شد. شکل ۱ فلوجارت روش پیشنهادی را نشان می دهد.



شکل (۱): فلوجارت روش پیشنهادی

الگوریتم شبیه سازی تبرید (SA^۱)

الگوریتم شبیه سازی تبرید یک روش جستجوی احتمالی، دنباله ای و بهبود دهنده است که از یک جواب اولیه شروع می کند و سپس در یک حلقه تکرار به سوی جواب های همسایه حرکت می کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم، آن را به عنوان جواب فعلی قرار می دهد (به سمت آن حرکت می کند). در غیر این صورت، الگوریتم، آن جواب را با احتمال p به عنوان جواب فعلی می پذیرد. با کاهش تدریجی دما، در گام های پایانی، جواب های بدتر با احتمال کمتری پذیرفته می شوند. بنابراین الگوریتم به سمت جواب های بهتر (یا با همان کیفیت) همگرا می شود. جستجوی شبیه سازی تبرید برای فضای تصادفی جواب از یک دمای اولیه بالا شروع می کند. شبیه سازی تبرید هر چند به خودی خود یک الگوریتم جستجوی محلی است اما از به دام افتادن در بهینه محلی جلوگیری می کند. ایده اصلی روند جستجوی شبیه سازی تبرید از به دام افتادن در یک مکان بهینه ضعیف جلوگیری می کند به این صورت که نه فقط بهترین جواب، بلکه جواب های همسایه بدتر با یک شانس معین انتخاب شوند. وقتی درجه حرارت به تدریج کاهش می یابد شانس پذیرش جواب های بدتر نیز کاهش می یابد و در نهایت جواب سراسری را پیدا می کند.

الگوریتم شبیه سازی تبرید چند هدفه بر اساس نظریه ابر (CBSA^۲)

شبیه سازی تبرید به عنوان یک روش بهینه سازی ترکیبی غیر خطی موثر به اثبات رسیده است و در زمینه های مختلف کاربردی مورد استفاده قرار می گیرد. با این وجود درجه حرارت هر مرحله مجزا و دوره سرد شدن تدریجی از نظر پیاده سازی غیر قابل تغییر است و با نیاز به کاهش پیوسته درجه حرارت در فرآیند تبرید فیزیکی واقعی آشنا نیست. از طرفی الگوریتم به آسانی راه حل ضعیف با دمای بالا را می پذیرد و به سرعت آن را همگرا نمی کند. از طرف دیگر فرار از دام حداقل محلی با دمای پایین سخت و با دقت جستجوی کم است. بنابراین

1. Simulated annealing

2. Cloud based simulated annealing

پیدا کردن یک روش اجرای جدید برای مکانیسم تبرید که قانون فیزیکی را بهتر اندازه گیری کند و قدرت جستجوی بالا و همگرایی بهتر داشته باشد ضروری است. تئوری ابر نوآوری و توسعه تابع عضویت در تئوری فازی است که از دگرگونی عدم اطمینان بین کمیت و کیفیت براساس مفهوم ارزش زمانی به دست می آید. در مفهوم تبرید فیزیکی مولکولها از مقیاس بزرگ به مقیاس کوچک به طور تصادفی و به عنوان دمای فرود حرکت می کنند. توصیف تئوری ابر در زبان طبیعی آسان ولی برای شبیه سازی در کامپیوتر دشوار است. با این حال چون تئوری ابر می تواند انتقال بین یک مفهوم کیفی را شرح دهد و آن را به صورت عددی نمایش دهد از آن برای راهنمایی اجرا استفاده می شود. تئوری ابر برای تولید یک دمای تبرید پیوسته مورد استفاده قرار می گیرد. نظریه ابر دارای ویژگی تصادفی است و گرایش به ثبات دارد. گرچه دمای تبرید به صورت تصادفی تغییر می کند ولی گسستگی آن تنوع در جستجو را کاهش می دهد.

مدل ابر توسط پرفسور دی^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۵ و بر اساس تئوری فازی سنتی و آمار احتمال ارائه شد. فرض کنید که L ارزش زبانی دامنه V ، و در مسیر: $M_D(x): v \rightarrow$ اگر توزیع M_D نرمال باشد، آنگاه مدل، ابر نرمال نامیده می شود. این مسیر، گروهی از اعداد تصادفی با گرایش پایا تولید می کند که با امید ریاضی Ex ، بی نظمی En و حد بالای بی نظمی He نمایش داده می شود. این سه پارامتر ویژگی های کمی مفهوم M_D را نشان می دهند.

Ex مرکز ابر را محاسبه می کند و En برد ابر را نشان می دهد. شکل ۲، در حدود ۹۹,۷۴ درصد از کل قطره های ابر پخش شده بین $En \leq Ex \leq En + Ex$ را نشان می دهد. حد بالای بی نظمی درجه پراکندگی قطره ی ابر را تعیین می کند، He بالاتر نشان دهنده پراکندگی بیشتر است. اگر مقدار Ex, En, He و یک v معین داده شود، یک تولید کننده ی ابر نرمال می تواند یک قطره از ابر $(drop(x_i, u))$ به شرح زیر تولید کند:

INPUT: $\{Ex, l$

OUTPUT: $\left\{ \left(x \right. \right.$

FOR $i -$

\ to n

En'

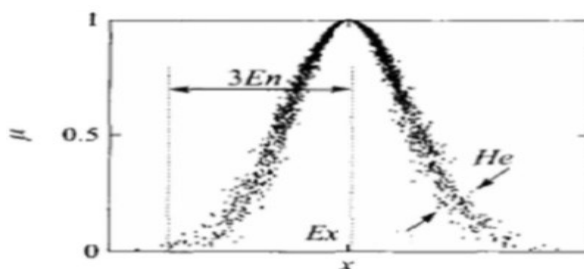
$= randn(En,$

$x_i = Ex \pm$

$En' \sqrt{-2 \ln(v.)}$

$drop(x_i, v.)$

$(En, He) randn$ یک عدد تصادفی با توزیع نرمال تولید می کند که امید آن En و انحراف استانداردش He است.



شکل (۲): سه ویژگی عددی از یک ابر نرمال

نظریه ابر برای تولید یک دمای تبرید پیوسته استفاده می شود. قابلیت انعطاف پذیری از ویژگی های اصلی است که به ما در حالت پویا برای کاهش دمای تبرید اجازه می دهد از مشکلاتی مثل افتادن در دام حداقل محلی جلوگیری کنیم. شکل ۵ دمای تبرید با هر حالت در CBSA را نشان می دهد. این شکل به وضوح نشان می دهد که CBSA می تواند ویژگی های

شیب تدریجی کاهش دمای تبرید و همگرایی الگوریتم شبیه ساز تبرید را حفظ کند. در همین حال، محدوده قابل تغییر دمای تبرید از CBSA به مراتب گسترده تر از الگوریتم شبیه ساز تبرید است، پس CBSA بر نقطه ضعف الگوریتم شبیه ساز تبرید که دمای آن در مرحله تبرید گسسته و ساده است غلبه می کند. بنابراین، فرآیند تبرید CBSA سازگاری بیشتری با فرایند تبرید فیزیکی دارد. در حالت چند هدفه، ابتدا تعدادی جواب اولیه تولید شده و این جواب ها به طور موازی به جستجوی فضای حل می پردازند. در انتهای هر تکرار تمامی جواب ها در کنار هم قرار گرفته و جواب های مغلوب حذف می شوند. جواب های باقی مانده به عنوان جواب های اولیه تکرار بعد در نظر گرفته می شوند. در بخش بعد ساختارهای اصلی الگوریتم تشریح می گردد.

نحوه نمایش جواب

در این تحقیق به منظور نمایش جواب ها ابتدا یک جواب بصورت یک ساختار دو بعدی می شود. هر یک از ابعاد از یک ماتریس تشکیل شده است. تعداد سطر و ستون های آن متغیر است. بعد اول جواب مورد استفاده مانند قسمت سمت چپ شکل ۳ است. این رشته از T سطر تشکیل می شود، که هر سطر در آن نشان دهنده یک طرح در دوره مورد نظر است. نمایش رشته ها بر پایه جایگشت N تایی است که N نشان دهنده شماره تسهیل و موقعیت قرار گیری آن در زیر رشته نشان دهنده شماره موقعیت است. به منظور نمایش چگونگی تخصیص حمل کننده ها به تسهیلات از یک ماتریس استفاده می شود. مقدار قرار گرفته در هر سلول نشان دهنده وسیله حمل کننده و شماره سطر و ستون، نشان دهنده تسهیلات است.

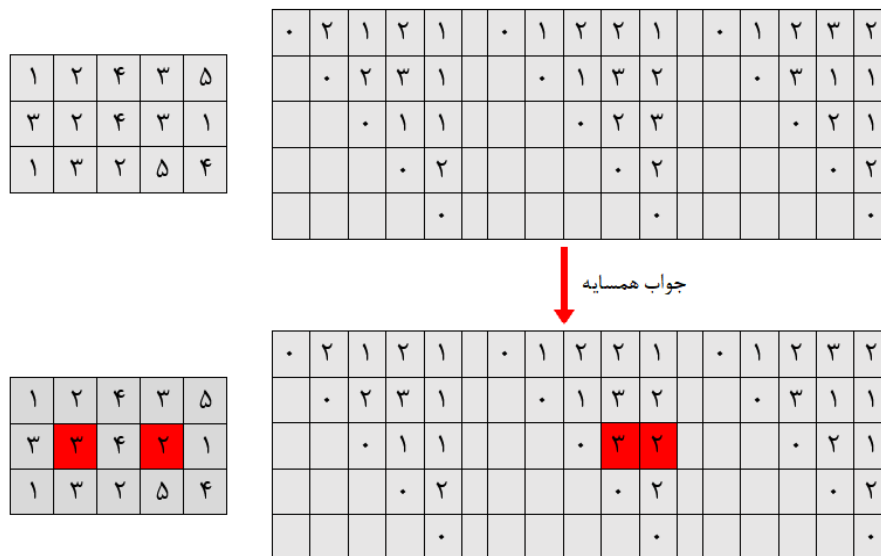
۰	۲	۱	۲	۱		۰	۱	۲	۲	۱		۰	۱	۲	۳	۲
۱	۲	۴	۳	۵		۰	۲	۳	۱			۰	۳	۱	۱	
۳	۲	۴	۳	۱				۰	۱	۱				۰	۲	۱
۱	۳	۲	۵	۴					۰	۲					۰	۲
										۰						۰

شکل (۳): نحوه نمایش جواب یا کروموزوم

به عنوان مثال کروموزوم بالا نشان دهنده الگوی چیدمان در سه دوره است. که در دوره اول تسهیل شماره ۱ در موقعیت یک، تسهیل شماره ۲ در موقعیت دو، تسهیل شماره ۴ در موقعیت سه، تسهیل شماره ۳ در موقعیت چهار و تسهیل شماره ۵ در موقعیت پنج قرار گرفته است. همچنین بر اساس این کروموزوم در دوره اول بین تسهیلات ۱ و ۲ وسیله حمل کننده ۲، بین تسهیلات ۱ و ۳ وسیله حمل کننده ۱ انتخاب شده است.

ساختار همسایگی

این مولد وظیفه تولید حالات بعدی را بعهدده دارد و با توجه به محاسبه هزینه نقطه فعلی و هزینه نقطه بعدی، وضعیت حرکت الگوریتم را مشخص می کند. مولد حرکت جواب را از حالت فعلی به حالت همسایگی تغییر می دهد. این تغییر حالت از طریق جابجایی ۲-opt انجام می شود؛ به این ترتیب که ابتدا یک زیررشته که نشان دهنده طرح چیدمان مربوط به یک دوره است، انتخاب شده؛ سپس دو موقعیت به طور تصادفی تعیین شده و تسهیلات داخل آنها با هم جابجا می شوند. همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است تسهیلات ۵ و ۲ در دوره دوم با هم جابجا شده اند. همچنین وسایل حمل کننده بین تسهیلات ۳ و ۴ و تسهیلات ۳ و ۵ نیز جابجا شده اند.



شکل (۴): چگونگی ایجاد ساختار همسایگی در الگوریتم شبیه ساز تبرید

درجه حرارت آغازین

درجه حرارت آغازین باید به اندازه کافی گرم باشد تا حرکت به حالت مجاور را اجازه دهد. اگر درجه حرارت آغازین خیلی زیاد باشد جستجو می‌تواند حرکت کند به هر همسایگی و جستجو به جستجوی تصادفی تبدیل می‌شود تا زمانی که درجه حرارت به اندازه کافی سرد شود. پیدا کردن درجه حرارت آغازین مناسب مشکل است و روش مشخصی برای مسائل مختلف ندارد. اگر ماکزیمم فاصله (هزینه توابع مختلف) را در میان یک همسایگی و سایر همسایگی‌ها بدانیم می‌توانیم از این اطلاعات برای محاسبه درجه حرارت آغازین استفاده کنیم (یعنی می‌توانیم انرژی لازم را محاسبه کنیم). بنابراین در ابتدا تعداد زیادی از جواب‌های تصادفی تولید کرده و تابع هدف آنها را تعیین می‌کنیم؛ سپس میزان انحراف استاندارد موجود در نتایج بدست آمده را محاسبه کرده و از آن برای تعیین دمای اولیه استفاده می‌کنیم. در

الگوریتم پیشنهادی از ۱,۵ برابر انحراف استاندارد موجود در جواب‌های اولیه برای تعیین جواب اولیه استفاده شده است.

کاهش درجه حرارت در هر مرحله

در این نوشتار از رابطه خطی زیر برای کاهش دما استفاده شده است.

$$T_k = \alpha T_{k-1} \quad (12)$$

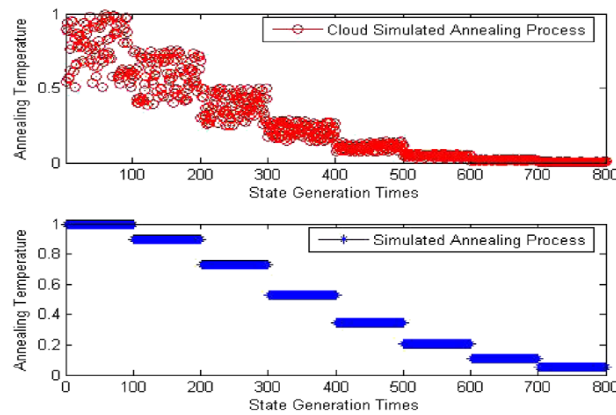
تجربه نشان می‌دهد باید α بین ۰,۸ تا ۰,۹۹۹ باشد تا بهترین نتیجه بدست آید و الگوریتم طولانی نشود. پارامتر α از طریق تحلیل آزمایشات تعیین می‌شود. البته همان طور که بیان شده در الگوریتم CBSA، دما در هر سطح تعادلی ثابت نبوده و می‌بایست تغییرات جزئی داشته باشد. در این نوشتار از رابطه خطی زیر برای کاهش دما استفاده شده است:

$$En = T_k, He = T_k, v = 1 - T_k \quad (13)$$

$$En' = En + He - rand(0,1)/3$$

$$T_k' = En' \sqrt{-2 \ln(v)}$$

در این رابطه T_k مقدار دمای پایه در یک تعادل خاص و T_k' دمای استفاده شده در تابع پذیرش است. تابع $RAND[a, b]$ یک عدد تصادفی در بازه a تا b تولید می‌کند. همان طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود T_k' منجر به تولید بازه پیوسته ای از دما می‌شود که در نتیجه آن کیفیت الگوریتم افزایش می‌یابد.



شکل (۵): چگونگی کاهش دما در الگوریتم CBSA

تکرار در هر دما

تعداد تکرار در هر دما از طریق تنظیم پارامتر تعیین خواهد شد.

شرط توقف

آخرین قدم در الگوریتم‌های فراابتکار بررسی شرایط توقف می‌باشد. در این راستا تکنیک استاندارد برای شرایط توقف الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه وجود ندارد. بنابراین در این نوشتار وقتی الگوریتم متوقف می‌کند که به ماکزیمم تکرار^۱ از پیش تعریف شده برسد. مقدار تکرار در بحث تنظیم پارامتر بکمک طراحی آزمایشات تاگوجی محاسبه خواهد شد.

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)

این الگوریتم توسط دب^۳ و همکاران (۲۰۰۰) ارائه گردیده و دارا بودن یک رویکرد روشن برای فراهم آوردن چگالی در بین جواب‌های بهینه پارتو مزیت اصلی الگوریتم محسوب می‌شود. در این روش ابتدا جمعیت فرزندان (Q_t) با استفاده از جمعیت والدین (P_t) ساخته

1. Maximum generation
2. Non-dominated sorting genetic algorithms
3. Deb

می‌شود. پس از ادغام جمعیت‌ها، از مرتب سازی نامغلوب جهت دسته بندی تمام اعضای جمعیت استفاده می‌شود که این دسته بندی به وسیله صفوف F_1, F_2, \dots, F_n نشان داده می‌شود. اعضای صف F_1 اعضایی هستند که اعضای سایر صفوف را مغلوب کرده اند و اعضای آخرین صف اعضایی هستند که در رقابت با اعضای سایر صفوف مغلوب شده اند. حال برای تولید جمعیت جدید (P_{t+1}) ، اعضای صفوف ابتدایی در جمعیت P_{t+1} قرار داده می‌شود. زمانی که تعداد جمعیت جدید به N رسید، روند قرار دادن اعضای صفوف در جمعیت جدید متوقف می‌شود. در صورتی که صافی وجود داشته باشد که با قرار دادن آن در جمعیت جدید، اعضای جمعیت به عددی بیش از N برسد، باید اعضای آن صف بر اساس فاصله ازدحام مرتب شده و برای قرار گرفتن در جمعیت جدید اعضای با فاصله ازدحام بیشتر در اولویت قرار خواهند

الگوریتم ژنتیک رتبه بندی کردن نامغلوب‌ها^۱ (NRGA)

اگرچه مسائل زیادی توسط الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه معرفی شده به خوبی حل شده اند، اما همچنان محققان در صدد معرفی عملگرهای بهتری برای این الگوریتم‌ها هستند تا کارایی آنها بالاتر برود. در میان این عملگرها، تمرکز اصلی روی بهبود عملگر انتخاب بوده است چرا که بهبود این عملگر منجر به همگرایی بهتر الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه می‌شود.

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چند هدفه جدید مبتنی بر جمعیت با نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه بندی نامغلوب‌ها به طور موفقیت آمیزی توسط الجدان^۲ و همکاران برای بهینه سازی توابع غیر محدب، غیر خطی و گسسته توسعه داده شده است. آنها الگوریتم‌های چند هدفه ای را که بر اساس مرتب کردن غیر مغلوب‌ها کار می‌کردند مورد بررسی قرار دادند. بر اساس مسائل موجود در رویکردهای قبلی، آنها رویکرد جدیدی را با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه رولت مبتنی بر رتبه بندی و الگوریتم رتبه بندی جمعیت بر اساس پارتو توسعه دادند که الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب‌ها نامگذاری شد.

1. Non-dominated ranked genetic algorithms

2. Al Jadaan

عملگر تقاطع

عملگر اصلی جهت تولید کروموزوم‌های جدید در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع می‌باشد. این عملگر مشابه همتای خودش در طبیعت افراد جدیدی تولید می‌نماید، که اجزای (ژن‌های) آن از والدینش تشکیل می‌گردد. این عملگر بر روی یک جفت از کروموزوم‌ها عمل نموده و می‌تواند به صورت تک نقطه‌ای، چند نقطه‌ای و یکنواخت باشد. در الگوریتم پیشنهادی، از تقاطع یکنواخت استفاده شده است. یک بردار تصادفی (بردار مرجع) از ارقام صفر و یک به طول تعداد دوره‌های زمانی ایجاد می‌شود و چگونگی ترکیب والدین و ایجاد فرزندان توسط بردار مرجع تعیین می‌شود. هر خانه از بردار مرجع نشان دهنده چگونگی الگوپذیری فرزند از والدین است؛ به این ترتیب که اگر یک باشد، فرزند مانند والد اول (پدر) رفتار می‌کند و اگر صفر باشد، فرزند مانند والد دوم (مادر) رفتار می‌کند (شکل ۶).

۱. اولین کروموزوم موجود در جمعیت انتخاب می‌شود.
۲. یک عدد تصادفی r بین صفر و یک تولید کنید.
۳. اگر $r > P_c$ باشد آن کروموزوم را برای انجام عمل تقاطع انتخاب کنید.
۴. اکنون کروموزوم‌های انتخابی را به صورت تصادفی با یکدیگر جفت می‌زنیم: برای هر جفت کروموزوم یک نقطه تقاطع^۱ در فاصله $\{1 \dots N\}$ تولید می‌کنیم که N تعداد تسهیلات است.
۵. بیت‌های ۱ تا نقطه تقاطع موجود در زیر رشته اول والد اول را مستقیماً در ژن‌های فرزند کپی می‌کنیم.
۶. بیت‌های $1 +$ نقطه تقاطع تا N والد اول را بر طبق ترتیب قرارگیری آنها در والد دوم به فرزند انتقال داده می‌شوند.
۷. گام‌های ۵ و ۶ برای تولید سایر زیر رشته‌ها به تکرار می‌شوند.

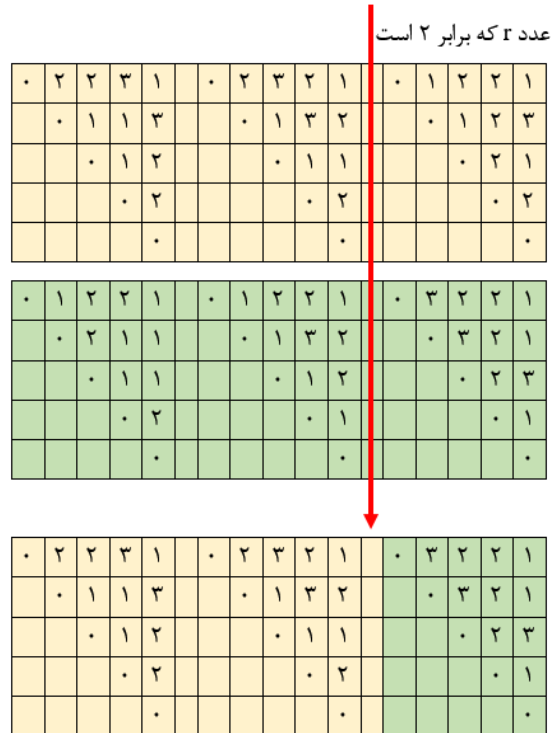
1. Cross point



شکل (۶): چگونگی عملکرد تقاطع در NSGA-II و NPGA (چیدمان)

برای اعمال عملگر تقاطع بر روی الگوی تخصیص حمل کننده‌ها از تقاطع یکنواخت استفاده شده است. به این شکل که:

۱. یک عدد تصادفی r بین یک و تعداد دوره‌ها تولید کنید.
۲. چگونگی تخصیص حمل کننده‌ها به تسهیلات در فرزند اول در دوره‌های یک تا r از والد اول کپی برداری می‌شود و از دوره $r+1$ تا دوره آخر از والد دوم کپی می‌شود.
۳. برای فرزند دوم، دوره‌های یک تا r از والد دوم و دوره‌های $r+1$ تا دوره آخر از والد اول کپی می‌شود. شکل ۷ نشان دهنده تقاطع دو کروموزوم در نقطه شکست $r=2$ است

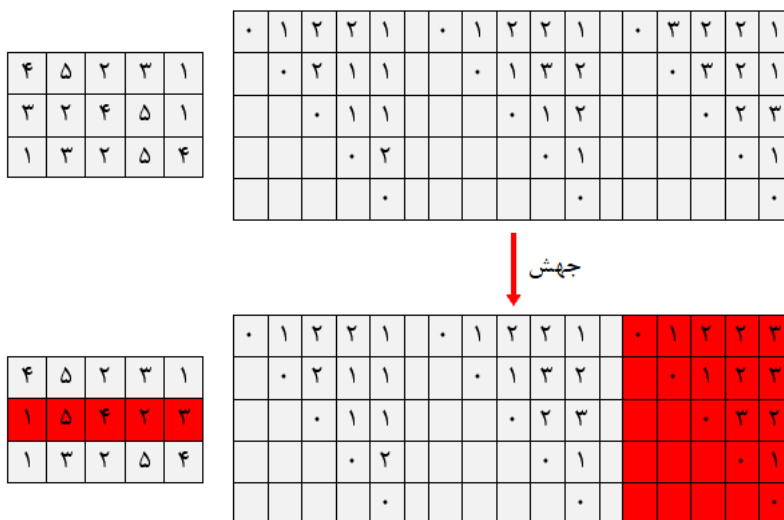


شکل (۷): چگونگی عملکرد تقاطع در NSGA-II و NPGA (تخصیص حمل کننده‌ها)

عملگر جهش

در الگوریتم ژنتیک، جهش به طور تصادفی با احتمال کم انجام شده و عناصر را در کروموزوم تغییر می‌دهد. عملگر جهش کروموزوم را تغییر داده و از همگرایی زودرس الگوریتم جلوگیری می‌کند. برای اعمال جهش بر روی الگوی چیدمان، ابتدا یک دوره زمانی انتخاب شده و سپس موقعیت تسهیلات در دوره‌ی زمانی مورد نظر به شکل کاملاً تصادفی تعیین می‌شود. در شکل ۸، دوره‌ی زمانی دوم به تصادف انتخاب شده و موقعیت تسهیلات در دوره دوم به طور تصادفی با هم جابجا شده است؛ که در نتیجه آن طرح چیدمان مربوط به دوره دوم کاملاً متحول خواهد شد. برای اعمال جهش بر روی الگوی تخصیص

حمل کننده‌ها، ابتدا یک دوره به تصادف انتخاب شده و سپس تمامی اعداد هر سطر به طور معکوس چیده می‌شوند.



شکل (۸): چگونگی عملکرد جیش

شرط توقف

الگوریتم ژنتیک بدون هیچ محدودیتی به تکامل خود ادامه می‌دهد، تا هنگامی که به تعداد تکرار خاصی برسد. مقدار بهینه تعداد تکرار از طریق تکنیک‌های طراحی و تحلیل آزمایش‌ها به دست خواهد آمد.

نتایج محاسباتی

هدف از انجام آزمایشات محاسباتی، ارزیابی کارایی روش حل پیشنهادی است. بدین منظور ابتدا یک مثال عددی مطرح و چگونگی محاسبه زمان تکمیل عملیات‌های حمل از طریق شبکه‌های عصبی مصنوعی تشریح می‌گردد. سپس تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی توضیح داده می‌شود. در نهایت معیارهای مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌ها ارائه شده و نتایج

بدست آمده از اجرای الگوریتم‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. کلیه الگوریتم‌های مطرح در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Matlab R2010a برنامه نویسی شده و بر روی یک رایانه شخصی با چهار گیگابایت رم و پردازش گر Core i5 (2.2 GHz) اجرا شده است.

مثال عددی

به منظور تشریح روش پیشنهادی از یک مثال عددی استفاده می‌شود و نتایج حاصل از آن ارائه شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مثال عددی مربوط به یک سیستم تولیدی است که دارای پنج ماشین (تسهیل) بوده و می‌بایست چیدمان بهینه این ۵ ماشین در ۲ دوره تعیین شود. تعداد سه حمل کننده در این سیستم تولیدی وجود دارد. جریان مواد بین تسهیلات در جدول ۲ مشخص است که بر اساس آن می‌توان جریان مواد بین ماشین‌ها را محاسبه کرد. مشخصات کارکردی حمل کننده‌ها و فاصله بین موقعیت‌ها در جداول ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۲: جریان مواد بین تسهیلات

دوره اول					دوره دوم				
۰	۲۳	۱۳	۲۲	۱۸	۰	۱۴	۲۴	۲	۱۸
	۰	۲۵	۳۱	۱۴		۰	۱	۳۴	۲۳
		۰	۱۲	۱۳			۰	۲۹	۳۸
			۰	۲۴				۰	۴۲
				۰					۰

جدول ۳: مشخصات کارکردی حمل‌کننده‌ها

سرعت مسیر	تغییر مدت زمان	مدت تخلیه زمان	برداشت محصول	سرعت (m/s)	ظرفیت
۴۰ deg/s	Normal (38,5(	Normal (33,3(	Normal (3,0.5(	Normal	۵ حمل‌کننده ۱
۴۰ deg/s	Normal (24,4(	Normal (28,3(	Normal (8,2(	Normal	۸ حمل‌کننده ۲
۴۰ deg/s	Normal (22,3(	Normal (20,1(	Normal (4,1(	Normal	۷ حمل‌کننده ۳

جدول ۴: فاصله بین موقعیت‌ها (متر)

تسهیل	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰	۲۱	۳۲	۴۸	۶۳
۲		۰	۱۵	۳۰	۳۵
۳			۰	۲۴	۲۷
۴				۰	۹
۵					۰

متغیرهای تصمیم، مکان ماشین‌ها در هر دوره است که با توجه به وجود ۵ ماشین و ۲ دوره، متغیر تصمیم X_1 تا X_{10} وجود دارد که X_1 نشان دهنده مکان ماشین ۱ در دوره ۱، X_p نشان دهنده مکان ماشین ۲ در دوره ۱ و به همین ترتیب است. با در نظر گرفتن متغیرهای تصمیم آزمایشات لازم طراحی می‌شوند (جدول ۵). هر یک از این آزمایشات در محیط نرم افزار شبیه سازی اجرا شده و مدت زمان حمل به عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته خواهد شد. به عنوان مثال در آزمایش اول و در دوره اول، ماشین ۱ در مکان ۳، ماشین ۲ در مکان ۵ و به همین ترتیب قرار گرفته اند.

جدول ۵: سناریوها و نتایج آنها برای تربیت شبکه عصبی مصنوعی											
شماره آزمایش	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X1 0	زمان اتمام عملیات حمل
۱	۳	۵	۱	۲	۴	۱	۲	۳	۴	۵	۲۱۶۳
۲	۱	۴	۵	۳	۲	۱	۲	۴	۳	۵	۱۸۵۸
۳	۲	۱	۵	۳	۴	۵	۳	۴	۲	۱	۲۰۹۸
۴	۲	۴	۵	۳	۱	۵	۳	۲	۱	۴	۱۸۲۲
۵	۵	۲	۱	۳	۴	۲	۱	۳	۴	۵	۲۳۶۰
۶	۵	۴	۱	۳	۲	۵	۳	۱	۴	۲	۲۰۹۹
۷	۲	۳	۴	۱	۵	۳	۴	۵	۲	۱	۲۱۴۸
۸	۴	۲	۳	۱	۵	۲	۳	۱	۵	۴	۲۱۶۷
۹	۱	۴	۳	۲	۵	۱	۴	۵	۳	۲	۲۰۰۷
۱۰	۲	۱	۳	۴	۵	۴	۱	۵	۳	۲	۲۱۴۶
۱۱	۱	۵	۳	۴	۲	۲	۱	۳	۴	۵	۱۹۲۹
۱۲	۲	۵	۳	۱	۴	۴	۵	۲	۱	۳	۲۰۲۶
۱۳	۳	۱	۴	۵	۲	۲	۴	۳	۵	۱	۲۰۱۷
۱۴	۵	۳	۴	۱	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۲۰۰۰
۱۵	۳	۵	۴	۲	۱	۱	۳	۴	۲	۵	۱۹۱۱
۱۶	۲	۱	۵	۳	۴	۵	۲	۴	۱	۳	۲۰۹۶
۱۷	۵	۳	۲	۴	۱	۵	۱	۴	۲	۳	۲۱۰۵
۱۸	۴	۵	۱	۲	۳	۱	۵	۴	۲	۳	۲۱۳۶
۱۹	۴	۲	۱	۵	۳	۵	۱	۲	۳	۴	۲۲۷۸
۲۰	۴	۵	۳	۲	۱	۱	۲	۳	۵	۴	۱۹۵۹
۲۱	۵	۲	۴	۱	۳	۳	۵	۴	۲	۱	۲۱۳۶
۲۲	۱	۴	۲	۳	۵	۳	۱	۲	۴	۵	۲۰۹۶
۲۳	۴	۱	۳	۵	۲	۳	۴	۵	۲	۱	۲۱۶۴

۲۴	۵	۲	۱	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۵	۲۳۷۲
۲۵	۴	۱	۲	۳	۵	۴	۵	۲	۳	۱	۲۳۳۴
۲۶	۴	۵	۳	۲	۱	۴	۳	۱	۲	۵	۱۹۸۸
۲۷	۱	۵	۴	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۵	۱۸۷۵
۲۸	۱	۳	۲	۵	۴	۵	۳	۴	۲	۱	۲۱۷۷
۲۹	۱	۴	۳	۲	۵	۵	۱	۲	۴	۳	۱۹۵۲
۳۰	۴	۱	۲	۵	۳	۱	۵	۴	۳	۲	۲۲۵۱
۳۱	۳	۱	۴	۵	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۲۰۵۶
۳۲	۲	۴	۱	۵	۳	۴	۵	۲	۱	۳	۲۱۶۹
۳۳	۵	۱	۲	۴	۳	۱	۳	۲	۵	۴	۲۲۹۸
۳۴	۳	۵	۱	۲	۴	۱	۳	۵	۲	۴	۲۱۵۸
۳۵	۳	۵	۴	۲	۱	۴	۱	۲	۳	۵	۱۸۸۹
۳۶	۱	۴	۳	۵	۲	۳	۵	۲	۱	۴	۱۹۸۱
۳۷	۱	۵	۲	۴	۳	۴	۱	۲	۵	۳	۱۹۲۵
۳۸	۳	۲	۴	۵	۱	۱	۳	۴	۵	۲	۱۹۶۵
۳۹	۱	۴	۲	۳	۵	۵	۳	۴	۲	۱	۲۱۹۴
۴۰	۴	۵	۳	۲	۱	۱	۴	۵	۳	۲	۱۹۰۹

پس از اجرای تمامی آزمایشات در محیط شبیه سازی تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی به کار گرفته می‌شود تا یک رابطه بین متغیرهای تصمیم و متغیر پاسخ تعیین شود. این رابطه بیان کننده چگونگی تاثیر متغیرهای تصمیم بر زمان تولید می‌باشد. هر یک از آزمایشات در محیط شبیه سازی شده سیستم تولیدی به اندازه ۳۰ تکرار اجرا و میانگین زمان تولید محصولات به عنوان نتیجه آزمایش استخراج می‌شود. یکی از بهترین پیش بینی‌ها را برای تعداد نرونهای لایه پنهان بصورت زیر ارائه شده است (لورنس و پترسن^۱ ۱۹۹۸):

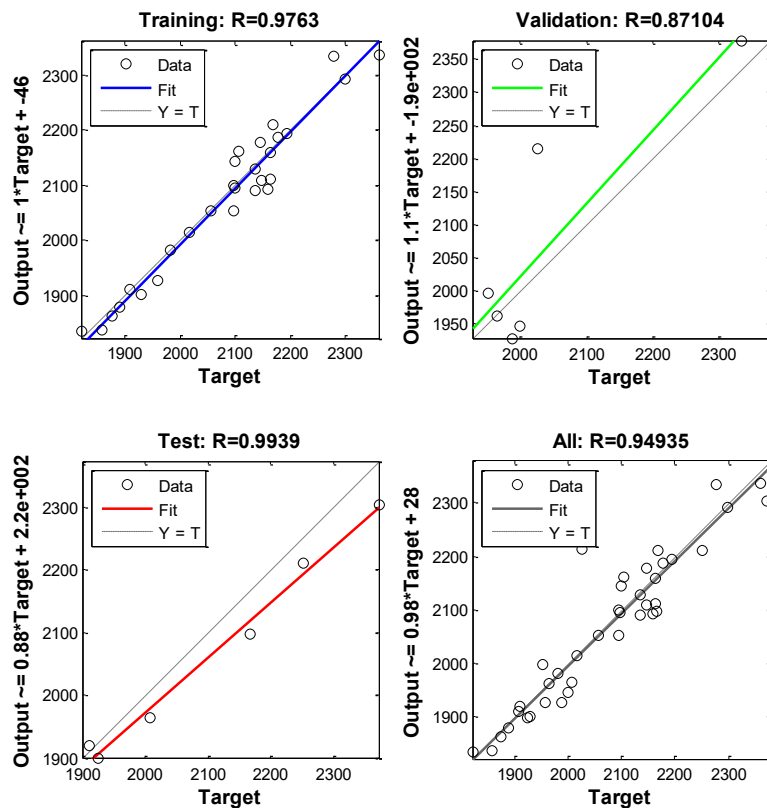
$$h = (i + o) / 2 \quad (14)$$

1. Lawrence and Petterson

که h تعداد نرونهای لایه پنهان، o تعداد نرونهای خروجی و i تعداد نرونهای ورودی (در اینجا تعداد متغیرها) می باشد. بنابراین تعداد نرونهای لایه میانی را برابر ۶ قرار می دهیم. نرونهای لایه میانی از توابع تبدیل تانژانت سیگموئید و نرونهای لایه خروجی از توابع تبدیل خطی به منظور تابع فعالیت استفاده می کنند و متد آموزش شبکه پس انتشار خطا می باشد. همینطور در یک شبکه عصبی بر اساس قانون thumb در مورد تعداد اطلاعات آموزشی مورد نیاز، تعداد اطلاعات آموزشی (N) یا همان تعداد نمونه های آزمایش باید در رابطه زیر صدق نماید (لورنس و پترسن، ۱۹۹۸).

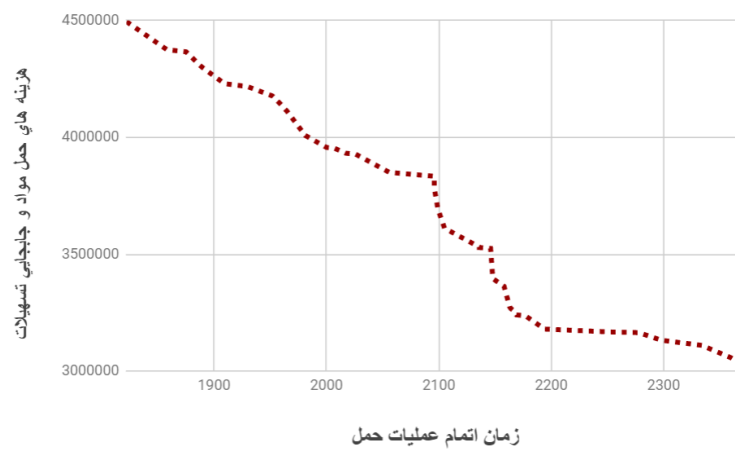
$$(i+h+o) \leq N \leq 10(i+h+o) \quad (15)$$

بر اساس رابطه (۱۵) تعداد آزمایشات باید برابر $17 \leq N \leq 170$ باشد. لازم بذکر است که ما از شاخص R^2 و معیار خطای مربعات میانگین بعنوان معیار انتخاب کارایی شبکه عصبی استفاده نموده ایم و دلیل این موضوع این است که هدف یافتن مدل رگرسیونی است که بتواند توسط فاکتورهایش اطلاعات را بخوبی توضیح دهد. مقادیر R^2 در شکل ۹ نشان داده شده است. هدف آن است که میزان این خطا به کمترین مقدار ممکن برسد با توجه به میزان R^2 می توان نتایج را رضایت بخش دانست. حال ما یک شبکه عصبی مصنوعی تربیت شده در اختیار داریم که می تواند مقادیر تابع هدف را به خوبی تخمین بزند. الگوریتم های فراابتکاری به هنگام محاسبه تابع هدف دوم از این شبکه استفاده خواهند کرد.



شکل (۹): کارایی شبکه عصبی در برازش داده‌ها

همچنین مقادیر تابع هدف اول برای تمامی ۴۰ سناریو محاسبه می‌شود. شکل ۱۰ مقادیر هر دو تابع هدف را برای این ۴۰ سناریو نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل برمی‌آید با افزایش زمان‌های حمل هزینه‌ها کاهش می‌یابد که دلیل آن را می‌توان این دانست که بیشتر حمل‌کننده‌ها مسیرهای نزدیکتر را انتخاب کرده و بنابراین ترافیک در این مسیرها افزایش یافته و منجر به افزایش زمان‌های حمل می‌شود.



شکل (۱۰): مقادیر توابع هدف برای ۴۰ آزمایش

تنظیم پارامتر به روش تاگوچی

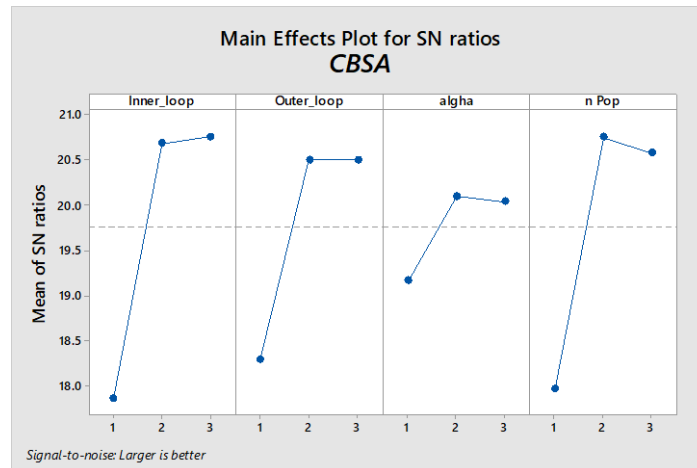
روش طراحی آزمایش‌ها تاگوچی کاربردهای گسترده‌ای در صنایع گوناگون دارد. موضوع اصلی این بررسی تنظیم پارامتر می‌باشد. بدین منظور ابتدا کلیه عواملی که ممکن است بر روی متغیر پاسخ تاثیر گذار باشند شناسایی و سطوح مورد بررسی مشخص می‌شود. جدول ۶ بیانگر دامنه جستجوی سطوح پارامترهای ورودی سه الگوریتم می‌باشد.

جدول ۶: عوامل قابل کنترل و سطوح آنها

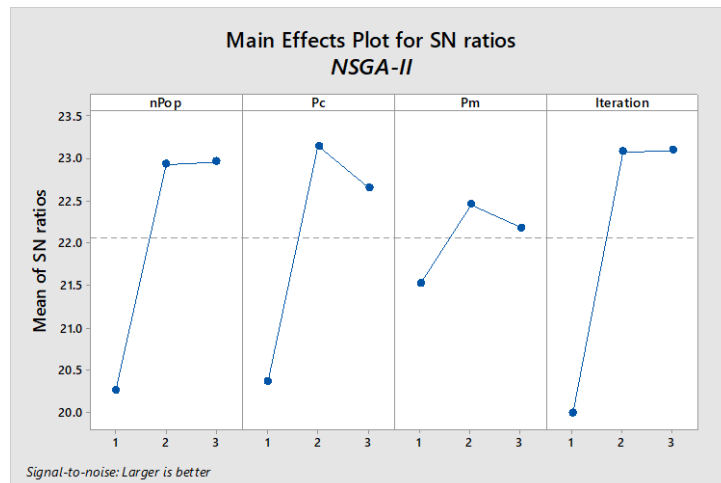
الگوریتم	پارامترها	پارامترها	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
CBSA	Inner_loop	تعداد تکرار در حلقه داخلی	۲۰	۳۰	۴۰
	Outer_loop	تعداد تکرار در حلقه خارجی	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰
	alpha	نرخ کاهش دما	۰,۹۶	۰,۹۷۵	۰,۹۹
	n Pop	اندازه جمعیت	۱۵۰	۲۵۰	۳۵۰
NSGA-II	n Pop	اندازه جمعیت	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
	P _c	نرخ تقاطع	۰,۷۵	۰,۸	۰,۸۵
	P _m	نرخ جهش	۰,۰۵	۰,۱	۰,۱۵
	Iteration	تعداد تکرار	۲۵۰	۴۰۰	۵۵۰
NRGA	n Pop	اندازه جمعیت	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
	P _c	نرخ تقاطع	۰,۷	۰,۸	۰,۹
	P _m	نرخ جهش	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۹
	Iteration	تعداد تکرار	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰

سپس آزمایش‌های تاگوچی طراحی می‌شود. تعداد آزمایش‌های لازم برای طرح آزمایش کامل برای ۴ عامل فوق برابر $۳^۴ = ۸۱$ آزمایش است. اما با توجه به هزینه و وقت این نوع طرح آزمایشی مقرون به صرفه نیست. به همین جهت از طرح‌های تکرار کسری کمک می‌گیریم. در این مسئله یک درجه آزادی برای میانگین کل و دو درجه آزادی برای هر عامل سه سطحی مورد نیاز است. بنابراین مجموع درجات آزادی مورد نیاز برابر است با $۹ = (۲ \times ۴) + ۱$. لذا باید آرایه‌ای انتخاب شود که حداقل ۹ سطر داشته باشد. با مراجعه به آرایه‌های متعامد استاندارد مشخص می‌شود که در آرایه‌های متعامد L27 این شرایط برقرار است. یادآور می‌شود که متغیر پاسخ در نظر گرفته شده به منظور حل مدل پیشنهادی، تعداد جواب‌های موجود در صف اول الگوریتم‌ها (NOS) می‌باشد. شکل ۱۱ الی ۱۳

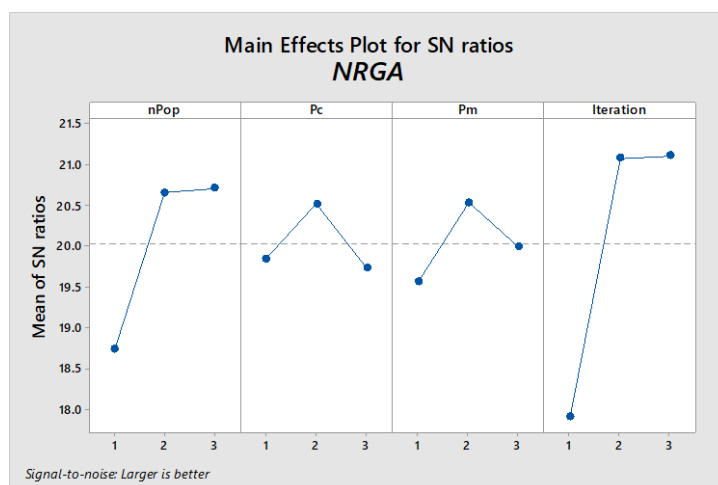
چگونگی تغییر مفادیر شاخص S/N را در سطوح مختلف الگوریتم‌ها نشان می‌دهد. سطوحی که در آن شاخص S/N به بیشینه خود رسیده است می‌توانند به عنوان سطوح بهینه انتخاب شوند.



شکل (۱۱): نمودار تغییرات شاخص SN برای فاکتورهای الگوریتم CBSA



شکل (۱۲): نمودار تغییرات شاخص SN برای فاکتورهای الگوریتم NSGA-II



شکل (۱۳): نمودار تغییرات شاخص SN برای فاکتورهای الگوریتم NPGA

شاخص‌های مقایسه

جهت انجام تجزیه، تحلیل و همچنین مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های پیشنهادی از معیارهای فاصله گذاری، زمان اجرای الگوریتم، تنوع و تعداد جواب‌های پارتو استفاده شده است.

فاصله از جواب ایدئال^۱: این معیار میزان فاصله نسبی جواب‌های متوالی را محاسبه می‌کند. زمانی که جواب‌ها به طور یکنواخت در کنار هم باشند آنگاه مقدار S کوچک خواهد بود. بنابراین الگوریتمی که جواب‌های نامغلوب نهایی آن دارای مقدار S کمتری است، بهتر خواهد بود.

بیشترین گسترش^۲: این معیار طول قطر مکعب فضایی که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جواب‌های نامغلوب به کار می‌رود را اندازه گیری می‌کند. در حالت دو هدفه، این معیار برابر فاصله اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف می‌باشد. هر چه این معیار بزرگتر باشد، بهتر است.

-
1. Mean ideal distance (MID)
 2. Diversity

تعداد جواب‌های پارتو^۱: مقدار معیار NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت.

زمان محاسباتی: زمان اجرای الگوریتم را نیز به عنوان معیار ارزیابی کیفیت در نظر می‌گیریم.

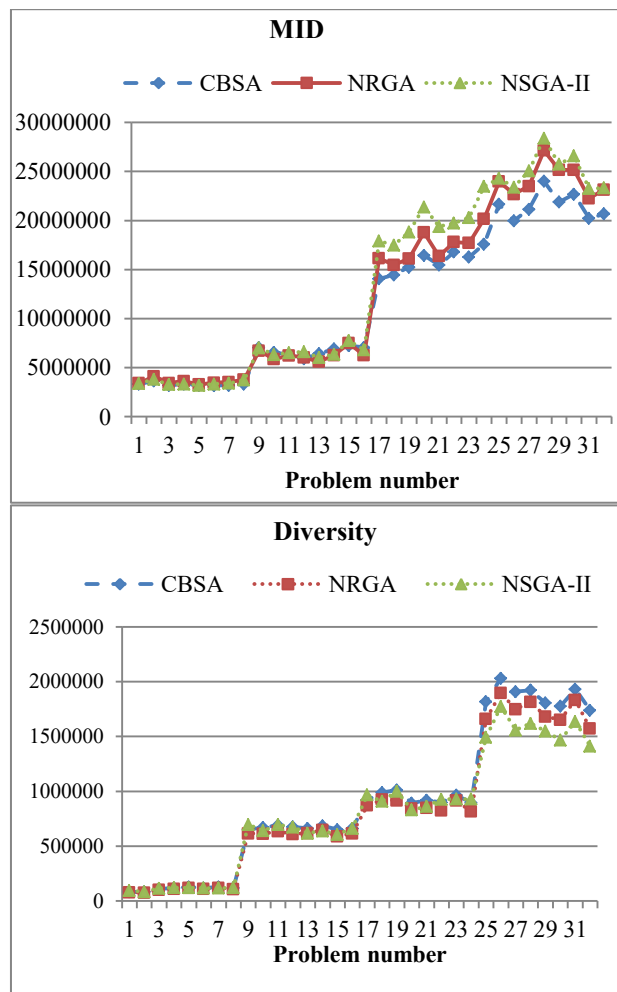
ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها در حل مسائل نمونه تصادفی

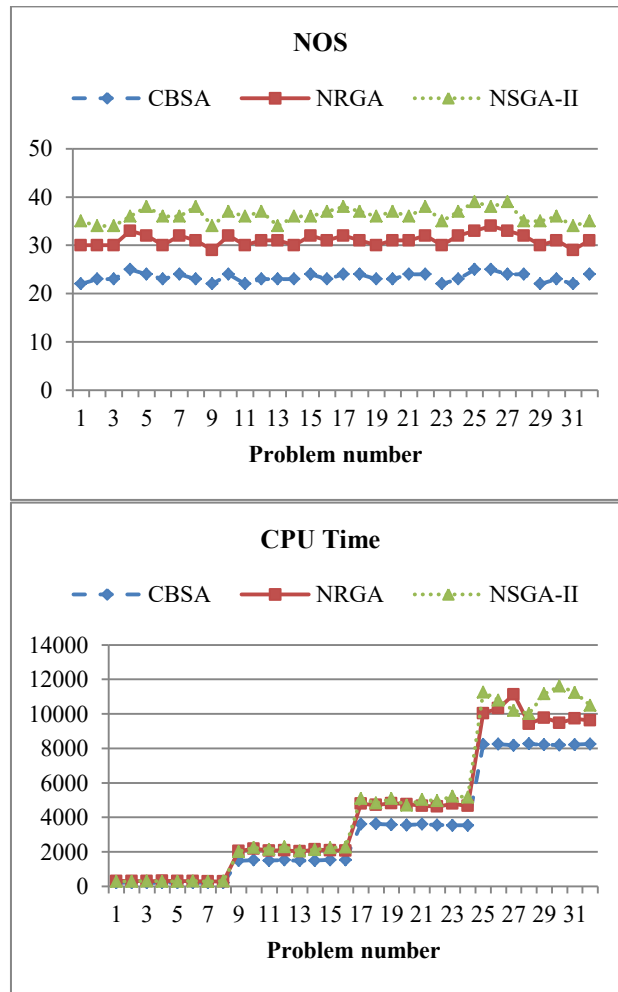
پس از تعریف معیارهای استاندارد مقایسه‌ی الگوریتم‌های چندهدفه مبتنی بر پارتو، معیارها برای مسئله آزمایشی تولید شده محاسبه شده است. مسائل تولید شده با توجه به تعداد مشتریان، تعداد مراکز توزیع، تعداد مسیرهای موجود بین گره‌ها و تعداد سطوح ظرفیتی مراکز توزیع در ۴ کلاس متفاوت قرار دارند. دسته اول شامل مسائلی با ۵ تسهیل و ۳ دوره، دسته دوم شامل مسائلی با ۵ تسهیل و ۵ دوره، دسته سوم شامل مسائلی با ۱۰ تسهیل و ۳ دوره و دسته چهارم شامل مسائلی با ۱۰ تسهیل و ۵ دوره می‌باشند. در هر گروه، ۸ مسئله تصادفی تولید شده و برای بررسی عملکرد الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نتایج بدست آمده از الگوریتم‌ها در ضمیمه الف گزارش شده است. شکل ۱۴ نمایش گرافیکی عملکرد الگوریتم‌ها می‌باشند. همان‌طور که از شکل ۱۴ مشخص است در مسائل اندازه کوچک، عملکرد الگوریتم‌ها در معیار MID مشابه است. با این وجود با افزایش اندازه مسئله کارایی CBSA آشکارتر می‌شود و این الگوریتم برتری خود را نسبت به دو الگوریتم دیگر نشان می‌دهد. در شاخص بیشترین گسترش نیز می‌توان گفت که CBSA به ویژه در مسائل اندازه بزرگ کارآمدتر از دو الگوریتم دیگر عمل می‌کند و می‌تواند به جواب‌هایی با پراکندگی بیشتر دست یابد. بر اساس شکل ۱۴ الگوریتم NSGA-II در شاخص NOS کارآمدتر از دو الگوریتم دیگر است به طوری که تقریباً در تمامی مسائل نمونه مقادیر NOS بدست آمده توسط NSGA-II از دو الگوریتم دیگر بالاتر است.

1. Number of solution in Pareto front (NOS)

همچنین می‌توان ادعا کرد که در معیار زمان محاسباتی در مسائل اندازه کوچک هیچ یک از الگوریتم‌ها نسبت به هم برتری محسوسی ندارند. با این وجود با افزایش اندازه مسئله الگوریتم CBSA ضعیف عمل کرده و زمان محاسباتی آن به شدت افزایش می‌یابد.





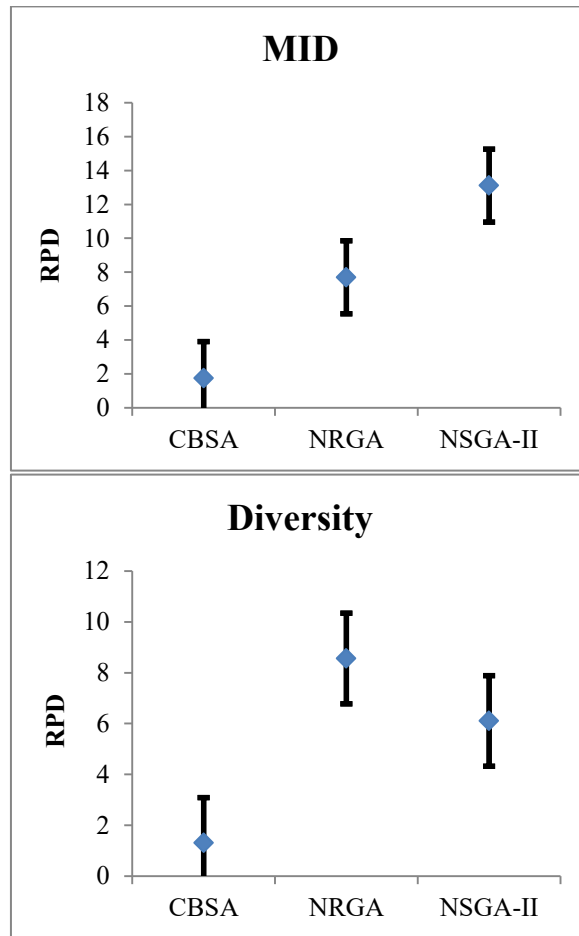
شکل (۱۴): نتایج محاسباتی الگوریتم‌ها بر اساس معیارهای تعریف شده

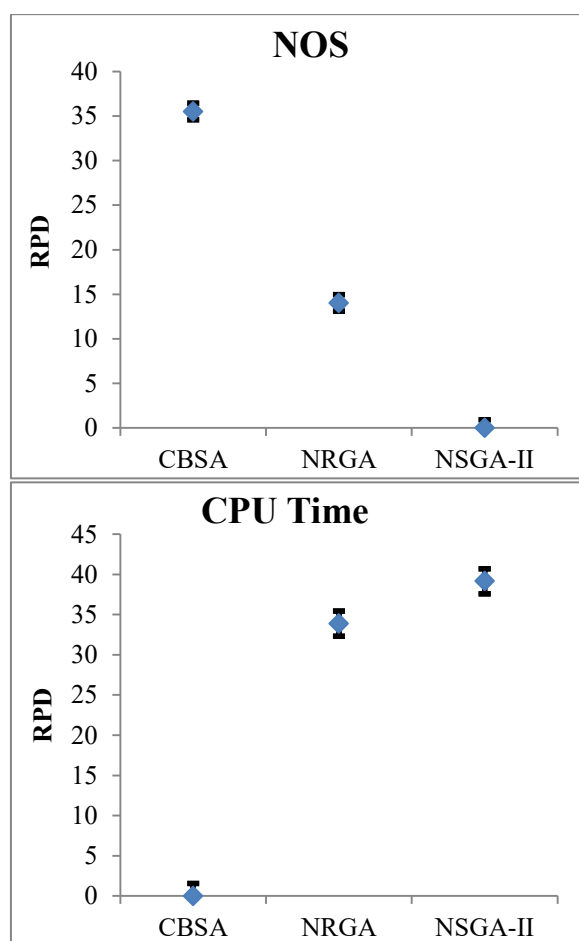
باید در نظر داشت که بررسی و مقایسه‌ی الگوریتم‌ها به کمک تحلیل آماری مطلوب‌تر می‌باشد. در نتیجه به منظور بررسی و مقایسه آماری الگوریتم‌ها از تکنیک آنالیز واریانس استفاده می‌کنیم و الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی برای حل مدل به ازای هر یک از متغیرهای پاسخ مقایسه شده‌اند.

در این تحقیق فواصل اطمینان همزمان ۹۵٪ توکی رسم می‌شوند. اگر یک خط افقی فواصل اطمینان مربوط به دو الگوریتم را قطع کند بدین مفهوم است که تفاوت معنی دار بین الگوریتم‌ها به ازای متغیر پاسخ مربوطه وجود ندارد و در غیر اینصورت تفاوت معنی داری بین الگوریتم‌ها وجود دارد. ابتدا با استفاده از معیار درصد انحراف نسبی (RDP) تمامی نتایج نرمالیزه می‌شود. مقدار RDP نشان می‌دهد که جواب‌ها در هر الگوریتم تا چه اندازه از بهترین جواب به دست آمده فاصله دارند. بر طبق رابطه (۱۶) محاسبه می‌شوند.

$$sol_{j,min} / (sol_{j,min} - sol_{ij}) = RPD_{ij} \quad (16)$$

که در آن i شماره الگوریتم و j شماره مثال می‌باشد. میانگین مقادیر معیار درصد انحراف نسبی تمامی الگوریتم‌ها در ضمیمه ب آورده شده است. شکل ۱۵ فواصل اطمینان همزمان توکی برای مقادیر نرمالایز شده (RPD) الگوریتم‌ها نشان می‌دهد. بر اساس این شکل می‌توان قویا ادعا نمود که در معیار MID الگوریتم CBSA بهتر از دو الگوریتم دیگر عمل می‌کند. در این معیار دو الگوریتم NSGA-II و NRGا از نظر آماری مشابه اند. با این وجود الگوریتم NRGا کمی بهتر از NSGA-II عمل می‌کند. در معیار بیشترین گسترش الگوریتم CBSA بهتر از دو الگوریتم دیگر عمل می‌کند. در این معیار دو الگوریتم NSGA-II و NRGا از نظر آماری کاملا مشابه اند. در معیار NOS الگوریتم NSGA-II کاملا بهتر از دو الگوریتم دیگر عمل می‌کند. در این معیار الگوریتم CBSA عملکرد ضعیف تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد. در معیار زمان محاسباتی الگوریتم NRGا عملکرد بهتری نسبت به دو الگوریتم دیگر دارد.





شکل (۱۵): فواصل اطمینان همزمان توکی برای الگوریتم‌ها در معیارهای مطرح شده

نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

در این تحقیق سعی شد برای اولین بار یک مدل ریاضی که قادر است به طور همزمان هزینه‌های چیدمان و زمان حمل و نقل مواد را حداقل کند توسعه داده شود. مدل توسعه داده شده به جزئیات حمل و نقل مواد پرداخته و بهترین وسایل حمل را انتخاب می‌کند. به منظور محاسبه زمان عملیات حمل از یک شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج مثال عددی نشان داد که شبکه عصبی با دقت بالایی می‌تواند زمان عملیات حمل را برآورد کند. همچنین یک الگوریتم فراابتکاری چندهدفه جدید به نام الگوریتم شبیه ساز تبرید بر پایه نظریه ابر نیز طراحی و عملکرد این الگوریتم با الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم شبیه ساز تبرید مقایسه شد. بر اساس نتایج محاسباتی می‌توانیم ادعا کنیم که الگوریتم پیشنهادی کارآمدتر از دو الگوریتم دیگر می‌باشد. در نهایت مقادیری داریم که استفاده از آنها در مدل، موجب بهینه شدن آن شده و دستیابی به اهداف را میسر می‌نماید. با انجام مقایسه بین معیارها و همچنین اجرای آزمون آنالیز واریانس مشخص شد که NSGA-II نسبت به الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب‌ها (NRGA) از عملکرد بهتری برخوردار است و در واقع الگوریتمی است که با اجرای مسئله به کمک آن مدل مسئله مان حتماً بهینه خواهد شد.

همانطور که اخیراً توسط بن جعفر^۱ و همکاران (۲۰۰۲) اشاره شده، تحقیقات بسیاری هنوز باید انجام شود و روشها را برای طراحی ۱- چیدمان قوی و تطبیقی ۲- اندازه گیری حساسیت و تجزیه و تحلیل چیدمان و ۳- مدل‌های تصادفی مورد استفاده برای ارزیابی راه حل، توسعه داد. با توجه روش‌های مورد استفاده برای حل مسئله چیدمان، بدیهی است که استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری بیشتر و بیشتر در مقالات، به منظور مقابله با مسئله‌هایی با اندازه بزرگتر و برای در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی تر، گزارش شده است و به نظر می‌رسد الگوریتم‌های تکاملی محبوب تر هستند. بنابراین پیشنهاد می‌شود روشهای حل برای مسائل پیچیده توسعه داده شود. اکثر تحقیقات منتشر شده بر تعیین موقعیت تسهیلات تمرکز کرده اند. با این حال، در عمل این مسئله اغلب همراه با دیگر مسئله چیدمان، از جمله انتخاب نوع

1. Benjaafar

تولید و یا حمل و نقل مواد، طراحی سلول، تعیین ظرفیت منابع و غیره در نظر گرفته می‌شود.. بنابراین، هنوز هم تحقیقات و مطالعاتی برای حل یکپارچه مسائل مرتبط با چیدمان تسهیلات مورد نیاز است. همچنین می‌توان مسائل طراحی چیدمان در انواع دیگر سیستم‌ها مانند بنادر، سوپر مارکت‌ها، فرودگاه‌ها و غیره مورد بررسی قرار بگیرد. در حال حاضر ابزارها و نرم افزارهای تجاری موجود در بازار برای کمک گسترده به طراحی تولید محدود هستند. بنابراین توصیه می‌شود روش چیدمان در ابزارها و نرم افزارهای پشتیبانی طراحی سیستم‌های تولید تعبیه شوند. همچنین ترکیب آنها با ابزارهای گرافیکی نیز این ابزارها را کارآمدتر و جذاب تر می‌کند. همچنین مقایسه سایر الگوریتم‌های فراابتکاری با الگوریتم‌های ارائه شده در این تحقیق می‌تواند به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی باشد.

ضمیمه الف: نتایج محاسباتی الگوریتم‌ها در ۳۲ مسئله مورد بررسی

	MID			Diversity			NOS			CPU Time		
	CBSA	NRGA	NSGA-II	CBSA	NRGA	NSGA-II	CBSA	NRGA	NSGA-II	CBSA	NRGA	NSGA-II
۱	۳۳۲۴۵۰۰	۳۴۰۷۹۸۰	۳۳۹۷۲۷۳	۸۳۸۲۱	۷۸۳۱۸	۹۵۲۲۰	۲۲	۳۰	۳۵	۲۰۴	۳۰۱	۲۸۲
۲	۳۶۵۳۲۳۷	۴۱۱۰۵۵۰	۳۷۹۹۴۲۷	۸۳۸۲۱	۷۶۵۲۱	۸۳۹۶۶	۲۳	۳۰	۳۴	۲۱۰	۳۰۳	۲۸۸
۳	۳۱۸۳۷۵۱	۳۴۳۵۱۸۲	۳۲۸۷۳۸۰	۱۱۱۱۷۴	۱۰۲۵۱۱	۱۱۶۲۹۰	۲۳	۳۰	۳۴	۲۰۴	۲۹۷	۳۰۱
۴	۳۳۲۹۲۷۷	۳۶۲۷۸۹۰	۳۳۳۸۴۴۹	۱۱۸۱۶۹	۱۱۰۹۴۳	۱۲۱۷۴۴	۲۵	۳۳	۳۶	۲۰۸	۳۱۱	۲۸۴
۵	۳۲۱۰۰۹۶	۳۲۸۴۸۸۶	۳۱۹۵۵۹۷	۱۲۸۷۱۴	۱۱۸۹۲۱	۱۲۱۰۷۹	۲۴	۳۲	۳۸	۲۰۹	۳۰۶	۲۸۵
۶	۳۱۶۴۳۸۱	۳۴۵۶۹۷۵	۳۳۲۷۷۷۳	۱۱۷۶۲۱	۱۱۰۰۸۱	۱۱۷۷۴۳	۲۳	۳۰	۳۶	۲۱۴	۲۹۵	۳۰۳
۷	۳۲۰۴۵۱۵	۳۵۲۴۰۴۹	۳۴۰۹۳۴۵	۱۲۸۱۲۳	۱۱۸۹۳۲	۱۱۷۹۹۲	۲۴	۳۲	۳۶	۲۰۴	۲۸۴	۲۷۹
۸	۳۳۱۶۶۷۸	۳۷۷۲۷۱۶	۳۷۴۷۵۴۰	۱۱۸۴۲۹	۱۰۷۷۶۹	۱۲۱۷۵۵	۲۳	۳۱	۳۸	۲۰۲	۲۸۰	۳۰۳
۹	۷۰۴۲۶۰۰	۶۷۳۱۲۱۴	۷۰۰۲۷۰۰	۶۵۲۴۰۵	۶۱۵۶۷۵	۶۹۷۴۶۴	۲۲	۲۹	۳۴	۱۴۸۱	۲۰۳۸	۲۰۱۴
۱۰	۶۵۳۹۸۹۴	۵۸۶۰۶۷۰	۶۳۲۸۱۶۲	۶۷۰۹۰۳	۶۱۳۴۶۹	۶۳۹۹۶۸	۲۴	۳۲	۳۷	۱۵۲۰	۲۱۷۸	۲۲۴۹
۱۱	۶۳۵۲۳۳۱	۶۲۳۲۲۳۳	۶۵۱۶۶۵۶	۶۸۹۸۱۹	۶۳۳۷۴۰	۶۹۵۳۱۷	۲۲	۳۰	۳۶	۱۴۹۲	۲۰۷۲	۲۱۳۶
۱۲	۵۹۰۵۸۱۲	۶۰۴۰۱۰۲	۶۶۲۱۲۳۶	۶۷۵۳۱۶	۶۱۰۱۶۷	۶۷۴۰۲۶	۲۳	۳۱	۳۷	۱۵۲۱	۲۰۸۵	۲۲۸۱
۱۳	۶۴۲۷۸۸۷	۵۵۹۹۵۰۶	۶۰۲۹۴۸۴	۶۶۳۰۹۲	۶۱۹۲۶۲	۶۱۹۳۴۴	۲۳	۳۱	۳۴	۱۴۸۱	۲۰۲۴	۲۰۳۸
۱۴	۶۹۱۱۹۷۶	۶۷۷۲۱۳۵	۶۳۵۱۱۱۴	۶۸۶۲۰۰	۶۶۳۵۲۵	۶۳۹۶۷۱	۲۳	۳۰	۳۶	۱۴۹۱	۲۱۳۵	۲۱۲۱
۱۵	۷۲۵۰۰۵۵	۷۴۹۲۴۶۰	۷۷۵۱۴۶۸	۶۵۱۴۹۲	۵۸۷۴۲۹	۶۰۶۴۴۸	۲۴	۳۲	۳۶	۱۵۳۴	۲۰۹۰	۲۲۳۹
۱۶	۷۰۵۱۴۰۵	۶۲۵۵۰۹۹	۶۸۱۶۶۴۳	۶۶۰۵۸۸	۶۱۵۶۶۴	۶۶۲۹۲۵	۲۳	۳۱	۳۷	۱۵۳۰	۲۰۶۹	۲۲۶۲
۱۷	۱۴۰۴۷۰۰۰	۱۶۱۳۶۳۲۹	۱۷۹۱۰۱۴۸	۹۲۰۶۹۰	۸۷۰۵۸۲	۹۶۷۴۶۹	۲۴	۳۲	۳۸	۳۵۹۹	۴۷۸۸	۵۰۹۲
۱۸	۱۴۴۶۶۱۴۵	۱۵۴۷۸۵۵۲	۱۷۴۹۱۶۴۵	۹۸۹۸۴۰	۹۲۳۷۲۶	۹۰۸۸۸۳	۲۴	۳۱	۳۷	۳۶۱۷	۴۷۱۶	۴۸۲۴
۱۹	۱۵۲۳۹۲۹۴	۱۶۱۰۸۴۶۱	۱۸۸۲۶۶۹۳	۱۰۱۰۵۵۵	۹۱۶۳۵۲	۱۰۰۰۳۷۴	۲۳	۳۰	۳۶	۳۵۶۹	۴۸۱۹	۵۰۸۷
۲۰	۱۶۴۵۳۱۴۸	۱۸۷۸۱۲۴۹	۲۱۳۸۰۲۰۲	۸۹۳۷۰۷	۸۴۳۵۰۰	۸۲۹۹۳۳	۲۳	۳۱	۳۷	۳۵۵۵	۴۷۶۴	۴۶۹۵
۲۱	۱۵۴۶۲۱۹۶	۱۶۳۷۱۰۱۵	۱۹۳۸۹۲۳۱	۹۱۸۰۸۲	۸۴۷۳۶۳	۸۶۱۷۹۰	۲۴	۳۱	۳۶	۳۶۰۱	۴۶۷۲	۵۰۳۳
۲۲	۱۶۷۹۹۵۴۹	۱۷۸۱۲۶۸۲	۱۹۷۳۳۹۴۱	۸۹۸۸۸۱	۸۲۶۴۳۵	۹۲۸۴۲۲	۲۴	۳۲	۳۸	۳۵۵۲	۴۶۲۶	۴۹۵۳
۲۳	۱۶۲۷۶۱۵۵	۱۷۷۰۴۸۴۳	۲۰۳۰۵۶۳۸	۹۶۳۸۵۵	۹۱۴۷۹۲	۹۲۹۹۵۵	۲۲	۳۰	۳۵	۳۵۳۸	۴۷۹۰	۵۲۲۳
۲۴	۱۷۶۰۰۸۳۶	۲۰۱۷۴۵۹۹	۲۳۴۹۳۷۴۰	۸۹۶۰۸۱	۸۱۵۶۶۵	۹۲۹۶۲۴	۲۳	۳۲	۳۷	۳۵۳۲	۴۶۶۱	۵۱۷۰
۲۵	۲۱۶۶۶۰۰۰	۲۳۹۷۹۸۲۴	۲۴۲۹۸۵۲۵	۱۸۱۸۱۰۰	۱۶۵۸۷۴۷	۱۴۹۲۸۵۲	۲۵	۳۳	۳۹	۸۲۲۲	۱۰۰۳۴	۱۱۲۶۰
۲۶	۱۹۹۷۷۹۵۷	۲۲۶۹۰۵۹۳	۲۳۴۰۷۶۰۱	۲۰۲۹۳۹۴	۱۸۹۴۹۹۳	۱۷۷۳۴۲۶	۲۵	۳۴	۳۸	۸۲۴۰	۱۰۳۲۴	۱۰۸۰۰
۲۷	۲۱۱۴۶۴۹۸	۲۳۴۹۴۵۵۷	۲۵۰۵۸۵۶۹	۱۹۰۷۹۷۶	۱۷۴۸۳۷۴	۱۵۵۸۷۴۴	۲۴	۳۳	۳۹	۸۱۷۶	۱۱۱۲۷	۱۰۱۹۱
۲۸	۲۴۰۱۲۵۱۶	۲۷۱۴۴۴۷۸	۲۸۴۰۳۵۶۸	۱۹۲۱۸۷۷	۱۸۱۵۵۲۲	۱۶۲۰۳۱۶	۲۴	۳۲	۳۵	۸۲۶۵	۹۴۲۴	۱۰۰۱۹

۲۹	۲۱۸۸۲۷۱۳	۲۵۱۵۹۶۶۶	۲۵۷۳۱۴۱۹	۱۸۰۵۰۴۵	۱۶۸۱۲۸۵	۱۵۴۷۵۲۵	۲۲	۳۰	۳۵	۸۲۰۵	۹۷۷۲	۱۱۱۵۶
۳۰	۲۲۶۸۶۲۶۹	۲۵۱۵۴۷۶۹	۲۶۵۸۴۱۲۷	۱۷۷۵۴۴۱	۱۶۵۱۳۸۷	۱۴۶۷۴۳۰	۲۳	۳۱	۳۶	۸۱۹۷	۹۴۸۱	۱۱۶۱۰
۳۱	۲۰۲۲۱۴۸۹	۲۲۲۶۱۵۳۹	۲۳۲۵۷۶۳۷	۱۹۳۲۰۳۴	۱۸۳۲۴۲۱	۱۶۳۵۲۳۷	۲۲	۲۹	۳۴	۸۲۱۹	۹۷۳۲	۱۱۲۳۸
۳۲	۲۰۶۷۳۵۳۱	۲۳۱۴۵۷۷۱	۲۳۳۱۵۸۰۵	۱۷۳۹۰۱۷	۱۵۷۱۰۷۵	۱۴۱۲۱۷۲	۲۴	۳۱	۳۵	۸۲۵۷	۹۶۱۶	۱۰۴۹۹
مجموع	۱۱۸۲۷۵۰۵	۱۲۸۳۴۴۵۶	۱۳۷۳۴۷۷۳	۸۹۵۶۳۳	۸۳۰۵۹۲	۸۱۲۳۴۷	۲۳,۳۴	۳۱,۱۲	۳۶,۲۱	۳۳۷۶,۵	۴۲۶۲,۹	۴۵۷۸,۵۹

منابع

Aiello G., Enea M., Galante G., (2006) ,(A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. ٤٥٥-٢٢, ٤٤٧

Al Jadaan O., Rao C.R., Rajamani L“ ,(٢٠٠٨) ,Non-Dominated ranked genetic algorithm for solving Multi-Objective optimization problems: NRGa”, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. ٦٧-٦٠ ,

Azevedo, M.M ,Crispim, J.A., Pinho. J., (2017) .(A dynamic multi-objective approach for the reconfigurable multi-facility layout problem. *Journal of Manufacturing Systems*. ١٥٢-٤٢, ١٤٠ ,

Azimi P., Charmchi H.R., (2010) ,(A new optimization via simulation approach for dynamic facility layout problem with budget constraints, *Modelling and Simulation in Engineering*. ٩-١ , ٢٠١٢

Balakrishnan, J., Cheng, C.H., (1998) .(Dynamic layout algorithms: A state-of-the-art survey. *Omega*. ٥٢١-٥٠٧ , (٤) ٢٦

Baykasoglu A., Dereli T., Sabuncu, I., (2006) ,(An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems, *Omega*. ٣٩٦-٣٨٥ , (٤) ٣٤

Baykasoglu, A & ,Gindy, N. N. Z. (2001) .(A simulated annealing algorithm for dynamic facility layout problem. *Computers and Operations Research*. ١٤٢٦-١٤٠٣ , (١٤) ٢٨ ,

Benjaafar, S., Heragu, S. S & ,Irani, S. A" .(٢٠٠٢) .Next generation factory layouts , "Research challenges and recent progress .*Interface* , ٧٦-٥٨ , (٦) ٣٢

Conway, D. G & ,Venkataramanan, M. A .(١٩٩٤) .Genetic search and the dynamic facility layout problem. *Computers and Operations Research*. ٩٦٠ -٩٥٥ , (٨) ٢١ ,

Deb, K., Agrawal ,S., Pratap. A. and Meyarivan. T. (2000) .(A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* ١٩٧-١٨٢ , (٢) ٦ ,

Deyi, L., Haijun, M & ,Xuemei, S. (1995). (*Membership clouds and membership cloud generators*, *Computer Research and Development* , ۲۰-۱۵, (۶)۳۲

Dileep R. Sule" (۲۰۰۹) ,*Manufacturing Facilities, Locations, Planning and Design* ,^۳rd Edition, CRC Press.

El-Baz M. Adel R., (2004) ,(*A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments*, *Computers and Industrial Engineering* ۲۴۶-۴۷, ۲۳۳

El-Rayes K., Said H., (2009) ,(*Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming*, *Journal of Computing in Civil Engineering*. ۱۲۷-۱۱۹, (۲)۲۳ ,

Guan J., Lin G (۲۰۱۶) ,*Hybridizing variable neighborhood search with ant colony optimization for solving the single row facility layout problem*, *European Journal of Operational Research*. ۹۰۹-۸۹۹, (۳) ۲۴۸

Lacksonen, T.A. and Ensore, E.E (1993) ,(*Quadratic Assignment Algorithms for the Dynamic Layout Problem*. *International Journal of Production Research* .Vol.31, No.۵۱۷-۵۰۳, ۳ .

Lawrence M, Petterson A .1998 .*BrainMaker User's Guide and Reference Manual, 7 th Edition*. California Scientific Software ,Nevada City ,CA 95959

Marvin A.A ,Sukran N.K., Basheer M.K., (2006) ,(*An empirical comparison of tabu search ,simulated annealing, and genetic algorithms for facilities location problems* ,*International Journal of Production Economies*. ۷۵۴-۷۴۲ , ۱۰۳ ,

McKendall ,A.R., Shang, J., Kuppusamy, S., (2006) .(*Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem*. *Computers and Operations Research*. ۲۴۴۴-۲۴۳۱, (۸) ۳۳ ,

Mir, M., Imam, M. H. (2001) .(*A hybrid optimization approach for layout design of unequal-area facilities*. *Computers & Industrial Engineering*. ۶۳-۴۹, (۲-۱)۳۹ ,

Neghabi, H., Tari, F.G., (2016) ,(*A new concept of adjacency for concurrent consideration of economic and safety aspects in design of*

facility layout problems, Journal of Loss Prevention in the Process Industries ۶۱:۴-۶۰۳, ۲۰۱۰

Paes, F.G., Pessoa, A.A., Vidal, T. (۲۰۱۷) ,*A hybrid genetic algorithm with decomposition phases for the unequal Area Facility Layout Problem, European Journal of Operational Research* , (۳) ۲۵۶:۷۰۶-۷۴۲

Rosenblatt MJ., (1986) .*The dynamics of plant layout. Management Science*. ۸۶-۷۶:(۱)۳۲ ;

Samarghandi, H., Eshghi, K., (2010) ,*An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem .European Journal of Operational Research*. ۱۰۵-۲۰۵:۹۸

Tavakkoli-Moghaddam R., Shayan E., (1998) ,*Facilities layout design by genetic algorithms ,Computers and Industrial Engineering* ۳۵:۵۳۰-۵۲۷, (۴-۳)

Tompkins ,J. A. White, J. A. Bozer, Y. A. Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M., Trevino, J" , (۱۹۹۶) *Facilities planning* , "New York: Wiley.

Ulutas B ,.Islir A., (2015) ,*Dynamic facility layout problem in footwear industry, Journal of Manufacturing Systems*. ۶۱-۵۵, ۳۶

Urban ,T. L. (1993) .*A heuristic for the dynamic facility layout problem. IIE Transactions*. ۶۳-۵۷, (۴)۲۵ ,

Urban ,T. L. (1998) .*Solution procedures for the dynamic facility layout problem .Annals of Operations Research*. ۳۴۲-۳۲۳, (۱)۷۶ ,

Wang, S., Zuoa, X., Liua, X., Zhaoc, X ,Li, J., (2015) ,*Solving dynamic double row layout problem via combining simulated annealing and mathematical programming, Applied Soft Computing*. ۳۱۰-۳۰۳, ۳۷

Xu, J., Song, X., (2015) ,*Multi-objective dynamic layout problem for temporary construction 4 facilities with unequal-area departments under fuzzy random, Knowledge-Based Systems*. ۴۵-۳۰, ۸۱