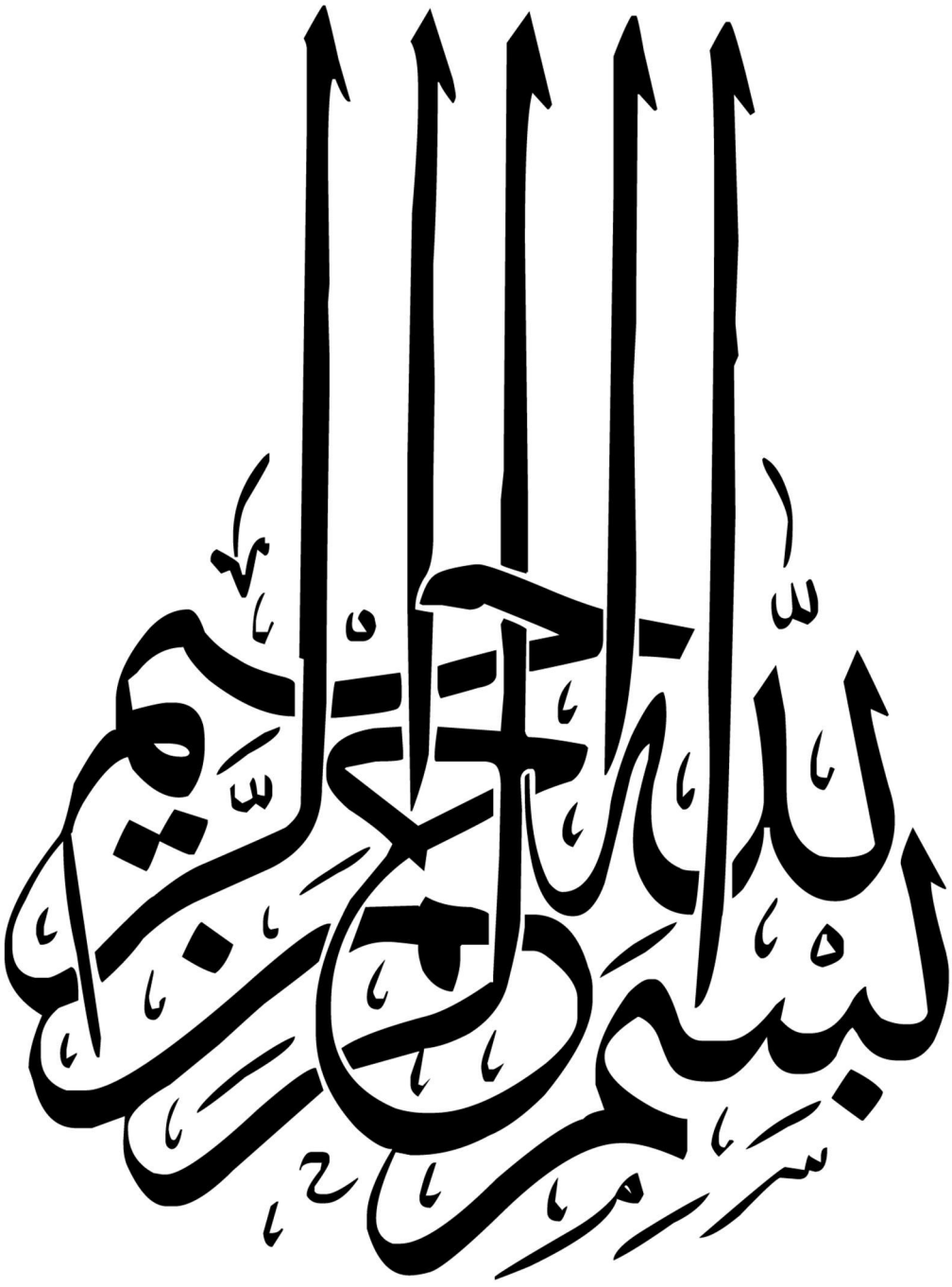

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار

ارائه یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی برای مساله توأم برنامه‌ریزی حمل‌ونقل جریان درون کارگاهی و طراحی چیدمان پویای تسهیلات تولیدی

نگارنده: نرگس رضاوندی

استاد راهنما:

دکتر علی‌اکبر حسنی

شهریور ۱۳۹۷

تقدیم به اساتید همیشگی ام؛

مادرم، که مهر و نیک‌پنداری را

و

پدرم، که زندگی را حتی پس از رفتنش به من آموختند.

تشکر و قدردانی از همه کسانی که مرا در این امر یاری نمودند.

تعهدنامه

اینجانب نرگس رضاوندی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت کسب و کار دانشکده صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه" ارائه یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی برای مساله توأم برنامه‌ریزی حمل‌ونقل جریان درون کارگاهی و طراحی چیدمان پویای تسهیلات تولیدی " تحت راهنمائی آقای دکتر علی‌اکبر حسنی متعهد می‌شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۱۳۹۷/۷/۲۰

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

هدف از حل مسئله طراحی چیدمان پویا، دستیابی به محل استقرار تجهیزات در فضای کارخانه در دوره‌های زمانی متفاوت است، به‌طوری که با تغییر جریان مواد بین تجهیزات با توجه به پیشینه ادبیات، موقعیت تجهیزات از یک دوره به دوره دیگر را بتوان تغییر داد. علاوه براین می‌توان عوامل دخیل دریافتن بهترین استقرار را در مسئله دخیل نمود. یک طراحی چیدمان بهینه و مؤثر موجب کمینه سازی هزینه‌های سازمان می‌شود. عاملی که با توجه به پژوهش‌های پیشین در کاهش هزینه-های استقرار به ویژه در شرایط پویا تأثیر بسزایی دارد هزینه‌های حمل‌ونقل مواد بین تجهیزات است که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است. مدلی که در این تحقیق ارائه شده است، یک مدل ریاضی جامع بر اساس طراحی چیدمان پویا و سیستم حمل‌ونقل است. با درنظر گرفتن فرضیات واقعی مانند ثابت بودن موقعیت برخی تجهیزات و اعمال فاصله مناسب بین تجهیزات خطرناک به بررسی این مدل به‌صورت یکپارچه پرداخته شده است. برای این منظور، معیارهای مشخصی مطابق با پیشینه ادبیات و نظریات خبرگان همانند ظرفیت، هزینه وقابلیت اطمینان تجهیزات برای اعمال طراحی سیستم حمل‌ونقل در نظر گرفته‌شده است. پیچیدگی در حل مسئله استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری را امری اجتناب ناپذیر کرده است. حل این مسئله پیچیده‌ی سخت، با توجه به تحقیقات صورت گرفته، به وسیله الگوریتم مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر و شبیه‌سازی تبرید انجام‌شده است. الگوریتم پیشنهادی توانایی بالایی در تولید جواب‌هایی با ویژگی‌های همگرایی و تنوع در جواب‌های به‌دست‌آمده دارد. برای اثبات این توانایی، عملکرد مدل را با مقدار میانگین حاصل از الگوریتم مقایسه شده است. اثربخشی الگوریتم پیشنهادی امکان دستیابی به جوابی نزدیک به طراحی چیدمان بهینه با حداقل هزینه را فراهم کرده است. در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی را با حل مثال‌های عددی مورد ارزیابی و تأیید قرارگرفته است. این مثال‌های عددی برطبق نمونه موردی از صنعت تولید لوازم خانگی است. پس از حل مسئله با نمونه موردی بیان‌شده، کارایی مدل و روش حل پیشنهادی در دنیای

واقعی را امکان پذیر نشان داده است. با توجه به تفاسیری که بر روی نتایج محاسباتی صورت گرفته شد، برتری روش ارائه شده نسبت به دیگر روش‌های موجود را به اثبات رسانده است.

کلمات کلیدی: مسئله طراحی چیدمان پویا، سیستم حمل‌ونقل مواد، الگوریتم فرا ابتکاری، جستجوی همسایگی متغیر، شبیه‌سازی تبرید

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ٤

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق ٥

۱-٤- نوآوری در تحقیق ۸

فصل دوم: مرور ادبیات و سوابق مربوطه ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- تعریف مسائل طراحی چیدمان ۱۰

۲-۳- تحقیقات داخلی ۱۲

۲-۴- تحقیقات خارجی ۱٦

فصل ۳: روش پیشنهادی ٥٥

۳-۱-مقدمه ٥٦

۳-۲- طرح مسئله ٥٦

۳-۳- تعریف مدل ریاضی ٥۸

۳-۴- راهحل پیشنهادی ٦۰

۳-۵- الگوریتم ترکیبی SA-AVNS ٦۲

فصل چهارم: نتایج محاسباتی ٦۹

۴-۱- مقدمه ۷۰

۴-۲- معرفی مسئله نمونه ۷۰

۴-۳- اعتبارسنجی و تحلیل نتایج ۷۵

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری ۸۵

۵-۱- نتیجه گیری ۸۶

۵-۲- پیشنهادها ۸۷

منابع ۸۸

منابع فارسی ۸۸

منابع انگلیسی ۸۹

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: نمایش همسایگی یک بخش ۵
شکل ۲-۱: تجهیزات با شکلهای منظم و نامنظم ۲۱
شکل۲-۲ : طراحی چیدمان با درنظر گرفتن ابزار جابهجایی مواد(یانگ، پیترز و تو، ۲۰۰۵) ۲۲
شکل ۲-۳ : طراحی چندطبقه (دایارا و همکاران، ۲۰۰۷) ۲۵
شکل ۲-۴ :جریان برگشت و جریان رفت ۲۵
شکل ۲-۵ : نمونهای از نقاط P/D یک دستگاه برای یک شکل منظم ۲۶
شکل ۲-۶: طراحی چیدمان در چهار دوره ۲۷
شکل ۲-۷ : نمایش طراحی چیدمان گسسته و پیوسته ۳۱
شکل ۲-۸: نمایش درخت برش برای طراحی طبقه همکف ۴۰
شکل ۳-۱: نمایش همسایگی یک بخش ۵۸
شکل ۳-۲ :کدگذاری چیدمان اولیه ۶۵
شکل ۳-۳ : ارزیابی طراحی چیدمان به روش سیستماتیک ۶۸
شکل ۴-۱ :چیدمان احتمالی برای طراحی چیدمان موردمطالعه با توجه به محدودیت‌های بیان‌شده (طول۳ واحد و عرض۲واحد) ۷۴

فهرست نمودار

نمودار ۴-۱ نمودار همگرایی ۳ الگوریتم مورد مقایسه ۷۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ : نقاط قوت و نقاط ضعف برخی از روشهای ابتکاری از دیدگاه مسلمی پور و همکاران(۲۰۱۲) ---------- ٤٦
جدول ۲-۲ : مروری بر پژوهشهای انجام‌شده با روشهای ابتکاری و ترکیبی در FLP بر اساس مقاله مسلمی پور و همکاران (۲۰۱۲)---------- ٤٨
جدول ۴-۱ معیارهای در نظر گرفته شده ---------- ۷۱
جدول ۴-۲ ماتریس جریان بین ماشین ها برای دوره اول---------- ۷۱
جدول ۴-۳ ماتریس جریان بین ماشین ها برای دوره دوم---------- ۷۲
جدول ۴-۴ ماتریس جریان بین ماشین ها برای دوره سوم ---------- ۷۲
جدول ۴-۵ ماتریس چیدمان بهینه در دوره های مختلف ---------- ۷۳
جدول٤-٦: مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم SA و AVNS ---------- ۷٦
جدول ۴-۷. مقایسه بهترین جواب مدل پیشنهادی و میانگین جواب پیشنهادی ---------- ۷۷
جدول ۴-۸: نتایج حاصل اجرای الگوریتم SA-AVNS براساس مدل ارائه شده ---------- ۷۹
جدول٤-10 : مقایسه cpu time الگوریتمهای SA و AVNS و SA-AVNS---------- ۸۳

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم مهندسی صنایع و تصمیم‌گیرندگان اصلی سازمان تعیین مکان مناسب قرارگیری بخش‌ها (تجهیزات و تسهیلات) در قالب مسائل جایابی (تعیین بهترین مکان قرارگیری تجهیزات با در نظر گرفتن روابط بین آن‌ها) و یا مسائل جانمایی (تعیین بهترین چیدمان تجهیزات جدید در یک محیط صنعتی یا خدماتی) است. از آن روی که عملکرد سیستم تحت تأثیر عوامل درونی است، لذا مکان‌یابی بخش‌ها اهمیت بسزایی خواهد داشت، به همین دلیل، حل این نوع مسائل مورد توجه محققین بسیاری قرارگرفته است. پژوهشگران مسئله بیان‌شده را در شرایط گوناگون مورد بررسی قرار داده‌اند. این شرایط شامل عوامل اثرگذار در حل مسئله است. ماهیت داده‌های مورد استفاده در گذر زمان می‌تواند از جمله عوامل اثرگذار در شرایط حل مسئله باشد. درصورت ثابت بودن داده‌های مسئله در بازه‌ی طولانی مدت که تغییری در جواب‌های به‌دست‌آمده ایجاد نمی‌کند، این مسئله حل استاتیک خواهد داشت. این روش با شرایط دنیای واقعی سازگاری چندانی ندارد و با گذر زمان ممکن است به جواب‌های نامناسبی تبدیل شوند. از این رو حل مسئله در شرایط پویا (دینامیک) مطرح می‌شود. در این روش افق‌های برنامه‌ریزی متفاوتی مدنظر قرارگرفته و در این شرایط دوره‌ای داده‌های مسئله از دوره‌ای به دوره دیگر تغییر می‌کند. در این حات تصمیم‌گیرنده به دنبال یافتن بهترین مکان مناسب تجهیزات در هریک از دوره‌های افق برنامه‌ریزی مورد نظر است. با مطرح شدن ایده جالب حل مسئله پویا، پژوهشگران بسیاری به حل مسائل با روش‌های متفاوت و نوین پرداختند. بررسی آن‌چه که محققین به‌دنبال آن بودند در فصل دوم مورد بررسی قرارگرفته‌شده است. ازآنجاکه هدف اصلی هر سازمان تقلیل هزینه‌های اضافی و اعمال شده است، بیشتر پژوهندگان حداقل سازی هزینه‌ها را به‌عنوان هدف اصلی حل مسئله مکان‌یابی تجهیزات مدنظر قرار داده‌اند. همچنین توجه به بیش از یک هدف در دنیای واقعی امری طبیعی است. اما در شرایط گوناگون حل مسائل چیدمان پویا، عدم توجه به بودجه تخصیص یافته از سوی سرمایه‌گذاران کاملا مشهود است. تقلیل هزینه‌های سازمان بدون توجه به این محدودیت می‌تواند راه‌حل پیشنهادی را به سمتی غیرواقع پیش ببرد. این پژوهش به

دنبال رفع این خلأ به کمک اعمال این محدودیت در مدل ارائه شده است. از سویی دیگر عوامل تأثیرگذار در ایجاد هزینه‌ها، به‌ویژه هزینه‌های حمل‌ونقل مواد بین بخش‌ها در این بازجست مورد بررسی قرارگرفته‌شده است. برای این منظور از روش تاپسیس که تکنیکی مناسب در اعمال فاکتورهای کیفی و کمی با اوزان منتخب خبرگان بهره گرفته شده است. این تکنیک جای خالی عوامل کیفی و سایر عوامل کمی مؤثر و همچنین نظر خبرگان در رابطه با مسئله بیان‌شده را پر می-کند. همچنین می‌دانیم در دنیای کنونی زمان برای تصمیم‌گیری اهمیت بسیاری دارد، به همین دلیل علاوه بر نزدیک شدن مدل‌های پیشنهادی از گذشته تا کنون به مدل‌های واقعی، رسیدن به راه‌حل-های مناسب در کوتاه‌ترین زمان نیز موضوعی مهم تلقی می‌شود. در مدل پیشنهادی که در فصل سوم به‌طور مفصل پرداخته شده، به حداقل سازی زمان حل با توجه به مدل ترکیبی جستجوی متغیر همسایگی تطبیق‌پذیر و شبیه‌سازی تبرید، پرداخته شده است. نتایج حاصل از اثربخشی و سازگاری مدل در فصل چهارم با نمایش نتایج به‌دست‌آمده نشان داده شده است. برای اثبات این اثربخشی نسبت به سایر مدل‌ها، این مدل را با مقدار میانگین مسئله طراحی چیدمان پویا مورد مقایسه قرارگرفته است. تحلیل و مقایسه‌های صورت گرفته و جمع‌بندی آن‌چه که انجام‌شده در فصل پایانی بیان نموده شده است. پیشنهاداتی که در راستای این پژوهش می‌تواند گامی فراتر بگذارد نیز در فصل پنجم ارائه می‌شود.

در این فصل به بررسی مقدمات پژوهش پیش‌روی پرداخته می‌شود. در قسمت بیان مسئله به بررسی مسئله طراحی چیدمان پویا با در نظر گرفتن افق‌های برنامه‌ریزی متفاوت و عوامل اثرگذار و متغیرهای مورد توجه در مسئله در نظر گرفته می‌شود. در قسمت ضرورت تحقیق علت اهمیت این پژوهش با توجه به نیاز روز و شرایط متغیر کنونی و با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه و نتایج حاصله از این تحقیقات بر عواملی که در بیان مسئله ذکر شد، بررسی می‌شود. ازآنجاکه هر مطالعه جدیدی که انجام می‌گیرد به واسطه وجود ایده ای نو بوده است لذا در بخش نوآوری آن‌چه که در این پژوهش متفاوت از سایر پژوهش‌های مشابه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۲- بیان مسئله

در این تحقیق، هدف یافتن طراحی پویای چیدمان کارآمد است به‌طوری‌که با طراحی سیستم حمل‌ونقل ادغام شود. این مدل کاملاً با الزامات طراحی چیدمان به‌صورت تولید کارگاهی که جریان مواد بین هر دو واحد با اندازه‌های یکسان با احتمال تفاوت از افق برنامه‌ریزی ویژه سازگار است. هدف از ارائه این مسئله حداقل نمودن کل ارزش زمان جاری مربوط به هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های چیدمان واحدها است. یکی از فاکتورهای مهمی که بر هزینه جابه‌جایی مواد و درنهایت هزینه طراحی تأثیر می‌گذارد روش حمل‌ونقل مورداستفاده در حمل مواد بین واحدها است. بسته به برخی معیارهای اساسی مانند هزینه‌ها، انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، حجمم مواد، فاصله بین واحدها و غیره، امکانات مختلف جابه‌جایی ازجمله نوار نقاله، پالت، بالابرها برای حمل و جابه‌جایی مواد بین دو واحد استفاده‌شده است. محدودیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل در نظر گرفته خواهد شد. همچنین، چیدمان تسهیلات تولید و تغییر مکان آن‌ها در طی دوره‌های زمانی مختلف تحت تأثیر تغییر در جریان مواد، نیازمند صرف هزینه مشخص خواهد بود. ازاین‌رو محدودیت بودجه در برنامه‌ریزی و طراحی چیدمان تسهیلات نیز در نظر گرفته خواهد شد. درنهایت، تصمیم‌گیری چند شاخصه و طراحی سیستم حمل‌ونقل با طراحی چیدمان ادغام می‌شود.

یکی دیگر از عوامل مهم در هزینه‌های چیدمان، وجود محدودیت‌هایی ازجمله واحدهایی با موقعیت (جایگاه) ثابت، حداقل فاصله قابل‌قبول بین واحدها و غیره است. برخی از واحدها به این دلیل ثابت هستند که نیاز به بنای ثابت دارند به‌عنوان‌مثال پایه و بنای واحد پرس‌کاری، تثبیت برخی تجهیزات مانند نصب جرثقیل، قرار دادن تجهیزات سنگین، وجود برخی تسهیلات خاص در یک واحد و غیره. برخی از تجهیزات همچون کمپرسور را نمی‌توان به‌راحتی جابه‌جا نمود و اگر هم این کار شدنی باشد موجب هزینه‌های زیادی می‌شود. علاوه بر این، قرارگیری برخی بخش‌ها در کنار یکدیگر خطرناک است لذا باید دور از هم باشند. برای مثال، یک واحد با محصولات مشتعل نباید نزدیک واحدی با دمای بالا قرار گیرد و یا بخشی که تجهیزات آن محصولاتی با ارتعاش بالا تولید می‌کند نباید در کنار

تجهیزات با حساسیت بالا مانند ماشین‌آلات کامپیوتری کنترل عددی باشد. در شکل ۱-۱ موقعیت‌هایی که تولیدات با ارتعاشات بالای یک بخش که نباید در نزدیکی یک واحد خاص قرار گیرد را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، دو بخش زمانی می‌توانند در همسایگی یکدیگر قرار گیرند که حداقل یک لبه مشترک یعنی بیش از یک نقطه مشترک را داشته باشند. فاصله بین دو واحد بر اساس فاصله مستقیم محاسبه می‌شود.

ممکن	نامکن	ممکن
نامکن	بخش C.N.C	نامکن
ممکن	نامکن	ممکن

شکل ۱-۱: نمایش همسایگی یک بخش

با توجه به ماهیت پیچیده حل مدل طراحی چیدمان پویا که در ادبیات موضوع از آن به‌عنوان یک مسئله با پیچیدگی‌های حل بالا یادشده است، توسعه روش حل کارآمد نیز با توجه به توسعه در نظر گرفته‌شده برای مسئله، مطلوب خواهد بود. ازاین‌رو، در این تحقیق، به اقدام به ارائه یک روش حل کارآمد برای مدل طراحی چیدمان پویای پیشنهادی نیز پرداخته خواهد شد.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

بهبود طراحی چیدمان کارخانه در کنار دیگر استراتژی‌های مهم تصمیم‌گیری عملیات تولید و سیستم‌های خدماتی کارآمد، تأثیر بسزایی در بقای بلندمدت کارخانه می‌گذارد. چیدمان تجهیزات کارخانه با آرایش واحدها و طراحی سیستم حمل‌ونقل در ارتباط است. فیلای و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه دست‌یافتند که هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین ۲۰ تا ۵۰ درصد کل هزینه‌های عملیات و ۱۵ تا ۷۰ درصد کل هزینه‌های تولیدی نوسان دارد. یک طراحی جانمایی مناسب می‌تواند در افزایش تولید، کاهش کالای در حال ساخت، کاهش زمان انجام کار، بررسی سفارش مواد و غیره تأثیر بگذارد (فیلای و همکاران، ۲۰۱۱)؛ بنابراین، پیچیده بودن و نوع مسئله NP-Hard، باعث علاقه‌مندی

پژوهشگران به مسئله طراحی چیدمان کارخانه در سال‌های اخیر شده است (مک کندال و همکارش، ۲۰۱۰). مک کندال و همکاران (۲۰۰۶) به ارائه یک تعریف ساده طراحی چیدمان تسهیل چینش واحدها با توجه به‌اندازه گیری عملیات از پیش تعریف شده در یک افق برنامه‌ریزی خاص که به‌نوبه خود می‌تواند شامل تعدادی از دوره‌های برنامه‌ریزی‌شده باشد، پرداختند. اگر جریان بین واحدها در همه دوره‌ها ثابت بماند این مسئله را به‌عنوان مسئله طراحی چیدمان ایستای تجهیزات می‌شناسیم. مسئله طراحی چیدمان ایستای تجهیزات را می‌توان به‌عنوان مسئله درجه دوم فرمول نویسی نمود (مک کندال و همکاران، ۲۰۰۶). اگر جریان بین واحدها در دوره‌های زمانی متنوع باشد، مسئله طراحی چیدمان پویا نامیده می‌شود که از روش طراحی چیدمان ایستای تجهیزات بسیار پیچیده‌تر است. مسائل طراحی پویای چیدمان تعمیم مسائل طراحی ایستای چیدمان هست. دغدغه اصلی مسئله طراحی چیدمان پویا حداقل سازی هزینه‌های کل مرتبط با جابه‌جایی مواد است. هزینه‌های جابه‌جایی مواد به عوامل حیاتی مانند، مقدار جریان مواد، فاصله و هزینه حمل‌ونقل بین دو واحد بستگی دارد. در اینجا لیستی از عوامل مؤثر در جریان بین واحدها ارائه‌شده است (بالاکریشنان و همکارش، ۱۹۹۸): (۱) تغییر در طراحی محصولات جدید، (۲) حذف یا اضافه کردن یک محصول از طرح تولید، (۳) تغییر در مکان‌یابی تجهیزات و تسهیلات موجود، (۴) کاهش چرخه عمر یک محصول و (۵) تغییر در مقدار و برنامه‌ریزی تولید.

برخلاف مسائل طراحی ایستای چیدمان که تنها با یک مدل طراحی مکان‌یابی درگیر می‌شویم، در مسائل طراحی پویای چیدمان، ما با مجموعه‌ای از طرح‌های تسهیلات مرتبط با دوره‌های زمانی متفاوت، روبه‌رو خواهیم شد. بنابراین، در مدل پویا، هزینه کل طراحی چیدمان برابر است با جمع هزینه جابه‌جایی مواد و هزینه‌های چیدمان واحدها در همه دوره‌ها. هزینه‌های جابه‌جایی مواد کاملاً به طراحی سیستم حمل‌ونقل که شامل تسهیلات حمل‌ونقل انتخاب‌شده است، بستگی دارد. بازه (محدوده) تجهیزات حمل‌ونقل از پالت‌های ساده و پروژه‌های طبقه‌بندی‌شده با نوار نقاله‌های پیچیده و سیستم‌های بازیابی و انبارداری خودکار متغیر است؛ بنابراین ادغام طراحی پویای چیدمان و سیستم

طراحی حمل‌ونقل گزینه‌های طراحی چیدمان واقعی‌تری را فراهم می‌سازد. در این پژوهش به ارائه دو بخش مهم پرداخته خواهد شد:

نخست، هدف از ارائه مدل تصمیم‌گیری برای طراحی چیدمان پویای کارخانه و همچنین سیستم حمل‌ونقل با ظرفیت محدود در افق‌های برنامه‌ریزی بلندمدت است. با توجه به تغییرات جریانات مواد در دوره‌های مختلف، تسهیلات حمل‌ونقل با در نظر گرفتن معیارهای گوناگون مانند جریان مواد، هزینه حمل‌ونقل یک واحد محصول درازای یک واحد مسافت، قابلیت انتخاب روش حمل‌ونقل و غیره گزینه‌های مختلفی انتخاب می‌شود. برای مقابله با این مشکل، روشی برای اولویت‌دهی سفارش از راه‌حل ایده آل (تاپسیس) استفاده‌شده است به‌طوری‌که انتخاب روش حمل‌ونقل مواد بین واحدها تصمیم گرفته شود. علاوه بر این، برخی از محدودیت‌های دنیای واقعی در طراحی پویای مکان‌یابی مانند واحدهای ثابت و حفظ حداقل فاصله بین واحدهای در نظر گرفته شود. هدف این مدل حداقل نمودن کل ارزش خالص فعلی مربوط به هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های چیدمان واحدها برای دوره‌های برنامه‌ریزی‌شده با توجه به محدودیت بودجه است.

دوم، برای یافتن بهترین طراحی پویای چیدمان از ترکیب دو الگوریتم فرا ابتکاری شناخته‌شده یعنی جستجوی همسایگی متغیر انطباق پذیر و شبیه‌سازی تبرید استفاده‌شده است. این الگوریتم راه‌حل ترکیبی برای حل مدل ارائه‌شده و مسئله عمومی طراحی پویای چیدمان با داده‌های واقعی مربوط به مطالعه موردی و آزمون استاندارد ناشی از ادبیات موضوع، به ترتیب به کار بسته‌شده است. نتایج عددی را با تمامی الگوریتم‌های ارائه‌شده رقیب در ادبیات موضوع مربوط به مسئله طراحی چیدمان پویا با آزمون نمونه‌های ارائه‌شده توسط بالاکریشنان و همکاران (۲۰۰۶) محک زده می‌شوند. برای دستیابی به این هدف، اعتبار کیفیت مدل ما در مقایسه با مدل‌های ارائه‌شده توسط بایکازوقلو و همکاران (۲۰۰۱) موردبررسی قرارگرفته خواهد شد.

۱-٤- نوآوری در تحقیق

تا کنون مطالعات بسیاری درجهت برای دستیابی به بهترین چیدمان با در نظر گرفتن هزینه‌ها هزینه-ها و نیز بررسی شرایط کارخانه بازمان‌بندی متفاوت صورت گرفته‌شده است. اما از آن جا که همه جواب‌ها نسبی بوده و مسئله بهینه‌سازی ادامه خواهد داشت، ما نیز در جهت بهبود گامی هرچند کوچک نهاده‌ایم. در مطالعات صورت گرفته کمتر به بعد بودجه کارخانه توجه شده، ما در این پژوهش این محدودیت را به مسئله اضافه می‌کنیم تا هزینه‌ها با در نظر گرفتن محدودیت بودجه کمینه شوند. از سویی با بررسی مطالعات پیشین به این نکته دستیافتیم که حل مسئله طراحی چیدمان پویا با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به جوابی بهینه و مناسب میرسید و از طرف دیگر الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر دررسیدن به جواب با سرعت همگرایی مناسبی برای حل چنین مسائلی به ما می-دهد. و البته ازآنجاکه مدیران کارخانه برای اجرای برنامه و یا سرمایه‌گذاری به کم‌ترین زمان و دقت بالا برای تصمیم‌گیری توجه دارند و نیز نتایج مناسب به‌دست‌آمده حاصل از ادغام این دو الگوریتم که توسط حسنی و همکاران (۲۰۱۵) صورت گرفته، در ادامه برای بهبود کار ایشان از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر انطباق‌پذیر استفاده‌شده است.

فصل دوم: مرور ادبیات و سوابق مربوطه

۲-۱- مقدمه

در این فصل مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با مسئله طراحی چیدمان می‌پردازیم تا خواننده را با مسیر حرکت و رشد روش‌های بهتر حل این نوع مسائل آشنا شود. در اینجا خواهیم گفت که با پیشرفت فناوری و علوم کامپیوتری این مسیر هموارتر شده و امکان بررسی قسمت‌های چشم‌پوشی شده به دلیل پیچیدگی مسائل و فرمول‌ها، صورت گرفته‌شده است. در این فصل سعی بر آن بوده که پس از تعریف مسئله طراحی چیدمان و معرفی محققین و تحقیقات آن‌ها، در عین حال به دسته‌بندی این نوع مسائل بپردازیم به‌عبارت‌دیگر، تحقیقات مرتبط با آن طبقه‌بندی ارائه شده است. همچنین تحقیقات داخلی و خارجی و حوزه‌های مورد بررسی در هر تقسیم‌بندی بیان‌شده است تا گوشه‌های به‌دور مانده برای بررسی نمایان شود. این پژوهش در صنایع مختلف به‌ویژه در کارخانه‌های تولیدی با تجهیزات کاربرد دارد. ما نیز سعی بر این داشتیم که در این فصل به پژوهش‌هایی از این قبیل بپردازیم.

۲-۲- تعریف مسائل طراحی چیدمان

طراحی چیدمان تجهزات به معنی بازآرایی و چینش هر چیزی که موردنیاز برای تولید کالاها و یا ارسال خدمات می‌باشد. امکانات چیزی است که عملکرد هر کاری را تسهیل می‌کند. این ممکن است یک ماشین‌ابزار، مرکز کاری، سلول تولیدی، کارگاه ماشین، بخش، انبار و غیره باشد(دریا و همکاران، ۲۰۰۷) . سابقه مسائل مرتبط با طرح ریزی واحد های صنعتی را باید به قدمت تجارت و تولید دانست، به موازات پیشرفت و توسعه سیستم های تولیدی و تجاری، توجه بیشتری به بهره گیری از فضاها مطرح شده است (هرگو، ۱۹۹۷).

با توجه به مطالعاتی که بر روی مقالات متعدد صورت گرفته‌شده، محققین یک تعریف مشترک و دقیق از مسائل طراحی چیدمان ندارند. بیش‌ترین فرمول‌هایی که با آن‌ها مواجه می‌شویم مربوط به مسائل طراحی چیدمان استاتیک است. کوپمنز و بکمن (۱۹۵۷) جزء اولین کسانی بودند که به این

دسته از مسائل توجه داشتند، و مسئله طراحی چیدمان را به‌عنوان مشکلی رایج در صنعت با هدف پیکربندی تجهیزات برای به‌حداقل سازی هزینه جابه‌جایی مواد بین آن‌ها تعریف کرده‌اند. ملر، نارایانان و ونس (۱۹۹۹) نظر براین داشتند که مسئله طراحی چیدمان به بازآرایی و چیدمان n تجهیز مستطیلی در فضای مستطیلی مسطح متداخل با درنظر گرفتن حداقل فاصله بین تجهیزات می‌باشد. آزادی‌وار و وانگ (۲۰۰۰) مسئله طراحی چیدمان را به‌عنوان تعیین مکان‌های نسبی، تخصیص، فضای موجود بر اساس تعداد تجهیزات تعریف کرده‌اند. لی و لی (۲۰۰۲) بیان داشتند که مسئله طراحی چیدمان شامل تنظیم n ماشین با مساحت نابرابر با اندازه‌های متفاوت در فضای داده‌شده، به‌طوری که بتواند با طول یا عرض سایت داده‌شده با هدف کمینه سازی هزینه کل جابه‌جایی مواد و کاهش هزینه کمبود انجام شود، تعریف کردند. شایان و چیتیلاپیلی (۲۰۰۴) مسئله طراحی چیدمان را به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی تعریف کرده‌اند که سعی بر افزایش کارآمدی طراحی چیدمان با توجه به فعل و انفعالات گوناگون بین تجهیزات و جابه‌جایی مواد با درنظر گرفتن طراحی چیدمان تجهیزات دارد.

مقالات بسیاری در این زمینه انتشار یافته که هر کدام به یک بخش از ویژگی‌های طراحی چیدمان پرداخته‌اند. لذا در اینجا ویژگی‌های مورد بررسی طراحی چیدمان را به چند دسته تقسیم‌بندی کرده‌ایم: ویژگی‌های محیط کار (مانند ویژگی‌های سیستم تولیدی، شکل تجهیزات، سیستم جابه‌جایی مواد، و طرح تکاملی)، یافتن مشکل اصلی (مانند فرمول مسئله، اهداف و محدودیت‌ها)، روش‌های حل مسئله (تحلیل روش‌ها). که همیشه راهی برای بهبود این مسائل وجود دارد و سعی بر این خواهد بود. لازم به ذکر است که در این فصل برای مقایسه کارهای صورت گرفته‌شده در هریک از این تقسیم بندی‌ها، مقالات بررسی شده را در دو بخش اصلی مقالات داخلی و خارجی تقسیم می‌کنیم. بخش‌های ذکر شده را در دسته‌بندی های گفته‌شده مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۳- تحقیقات داخلی

تحقیقات داخلی که در رابطه با حل مسائل طراحی چیدمان پویا صورت گرفته‌شده است در زیر و به‌صورت طبقه‌بندی بیان‌شده‌اند. علت طبقه‌بندی این تحقیقات گسترده بودن این نوع مسائل دریافتن پاسخ در شرایط مختلف می‌باشد. البته در این زمینه با وجود اهمیت بسیار، به ویژه با توجه به مسائل کمبود بودجه هم در بخش دولتی و هم غیر دولتی، کم‌توجهی شده است. با کاهش هزینه‌ها و اعمال روش‌های نوین می‌توان با هزینه‌های کم‌تری اشتغال بیش‌تری در بخش‌های خدماتی و تولیدی داشته باشیم. بدین منظور می‌توان به گسترش سازمان با حداقل هزینه داشت که خود موجب به خدمت رفتن افراد جویای کار شد. ازآنجاکه محققین داخلی در این زمینه کم‌تر کار کرده‌اند، لذا در همه زمینه‌های تعریف شده در حیطه موضوع طراحی چیدمان پژوهش نداشته‌اند. ما نیز در پژوهش خود تحقیقات را بر اساس زمینه‌های صورت گرفته‌شده، آن‌ها را بیان می‌کنیم.

تأثیرپذیری مسائل طراحی چیدمان از ویژگی‌های سیستمی اتفاقی دور از واقع نیست. در این امر پژوهشگران تحقیقات را با توجه به نوع ویژگی‌های محیط کار تقسیم‌بندی کرده و روابط مرتبط با آن را مورد توجه و بررسی قرار داده‌اند. هر محققی بر روی موضوعی کار کرده است. ما در این قسمت به بررسی آن دسته تقسیم‌بندی می‌پردازیم که در تحقیقات داخلی مورد مطالعه قرارگرفته‌شده است.

در زمینه حجم و تنوع در تولید مسلمی پور (۱۳۹۴)، برای حل مسئله طراحی چیدمان درون سلولی پویا در محیط تصادفی سیستم‌های تولید سلولی(CMS[1])، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده نمودند که تقاضای محصولات را با فرض توزیع نرمال مدل‌سازی کرده‌اند.

همچنین می‌توان بیان نمود که مسئله طراحی خط مستقیم زمانی اتفاق می‌افتد که تجهیزات باید در یک خط قرار بگیرند. از این موقعیت پایه می‌توان چندین شکل را استخراج نمود، مانند، خط مستقیم، نیم دایره و S شکل (محمدی و فورغانی، ۲۰۱۶). حرکت بین تجهیزات بخش‌ها ممکن است از یک

[1] Cellular Manufacturing system (CMS)

ردیف همسان و یا ردیف‌های متفاوت باشد(سفرزاده و کوشا، ۲۰۱۷). . همچنین توکلی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۵) برای حل مسئله طراحی چیدمان چند خطی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های جابه-جایی مواد از الگوریتم کرم شب‌تاب چهاربعدی استفاده نمودند، که این امر موجب جستجوی دقیق‌تر در فضای حل و افزایش کیفیت جواب‌های مسئله می‌شود. آن‌ها جواب‌های به‌دست‌آمده را با نرم‌افزار CRAFT و الگوریتم آنتروپی و ژنتیک مقایسه نمودند. در این زمینه روئین‌فر و کاظمی سفه (۱۳۹۴)، برای کمینه هزینه جابه‌جایی و حمل‌ونقل مواد با وسایل حمل‌ونقل مختلف در مسئله مکان-یابی تجهیزات پویا از الگوریتم ژنتیک استفاده و کالیبره‌سازی پارامترهای اولیه الگوریتم را بر اساس روش تاگوچی انجام دادند.

کیوانی و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی مسئله طراحی چند طبقه‌ای چیدمان تجهیزات با هدف حداقل نمودن هزینه‌های بازآرایی و جابه‌جایی مواد در افق‌های زمانی مختلف پرداختند که برای حل این مسئله پیچیده از الگوریتم SA استفاده نمودند. درنهایت کارا بودن این الگوریتم در حل این نوع مسائل در حالت استاتیک و پویا نشان داده شد احمدی و همکاران (۲۰۱۷)، فرمول و روش‌های حل برای مسئله طراحی چیدمان تجهیزات چند طبقه‌ای را بررسی و آن‌ها را در مقاله خود دسته‌بندی نمودند.

مزینانی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از الگوریتم ژنتیک(GA) به حل نوعی از مسئله طراحی تجهیزات پویا (DFLP) پرداخته‌اند که بر اساس ساختار قرار گیری منعطف می‌باشد. در اینجا مساحت‌ها نابرابر بوده و بخش‌ها میتوانند در جهت‌های مختلف در طبقه همکف کارخانه قرار گیرند. GA زمان حل و پاسخ را بهینه کرده است. با این حال می‌توان برای بهبود بیشتر از تابع چند هدفه بهره گرفت چرا که در دنیای واقعی معمولا چندین هدف برای مدیران اهمیت دارند که در این پژوهش به آن نپرداخته‌اند. همچنین به محدودیت بودجه در تعریف مسئله توجهی نشده است.

با توجه به ویژگی کارگاه و ایستا یا پویا بودن سیستم، چندین روش برای فرموله کردن مسائل ریاضی و حل مسئله طراحی چیدمان وجود دارد. این فرمول مسائل طراحی چیدمان ایستا یا پویا را می‌تواند بر اساس مدل‌های مختلفی بنویسد که پیچیدگی روابط بین عناصر مختلف درگیر در یک مسئله طراحی بیان شود. ساده‌ترین مدل برای حل این مسائل در نظر گرفتن مساحت‌های برابر بخش‌ها است. به دلیل سخت بودن حل این نوع مسائل روش‌های زیادی به‌ویزه برای روش‌های احتمالی تعیین‌شده است. توکلی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش AHP گروهی فازی با درنظر گرفتن همزمان معیارهای کمی و کیفی و رتبه‌بندی با روش تاپسیس، به نحوه‌ی چیدمان دپارتمان‌ها در منطقه کاری می‌پردازد.

محمدخانلو و بشیری (۲۰۱۳) در پژوهش خود ازالگوریتم SAK-means با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر خوشه‌بندی k-means برای حل مسئله مکان‌یابی بهره جستند تا هزینه خوشه‌بندی مبتنی بر معیار تعریف شده را در تابع چند هدفه برای تخصیص تجهیزات به دست آورند. در این راستا خیرخواه و همکاران در سال (۱۳۹۲) بر روی کاربرد یک رویکرد ادغامی از CFAHP و FVIKOR در مسئله تصمیم‌گیری مکان‌یابی تسهیلات با معیارهای چندگانه فازی کار کردند. همچنین پورحسن و رئیسی (۲۰۱۷)، مسئله طراحی چیدمان پویای چند هدفه را برای سیستم تولیدی با نوعی الگوریتم ژنتیک (NSGA-II[2]) حل نمودند.

با ابداع الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌توان به روش‌های جهانی جستجو (جستجوی ممنوعه و شبیه-سازی تبرید) و روش‌های تکاملی (الگوریتم‌های ژنتیک و کلونی مورچگان) اشاره نمود، که توانایی بررسی و یافتن جواب بهینه در بسیاری از مسائل بهینه سازی ترکیبی را داشتند، نیز تغییر کرده و زوایای جدیدی ازاین گونه مسائل مورد بررسی قرار گرفت. (خلیلیان، ۱۳۸۱). برزین‌پور و همکاران (۲۰۱۴)، برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا از الگوریتم علف‌های هرز با هدف کمینه نمودن

[2] Non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II)

هزینه‌های جابه‌جایی مواد و بازآرایی تجهیزات برمبنای داده‌های بالاکریشنان و چنگ استفاده نمودند. بزرگی و همکاران (۲۰۱۴)، از الگوریتم ممنوعه برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا در پژوهش خود بکار بردند.

مزینانی و همکاران (۲۰۱۳) برای مسائل طراحی چیدمان پویا از روش الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. همچنین در الگوریتم های ترکیبی محلی سراسر برای حل مسائل غیر محدب با موفقیت اجراشده اند (فسانقری و همکاران، ۲۰۰۸). این الگوریتم‌ها جنبه‌های جستجوی محلی و جستجوی سراسری را در ساختارشان برای جستجوی مؤثر ترکیب می‌کنند. در این الگوریتم‌ها فرایند جستجوی سراسری با چندین نقطه شروع و جستجوی فضای حل از این نقاط شروع می‌شود. سپس الگوریتم-های جستجوی محلی، حل بهینه را در این فضاها پیدا می‌کنند. جوان و همکاران (۲۰۱۶) برای اولین بار از الگوریتم‌های ژنتیک موازی برای حل مسئله طراحی چیدمان تجهیزات با مساحت‌های نابرابر استفاده کردند تا بازمانی کمتر فضای جواب گسترده‌ای را با بهترین جواب ممکن جستجو کند. در طی پژوهشی که اخیراً صورت گرفته از روش جدید جستجوی هماهنگی (HS^{3}) برای حل مسئله بهینه‌سازی پیوسته ریاضی در مسئله مکان‌یابی تسهیلات استفاده شد(ایمان رستگار و راشد صحرائیان، ۱۳۹۲).

در پژوهشی برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا از الگوریتم ترکیبی ژنتیک چند جمعیتی و شبیه-سازی تبرید استفاده‌شده است که با این روش تنها به جستجو در فضای ممکن می‌پردازد به طوری که تنظیم پارامترهای الگوریتم به روش تاگوچی است (پوروزیری و نادری، ۲۰۱۴). با وجود مؤثر بودن این روش با توجه به مقایسات صورت گرفته، محدودیت بودجه در نظر گرفته نشده و انطباق‌پذیر نمی‌باشد.

[3] Harmonic search (HS)

محمدی شاد و فتاحی (۱۳۹۱)، از الگوریتم جستجوی متغیر همسایگی برای حل توأم مکان‌یابی و مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت‌دار (CLRP[۴]) با روش عدد صحیح مختلط استفاده کردند که پس از آزمایش محاسباتی کارایی الگوریتم پیشنهادی نشان داده‌شده است. جبل عاملی و قادری (۱۳۸۴) در پژوهشی به بررسی مسائل بزرگ جایابی-تخصیص پرداختند که برای حل آن از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر با دو روش جستجوی محلی پیوسته و گسسته بهره جستند.

رحمانیانی و همکاران (۲۰۱۲)، با ترکیب دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای حل مسئله تخصیص مکان‌یابی با پارامترهای غیرقطعی و با هدف کاهش هزینه-های جابه‌جایی مواد پرداختند. آن‌ها نتیجه را با CPLEX مقایسه و کارایی و اثربخشی این الگوریتم ترکیبی را نشان دادند. حسنی و همکاران (۲۰۱۵) علاوه بر بررسی طراحی چیدمان پویا در دوره‌های زمانی مختلف به بررسی سیستم حمل‌ونقل مواد و جریان پرداخته‌اند که برای حل آن از یک الگوریتم فرا ابتکاری کارا مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر و شبیه‌سازی تبرید استفاده کرده‌اند.

۲-۴- تحقیقات خارجی

پژوهش‌هایی که در مورد مسائل طراحی چیدمان صورت گرفته‌شده، بیش‌تر در تحقیقات خارجی قابل مشاهده است. همان‌طور که گفته‌شد، در این پژوش و بر اساس تحقیقات پیشین، برای منظم نمودن مسئله طراحی چیدمان را به چندین دسته، طبقه‌بندی شده‌اند که در ابتدای فصل به آن اشاره شد. مقالات و پژوهش‌های غیر ایرانی را می‌توان به تمامی دسته‌های ذکر شده، طبقه‌بندی نمود. در این قسمت با یک دید کلی می‌توان مشاهده نمود که این نوع پژوهش با چه روندی به سمت تحقیقاتی از نوع کار انجام‌شده در این مطالعه سیر کرده‌است. در ادامه تحقیقات از پایه تا کنون را مورد بررسی قرار گرفته شده است.

[4] Capacitated Location-Routing Problem (CLRP)

بررسی مسائل طراحی چیدمان کاملا به ویژگی‌های خاص سیستم تولیدی مورد مطالعه بستگی دارد. عوامل و مسائل مربوط به طراحی با ماهیت مسائل مورد بررسی متفاوت است، به‌ویژه: تنوع و حجم تولید، سیستم انتخابی جابه‌جایی مواد، جریان‌های مختلف احتمالی برای بخش‌ها، تعداد طبقاتی که می‌توان تجهیزات را روی آن‌ها جای داد، شکل تجهیزات و مکان‌های سوار کردن و رها کردن. با توجه به اهمیتشان، جزئیات آن‌ها بیان داشته می‌شود.

از آن زمان که اولین مدل طراحی پویای چیدمان توسط روزنبلات ارائه شد توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب نمود (روزنبلات، ۱۹۸۶). مدل اصلی باهدف ارائه مجموعه‌ای از طراحی چیدمان برای تمامی دوره‌های برنامه‌ریزی‌شده است به‌طوری‌که هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های چیدمان واحدها در همه دوره‌ها به حداقل ممکن برسد. مفروضات اولیه این مدل شامل افق برنامه‌ریزی ثابت و واحدهایی با اندازه و شکل برابر در هر دوره و در کل افق برنامه‌ریزی هست. مونترول و ونکاتاداری (۱۹۹۰) و لکسونن (۱۹۹۴) به بررسی مدل مسئله طراحی چیدمان پویا با فرض نابرابری اندازه واحدها در هر دوره پرداختند. دانکر و همکاران (۲۰۰۵) فرض نابرابری اندازه واحدها در هر دوره و احتمال تغییر اندازه واحدها در همه دوره‌ها را موردپژوهش قراردادند.

علاوه بر گسترش مدل مسئله طراحی چیدمان پویا روش‌های حل گوناگونی برای مقابله با این مسئله ارائه‌شده است. بالاکریشنان و چنگ (۱۹۹۸) همچنین در ادامه همکاری بالاکریشنان و چنگ (۲۰۰۶) و مسلمی پور و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی روش‌های حل موجود برای مسئله طراحی چیدمان پویا پرداختند. اولین بار توسط روزنبلات (۱۹۸۶) روش حلی بر اساس مدل برنامه‌ریزی (طراحی پویا) ارائه شد. محدودیت یافتن جواب بهینه این مدل زمانی آشکار شد که تعداد واحدها افزایش یافت. در این مدل اگر تعداد واحدها را با N و تعداد دوره‌ها را با t نشان دهیم، آنگاه $N!^{(t)}$ جواب مختلف به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم را برای یافتن راه‌حل بهینه باید محاسبه نماییم. برای مقابله با این مشکل، روزنبلات یک روش جستجوی ابتکاری را که شامل کرفت و روش بیش‌ترین تغییر در جهت بهبود تابع

هدف ، به‌منظور محدود نمودن تعداد بخش‌ها برای آزمون در هر مرحله ارائه داد (روزنبلات، ۱۹۸۶). باید خاطرنشان نمود که در این روش به‌هیچ‌عنوان دستیابی به جواب بهینه تضمین نمی‌شود (مک کندال و همکاران، ۲۰۰۶). اوربان (۱۹۹۳) مدل ابتکاری بیش‌ترین تغییر در جهت بهبود تابع هدف با عملکرد بهتری در مقایسه با مدل روزنبلات و البته بر اساس مدل روزنبلات را پیشنهاد داد.

علی‌رغم مدل‌های ابتکاری، روش‌های فرا ابتکاری برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا به کار گرفته‌شده است. کانوی و ونکاتارامانان (۱۹۹۴) و کاکو و مازولا (۱۹۹۷) الگوریتم ژنتیک و جستجوی تابو برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا بکار گرفتند. بالاکریشنان و همکاران (۲۰۰۰) به ارائه الگوریتم ژنتیک اثربخش‌تر از مدل‌های کانوی و ونکاتارامانان پرداختند. بایکازوقلو و گیندی (۲۰۰۱) روش شبیه‌سازی تبرید که عملکرد بهتری نسبت به روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک بالاکریشنان و همکاران دارد را ارائه دادند. بالاکریشنان و همکاران (۲۰۰۳) یک روش ترکیبی ژنتیک با عملکرد بهتر نسبت به روش شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی بایکازوقلو و گیندی را ارائه نمودند. ارل و همکاران (۲۰۰۳) روشی سه مرحله‌ای برای حل مدل مسئله طراحی چیدمان پویا بیان داشتند. در اولین گام از این روش مجموعه‌ای از راه‌حل‌های مناسب را تولید کرده و سپس در گام‌های دو و سه، به بهبود راه‌حل‌های تولیدشده با طراحی پویا و روش ابتکاری بیش‌ترین تغییر در جهت بهبود تابع هدف می‌پردازد. دانکر و همکاران (۲۰۰۵) به ارائه مدل ترکیبی بر اساس طراحی پویا و الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا با فرض نابرابری اندازه واحدها پرداخت. در این روش، با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک، مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها برای هر دوره تولیدشده و هریک از این جواب‌ها توسط طراحی پویا ارزشیابی می‌شوند. بایکازوقلو و همکاران (۲۰۰۶) از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان با در نظر گرفتن محدودیت بودجه‌بندی به حل مسئله طراحی چیدمان پویا پرداختند. علاوه بر این، شاهین و همکاران (۲۰۱۰) برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا با محدودیت بودجه، روش بهینه‌سازی تبرید را ارائه نمودند، به‌طوری‌که نسبت به سایر مسائل حل مسئله طراحی چیدمان پویا بزرگ‌تر با محدودیت بودجه جواب بهتری به دست آورد. مک کندال و همکاران (۲۰۰۶) الگوریتم

شبیه‌سازی تبرید با استراتژی نگاه به آینده/نگاه به گذشته که عملکرد بهتری نسبت به مدل عمومی شبیه‌سازی تبرید دارد را پیشنهاد نمودند. درنهایت کیا و همکاران (۲۰۱۴) به ارائه مدل الگوریتم ژنتیک مؤثر در حل مسائل طراحی چیدمان چندطبقه در سیستم تولید پویای سلولی پرداختند که آرایش آن به‌صورت سلولی و طراحی گروهی به‌طور همزمان است.

کالچرل-کوناک (۲۰۰۷) به دسته‌بندی مسائل طراحی چیدمان تسهیلات را به کلاس‌های پویا و تصادفی ازنقطه‌نظر عدم اطمینان و بررسی تمامی راه‌حل‌های موجود شامل دقت، ابتکاری و فرا ابتکاری، برای مسائل طراحی پویای چیدمان پرداخت. او همچنین به مطالعه روش‌های گوناگون برای مسئله طراحی چیدمان تصادفی پرداخت. دیرا و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی کارهای انجام‌شده در ادبیات تحقیق و تحلیل آن‌ها از جنبه‌های گوناگون پرداخت. سو ولیو (۲۰۰۸) به تجزیه‌وتحلیل روابط بین مسئله طراحی چیدمان ایستا و مسئله طراحی چیدمان پویا و مسئله طراحی مقاوم نمود. شاهین و تورکبی (۲۰۰۹) از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و فرض تابو لیست یک روش ترکیبی ابتکاری را گسترش دادند. آن‌ها نشان دادند که اثربخشی کار خود از الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و جستجوی ممنوعه بیش‌تر است. دونگ و همکاران (۲۰۰۹) احتمال تغییر برخی از واحدها را بیشتر از افق برنامه‌ریزی در نظر گرفتند به‌طوری‌که بعضی از واحدها را از مجموعه واحدها می‌توان اضافه یا کم کرد. آن‌ها همچنین مدل به‌دست‌آمده را برای واحدها با اندازه‌های نابرابر محاسبه نمودند. نخست، آن را به مدل شبکه‌ای تبدیل کردند، سپس کوتاه‌ترین مسیر در شبکه که همان کمترین هزینه است، به‌عنوان جواب مدل شبیه‌سازی تبرید انتخاب نمودند. چن و روجرز (۲۰۰۹) اهداف کیفی و کمی را برای مسئله طراحی چیدمان پویا در نظر گرفتند. هدف کیفی اشاره به حداکثر رساندن نرخ نزدیکی واحدها دارد درحالی‌که نگرانی هدف کمی به حداقل رساندن هزینه‌های اساسی فواصل است. مک کندال و هاکوبیان (۲۰۱۰) یک فن حل سه مرحله‌ای برای مسئله طراحی چیدمان پویا با فرض نابرابری اندازه واحدها پیشنهاد دادند. در مراحل اول و دوم از فن جستجوی محدوده، جوابی برای

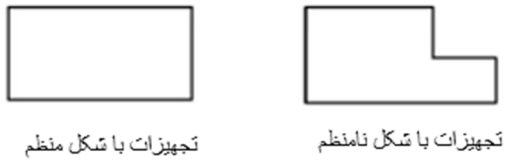
مسئله طراحی چیدمان پویا فراهم می‌کند. در گام سوم، مدل جستجوی ممنوعه به بهبود نتایج می‌پردازد. حسنی و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی برای مسئله طراحی چیدمان پویا ارائه نموده‌اند که از کاربرد بالایی در شرایط دنیای واقعی برخوردار است.

معمولا طراحی چیدمان به تنوع محصولات و حجم تولید بستگی دارد. چهار نوع سازماندهی وجود دارد، با عنوان طراحی محصول ثابت، طراحی فرایندی، طراحی تولید و طراحی سلولی (دیلوورث، ۱۹۹۶). در طراحی محصول ثابت، تولید معمولا حول تجهیزات تولیدی می‌گردد (دستگاه‌ها، کارگران و غیره)؛ در این نوع طراحی، محصول جابه‌جا نمی‌شود، بلکه منابع مختلف برای اجرای عملیات ساخت به سمت محصول می‌برند. این نوع طراحی چیدمان در صنایع ساخت محصولات با اندازه بزرگ رایج است، مانند ساخت کشتی و هواپیما. طراحی فرایندی گروهی از تجهیزات با عملکرد یکسان (منابع مشابه) هستند. این سازمان معمولا زمانی مناسب هستند که طیف گسترده‌ای از محصول برای تولید وجود دارد. طراحی تولید برای سیستم‌هایی با حجم بالای تولید و تنوع کم مناسب است. در طراحی سلولی ماشین‌ها در سلول‌ها با یک نوع فرایند دسته‌بندی می‌شوند. همچنین لازم است این سلول‌ها را در سطح کارخانه قرار بگیرند. بنابراین یکی از مسائلی که معمولا مورد توجه قرار می‌گیرد، مسائل طراحی تجهیزات بین سلولی است که در مقالات (پورث، ۱۹۹۲، ch3 و همان و ومادات، ۱۹۹۲) دیده می‌شود. در این زمینه مسلمی پور (۱۳۹۴)، برای حل مسئله طراحی چیدمان درون سلولی پویا در محیط تصادفی سیستم‌های تولید سلولی(CMS[5])، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده نمودند که تقاضای محصولات را با فرض توزیع نرمال مدل‌سازی کرده‌اند.

اشکال تجهیزات را اغلب به دو حالت متفاوت مشخص می‌کنند (شکل۲-۱): منظم، که به‌عنوان‌مثال به‌طور کلی مستطیل شکل (کیم و کیم، ۲۰۰۰) و نامنظم، به‌عنوان‌مثال، به‌طور کلی چند ضلعی با حداقل یک زاویه ۲۷۰ درجه درنظر می‌گیرند (لی و کیم،۲۰۰۰). همان‌طور که توسط چیف، پریرا

[5] Cellular Manufacturing system (CMS)

بارتو، و موسکاتو (۱۹۹۸) ذکر شد، یک دستگاه می‌تواند با طول ثابت (L_i) و عرض ثابت (W_i) تعریف شود. که به این نوع بلوک‌های ثابت و مستحکم شده می‌گویند. حتی می‌توان تجهیزات را بر اساس مساحتش تعریف کرد، که نسبت ابعاد آن: $a_i = L_i/W_i$، مقدار محدودیت بالایی a_{iu} و مقدار محدودیت پایینی a_{il} است به‌طوری که $a_{il} \le a_i \le a_{iu}$. ملر و همکاران (۱۹۹۹) نیز از نسبت ابعاد استفاده کردند. اگر $a_i=a_{il}=a_{iu}$ باشد همان مورد بلوک‌های با شکل‌های ثابت خواهد بود (چیف و همکاران، ۱۹۹۸).

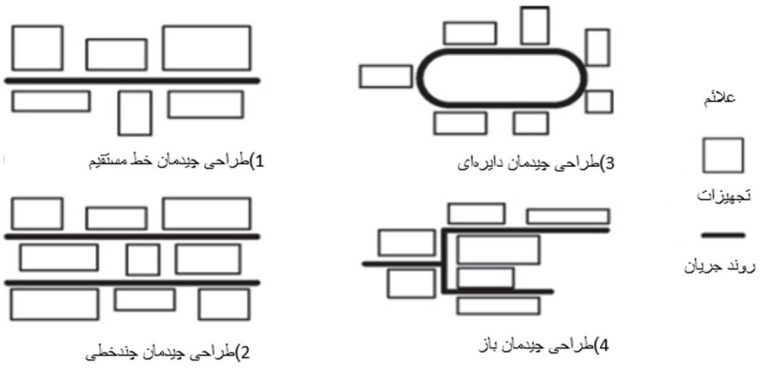


شکل ۲-۱: تجهیزات با شکل‌های منظم و نامنظم

دانکر و همکاران (۲۰۰۵) با ارائه الگوریتم ژنتیک با ادغام برنامه‌ریزی پویا راه حلی برای مسئله مکان-یابی تجهیزات پویا با بررسی فرمول تخصیص درجه دوم یافته است که در این پژوهش علاوه بر نابرابر بودن اندازه بخش‌ها مکان‌یابی از دوره‌ای به دوره دیگر متفاوت می‌باشد.

یک سیستم جابه‌جایی مواد از تحویل مواد به محل مناسب اطمینان می‌یابد. تجهیزات جابه‌جایی مواد می‌تواند شامل نوار نقاله (تسمه، غلتک، چرخ)، وسایل نقلیه خودکار هدایت کننده (AGV)، روبات‌ها و غیره باشد(البار،۲۰۰۴). ویتایاساک و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از روش ژنتیک به حل مسئله طراحی چیدمان در سیستم‌های تولیدی با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های جابه‌جایی مواد پرداخت. آن‌ها الگوهای مختلف جریان مواد در محیط‌های تولیدی به‌صورت طراحی کارگاهی، طراحی جریان خطی چند محصولی، طراحی چند خطی، نیم دایره و حلقه‌ای را مورد بررسی قرار داد. تامپکینز و همکاران (۱۹۹۶) تخمین زدند که ۲۰٪-۵۰٪ هزینه‌های تولید به جابه‌جایی مواد در بین بخش‌ها مربوط می‌شود و در صورت وجود یک چیدمان مناسب این هزینه جابه‌جایی ممکن است بین

۱۰٪-۳۰٪ کاهش یابد. وقتی با یک سیستم حمل‌ونقل مواد سروکار داریم، مسئله اصلی، چیدمان تجهیزات در راستای مسیر حمل‌ونقل مواد می‌باشد. دو مسئله طراحی وابسته شامل: یافتن طراحی چیدمان و انتخاب تجهیزات جابه‌جایی مواد. نوع دستگاه جابه‌جایی مواد تعیین‌کننده الگوی مورد استفاده برای طراحی چیدمان ماشین‌آلات است (دیویس و پیروال، ۲۰۰۰؛ هراگو و کیوسیاک، ۱۹۸۸). کو، وو، و ریزمن (۱۹۸۹) همچنین به اثرات طراحی چیدمان با توجه به انتخاب دستگاه جابه-جایی مواد اشاره کردند. ازآنجاکه حل همزمان این دو مسئله دشوار است لذا آن‌ها را به ترتیب حل می‌کنند(حنسن،۱۹۹۴). در بین نوع جابه‌جایی مواد چندین مدل چیدمان تجهیزات را می‌توان تعیین کرد (شکل۲-۲) که شامل: طراحی خط مستقیم، طراحی چند خطی، طراحی دایره‌ای، و طراحی باز(یانگ، پیترز و تو،۲۰۰۵).



شکل۲-۲ : طراحی چیدمان با درنظر گرفتن ابزار جابه‌جایی مواد(یانگ، پیترز و تو، ۲۰۰۵)

مسئله طراحی خط مستقیم زمانی اتفاق می‌افتد که تجهیزات باید در یک خط قرار بگیرند (دیجیلاب و گورگند، ۲۰۰۱؛ فیکو، بریزونیک و بالیک، ۲۰۰۴؛ کیم، کیم و بابی، ۱۹۹۶؛ کومار، حاجینیکولا و لین،۱۹۹۵؛ داتا و همکاران، ۲۰۱۱؛ او یانگ و اوتامیما، ۲۰۱۳؛ کلر و بوشر، ۲۰۱۵؛ روبیو سانچز و همکاران، ۲۰۱۶؛). از این موقعیت پایه می‌توان چندین شکل را استخراج نمود، مانند، خط مستقیم، نیم دایره و U شکل (حسن، ۱۹۹۴) مسئله طراحی دایره‌ای معمولا برای جایگذاری m دستگاه در

مکان‌های $1,\ldots,m$ در یک شبکه حلقه‌ای بسته، که حرکت بخش‌ها در یک جهت هستند، استفاده می‌شود (چایب، ۲۰۰۲؛ چنگ و جین، ۱۹۹۸؛ چنگ، جین و توساوا، ۱۹۹۶؛ نیرکو، ۲۰۰۶؛ پاتس و وایتهد، ۲۰۰۱؛ کریشنان و همکاران، ۲۰۱۲؛ ساراوانان و کومار، ۲۰۱۳؛). طراحی دایره‌ای ترکیبی از ایستگاه‌های بارگذاری/عدم بارگذاری (L/U) است به‌طوری که مواد به بخش ۱ وارد و از بخش m خارج می‌شود. طراحی چند ردیفی شامل چند ردیف از تجهیزات است (حسن،۱۹۹۴). حرکت بین تجهیزات بخش‌ها ممکن است از یک ردیف همسان و یا ردیف‌های متفاوت باشد (چن، وانگ و چن، ۲۰۰۱؛ فیکو و همکاران، ۲۰۰۴؛ کیم و همکاران، ۱۹۹۶؛ کیا و همکاران، ۲۰۱۲؛ هونگرلندر و آنجوز، ۲۰۱۵). طراحی آزاد برای زمانی مناسب است که محدودیت و لزومی برای وجود چیدمان خاصی مثل خط مستقیم یا دایره‌ای نباشد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۵). البا‌ز (۲۰۰۴)، به بررسی چندین حالت از سیستم‌های جابه‌جایی (خطی، چند خطی، نیم دایره و دایره) می‌پردازد.

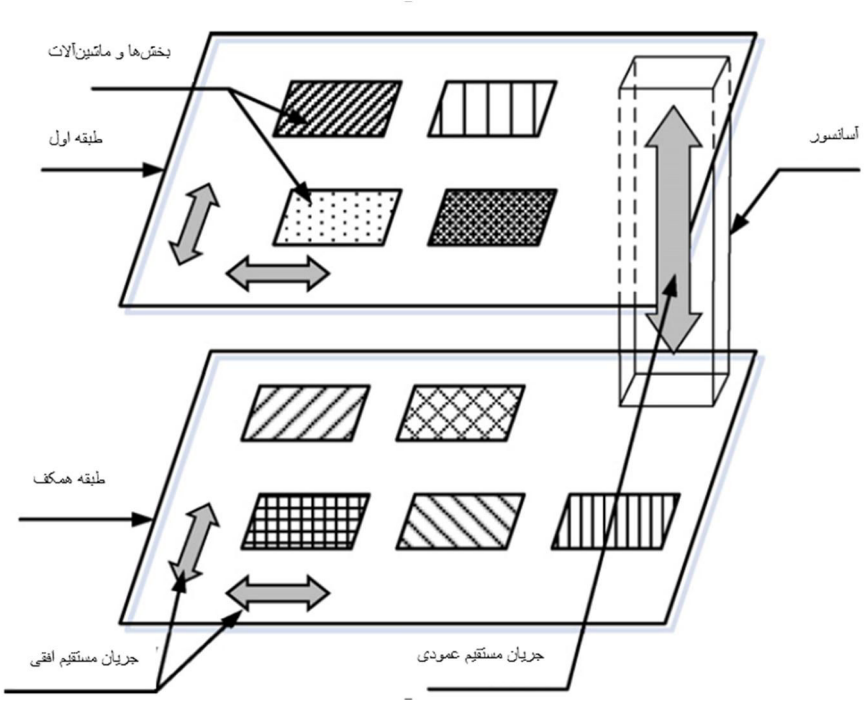
چان و ملمبرگ (۲۰۱۰) برای طراحی چیدمان مراکز تولیدی با بخش‌های مختلف و با اندازه‌های نابرابر را که از ابزار حمل‌ونقل مواد بین این بخش‌ها استفاده می‌شود و نیز تقاضا در شرایط احتمالی است، از روش شبیه‌سازی مونت کارلو (MCS) استفاده کرده است. در این روش حداقل هزینه جابه-جایی مواد با جستجوی راه‌حل‌های قوی حاصل می‌گردد. در این روش برای حل طراحی چیدمان خطی است. پالوبیکیز (۲۰۱۵)، در بررسی طراحی چیدمان تجهیزات خط مستقیم از الگوریتم VNS درجهت یافتن بهترین جواب در کوتاه ترین زمان ممکن پرداخت. گوان و لین (۲۰۱۶)، با ترکیب الگوریتم‌های جستجوی متغیر همسایگی ترکیبی و بهنیه‌سازی کلونی مورچگان، به حل مسئله طراحی چیدمان با خط مستقیم می‌پردازند.

امروزه، برای ساخت کارخانه در یک منطقه شهری، عرضه زمین به‌طور کلی کم و گران قیمت است. وجود محدودیت در بعد افقی نیاز به ساخت کارخانه در بعد عمودی را ایجاد کرده‌است. که این باعث تخصیص تجهیزات در طبقات مختلف می‌گردد (شکل۲-۳). یعنی جریان و انتقال مواد می‌تواند هم

به‌صورت افقی و در یک طبقه باشد و هم عمودی و بین طبقات که برای این منظور از وسایل نقلیه مانند آساسانسور استفاده کرد. ازآنجاکه موقعیت هریک از تجهیزات باید هم در طبقه خودش و هم طبقات دیگر را نظر گرفت این مسئله در حیطه مسائل طراحی چیدمان چند طبقه‌ای است (موچها ر و هراگو، ۱۹۹۸).

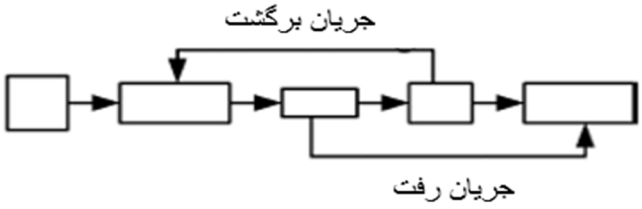
جانسون (۱۹۸۲) اولین کسی است که به مسئله طراحی چیدمان چند طبقه‌ای پرداخت. سپس دیگر محققان به این موضوع و جابه‌جایی بین دو طبقه پرداختند (بوزر، میلر و ارلبچر، ۱۹۹۴؛ میلر و بوزر، ۱۹۹۶، ۱۹۹۷). از آساسانسور به‌عنوان سیستم جابه‌جایی مواد استفاده شود (لی، روو و جیونگ، ۲۰۰۵). تعداد و موقعیتشان هردو مشخص باشد (لی و همکاران.،۲۰۰۵) یا با بهینه‌سازی تعیین شوند (متسوزوکی، تاکاشی و یوشیموتو ۱۹۹۹). که در پژوهش متسوزوکی و همکاران (۱۹۹۹) ظرفیت آساسانسورها را به‌عنوان محدودیت در نظر گرفتند. تعداد طبقات می‌تواند مشخص باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۵) و یا با توجه به مساحت هر طبقه و تعداد و ابعاد تجهیزات تعیین شود (پاتسیاتزیس و پاپاجیورجیو، ۲۰۰۲).

کیا و همکاران (۲۰۱۴)، برای حل مسئله طراحی چیدمان چند طبقه‌ای در سیستم‌های تولیدی سلولی در محیط‌های پویا، به ارائه مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح با الگوریتم کارای ژنتیک پرداختند. از سوی دیگر چی و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی مکان‌یابی چند طبقه‌ای تجهیزات را با هدف بهترین جایابی و حداقل سازی هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین تجهیزات را با روش محدودیت e بررسی کردند که با می‌تواند برای مسائل با اندازه‌های متوسط مناسب باشد. احمدی و همکاران (۲۰۱۷)، فرمول و روش‌های حل برای مسئله طراحی چیدمان تجهیزات چند طبقه‌ای را بررسی و آن-ها را در مقاله خود دسته‌بندی نمودند.



شکل ۲-۳ : طراحی چندطبقه (دایارا و همکاران، ۲۰۰۷)

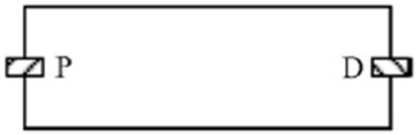
دو حرکت خاص جریان رفت و برگشت زمانی رخ می‌دهند که طراحی چیدمان خطی باشد(شکل۲-۴). جریان برگشت، به حرکتی گفته می‌شود که قطعه از یک ماشین به ماشین دیگر در توالی عملیات بازگردد (براگلیا، ۱۹۹۶؛ کوویلس و چیانگ، ۱۹۹۲؛ ژوو، ۱۹۹۸). تعداد این حرکات باید به حداقل ممکن برسد. ژو (۱۹۹۸) به این مسئله را، مسئله ساختار خط تولید (PLFP) نام گذارد، که سفارشات (جزئی و کلی) ماشین‌آلات به حداقل مجموع وزنی برسد.



شکل ۲-۴ :جریان برگشت و جریان رفت

جریان رفت زمانی اتفاق می‌افتد که یک قطعه برای تکمیل چند تجهیز را در خط تولید رد کند و به توالی حرکت نکند (چن و همکاران، ۲۰۰۱). حسن (۱۹۹۴) به این نکته توجه داشت که بیشتر به روند برگشت به عقب توجه می‌شود و نه به جریان رفت. مک کندال و همکاران (۲۰۰۶)، از الگوریتم ترکیبی SA با توسعه مسئله طراحی چیدمان پویا و SA با استراتژی جریان رفت و برگشتی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین بخش‌ها و هزینه بازآرایی برای اثربخشی پاسخ‌گویی سریع به تقاضای بازار بهره جستند.

موقعیت‌های دریافت و ارسال به معنی تعیین محل قرارگیری ورودی و خروجی دستگاه است. یعنی از کجا آغاز و به کجا ختم می‌گردد (P/D) (کیم و کیم، ۲۰۰۰). برخی پژوهش‌ها در جهت کاهش پیچیدگی‌ها صورت گرفته‌شده است (داس، ۱۹۹۳؛ راجاسخاران، پیترز و یانگ، ۱۹۹۸؛ ولگاما و گیبسون، ۱۹۹۳). در شکل ۲-۵ محل ورودی و خروجی را برای یک دستگاه منظم، نشان داده‌ایم.

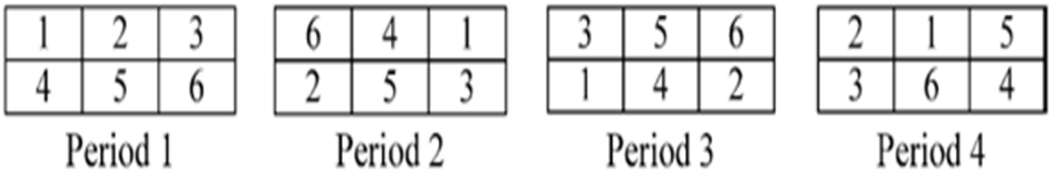


شکل ۲-۵ : نمونه‌ای از نقاط **P/D** یک دستگاه برای یک شکل منظم

می‌بینیم که ویژگی‌های مختلف کارگاه‌ها موجب طراحی‌های متفاوت می‌شود. علاوه براین، می‌دانیم که درحال حاضر کارخانه‌های تولیدی باید توانایی پاسخ سریع به تغییرات در تقاضا، حجم تولید و محصول ترکیبی را داشته‌باشند. پیج (۱۹۹۱) بیان داشت که به‌طور میانگین ۴۰٪ فروش شرکت‌ها مربوط به محصولات جدید است. با این‌حال، تغییر در بازده محصول ترکیبی منجربه تغییر در جریان تولید و در نتیجه بر طراحی چیدمان اثر می‌گذارد. گوپتا و سیف‌الدینی (۱۹۹۰) بیان داشتند که ۱/۳ شرکت‌های امریکایی دستخوش سازماندهی مجدد اساسی در تجهیزات تولید هر ۲ سال می‌شوند. تعداد زیادی از نویسندگان هنگام طراحی چیدمان به این مهم پرداخته‌اند. بسیاری از مقالات به مسئله

طراحی چیدمان به‌عنوان یک مسئله ایستا توجه کرده‌اند؛ به‌بیان‌دیگر در این حالت فرض می‌شود که اطلاعات کارخانه و هرآنچه که به تولید مربوط است در یک دوره طولانی مدت یکسان باقی می‌ماند. اخیرا به مسئله طراحی پویای چیدمان توجه بیش‌تری شده است. تاملین و زوئین (۱۹۹۳)، چیدمان‌های دینامیکی به دو گونه متفاوت ایجاد گردیده‌اند. نخست مدل‌های کاربردی است که به صورت ابزاری مفید به کاربر کمک می‌کنند تا با امکاناتی که در اختیار او قرار می دهند به انجام چیدمان بپردازد. از این سری MovePlan با ارتباط با برنامه زمان بندی و به دست آوردن برنامه حضور تسهیلات و امکانات گرافیکی، برنامه‌ای مفید برای انجام چیدمان دینامیکی است. مسئله طراحی چیدمان امکان تغییرات در جریان جابه‌جایی مواد در دوره‌های مختلف را می‌دهد (بالاکریشنان، چنگ، کانوی و لیو، ۲۰۰۳؛ براگلیا، زانونی و زاوانلا، ۲۰۰۳؛ کوولیس، کوراواروالا و گبتبارز، ۱۹۹۲؛ منگ، هراگو و زیجم، ۲۰۰۴). در این حالت افق زمانی معمولا هفته‌ای، ماهیانه یا سالیانه تقسیم می‌شود. برای هر دوره، اطلاعات جریان کار تقریبا ثابت باقی می‌ماند. طراحی چیدمان پویا شامل مجموعه‌ای از طراحی‌ها است، که هر طراحی مربوط به یک دوره است.

شکل ۲-۶ آرایش شش موقعیت یکسان در چهار دوره در افق برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. هدف از طراحی چیدمان در هر دوره و در افق برنامه‌ریزی کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های جابه‌جایی مواد، برای همه دوره‌ها، و مجموع هزینه‌های بازآرایی بین دوره‌ها است (بالاکریشنان، چنگ، کانوی و همکاران.، ۲۰۰۳؛ بایکوزوقلو، دریلی و سابونکو، ۲۰۰۶). هزینه‌های بازآرایی زمانی باید درنظر گرفته شود که نیاز به جابه‌جایی تجهیزات باشد (بایکوزوقلو و گیندی، ۲۰۰۱).



شکل ۲-۶: طراحی چیدمان در چهار دوره

یانگ و برت (۱۹۹۸)، به پژوهش در رابطه با سیستم‌های تولیدی منعطف پویا در شرایط تقاضای غیرقطعی و تجهیزات با مساحت‌های نابرابر می‌پردازند. اما در اینجا تنها در یک افق برنامه‌ریزی به بررسی مسئله طراحی چیدمان ماشین‌آلات می‌پردازد. هزینه‌های جابه‌جایی بدون درنظر گرفتن محدودیت بودجه و به‌صورت تک هدفه بررسی می‌شود. پوروزیری و پیروال (۲۰۱۶)، با دیدی متفاوت نسبت به بیشتر محققین که برای حل مسئله مکان‌یابی تجهیزات پویا دارند، به این مهم می‌پردازند. آن‌ها بجای تمرکز بر کاهش هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های بازآرایی، به تعداد فرآیند در حال اجرا که وابسته به پدیده‌ی صف و واحدهای موجود برای حمل‌ونقل است، توجه دارند. آن‌ها برای حل این مسئله از نوعی SA کمک گرفتند.

حالت ساده مسائل چیدمان، در قالب QAP هستند یعنی زمانی که مساحت همه ی دپارتمآن‌ها یکسان باشد. این مسائل از لحاظ پیچیدگی محاسباتی جزو مسائل NP-complete می باشند (آنجوس و همکارش ۲۰۰۶) با توجه به این که مسائل با مساحت نابرابر حالت کلی از QAP هستند، مسلما آن‌ها نیز جزو NP-completeها خواهند بود. در نتیجه برای حل مسائل با سایز بزرگ (تعداد دپارتمان زیاد)، روش‌هایی ابتکاری (شامل ایجادی و بهبودی) مانند آلدپ و کرافت، و فرا ابتکاری از جمله ژنتیک ارائه شده که لزوما جواب‌های خوبی هم ارائه نمی‌کنند. برای به دست آوردن جواب‌های دقیق نیز، در مسائل کوچک، روش‌های شاخه و کران و برنامه‌ریزی پویا مورد استفاده قرارگرفته اند(بازارا، ۱۹۷۵)،

با توجه به ویژگی کارگاه و ایستا یا پویا بودن سیستم، چندین روش برای فرموله کردن مسائل ریاضی و حل مسئله طراحی چیدمان وجود دارد. این فرمول مسائل طراحی چیدمان ایستا یا پویا را می‌تواند بر اساس مدل‌های مختلفی بنویسد که پیچیدگی روابط بین عناصر مختلف درگیر در یک مسئله طراحی بیان شود. این مدل‌ها برطبق اصول مختلف، شامل نظریه گراف (کیم و کیم، ۱۹۹۵؛ لیونگ؛ ۱۹۹۲؛ پروث، ۱۹۹۲) یا شبکه عصبی (تسوکیا، باریتکار و تیکفوجی، ۱۹۹۶) باشد. این مدل‌ها راه-

حل‌هایی را برای مسئله طراحی چیدمان مطرح می‌کنند که بر اساس تحقیقات بهینه‌سازی تک هدفه یا چند هدفه است. بسته به شیوه‌ای که مسئله فرموله شده، گسسته یا پیوسته، می‌توان از روش‌های رایج در این رابطه یعنی مسئله درجه دوم (QAP) یا برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده کرد. البته روش فازی نیز برای حل مسائل طراحی چیدمان مؤثر است. بالاکریشنان و همکاران (۱۹۹۲)، از روش ابتکاری برای حل مسئله چیدمان با مرزهای محدود استفاده کردند، که برای حل آن نیاز به فرمول‌نویسی پویا نیست. این الگوریتم پیشنهادی موجب کاهش حجم مسئله و نهایتاً سرعت حل می-شود.

طراحی چیدمان گاها به‌صورت گسسته است (شکل ۲-۷). در چنین موردی، مسئله بهینه یابی را با عنوان QAP[6] خطاب می‌کنند. سابت کارخانه را به بلوک‌های مستطیلی و با مساحت‌ها و شکل یکسان تقسم می‌کنند و هر بلوک را به یک دستگاه تخصیص می‌دهند (فروگریو، لامبیاس و نگری، ۲۰۰۶). اگر تجهیزات مساحت‌های نابرابری داشته باشند، آن‌ها را می‌توان در بلوک‌های متفاوتی قرار داد (وانگ، هو و کو، ۲۰۰۵).

فرمول‌های گسسته به‌عنوان‌مثال توسط کوویلس و چیانگ (۱۹۹۲) و براگلیا (۱۹۹۶) برای حداقل کردن جریان برگشت در طراحی خط مستقیم پیشنهاد می‌شود. همان نوع روش توسط افنتاکیس (۱۹۸۹) برای طراحی چیدمان حلقه‌ای استفاده می‌شود، به‌طوری که هزینه ازدحام ترافیک حداقل گردد، به‌عنوان‌مثال تعداد دفعاتی که یک قطعه حلقه را طی می‌کند تا همه عملیات لازم بر روی قطعه انجام شود. به‌طور معمول دو نوع روش اندازه‌گیری ازداحام برای طراحی چیدمان حلقه‌ای وجود دارد: حداقل-مجموع و حداقل-حداکثر. روش حداقل-مجموع برای کمینه‌سازی کل ازدحام در همه بخش‌ها است، درحالی‌که روش حداقل-حداکثر برای کمینه‌سازی بیشترین ازدحام در بخش‌های مشابه است (چنگ و جین، ۱۹۹۸؛ چنگ و همکاران.، ۱۹۹۶؛ نیرچو، ۲۰۰۶).

[6] Quadratic assignment problem (QAP)

معمولا روش گسسته برای مسائل طراحی چیدمان پویا کاربرد دارد. مسائلی که به تجهیزات با اندازه-های برابر مربوط است (بایکوزوقلو و گیندی، ۲۰۰۱؛ لکسونن و انسکور، ۱۹۹۳) و باید در رابطه محدودیت‌ها اطمینان یافت که هر موقعیت در هر دوره تنها به یک دستگاه و دقیقا هر دستگاه در هر دوره فقط به یک موقعیت اختصاص دارد (بایکوزوقلو و گیندی،۲۰۰۱؛ مک کندال، شانگ و کوپوسومی، ۲۰۰۶). محدودیت بودجه را نیز برای پیکربندی دوباره تجهیزات در طبقه همکف کارخانه می‌توان درنظر گرفت (بالاکریشنان، روبرت جیکوبز و ونکاتارامنان، ۱۹۹۲؛ بایکوزوقلو و همکاران.، ۲۰۰۶). درواقع هزینه‌های بازآرایی نباید بیش‌تر از حد معینی از بودجه تجاوز کند.

روش گسسته برای تعیین محل دقیق تجهیزات در سایت کارخانه مناسب نیست و نمی‌توان برای محدودیت‌های خاص با جهت‌گیری موقعیت ورود و خروج تجهیزات یا تعیین فاصله بین دستگاه‌ها از این روش استفاده کرد. در چنین موقعیتی استفاده از روش پیوسته مناسب‌تر است (داس، ۱۹۹۳؛ دانکر، رادونسب و وستکامپرا، ۲۰۰۵؛ لکسونن، ۱۹۹۷).

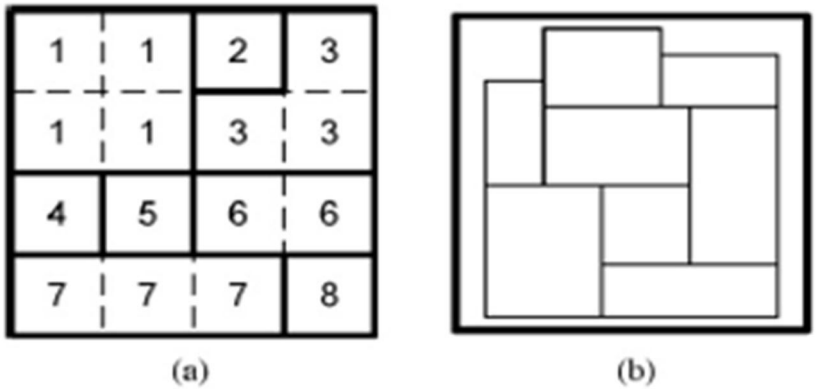
در روش فرمول پیوسته معمولا از مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط کمک گرفته می‌شود که در شکل ۲-۷ قسمت a نشان داده‌شده است (داس، ۱۹۹۳). همه تجهیزات در هرجایی از سایت کارخانه می‌توانند قرار گیرند ولی نباید همپوشانی داشته باشند (داس، ۱۹۹۳؛ دانکر و همکاران.، ۲۰۰۵؛ میلر و همکاران.، ۱۹۹۹). بوزر و ملر (۱۹۹۷)، برای حل مسئله طراحی چیدمان در مدل‌سازی QAP از روش EDIST[۷] (مبتنی بر فاصله مورد انتظار) بین دو بخش به‌عنوان جایگزین روش CTC[۸] (مبتنی بر مرکز به مرکز) برای افزایش انعطاف‌پذیری در اشکال بخش‌ها به روش پیوسته بهینه‌سازی کردند. این روش تنها با در نظر گرفتن فاصله بین دو بخش هزینه‌ها را تقلیل می‌دهند، این در حالی است که دوره‌های زمانی مختلف را درنظر نگرفته اند و مقدار بودجه سازمان در محدودیت‌ها وجود ندارد.

[7] expected distance(EDIST)
[8] centroid-to-centroid (CTC)

تجهیزات در سایت کارخانه یا از با روش مقدار میانی (مرکز ثقل) (x_i,y_i)، نصف طول l_i و نصف عرض w_i در موقعیت خود قرار می‌گیرند و یا از روش گوشه چپ پایینی، طول L_i و عرض W_i تجهیزات.

$$D_{ij}((x_i,y_i) , (x_j,y_j))= |x_i-x_j| + |y_i-y_j|$$

نقاط دریافت و ارسال می‌تواند باعث ایجاد محدودیت در فرمول مسئله طراحی چیدمان شود (کیم و کیم، ۲۰۰۰؛ ولگلمل و گیبسون، ۱۹۹۳؛ یانگ و همکاران.، ۲۰۰۵). در این مورد، فاصله طی شده توسط یک قطعه از دستگاه i درمحل دریافت تا دستگاه j محل ارسال را محاسبه می‌کنند (کیم وکیم،۲۰۰۰) معادله بالا. در تعیین بهترین محل دریافت و ارسال P/D نیز کار شده است (چیتراتاناوات و نوبل (۱۹۹۹)؛ کیم و کیم (۱۹۹۹)؛ و آیلو، اینی و کالانته (۲۰۰۲).



شکل ۲-۷ : نمایش طراحی چیدمان گسسته و پیوسته

در بسیاری از موارد، اطلاعات مربوط به مسائل طراحی چیدمان دقیق نیستند. روش‌های تصادفی مانند شبکه صف (منگ و همکاران.، ۲۰۰۴) کم‌تر استفاده می‌شود. لذا از منطق فازی برای حل مسائل با عدم قطعیت ویا عدم اطمینان استفاده می‌کنند (ایوانز، ویلهلم و کارورویکی, ۱۹۸۷؛ گروبلنی، ۱۹۸۷a؛رووت و واکشیت، ۱۹۹۱).

ایوانز و همکاران (۱۹۸۷) به بررسی تخصیص تجهیزات با مساحت‌های نابرابر در کارخانه پرداختند. آن‌ها به بیان روابط بین هر دو زوج دستگاه توسط روابط فازی و به توصیف میزان نزدیکی و اهمیتشان پرداختند. این روابط به تحلیل‌گر میزان اهمیت موقعیت قرارگیری دستگاه ها را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. محقیقین فرمول فازی را برای مسائل با متغیرهای زبانی و روش هیریستیک (اکتشافی) پیشنهاد می‌کنند. گروبلنی (a۱۹۸۷، b۱۹۸۷) این مسئله را با جایگذاری n دستگاه در n موقعیت ثابت تعیین و هدف حداقل کردن کل هزینه‌های جابه‌جایی مواد است. اطلاعات مؤثر در طراحی چیدمان، شامل نزدیک‌ترین زمان اتصال و میزان ازداحام را با روش فازی و مدل زبانی و مفاهیم فازی به دست می‌آیند. روش هیرستیک، که بر اساس منطق فازی دوتایی است، برای انتخاب و تعیین مکان تجهیزات در موقعیت‌های موجود توسعه داده‌شده است. برخی از روش‌های اساسی نیز توسط راوت و راکشیت (۱۹۹۱) استفاده‌شده، که بهترین آرایش تجهیزات در سایت کارخانه را بر اساس ویژگی‌های آن‌ها مانند روابط داخلی مطرح شده است و با متغیرهای زبانی تعیین‌شده‌اند. جین، آیدا و چنگ (۱۹۹۵)، مسئله طراحی چیدمان چندهدفه‌ی چند ردیفه با مساحت‌های نابرابر را مطرح کردند. آن‌ها علاقه‌مند به شرایطی هستند که امکان تعریف دقیق وجود ندارد، بنابراین به‌طور فازی تعریف می‌شود. در مطالعات دویر و میر (۱۹۹۶)، که به بررسی مسئله طراحی چیدمان تجهیزات گسسته پرداختند، مقدار گردش قطعات بین تجهیزات، مقدار ارتباطات بین تجهیزات (جریان اطلاعات) و تعداد تجهیزات جابه‌جایی مواد مورد استفاده در حمل قطعات بین تجهیزات را به‌عنوان عوامل فازی درنظر گرفتند. نویسندگان نمودار فعالیت رابطه (ARC) را بر اساس نظر خبرگان برای تعیین روابط بین هر جفت تجهیزات استفاده کردند. از ARC در روش هیروستیک کرولپ (CORELAP) برای تعیین بهترین مکان تجهیزات استفاده می‌شود. ایلو و انی (۲۰۰۱) بیان داشتند که تقاضای بازار و اطلاعات نامشخص محصول را می‌توان به‌صورت اعداد فازی تعریف کرد. آن‌ها در طراحی خط مستقیم و در شرایطی که ظرفیت تولید در هر بخش محدود است، کل هزینه جابه‌جایی مواد را حداقل نمودند. دب و بهاتاچاریا (۲۰۰۵) برای قرار دادن تجهیزات با درنظر گرفتن نقاط

دریافتی و ارسالی برنامه‌ریزی پیوسته، هزینه کل جابه‌جایی مواد را کمینه کردند. موقعیت تجهیزات بستگی به عوامل زیر دارد: جریان کارکنان، روابط نظارتی، روابط محیط، و روابط اطلاعات، که امتیازبندی آن‌ها بر مبنای متغیرهای زبانی است (به‌عنوان‌مثال زیاد، متوسط، کم). نویسندگان به گسترش یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فازی برمبنای مجموعه‌ای از قوانین فازی if-then (اگر و آنگاه) پرداختند. ایجاد یک روش هیروستیک برای تعیین محل قرار گیری تجهیزات در سایت کارخانه استفاده می‌شود

در بیش‌تر مقالات مربوط به مسائل طراحی چیدمان، هدف اصلی کمینه کردن تابع جابه‌جایی بخش-های مختلف است (هزینه کل جابه‌جایی مواد، زمان جابه‌جایی، فاصله جابه‌جایی و غیره). برای واقعی‌تر شدن مسئله پژوهشگران به بررسی چندین هدف می‌پردازند(ناگار و همکاران، ۱۹۹۵). در حیطه مسائل مکان‌یابی تسهیلات، مقالات بسیاری از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور دستیابی به بهترین جواب کمک گرفته‌اند. به‌عنوان‌مثال، دویری و مییر (۱۹۹۶) جریان جابه‌جایی مواد و جریان تجهیزات و جریان اطلاعات را کمینه کردند. بیش‌تر نویسندگان چندین هدف متفاوت را با یکدیگر ترکیب و توسط فرآیند تحلیل سلسه‌مراتبی (AHP) به یک هدف (هارمونسکی و توثیرو، ۱۹۹۲؛ یانگ و کو، ۲۰۰۳) ویا با استفاده از ترکیب خطی اهداف مختلف را به یک هدف (چن و شا، ۲۰۰۵) تبدیل می‌کنند. برخی از پژوهشگران از روش پارتو برای ایجاد یک مجموعه راه‌حل‌های غیرمسلط استفاده می‌کنند. ایلو، اینی و گالانته (۲۰۰۶) به بررسی مسئله طراحی چیدمان با درنظر گرفتن حداقل هزینه حمل‌ونقل و حداکثر تابع مجاورت (ارزیابی درخواست نزدیک شدن دو بخش) پرداخته‌اند. سپس مجموعه‌ای از راه‌حل‌های غیرمسلط مشخص و بهترین جواب از بین مجموعه جواب شناخته شده با استفاده از روش الکتر (Electre method) انتخاب‌شده است.

چن و روجرز(۲۰۰۹)، در پژوهشی یک مدل مکان‌یابی تجهیزات چند هدفه پویا با بررسی دوره‌ها و هدف مبتنی بر فاصله و هدف مبتنی بر مجاورت، مسئله مکان‌یابی تجهیزات پویا را بررسی کرده‌اند.

کیا و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای طراحی سیستم سلولی تولید پویا در افق برنامه‌ریزی متفاوت پرداخته‌اند که برای به حداقل رساندن هزینه‌های کل جابه‌جایی با توجه به مسیریابی فرایند جایگزین پیشنهاد شده است. در این مدل برای حل مسائل پیچیده و بزرگ NP از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید کمک گرفته‌شده است. با این حال مساحت‌ها را برابر در نظر گرفته که در دنیای واقعی امکان‌پذیر نمی‌باشد، علاوه براین حل چنین مدلی نیازمند الگوریتمی قوی‌تر برای دستیابی به نتایجی دقیق‌تر در زمان کوتاه‌تر می‌باشد. ازآنجاکه کیا و همکاران (۲۰۱۳)، چندین محصول و لذا خطوط تولید مختلف را در دوره‌های زمانی گوناگون مد نظر قرار داده‌اند، تا هزینه‌ها به حداقل برسند، خود نیازمند بررسی بودجه نیز هست تا بتوان سود را در هر سلول و در هر دوره به حداکثر رسانید.

داپا و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی به بررسی و مقایسه عملکرد الگوریتم‌های خفاش (BA) و ژنتیک (GA) و قورباغه جهش یافته (SFLA) برای طراحی چیدمان ماشین‌آلات در محیط چندهدفه و با هدف کمینه‌سازی کل مسافت جابه‌جایی مواد پرداختند. نتایج بیان دارد که عملکرد این الگوریتم‌ها از جنبه‌های مختلف می‌تواند در مسائل مناسب باشد. آزوودو و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به حل مسئله طراحی چیدمان پویای چند هدفه پرداختند که امکان بررسی طراحی چیدمان چندگانه با قابلیت تنظیم مجدد به معنی تخصیص گروهی از تجهیزات و نیز مکان‌یابی تجهیزات برای هریک از این تجهیزات تخصیص‌یافته را می‌دهد. اهدافی که آن‌ها در مسئله بیان نمودند، کمینه‌سازی هزینه‌های جابه‌جایی مواد و بازآرایی، بیشینه‌سازی مجاورت بین دستگاه‌ها و درنهایت کمینه‌سازی تخصیص‌های نامناسب است.

معمولا برای حل مسائل طراحی چیدمان باید به بررسی چندین مسئله پرداخت. برای مثال، این زمانی رخ می‌دهد که به طراحی سیستم تولید سلولی بپردازند، به‌طوری که از یک طرف به واگذاری ماشین-آلات به هر سلول و از طرف دیگر به تعیین محل قرار گیری تجهیزات در سلول‌ها می‌پردازند. موقعیت

هر سلول در طبقه هم‌سطح کارخانه نیز تعیین خواهد شد. به‌جای فرموله کردن وحل این مسائل به-طور جداگانه، گاها این دو را باهم ادغام می‌کنند (گوپتا، گوپتا، کومار و ساندارام، ۱۹۹۶).

روش‌های مختلفی برای دستیابی به راه‌حل این مسائل وجود دارد. هدف آن‌ها هم پیدا کردن راه‌حل-های مناسب با توجه به محدودیت‌های خاصی است که تصمیم‌گیرنده داده و یا به جستجوی جوابی جهانی یا محلی با درنظر گرفتن عملکرد یک یا چند هدف می‌باشد. این بر اساس روش هیروستیک و یا الگوریتم‌های بهینه‌سازی صورت می‌گیرد.در ادامه بیش‌تر توضیح می‌دهیم.

برای حل مسائل طراحی چیدمان برخی از روش‌های هوش مصنوعی استفاده کرده‌اند. هراگو و کوسیاک، (۱۹۹۰) از چنین روش‌های حرفه‌ای استفاده کرده‌اند. هامان و ورنادات (۱۹۹۲) نیز ار این روش برای حل مسائل درون سلولی استفاده نمودند. همچنین از یک سیستم حرفه‌ای مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای ساخت طراحی چیدمان تجهیزات در یک سیستم تولیدی اجرا شد (چانگ، ۱۹۹۹). روش‌های مختلف بهینه‌سازی را به دو روش؛ روش‌های دقیق مانند انشعاب و تحدید (گراف) و روش‌های تقریبی مانند ابتکاری و فرا ابتکاری تقسیم نموده‌ایم.

در میان مقالاتی که به روش‌های دقیق پرداخته‌اند، کویلس و کیم (۱۹۹۲) الگوریتم انشعاب و تحدید را برای مسئله طراحی چیدمان دایره‌ای تک سویه بسط دادند. لکسونن (۱۹۹۷) از روش انشعاب و کران برای حل مسائل ایستا و پویا استفاده نمود. میلر و همکاران (۱۹۹۹) نیز از این روش برای حل مسئله قرار گیری n دستگاه مستطیل شکل در یک محیط مستطیل شکل استفاده کردند. آن‌ها به ارائه دسته‌های کلی از نامساوی‌های معتبر، برمبنای ساختار زیر گراف غیر چرخشی، برای افزایش طیف مسائل قابل حل پرداختند و از الگوریتم انشعاب و تحدید(کران) و همچنین کوزوکوقلو و بیگل (۲۰۱۲) از روش انشعاب و کران در جابه‌جایی مواد با بارگذاری منعطف استفاده کردند. کیم و کیم (۱۹۹۹) به بررسی مسئله تعیین موقعیت‌های P/D در تجهیزات با اندازه‌های ثابت برای طراحی چیدمان داده‌شده پرداختند. هدف از این مسئله کمینه‌سازی کل مسافت طی شده جریان مواد بین

نقاط P/D است. روزنبلات (۱۹۸۶) از روش برنامه‌ریزی پویا برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا برای تجهیزات با اندازه‌های یکسان استفاده کردند. اگرچه، تنها نمونه‌های کوچکی به‌صورت بهینه حل شده‌اند (شش دستگاه و پنج دوره زمانی).

ازآنجاکه روش‌های دقیق اغلب برای حل مسائل با اندازه بزرگ مناسب نیستند، لذا بسیاری از پژوهشگران به روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری روی آوردند. روش‌های ساخت به‌تدریج دنباله‌ای از تجهیزات را تا تکمیل طراحی چیدمان ایجاد می‌کنند درحالی‌که روش‌های بهینه‌سازی از یک راه‌حل اولیه شروع می‌شوند و با ایجاد راه‌حل جدید سعی بر بهبود جواب دارند. روش ابتکاری ساخت شامل: کرولپ (CROLAP) (لی و مور، ۱۹۶۷)، آلدپ (ALDEP) (سیهوف و ایوانز،۱۹۶۷) و کوفاد (COFAD) (تامپکینز و رید، ۱۹۷۶) شیپ (SHAPE) (هاسن و هوگ و اسمیث، ۱۹۸۶). مثال بهبود روش ابتکاری شامل: کرافت (CRAFT) (آمور و بوفا، ۱۹۶۳)، فرات (FRAT) (خلیل، ۱۹۷۳) و دیسکون (DISCON) (دریزنر، ۱۹۸۷). در دو روش مدل COFAD که تکامل یافته‌تر از CRAFT است، پدید آورندگان سعی کرده‌اند به نحو واقعی‌ترهزینه حمل و نقل را در نظر گرفته وعلاوه بر طرح استقرار بخش‌ها، سیستم حمل‌ونقل را نیز انتخاب نمایند. یکی از عیوب مشترک دو مدل CRAFT و COFAD این بود که تنها به جابه‌جایی سه تجهیز در هر قدم می‌پردازند و این امر موجب در نظر نگرفتن بسیاری از چیدمان‌ها شده و کارایی مدل را دچار مشکل می‌کند.

هوش گروهی (SI) علاقه دانشمندان رادر سال‌های اخیر به سمت خود جلب کرده است. SI توسط بونابیو و همکاران در سال (۱۹۹۹) که به‌عنوان هرگونه تلاشی برای طراحی الگوریتم یا حل مسئله دستگاه‌های توزیع تعریف شد که می‌توان بر اساس مجموع رفتار احتماعی کلونی حشرات یا دیگر حیوانات مورد استفاده قرار گرفت. بونابیو(۱۹۹۹) و دوریگو(۱۹۹۲) در ابتدا بر روی رفتار اجتماعی مورچگان، لی (۲۰۰۳)، ماهی، کندی و ابرهارت (۱۹۹۵) و مرتضوی و توگان (۲۰۱۶) پرندگان و فام و همکاران (۲۰۰۶) و چنگ و لین (۲۰۱۲) و لین و چنگ (۲۰۱۴) بر زنبورعسل تمرکز کردند. با این

حال واژه "گروهی" می‌تواند به طور کلی برای اشاره به هر مجموعه محدود شده به عوامل و افراد استفاده شود.

کارابوگا و باستورک (۲۰۰۷) و یحیی و ساکا (۲۰۱۴)، با استفاده از الگوریتم مصنوعی کلونی زنبورعسل (ABC) برای بهینه‌سازی توابع چند هدفه استفاده کردند. با وجود توانایی خارج شدن از حداقل محلی، سرعت همگرایی الگوریتم کم است. چیانگ و کولیس (۱۹۹۶) الگوریتم جستجوی ممنوعه را برای حل مسئله طراحی چیدمان تجهیزات توسعه دادند. آن‌ها از یک همسایگی مبتنی بر جابه‌جایی تجهیزات بین دو مکان استفاده کردند و شامل یک ساختار با حافظه بلند مدت، لیست ممنوعه پویا، معیارهای بیش‌تر و استراتژی‌های گوناگون است. کاکو و مازولا (۱۹۹۷) به ارائه روش ابتکاری جستجوی ممنوعه برای حل مسئله مکان‌یابی تجهیزات در یک افق زمانی محدود پرداختند که با توجه به بررسی آزمون مسئله در پیشینه این روش TSH نتایج مؤثرتری برای حل بیان داشته است. درواقع برای بیش از یک سوم از آزمون‌های مسئله جواب بهتری را به دست می‌آورد. مک کندی و هاوبیان (۲۰۱۰) با روش ابتکاری جستجوی ممنوعه به بررسی مسئله مکان‌یابی تجهیزات پویا در دوره‌های زمانی مختلف و با مساحت‌های نابرابر پرداخت. در این روش هدف حداقل نمودن هزینه‌های جابه‌جایی مواد و بازآرایی است به طوری که بخش‌های مختلف باهم تداخل نیز نداشته باشند. چانگ و همکاران (۲۰۱۳)، برای حل مسئله سیستم تولید سلولی (CMS) که به طور همزمان سه موضوع مهم آرایش سلولی، طراحی سلولی، و توالی دستگاه بین سلولی را در نظر دارد، با استفاده از الگوریتم ممنوعه با کمتر از ۱۲ ثانیه حل نماید.

بیش از دو دهه از تحقیقات روزنبلات برای حل مسائل شناخته‌شده طراحی چیدمان پویای کارخانه می‌گذرد و از آن زمان تاکنون بسیاری از محققین در این زمینه گام نهادند تا به حل مسئله بهینه-سازی ترکیبی پیچیده بپردازند. اثربخشی SA برای حل این نوع مسائل، با توجه به‌مرور تحقیق پژوهشگران، امری مشهود است. ماوریدو و پاردالوس (۱۹۹۷) در مقاله‌ای به بررسی و مقایسه حل

مسئله طراحی چیدمان با دو روش شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک پرداختند که نتیجه آن مفید بودن هردو الگوریتم برای حل مسائل پیچیده درزمانی کوتاه بود. چیف و همکاران (۱۹۹۸) از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل مسئله طراحی چیدمان تجهیزات با در نظر گرفتن نسبت اندازه‌های تجهیزات استفاده کردند. دو روش محلی ارائه‌شده شامل: جابه‌جایی دوبه‌دو بین تجهیزات و حرکت تصادفی در کارخانه در چهار جهت اصلی (بالا، پایین، چپ و راست) هست. بایکوزوقلو و گیندی (۲۰۰۱) از الگوریتم SA برای حل مسائل طراحی چیدمان پویا برای اولین بار استفاده کردند که پیش‌ازاین، در پژوهش‌های استاتیک از این الگوریتم برای حل مسائل DLP استفاده می‌شد.

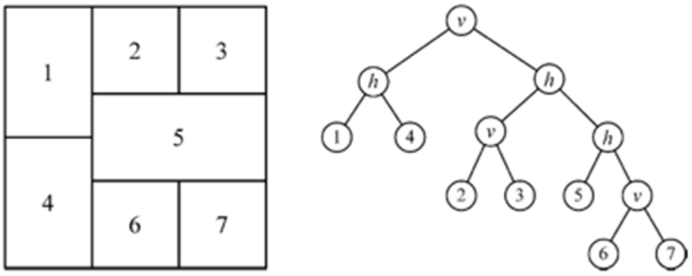
ارل و همکارانش (۲۰۰۳) با کمک الگوریتم ابتکاری شبیه‌سازی تبرید مسئله مکان‌یابی تجهیزات را با توجه به هدف حداقل نمودن هزینه‌های جابه‌جایی و جریان پیاده‌سازی نمودند. دانگ و همکارانش (۲۰۰۹) با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر پرداخت تا بتواند برای مسئله مکان‌یابی تجهیزات چندمرحله‌ای پویا را در شرایط محیطی کسب‌وکار پویا و در حال تغییر راه‌حل مناسبی ارائه دهد. آن‌ها همچنین هزینه عملکرد و قوانین ابتکاری برای اضافه و یا خارج کردن ماشین‌آلات را بررسی کردند. آزادی و کلاهان (۲۰۱۵)، با کمک روش‌های تحلیل آماری رگرسیون و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به بهینه‌سازی ماشین‌کاری الکتریکی پرداختند. مک کندال و همکاران(۲۰۰۶) دو روش شبیه‌سازی تبرید برای مسئله طراحی چیدمان با در نظر گرفتن تجهیزات با مساحت‌های برابر را پیشنهاد دادند. در اولین روش شبیه‌سازی تبرید از یک همسایگی برمبنای روش جابه‌جایی دوبه‌دو نزولی استفاده کردند که شامل تغییرات تصادفی مکان دو دستگاه و حرکت به سمت جواب بهینه است. در دومین روش شبیه‌سازی تبرید الگوریتم شبیه‌سازی تبرید اولی را با یک استراتژی بهینه‌سازی بانام " استراتژی نگاه به آینده و نگاه به گذشته" ترکیب کردند. الگوریتم ژنتیک در بین دیگر الگوریتم‌ها برای حل مسائل طراحی چیدمان تجهیزات بیش‌تر مورد استقبال قرارگرفته-شده است (پیروال و همکاران، ۲۰۰۳). درواقع در بسیاری از تحقیقات از این روش استفاده‌شده است. تام (۱۹۹۲)، برای حل مسئله طراحی چیدمان از الگوریتم ژنتیک بهره گرفت و به این نتیجه

دست‌یافت که الگوریتم ژنتیک می‌تواند ابزاری مناسب در حل مسائل طراحی چیدمان تجهیزات با مقیاس بزرگ باشد.

بانرجی و ژوو (۱۹۹۵)، مارک، وانگ و چان، (۱۹۹۸)، تام و چان (۱۹۹۸)، آزادیور و وانگ (۲۰۰۰)، وو و آپلتون (۲۰۰۲)، دانکر، رادونسب و وستکامپرا (۲۰۰۳)، و وانگ و همکاران (۲۰۰۵) از جمله کسانی هستند که برای مسئله طراحی چیدمان ایستا و بالاکریشان و چنگ (۱۹۹۸)، بالاکریشان، چنگ، کانوی و همکاران (۲۰۰۰) و دانکر و همکاران (۲۰۰۵) برای مسائل طراحی چیدمان پویا از روش الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. کانوی و ونکاترامنن (۱۹۹۴)، با درنظر گرفتن محدودیت‌های متعدد و نیز بررسی توزیع غیرخطی و غیر محدب در دوره‌های زمانی متفاوت را بررسی نمودند. هیکس (۲۰۰۴) در پژوهشی مسافت طی شده بین تجهیزات را با توسعه الگوریتم ژنتیک و با استفاده از روش خوشه‌بندی به حداقل رساند. او در مطالعات خود تعیین ساختار فرایند جدید و یا اصلاح فرایند قدیمی را بررسی نمود. باوجود کاهش مسافت طی شده با توجه به سفارش‌ها مهندسی یا درست برای کالاهای سرمایه‌ای شرکت در شرایط احتمالی، هزینه‌های ناشی از جابه‌جایی مواد و بودجه درنظر گرفته نشده است.

یک مشکل بسیار مهم در توسعه الگوریتم ژنتیک برنامه‌نویسی برای یک طرح مسطح است. یک روش مشهور در طراحی چیدمان مستمر slicing tree است (شایان و چیتیلاپیلی، ۲۰۰۴). درخت برش شامل دو نوع گره است که گره‌های داخلی مربوط به تقسیم‌بندی سطح کارخانه و گره‌های خارجی مربوط به تجهیزات می‌باشد. هر گره داخلی افقی h یا عمودی v نشان‌دهنده برش افقی یا عمودی است درحالی‌که گره‌های خارجی نشان‌دهنده شاخص تجهیزات (1,2,…,n برای n تجهیزات) است. هر بخش مستطیل شکل را به یک دستگاه تخصیص داده می‌شود.(شکل ۲-۸) وو و اپلتون (۲۰۰۲) یک درخت برشی را پیشنهاد دادند که به‌طور همزمان طراحی چیدمان و راهروها و عملکرد تعدیل‌شده ژنتیک را بیان می‌دارد. ژائو و همکاران (۲۰۱۴)، از الگوریتم جستجوی عقب‌گرد بهبودیافته با ترکیب

الگوریتم تکاملی تفاضلی و الگوریتم ژنتیک اصلی برای بهینه‌سازی در محدودیت‌های مسئله استفاده نمودند.



شکل ۲-۸: نمایش درخت برش برای طراحی طبقه همکف

بهینه‌سازی کلونی مورچگان نیز برای حل مسائل طراحی چیدمان بکار برده می‌شود. سلیمان‌پور، ورات و شانکار (۲۰۰۵) الگوریتم مورچه را برای یک مسئله وابسته متوالی برای طراحی چیدمان ماشین‌آلات خط مستقیم تک ردیف را توسعه دادند. بایکوزوقلو و همکاران (۲۰۰۶) الگوریتم کلونی مورچگان را برای حل مسائل طراحی چیدمان نامحدود و محدودیت بودجه ارائه دادند. لوتوکسین و پونکاروین (۲۰۱۰)، برای ایجاد یک جدول زمان‌بندی مناسب برای دوره‌های دانشگاه از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان (BWACS) بهره گرفتند تا با در نظر گرفتن محدودیت‌های سخت به برنامه‌ریزی خودکار دست‌یابند. یو هسین چن (۲۰۱۳)، نیز از الگوریتم ترکیبی کلونی مورچگان در مسائل طراحی چیدمان بزرگ با دیدی نوین و ساده‌سازی ساختار داده‌ها استفاده نمود. تپهاکورن و همکاران (۲۰۱۴)، مدلی بر اساس جدول زمان‌بندی برای حل الگوریتم فرا ابتکاری کلونی مورچگان ارائه دادند که از انواع جدید سیستم بدترین-بهترین مورچگان (BWAS) و سیستم بدترین-بهترین کلونی مورچگان (BWACS) برای حل مسائل بزرگ‌تر کمک گرفته‌شده است. این درحالی است که عملکرد BWAS و BWACS بهترین استراتژی جستجوی محلی را تا ۷۴.۵٪ افزایش داد. کوری و کوزان (۲۰۰۴)، در مقاله‌ای به بررسی بهینه‌سازی مسائل طراحی چیدمان ماشین‌آلات پرداخته که در این مقاله با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO) برای به حداقل رساندن هزینه‌های

بازآرایی و جابه‌جایی مواد بین ماشین‌آلات با فن برنامه‌ریزی عدد صحیح به راه‌حلی مناسب دست‌یافته‌اند. اما محدودیتی واقع‌گرایانه همچون عدم امکان جابه‌جایی برخی ماشین‌آلات سنگین که تغییر مکان آن‌ها با هزینه‌های هنگفتی همراه است و یا امکان جابه‌جایی آن‌ها وجود ندارد را در نظر نگرفته‌اند. همچنین امروزه پویایی سازمان‌ها راهی برای بقاء آن سازمان است که در این پژوهش به آن توجهی نشده و افق‌های برنامه‌ریزی متعدد از دید پژوهشگران پنهان باقی‌مانده است. از طرفی بودجه سازمان که تعیین‌کننده اصلی تمامی هزینه‌های آن است نیز پوشیده از نگاه آن‌ها است.

سایسوپان و همکاران (۲۰۱۵)، بر روی طراحی چیدمان ماشین‌آلات با استفاده از روش ابتکاری بهینه-سازی زیست جغرافیایی (BBO) پژوهش نمودند که هدف حداقل سازی مسافت طی شده مواد بین تجهیزات و تنظیم پارامترهایی مناسب برای BBO است. برای دستیابی به این اهداف باید به دو مرحله جهش و مهاجرت توجه نمود که موجب اشتراک‌گذاری اطلاعات در بین زیستگاه‌ها می‌باشد. این روش بر کیفیت راه‌حل تأثیرگذار است. اما در این پژوهش به بررسی افق‌های برنامه‌ریزی متفاوت نگاهی نشده، همچنین برای کارایی بیشتر این روش در سازمان‌های امروزی باید به تعدیل و ترکیب با دیگر روش‌های بهینه‌سازی بپردازد تا پویایی آن نیز حفظ شود و دیگر نیاز به وابستگی به تعیین پارامتر نداشته باشد.

لیانگ و همکاران (۲۰۰۶)، گونه‌ای دیگر از الگوریتم ازدحام ذرات (PSOs) را ارائه دادند که توانایی حلی بهتر برای مسائل چندهدفه در مقابل مقالات پیشین را دارد و به آن یادگیری جامع بهینه‌ساز ذرات ازدحام (CLPSO) می‌گویند. در این روش استراتژی جدیدی برای به‌روزآوری سرعت ذرات با حفظ اطلاعات پیشین استفاده‌شده است.

تا به اینجا دریافتیم که به دلیل نتیجه‌گیری بهتر محققین دریافتند که ترکیبی از روش‌های مختلف فرا ابتکاری برای حل مسائل طراحی چیدمان تجهیزات استفاده جواب‌های مناسب‌تری را به ما می-

دهد. مهدی، آمت و پورتمن (۱۹۹۸) یک روش ترکیبی برای حداقل کردن هزینه‌های جابه‌جایی مواد را ارائه دادند. آن‌ها از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل جنبه هندسی مسئله، از الگوریتم ژنتیک برای تصمیم‌گیری سیستم جابه‌جایی مواد و از روش دقیق (روش هیچکاک) برای کمینه‌سازی کل هزینه جابه‌جایی مواد استفاده کردند. میر و ایمام (۲۰۰۱)یک روش ترکیبی را برای حل مسئله طراحی چیدمان و تجهیزات با مساحت‌های نامساوی را ارائه دادند. از یک جواب اولیه شروع و به الگوریتم شبیه‌سازی تبرید داده می‌شود. بالاکریشان و همکارانش (۲۰۰۳) برای حل مسائل طراحی چیدمان پویا با توجه به دوره‌های زمانی مختلف از روش‌های ابتکاری استفاده کردند که نتایج الگوریتم ژنتیک ترکیبی را با الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مقایسه نمودند. در حوزه الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیبی، پژوهش‌های فراوانی انجام‌شده است. در یک مورد، روش ژنتیک و روش تندترین شیب، ادغام شد که منجر به طراحی روش ژنتیک ترکیبی شد. در این پژوهش، عملکرد روش پیشنهادی با روش ژنتیک ساده برای حل دو تابع هدف چند مدله آزمایش شد نتایج نشان داد که روش ژنتیک ترکیبی، ۷۵٪ زمان کمتری نسبت به روش ژنتیک ساده برای به دست آوردن جواب بهینه نیاز دارد(اسپینوزا و همکاران، ۲۰۰۱). در تحقیق دیگری، زاهارا و همکارش در سال (۲۰۰۸) یک مدل ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات گروهی و روش سیمپلکس Nedler-mead توسعه داده شد. آن‌ها عملکرد مدل ترکیبی را روی ۱۳ تابع هدف بهینه‌سازی پیوسته آزمایش کردند. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی، در جستجوی جواب‌های بهینه مؤثرتر و کاراتر است. محققین سپس، روش شبیه‌سازی تبرید و روش برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی شدنی را ترکیب کردند (پدامالو و همکارش، ۲۰۰۸). مدل ترکیبی آن‌ها شامل دو رویکرد حل است. نتایج ۳۲ مسئله پیوسته بهینه‌سازی نشان داد که این مدل ترکیبی جواب‌های بهتری از سایر روش‌های حل پیدا می‌کند. در ادامه، چن و همکارانش در سال (۲۰۰۸) یک مدل ترکیبی از روش برنامه‌های جستجوی ممنوعه و برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی برای حل مسئله بهینه‌سازی ارائه شد. این مدل شامل دو رویکرد حلقه داخلی و حلقه خارجی برای جستجوی فضای حل‌شدنی است. برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی در حلقه داخلی به‌عنوان یک

روش جستجوی محلی استفاده می‌شود و در جستجوی ممنوعه در حلقه خارجی به‌عنوان جستجوگر سراسر استفاده می‌شود.

ارتی و همکاران (۲۰۰۶)، در مقاله‌ای به بررسی طراحی چیدمان تجهیزات در یک سیستم تولیدی است که با ادغام روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌پردازند که هردو هدف کیفی و کمی را موردبحث قرار می‌دهد. با شروع از یک راه‌حل اولیه داده‌شده توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، موقعیت‌های مطلوب تجهیزات توسط یک فن جستجوی تحلیلی در یک فرآیند بهینه‌سازی چندمرحله‌ای تعیین می‌شود. لی و لی (۲۰۰۲) یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک را برای مسئله طراحی چیدمان تجهیزات با مساحت‌های نابرابر و شکل‌های ثابت ارائه دادند. جستجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تبرید برای پیدا کردن یک راه‌حل جهانی و الگوریتم ژنتیک در میانه فرایند جستجوی محلی و جستجوی یک جواب جهانی معرفی شدند. بالاکرییشان، چنگ، کانوی و همکاران، (۲۰۰۳) یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی را برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا که پیش‌تر توسط روزنبلات ارائه‌شده بود، را توسعه بخشیدند. جمعیت اولیه با دو روش تولید می-شود: روش تصادفی و روش یوربن (یوربن، ۱۹۹۳). تقاطع بر اساس روش برنامه‌نویسی پویا و جهش آن توسط روش ابتکاری CRAFT حاصل می‌گردد (آرمور و بوفا، ۱۹۶۳). مک کندال و شانگ (۲۰۰۶) سه الگوریتم ترکیبی کلونی مورچگان را برای مسئله طراحی چیدمان تجهیزات پویا توسعه و مقایسه نمودند. آن‌ها کلونی مورچگان را با سه روش جستجوی محلی ترکیب کردند: (۱) روش جابه-جایی دوبه‌دویی نزولی تصادفی (۲) الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (۳) روش نگاه به آینده/نگاه به گذشته.

پایز و همکاران (۲۰۱۶)، برای حل مسئله طراحی چیدمان با مساحت‌های نابرابر باهدف تخصیص تجهیزات در جایگاه‌های نامحدود و بدون همپوشانی به‌طوری‌که هزینه جابه‌جایی مواد با کاهش مسافت طی شده بین تجهیزات کمینه گردد، از الگوریتم ترکیبی ژنتیک پایه و ترکیب GA با استراتژی تجزیه که از شکست و یا دوباره‌سازی ساختار کمک گرفتند.

مسلمی پور و لی (۲۰۱۲)، به بررسی طراحی چیدمان تجهیزات پویا (DFLP) در شرایط با تقاضای غیرقطعی و در دستگاه‌های تولیدی منعطف (FMSs[9]) با استفاده از الگوریتم SA پرداختند. آن‌ها برای این منظور تقاضای محصول را به‌عنوان یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع نرمال و تابع چگالی احتمالی با تغییر تصادفی از دوره‌ای به دوره دیگر، به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی (COP) سخت در نظر گرفتند. در این روش به دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌های جابه‌جایی مواد و بازآرایی ماشین‌آلات توجه شده اما مساحت ماشین‌آلات را برابر درنظر گرفته‌اند. به محدودیت بودجه نیز توجهی نشده است.

پالوبکیس(۲۰۱۶)، در پژوهش خود برای حل مسئله طراحی چیدمان خطی (SRFLP[10])، از توسعه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید چندگانه(MSA[11]) با مقایسات زوجی استفاده کرده است که در اینجا تعداد دستگاه‌ها را به ۱۰۰۰ افزایش داده‌اند. شاه‌نواز ریپون و همکاران (۲۰۱۳) از ترکیب الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر انطباق پذیر و الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله چندهدفه طراحی چیدمان پویا با مساحت‌های نابرابر پرداختند.

لیتنر و ریدل (۲۰۱۲)، از الگوریتم ترکیبی جستجوی همسایگی متغیر و جستجوی انطباق پذیر(پراکنده) تصادفی حریصانه[12] (جستجوی توافقی تصادفی حریصانه) برای تعیین جایگاه تجهیزات پیوسته (زنجیره تأمین لجستیک) باهدف بیشینه کردن سود عرضه به مشتری استفاده نمودند که کیفیت بالای جواب در زمان کوتاه نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب این دو الگوریتم هست. گوآن و لین (۲۰۱۵)، برای حل مسئله طراحی چیدمان خطی از الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی VNS و ACO استفاده نمودند که با ممانعت در بهینه محلی، راه‌حل بهتری زمان کمتری به دست می‌آورد.

[9] Flexible manufacturing system (FMSs)

[10] single row facility layout problem (SRFLP)

[11] multi-start simulated annealing (MSA)

[12] Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

فونگ سز و همکاران (۲۰۱۶)، برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت پذیر (capacitated) از الگوریتم AVNS استفاده نمودند که نتایج مناسبی را در کمترین زمان نشان داد. در ادامه در راستای توسعه این پژوهش،(۲۰۱۷) به کاهش زمان دسترسی به مشتری بجای کاهش مسافت طی شده می‌پردازند.

برخی از الگوریتم‌هایی فرا ابتکاری که در مسائل طراحی چیدمان بیش‌تر استفاده می‌شود در جدولی نشان داده‌ایم. در این جدول نقاط قوت و ضعف هریک به‌اختصار بیان‌شده است. درواقع با یک نگاه به این جدول می‌توان علت انتخاب هریک از این الگوریتم‌ها در حل هر نوع مسئله (که تاکنون دسته-بندی کردیم)، مشخص خواهد شد. همچنین در ادامه خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده درزمینهٔ مسائل طراحی چیدمان را در جدولی ارائه می‌دهیم. در این جدول الگوریتم‌های فرا ابتکاری انتخابی هریک از محققین نشان داده می‌شود.

SA همان شبیه‌سازی فرایند ذوب فیزیکی فلزات در مکانیک تصادفی است که از اوایل دهه ۱۹۸۰ برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی سخت استفاده می‌شد (مسلمی پور و همکاران، ۲۰۱۲). متروپلیس و همکاران (1953) روشی مفید برای شبیه‌سازی حرکت وابسته به دما پیشنهاد داد که کریک پاتریک و همکاران (1983) اولین الگوریتم SA را با تعمیم روش متروپلیس برای مسائل بهینه‌سازی پیشنهاد دادند و اتم‌های انرژی را با تابع هدف جایگزین کردند. در فرایند ذوب فیزیکی در ترمودینامیک، زمانی یک ساختار کریستالی عالی حاصل می‌شود که فلز را ذوب کرده سپس دما را به آهستگی کاهش داده تا بلور (کریستال) به‌دست‌آمده بتواند کم‌ترین سطح انرژی خود یعنی سطح پایه[۱۳] برسند. با مقایسه مسائل بهینه‌سازی ترکیبی با فرایند ذوب فیزیکی می‌توان نشان داد که فضای جواب، جواب بهینه و تابع هدف در این مسئله به ترتیب برابر با فضای سطح، سطح پایه و انرژی‌اتم در ذوب فیزیکی است.

[13] ground state

جدول ۲-۱ : نقاط قوت و نقاط ضعف برخی از روش‌های ابتکاری از دیدگاه مسلمی پور و همکاران(۲۰۱۲)

روش	نقاط قوت	نقاط ضعف
GA[۱۴]	۱ توانایی در حل مسائل مختلف مسائل بهینه‌سازی ترکیبی ۲ توانایی دریافتن بهترین راه‌حل‌های جهانی ۳ امکان ادغام با دیگر الگوریتم‌ها	۱ خیلی کند ۲ یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه (نیمه بهینه) ۳ عدم تضمین امکان همگرایی حتی در بهینه محلی ۴ تأثیرگذاری نرخ متقاطع و نرخ جهش، بر همگرایی و ثبات آن ۵ وابستگی ارزیابی عملکرد به روش کد نویسی ژن
TS[۱۵]	استفاده از حافظه منعطف در جهت حفظ و نگهداری تاریخچه فرایند جستجو	راه‌حل به‌دست‌آمده ضرورتاً یک جواب بهینه نیست
SA[۱۶]	۱ زمان محاسباتی کم ۲ آزاد از بهینه محلی ۳ پیاده‌سازی ساده ۴ همگرایی مناسب	وابستگی کیفیت جواب به بیش‌ترین تعداد تکرار حلقه درونی (فرآیند خنک‌سازی) و دمای اولیه
ACO[۱۷]	مقیاس‌پذیری، استحکام و انعطاف‌پذیری در محیط‌های پویا	۱ کد نویسی سختی دارد. ۲ رندمی بودن پارامترهای اولیه
PSO[۱۸]	۱ عملکرد ساده، سریع و ارزان ۲ وجود پارامترهای کم برای تنظیم و	ضعف در جستجوی محلی

[14] Genetic algorithm
[15] Tabu search
[16] Simulated annealing
[17] Ant colony optimization
[18] Particle swarm optimization

	سازگاری	
	۳ روش جستجوی جهانی مؤثر	
	۴ ساختار ساده	
FS[19]	۱ استفاده از واژگان غیرواضح و نامشخص در قوانین فازی	۱ نیاز به دانش قبلی
	۲ توانایی در حل مسائل احتمالی	۲ دشواری در تخمین توابع عضویت
	۳ در دسترس بودن بسیاری از بسترهای تجاری	۳ تعابیر مختلف از قوانین فازی و تخریب خروجی‌های مختلف
GRASP	۱ ساده و عملکرد راحت	وابستگی کیفیت راه‌حل، هم به همسایگی و هم به راه‌حل اولیه
	۲ تولید راه‌حل‌های خوب	
ANN[20]	۱ توانایی یادگیری	۱ دشواری در فهمیدن عملیات درونی
	۲ سازگاری با تغییرات	۲ دشواری در پیش‌بینی عملکرد آتی
	۳ سرعت‌بالا	۳ سخت بودن آموزش
	۴ تقلید از فرآیند فکر انسان	

SAشبیه‌سازی تبرید	ACO بهینه‌سازی کلونی مورچگان	TSجستجوی ممنوعه
FSسیستم‌های فازی	GRASP الگوریتم بهینه‌سازی تصادفی حریصانه	PSO بهینه‌سازی ازدحام ذرات
GAالگوریتم ژنتک		ANNشبکه عصبی مصنوعی

[19] Fuzzy systems
[20] Artificial neural networks

در جدول زیر مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده با روش‌های ابتکاری و ترکیبی در FLP بر اساس مقاله مسلمی پور و همکاران (۲۰۱۲) شده است.

جدول ۲-۲ : مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده با روش‌های ابتکاری و ترکیبی در FLP بر اساس مقاله مسلمی پور و همکاران (۲۰۱۲)

نویسنده	GA	TS	SA	ACO	GRASP	PSO	AIS	FS	ES	ANN	hybrid	توضیحات
فیشر و نوف ۹۰									*			طراحی چیدمان با سیستم خبره
گروبنلی ۹۷ و ۹۸								*				MHC
ایوانس و همکاران ۸۶								*				زبانی
کومارا و کاشیاب ۱۵۵									*			IFLAPS
ملکوتی و تسوروشیما ۱۷۸									*			تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)
فیو و همکاران ۹۴					*							QSP
هراگو و کوسیاک ۱۱۵									*			چیدمان ماشین‌آلات مبتنی بر دانش‌پایه
هونتلی و برون ۱۲۰											*	GA-SA
راوت و راکشیت ۲۳۲								*				زبانی

راوت و راکشیت ۲۳۱				*								MCDM
کانوی و ونکاتارامانان ۵۶	*											محدودیت بودجه در DFLP
لی و همکاران ۱۵۹							*					QAP
جین و همکاران ۹۵				*								مدل فازی
عبدالقانی ۱۰									*			طراحی درون‌سلولی
فیو و ریسنده ۸۷							*					Survey
دویری و میر ۷۹				*								فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
تسوچیا و همکاران ۲۷۰											*	ANN موازی
هاراز ۱۰۵											*	سیستم حفظ تصمیم‌گیری مبتنی بر دانش‌پایه
ماوریدو و پاردالوس ۱۸۲	*								*			Survey
کاکو و مازولا ۱۲۹			*									DFLP
گروبنلین ۹۸				*								تقاضای فازی
لئوناردو و همکاران ۱۶۴									*			طراحی جزئیات
اوربن ۱۵۶							*					DFLP

مهدی و همکاران ۱۰۲												SA-GA
چانگ ۲۲												سیستم خبره مبتنی بر عصب
گمباردلی و همکاران ۴۷												HAS-QAP
اوربن و همکاران ۲۷۵												QAP
عابدین‌پور و هادلی ۱۱												طراحی چیدمان چندطبقه FLP
بالاکریشنان و چنگ ۲۶												حلقه تودرتو GA
آزادی وار و وانگ ۲۱												FLP احتمالی
اسمیت و نورمن ۲۵۱												FLP احتمالی
عنلو و عینی ۱۶												تقاضای فازی
بایکوزقلو و گیندی ۳۲												DFLP
میر و ایمام ۱۹۵												جستجوی تحلیلی و SA
پیتسولیس و ریسند ۱۲۷												Survey
لی و لی ۹۳												GA-TS-SA
ریسنده و ریبیرو ۲۳۳												Survey

ارل و همکاران ۸۳												جستجوی محلی و DP
بالاکریشنان و همکاران ۲۸												GA-DP
فیکو و همکاران ۸۹	*											FLP چند ردیفی
کولتورل-کوناک و همکاران ۱۵۳		*										FLP احتمالی
کوری و کوزان ۵۷			*									DFLP
سلیمان‌پور و همکاران ۲۵۶			*									QAP
رودریگوز و همکاران ۲۳۶											*	TS-GA
دب و بی هاتاهاریا ۶۴										*		سیستم حفظ تصمیم‌گیری
اینگلبرچ ۸۲						*						Survey
لیآو ۱۷۰										*	*	Survey
دانکر و همکاران ۷۷											*	GA-DP
جی و همکاران ۱۲۶											*	جستجوی محلی و GA
ماروین و همکاران ۱۸۰		*										مقایسه TS-SA-GA
مک کندال و همکاران ۱۸۴			*									DFLP

سومان و کومار ۲۵۷									*			Survey
مک کندال و شانگ ۱۸۴								*				HAS |-||-|||
بایکوزوقلو و همکاران ۳۳								*				DFLP
تانگاول و همکاران ۲۶۶								*				Survey
رحیم‌پور و پونامبالام ۲۳۰											*	سیستم ترکیبی کلونی مورچگان مبتنی بر جمعیت
هو و همکاران ۱۱۸	*											چیدمان سلولی
وو و جی ۲۸۱	*											QAP
آشتیانی و همکاران ۱۹									*			DFLP
پولی و همکاران ۲۲۲						*						Survey
سیریرات و پیرویوث ۲۵۰											*	DP-SA-GA-TS
لیو و آبراهام ۱۷۳											*	PSO-FS
کریشنان و همکاران ۸۲												FLP احتمالی
مک کندال ۱۸۶										*		درخت TS

لیانگ و چاو ۱۶۸		❋										جستجوی چندگانه
فن و کوآن ۲۲۰			❋									Survey
تئو و پونامبالام ۲۶۵											❋	ACO-PSO
درنزنر ۷۲											❋	GA-TS-memetic algorithm
کریشنان و همکاران ۱۵۱	❋											رویکرد مبتنی بر ریسک
سوریا ۲۵۹		❋										بهبود جستجوی ممنوعه
اسکولز و همکاران ۲۴۶		❋										برش درخت
دانگ و همکاران ۷۰			❋									DFLP
چن و روجرز ۴۹			❋									HAS-QAP
رضازاده و همکاران ۲۳۴				❋								DFLP
برما و آتیلا ۳۵					❋							DFLP
ساتیش کومار و همکاران ۲۴۵					❋							چیدمان حلقه‌ای
یوییینگ و همکاران ۲۸۷											❋	ترکیب بهینه‌سازی ازدحام مورچگان chaotic
جیون و همکاران ۱۲۵											❋	FS-SA

مک کندال و هاکوبیان ۱۸۷		*										تکنیک جستجوی مرزی
سمرقندی و عشقی ۲۴۳		*										چیدمان تک ردیفی
ساهین و همکاران ۱۳۸			*									DFLP
سلیمان‌پور و همکاران ۲۵۳				*								فرم سلولی
کوماردین و کوآن ۱۴۴				*								سیستم مورچگان
نینگ و همکاران ۲۰۶				*								MMAS

فصل ۳: روش پیشنهادی

۳-۱-مقدمه

هدف ما در این پژوهش بررسی طراحی چیدمان پویا برای تجهیزات درون کارگاهی در یک کارخانه تولید وسایل خانگی است. با مرور تحقیقات پیشین تاکنون نوع نگاه به مسئله و نیز روش‌های مختلف مطالعاتی درزمینه مسئله طراحی چیدمان به‌خصوص مسئله طراحی چیدمان پویا واضح گردیده است. حال در این فصل به بیان روش پیشنهادی که با توجه به پژوهش‌های پیشین انتخاب کرده، می-پردازیم. در این فصل سعی بر آن بوده که با طرح مسئله و ارائه مدل ریاضی، گام‌به‌گام مراحل الگوریتم ترکیبی را بیان داشته و درنهایت به آنچه باید، دست‌یابیم.

۳-۲- طرح مسئله

هر پژوهشی باهدفی خاص دنبال می‌شود تا با بررسی راه‌حل‌های گوناگون به جواب مناسب دست یابد. در این پژوهش نیز باهدفی آغاز، سپس به طراحی مسئله برای رسیدن به هدف و نهایتاً یافتن جوابی بهتر در مقایسه با مطالعات پیشین که در بخش قبلی مفصل توضیح داده شد، و در جهت تکامل مطالعات محققین و نوآوران گذشته انجام می‌گیرد. در ادامه به بیان هدف از پژوهش و ارائه مدل ریاضی و نهایتاً ارائه راه‌حل پیشنهادی می‌پردازیم.

هدف از این پژوهش دستیابی به طراحی چیدمان پویای کارآمد با ادغام سیستم حمل‌ونقل است. این مدل برای طراحی چیدمان در سیستم تولید کارگاهی با درنظر گرفتن جریان مواد بین هردو بخش با اندازه‌های یکسان و احتمال تفاوت در افق برنامه‌ریزی سازگار است. لذا به ارائه مسئله در جهت کمینه‌سازی کل ارزش زمان جاری مربوط به هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های چیدمان واحدها می‌پردازیم. یکی از عوامل اثرگذار بر هزینه جابه‌جایی مواد و درنهایت هزینه طراحی چیدمان، تعیین روش حمل‌ونقل برای حمل مواد بین واحدها است. با توجه به تعیین برخی از معیارهای اساسی مانند هزینه‌ها، انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، حجم مواد، فاصله بین دو بخش و غیره ابزار مختلف حمل‌ونقل همچون نوار نقاله، پالت، بالابرها را برای جابه‌جایی مواد بین بخش‌ها انتخاب می‌کنند. در

اینجا محدودیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل را در نظر می‌گیریم. همچنین، چیدمان تسهیلات تولید و تغییر مکان آن‌ها در طی دوره‌های زمانی مختلف تحت تأثیر تغییر در جریان مواد، نیازمند صرف هزینه مشخص است. ازاین‌رو محدودیت بودجه در برنامه‌ریزی و طراحی چیدمان تسهیلات نیز در نظر گرفته‌شده است. سپس تصمیم‌گیری چند شاخصه و طراحی سیستم حمل‌ونقل را با طراحی چیدمان ادغام شده است.

از دیگر عوامل تأثیرگذار در هزینه‌های چیدمان، محدودیت‌هایی از جمله بخش‌هایی با موقعیت‌های ثابت، حداقل فاصله قابل‌قبول بین بخش‌ها و غیره است. بعضی از بخش‌ها به این دلیل ثابت هستند که نیاز به بنای ثابت دارند به‌عنوان‌مثال پایه و بنای واحد پرس‌کاری، تثبیت برخی تجهیزات مانند نصب جرثقیل، قرار دادن تجهیزات سنگین، وجود برخی تسهیلات خاص در یک واحد و غیره. برخی از تجهیزات همچون کمپرسور را نمی‌توان به‌راحتی جابه‌جا نمود و اگر هم این کار شدنی باشد موجب هزینه‌های زیادی می‌شود (حسنی و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین قرارگیری برخی تجهیزات کنار یکدیگر خطرناک است و باید از هم دور باشند. برای مثال، یک واحد با محصولات مشتعل نباید نزدیک واحدی با دمای بالا قرار گیرد و یا بخشی که تجهیزات آن محصولاتی با ارتعاش بالا تولید می‌کند نباید در کنار تجهیزات با حساسیت بالا مانند ماشین‌آلات کامپیوتری کنترل عددی باشد. در شکل ۳-۱ موقعیت‌هایی که نباید در نزدیکی یک بخش خاص نباید قرار بگیرند را نشان می‌دهد. به‌بیان‌دیگر زمانی دو بخش می‌توانند در کنار یکدیگر قرار بگیرند که بیش از یک نقطه مشترک یا به عبارتی حداقل یک لبه مشترک داشته باشند. در اینجا فاصله بین دو بخش را بر اساس فاصله مستقیم محاسبه می شود.

مناسب	نامناسب	مناسب
نامناسب	دستگاه پرس	نامناسب
مناسب	نامناسب	مناسب

شکل ۳-۱: نمایش همسایگی یک بخش

با توجه به ماهیت پیچیده حل مدل طراحی چیدمان پویا که پیش‌تر از آن به‌عنوان یک مسئله با پیچیدگی‌های حل بالا بیان شد، توسعه روش کارآمد ضروری خواهد بود. ازاین‌رو، در این پژوهش به ارائه روشی کارآمد برای حل مدل طراحی چیدمان پویا می‌پردازیم.

۳-۳- تعریف مدل ریاضی

در این بخش به ارائه مدل یکپارچه‌ای برای طراحی چیدمان پویا برای یک کارخانه با سیستم تولید کارگاهی پرداخته می‌شود. در ابتدا متغیرهای تابع را بیان داشته و پس از نمایش مدل ریاضی به توضیح محدودیت‌های مدل پرداخته می‌شود.

N تعداد همه بخش‌ها،

T دوره‌ها،

r ارزش نرخ بهره در افق برنامه‌ریزی،

A_{tijl} هزینه چیدمان بخش i با جابه‌جایی از j به l در دوره‌ی t،

C_{tijklv} هزینه جابه‌جایی مواد در دوره t بین بخش i که در موقعیت j قرارگرفته و بخش k که در موقعیت l قرارگرفته که از روش حمل‌ونقل نوع v انتخاب‌شده با روش TOPSIS است. این بدان معنی است که هزینه جابه‌جایی مواد بین دو بخش متغیر بوده و پس از تعیین نوع تسهیلات حمل‌ونقل مقرر می‌گردد. برخی عوامل مانند جریان مواد، فاصله بین بخش‌ها، و هزینه حمل‌ونقل یک واحد محصول به ازای هر واحد فاصله را با روش TOPSIS به‌عنوان معیار تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی، با طراحی چیدمان متفاوت در هر دوره، هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین

تجهیزات جابه‌جاشده به دلیل روش حمل‌ونقل مختلف برای جابه‌جایی مواد از یک بخش به سایر بخش‌ها متفاوت خواهد بود،

TB_t به معنی مقدار بودجه تخصیص داده شده در دوره t است.

X_{tij} و Y_{tijl} هردو متغیرهای باینری (دوتایی) هستند که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند: (۱) X_{tij} برابر با ۱ خواهد بود اگر بخش i در دوره t در موقعیت j اختصاص داده شود؛ در غیر این صورت ۰ و (۲) Y_{tijl} برابر با ۱ خواهد بود اگر بخش i در ابتدای دوره t از موقعیت j به l تغییر مکان دهد؛ در غیر این صورت ۰ خواهد بود.

هدف از نوشتار تابع هدف (۱)، کمینه‌سازی ارزش فعلی هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین تجهیزات و هزینه‌های بازبینی تجهیزات در فضای کارخانه و در طول افق برنامه‌ریزی است. که دراین‌جا مدل ریاضی را نشان می‌دهیم؛

$$\text{Min}=\sum_{t,i,j,l\geq 2}\frac{A_{tijl}.Y_{tijl}}{(1+r)^{t-1}}+\sum_{t,i,j,k,lv}\frac{C_{tijklv}.X_{tij}.X_{tkl}}{(1+r)^{t-1}}\ ,v\epsilon V \qquad 1$$

$$\sum_{j=1}^{N}X_{tij}=1,\forall i,t \qquad 2$$

$$\sum_{i=1}^{N}X_{tij}=1,\forall j,t \qquad 3$$

$$Y_{tijl}=X_{(t-1)ij}.X_{til}\forall i,j,l,t\ \geq 2 \qquad 4$$

$$\sum_{t,i,j,l\geq 2}\frac{A_{tijl}.Y_{tijl}}{(1+r)^{t-1}}+\sum_{t,i,j,k,lv}\frac{C_{tijk\square}.X_{tij}.X_{tkl}}{(1+r)^{t-1}}\leq\ TB_t\ ,\ v\epsilon V \qquad 5$$

$$Y_{tijl}=0,\forall t,l.\exists i,j. \qquad 6$$

$$X_{tij}.X_{tkl}=1,\forall t,\exists i,j,k,l \qquad 7$$

$$X_{tij}=\{0,1\},\forall i,j,t \qquad 8$$

$$Y_{tijl}=\{0,1\},\forall i,j,l,t\geq 2 \qquad 9$$

محدودیت‌های (۲) و (۳) تضمین می‌کنند که در هر دوره، هر دستگاه تنها به یک موقعیت اختصاص یابد و سپس هر موقعیت فقط با یک دستگاه درگیر باشد. محدودیت (۴) هزینه باز چینی یک دستگاه را در دو دوره متوالی به کل هزینه طراحی چیدمان اضافه می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، اگر تسهیلات i در دوره $t-1$ در موقعیت (مکان) j واقع گردد ($X_{t-1,ij}=1$) و در دوره t در مکان l ($X_{t,il}=1$) قرار گیرد، پس Y_{tijl} برابر با یک خواهد بود یعنی باز چینی صورت گرفته است و درنهایت هزینه‌های آن‌ها را باید در تابع هدف در نظر بگیریم.

محدودیت (۵) تضمین می‌کند که هزینه جابه‌جایی مواد با در نظر گرفتن هزینه چیدمان با توجه به جابه‌جایی مواد از مقدار بودجه تخصیص داده‌شده به هر بخش بیش‌تر نشود. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که دستگاه i در موقعیتی که قرارگرفته را می‌توان در طول افق برنامه‌ریزی ثابت نگه‌داریم. این بدان معنی است که اگر بخش i در دوره $t-1$ در موقعیت j ($x_{t-1,jl}=1$) باشد، آنگاه نمی‌تواند در دیگر موقعیت‌ها مانند l در دوره t قرار گیرد. پس $Y_{tijl}=0$ که در آن موقعیت دستگاه i ثابت باقی‌مانده است. محدودیت (۷) بیان می‌دارد که موقعیت دو دستگاه در طول افق برنامه‌ریزی ثابت باقی می‌ماند. در همه دوره‌های t که تسهیلات i و k که می‌توانند در موقعیت‌های خاصی مانند j و l قرار گیرند فاصله مشخصی نسبت به یکدیگر دارند. محدودیت (۸) و (۹) طبیعت دودویی از متغیرهای تصمیم‌گیری مدل را نشان می‌دهد.

۳-۴- راه‌حل پیشنهادی

ازآنجاکه روش‌های متعددی برای حل مسائل طراحی چیدمان تاکنون بیان‌شده و هرکدام به‌نوبه‌ی خود جوابی مناسب در این زمینه داده‌اند اما هنوز امکان بهتر شدن جواب‌ها، به دلیل جواب‌های غیرقطعی و ناکامل وجود دارد، که ما در این قسمت به بیان روشی بهینه در جهت دستیابی به مسئله طراحی چیدمان پویا می‌پردازیم، تا شاید بتوانیم راهگشایی در این زمینه باشیم. همان‌طور که گفتیم برای حل احتمالی مسائل طراحی چیدمان به‌ویژه پویا امروزه از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری

مختلفی توسط پژوهش‌گران استفاده‌شده است تا بتوان به نتایجی نزدیک به واقعیت دست‌یافت. روش-هایی همچون کلونی زنبورعسل(نیک‌نام و امیری، ۲۰۱۰)، جستجوی ممنوعه(بزرگی و همکاران، ۲۰۱۵)، الگوریتم ژنتیک(هن و شانگهای،۲۰۱۰)، ازدحام ذرات(فو و همکاران، ۲۰۱۰) و غیره.

ما در این پژوهش از ترکیب دو الگوریتم ابتکاری شبیه‌سازی تبرید و جستجوی متغیر همسایگی برای حل مسئله طراحی چیدمان پویا کمک می‌گیریم. علت به‌کارگیری این دو الگوریتم مشابهت در ساختار بهینه یابی و پوشش نقاط ضعف یکدیگر و همچنین بهره‌گیری از نقاط قوت هریک از این دو الگوریتم می‌باشد. شباهت این دو الگوریتم در نیاز به مقدار اولیه در کد برنامه‌نویسی برای یافتن نقاط بهینه به‌صورت مرحله‌به‌مرحله است. نقاط ضعف در الگوریتم SA در عدم وجود محدودیت زمانی برای اتمام اجرای الگوریتم و نیز بالا بودن زمان محاسبه نسبت به دیگر روش‌های موجود هست. در الگوریتم VNS همگرایی به جواب بهینه با سرعت کم‌تری صورت می‌گیرید، که با به‌کارگیری الگوریتم جستجوی متغیر همسایگی انطباق پذیر سرعت همگرایی و درنتیجه افزایش سرعت در دستیابی به جواب افزون گردد. اما ضعف دیگری که الگوریتم AVNS دارد، رسیدن به جواب‌های ضعیف‌تر با بیش‌تر شدن تعداد جواب‌های بهینه نسبت به جواب‌های کوچک‌تر است و همچنین جستجوی همسایگی به‌خوبی صورت نمی‌پذیرد. حال با ادغام این دو الگوریتم می‌توانیم برای تعداد زیادی از نمونه‌ها به جواب‌هایی بهینه با سرعت مناسب دستیابیم. اثربخشی این ترکیب را می‌توان در جواب‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد. ازآنجاکه الگوریتم VNS به جستجوی نقاط همسایگی جواب فعلی و بررسی راه‌حل‌های مجاور می‌باشد گاهی بجای رسیدن به راه‌حل کمینه به حداکثر می‌رسد که در صورت عدم تنظیم در یک نقطه محلی گیر می‌کند، حال در این تحقیق ما با تکرار الگوریتم VNS با شرایط اولیه متفاوت و بر اساس شبیه‌سازی تبرید (SA)، این مشکل را رفع کرده‌ایم. در ادامه به بررسی ادغام این دو الگوریتم پرداخته و در آخر نتایج آن را در فصل بعدی بیان می‌کنیم.

۳-۵- الگوریتم ترکیبی SA-AVNS

از این الگوریتم برای حل مسئله پیچیده مکان‌یابی چیدمان پویا استفاده کرده‌ایم. الگوریتم پیشنهادی که ترکیبی از دو الگوریتم گفته‌شده SA و AVNS است، دارای خواص هر دو الگوریتم و پوشش نقاط ضعف یکدیگر می‌باشد. به معنای دیگر، در طول جستجو در تله بهینه محلی نمی‌افتد (VNS,SA) و از طرفی سرعت همگرایی (AVNS) به جواب کمینه مطلق (SA) افزایش می‌یابد اما نه به‌گونه‌ای که بی‌تفاوت از کنار جواب‌های بهینه احتمالی بگذرد. بدین معنی که سرعت دستیابی به جواب بهینه با بررسی بیشترین جواب‌های بهینه محلی، در اندک زمان حاصل می‌گردد. این راه‌حل در شرایط بازمان اندک می‌تواند نویدبخش تصمیم گیران باشد. در اینجا به ارائه شبه کد الگوریتم ترکیبی SA-AVNS می‌پردازیم تا روند حرکت الگوریتم را به زبانی ساده‌تر نشان دهیم.

۳-۶-۱- شبه کد الگوریتم **SA-AVNS**

Begin

1. **Inputs:** the number of departments (*N*), the number of planning periods (*T*), the matrix of material flowed between departments in each period, the width and length of the plant space, the shape of each symmetric departments, the size of each departments, the value of interest rate considered over the planning horizon, the name of departments to be fixed, the name of departments to be kept far away each other, a set of transportation facilities

2. Specify initial and final temperature, cooling schedule pattern, the epoch length, the number of iterations;

3. Define a set of neighborhood structures *Nk* k=1,…, kmax

4. Generate a layout design (*L*) for *T* periods at random and set it as the initial layout inputted to the algorithm;

5. Evaluate the initial layout and denote it as *F(L)*.

6. Repeat

7. Set *K=1*;

8. **While** (k≤ kmax) **do**

9. Chose predefined number of periods randomly and generate a neighboring solution L' through shaking process from the kth neighborhood of L.

10. Apply local search method based on SA to L' to find the local optimum denoted with L'' :

10.1. Set L' as the current layout Lc and the local best layout L'';

10.2. **Repeat**

10.3. **for** i=1 to *Epoch-length* **do**

10.4. Generate a neighboring layout Ln of the current layout Lc;

10.5. Evaluate the neighboring layout and name it $F(Ln)$;

10.6. Calculate $\Delta = F(Ln)-F(Lc)$;

10.7. **if** $\Delta<0$ **then**

10.8. Replace Lc with Ln;

10.9. **else if** random(0,1)<

10.10. Replace Lc with Ln;

10.11. **end-if**

10.12. **end-for**

10.13. Update L'';

10.14. Decrease the temperature according to the predefined pattern and set it as T;

10.15. **Until** the system is frozen

11. **If** $F(L'')<F(L)$

12. Update L and set $k=1$;

13. **else**

14. Set $k=k+1$;

15. **end-if**

end-while

Until stopping condition is fulfilled

Print the resulted dynamic layout design that is the best solution obtained from algorithm;

Print the transportation design corresponding to the best dynamic layout**;**

Print the minimum cost resulted from the best dynamic layout;

End.

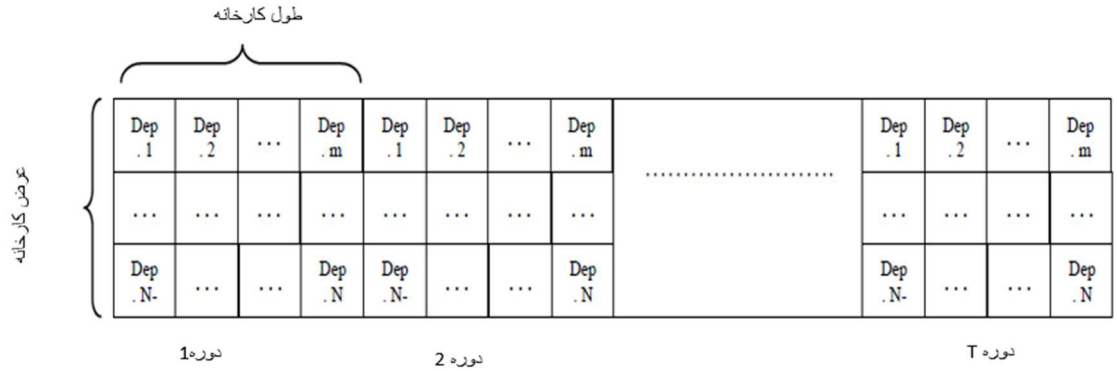
۳-۶-۲- پیاده‌سازی الگوریتم SA-AVNS

برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی نیاز به گذار از چندین مرحله تا رسیدن به جواب منطقی است. در این بخش به بررسی مراحل پرداخته تا روند حرکت در این الگوریتم شفاف‌تر گردد. پس از گذراندن تمامی مراحل، باید برای تعیین درستی جواب‌ها به مقایسه مقادیر تابع هدف در حالت پایه و آزمون درستی من‌ویتنی پرداخته می‌شود. در این پژوهش هر مرحله را به تشریح توضیح و در صورت لزوم شکل‌های مربوطه را مبذول داشته‌ایم.

مرحله اول: جواب اولیه

بدون گذار از مرحله اول، پیاده‌سازی این الگوریتم امکان‌پذیر نیست زیرا همان‌گونه که گفته شد، برای پیاده‌سازی الگوریتم VNS به جواب اولیه نیاز داریم. ما در اینجا ابتدا جواب اولیه (x) را، چیدمان اولیه در طول افق برنامه‌ریزی درنظر می‌گیریم و ماتریس آن را مطابق با **شکل زیر** در برنامه وارد می‌کنیم. درواقع در هر دوره مقدار چیدمان اولیه با دوره بعدی به دلیل پویا بودن برنامه، متفاوت خواهد بود. **در شکل زیر** برنامه کدگذاری برای DPLP را در N بخش و به طول x واحد و عرض m واحد در محیط کارخانه و افق برنامه‌ریزی T دوره را نشان می‌دهد. که با اعمال این برنامه کدگذاری می‌توان برای تعداد بخش‌های متفاوت و در دوره‌های گوناگون می‌توان محاسبه نمود. در این بخش مساحت‌های دستگاه‌ها یکسان اما طول و عرض کارخانه می‌تواند متفاوت باشد. البته لازم به ذکر است در هر افق برنامه‌ریزی تعداد دستگاه‌ها و مساحت کارخانه ثابت هستند. درواقع در این قسمت منظور از این تفاوت، بررسی روند یک کارخانه با دستگاه‌های یکسان در طول افق برنامه‌ریزی برای تولیدات متفاوت است. به‌عنوان‌مثال کارخانه‌های تولید وسایل گرمازا و سرمازا. ساخت این نوع وسایل روند

متفاوتی داشته و حتی جریان مواد متفاوتی خواهد داشت. حتی در تولید یک نوع وسیله گرمازا ممکن است از یک دستگاه خاص یا ابزار خاصی استفاده نشود. لذا برای کاهش هزینه و زمان تولید چینش در هر دوره اهمیت خواهد داشت.



شکل ۳-۲ :کدگذاری چیدمان اولیه

مرحله دوم: حلقه درونی (فرآیند ارتعاش)

پس از گذار از مرحله اول، وارد مرحله حلقه درونی الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر می‌شویم که همان فرآیند ارتعاش (تکان) می‌باشد. این مرحله، مهم‌ترین گام در الگوریتم VNS است. درواقع تفاوت بی‌بدیل این الگوریتم با سایر الگوریتم‌های مشابه در فرآیند ارتعاش می‌باشد. بدین معنی که به بررسی همسایگی‌های مختلف در طول اجرای فرآیند و در شرایط سیستماتیک برای حل مسائل طراحی چیدمان می‌پردازد. یا به بیانی دیگر، به جابه‌جایی و تغییر مکان تجهیزات به روش‌های مختلف می‌پردازد. ازآنجاکه ساختار همسایگی نقشی مهم و اساسی در الگوریتم پیشنهادی (VNS) بازی می-کند، می‌توان به بیان این روش‌ها پرداخت(حسنی و همکاران، ۲۰۱۵):

- به‌طور تصادفی دو دستگاه را انتخاب و موقعیت آن‌ها را نسبت به یکدیگر جابه‌جا می‌کنیم.
- پس از چندین تکرار و اعمال جابه‌جایی‌های زوجی، به تعویض موقعیت دستگاه‌هایی می-پردازیم که به‌طور تصادفی انتخاب‌شده‌اند.

- در اینجا گروهی از بخش‌ها را به‌صورت تصادفی انتخاب و باهم به موقعیتی دیگر تغییر مکان می‌دهند.(عامل حرکت زیرمجموعه[۲۱])؛
- در این حالت یک دستگاه را به‌طور تصادفی انتخاب و به موقعیتی بین دو دستگاه انتخابی تصادفی دیگر قرار می‌دهیم.
- در شرایطی دیگر گروهی از دستگاه‌ها را به‌طور تصادفی انتخاب و به شکل نامنظم و مخلوط شده، کنار هم قرار می‌گیرند.
- با انتخاب تصادفی گروهی از دستگاه‌ها و قرارگیری آن‌ها در موقعیت‌های معکوس خود، می‌توان به ساختاری واژگون رسید.
- در حالتی دیگر می‌توان گروهی از دستگاه‌ها را به‌طور تصادفی انتخاب و در موقعیت‌های معکوس نسبت به خود قرار، سپس همگی را به‌جای دیگری انتقال دهیم.
- دو موقعیت را به‌طور تصادفی با توجه به مقدار اولین موقعیت خود، انتخاب و در صورت کم‌تر یا بیش‌تر بودن نسبت به موقعیت قبلی، به سمت جلو یا عقب حرکت می‌کند.
- در این حالت می‌توان یک دستگاه را به‌طور تصادفی انتخاب و به‌صورت احتمالی در موقعیت چپ یا راست قرار بگیرد.

پس از بررسی جابه‌جایی‌های مختلف درنهایت و با توجه به مسیر حرکت به سمت بهینه‌سازی (که ما در اینجا به بررسی کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌پردازیم)، به جوابی با بهترین ساختار همسایگی و تا حدی مطابق با محدودیت‌های تعریف‌شده می‌رسد. اما به دلیل اعمال ساختار همسایگی با توجه به روش‌های گفته‌شده، در حین اجرای برنامه، ممکن است برخی از محدودیت‌های مسئله (مانند ثابت بودن یک بخش) نقض و یا راه‌حل‌های غیرقابل‌قبولی را بدهند، بدین معنی که به‌عنوان‌مثال بخشی که در موقعیتی ثابت فرض شده پس از اجرای الگوریتم جابه‌جا شود. که این باعث می‌شود مسئله ما بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها حل شود، لذا برای حل این مشکل می‌توان از برخی استراتژی‌ها که برای این

[21] Subsequence moving operator

منظور ارائه‌شده است، استفاده نماییم. ما در پژوهش خود از استراتژی جبران[۲۲] کمک می‌گیریم (حسنی و همکاران، ۲۰۱۵). این استراتژی در مقاله حسنی و همکاران، (۲۰۱۵)، نیز بررسی‌شده و نتایج قابل‌قبول و مناسبی را به دست آورده است. ازآنجاکه این استراتژی در مقاله‌ای مشابه استفاده‌شده در این پژوهش نیز از آن بهره گرفته می‌شود.

مرحله سوم: جستجوی همسایگی

با توجه به توضیحات داده‌شده خروجی مرحله ارتعاش یک راه‌حل انتخابی با ساختار همسایگی است، که می‌توان به‌عنوان ورودی به مرحله جستجوی همسایگی وارد کرد. ازآنجاکه ممکن است در محاسبه بهینه محلی به جوابی نامناسب و یا ناقص احتمالی دست‌یافت، لذا در این پژوهش از الگوریتم شبیه-سازی تبرید که اولین بار توسط متروپلیس و همکاران (۱۹۵۳) ارائه شد، کمک گرفته شده است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد پژوهش‌های متعددی اثربخشی این الگوریتم در یافتن پاسخ‌های بهینه را تأکید می‌کردند. اعمال حلقه بیرونی الگوریتم SA که وظیفه کنترل و کاهش تدریجی تا کم‌ترین دما با توجه به فرمول غیرخطی زیر، را بر عهده دارد، می‌توان بر مشکل خروجی مرحله ارتعاش غلبه نمود. در این الگو در تکرارهای اول، دما به‌آرامی و در آخرین تکرار به‌سرعت، کاهش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، با کاهش دما در هر مرحله، مقادیر نامناسب یا پرت‌تر کنار گذاشته می‌شود و هرآن رسیدن به پاسخی مناسب‌تر، امکان‌پذیرتر می‌گردد. همان‌طور که می‌دانیم روند کاهش دما بسیار بااهمیت است. برای این منظور، انتخاب فرمول مناسب نیز مهم خواهد بود. که در این فرمول T_i دما در تکرار i، T_0 دمای اولیه، T_f دمای نهایی و N تعداد گام‌هایی است که از دمای اولیه به دمای نهایی طی می‌کند.

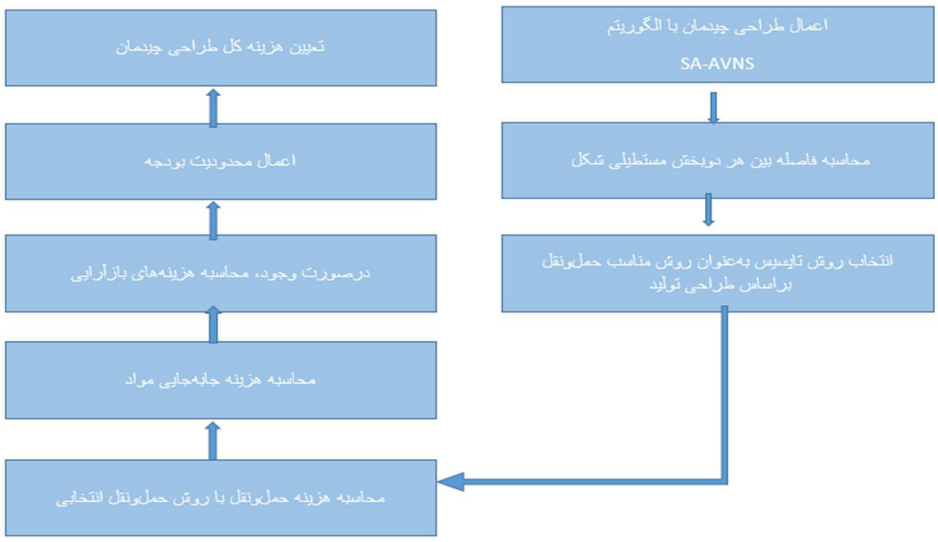
تابع احتمال جواب فعلی عضو مهم الگوریتم SA است که مانع پذیرش جواب‌های غیر بهینه در همسایگی می‌شود و امکان پذیرش جواب‌های بهتر را ممکن می‌سازد (طالبی، ۲۰۰۹، ص. ۱۲۹)، که این هدف حلقه درونی در هر دما می‌باشد.

[22] repairing strategy

$$T_i = T_0 - i^{\frac{\ln(T_{0-}T_f)}{\ln(N)}}$$

مرحله چهارم: ارزیابی طراحی چیدمان

برای محاسبه ارزیابی طراحی چیدمان از دو روش سیستماتیک مطابق با شکل زیر و طراحی چیدمان اولیه استفاده می‌شود. اما چیزی که در ارزیابی طراحی چیدمان بیش‌تر مطرح است کاهش هزینه-های متحمل شده به سیستم است. به‌منظور تقلیل این هزینه‌ها با توجه به تحقیقات صورت گرفته، وابسته به هزینه‌های بازآرایی و هزینه‌های جابه‌جایی مواد می‌باشد. درواقع تعریف هزینه‌های بازآرایی به معنای هزینه حاصل از جابه‌جایی موقعیت یک بخش در دو دوره زمانی متوالی و هزینه جابه‌جایی مواد به معنای عوامل اثرگذار و نحوه و شرایط حمل‌ونقل مواد بین بخش‌های مختلف می‌باشد که این عوامل شامل، فاصله بین بخش‌ها، جریان مواد و هزینه انتقال یک واحد محصول در هر واحد مکانی است. برای محاسبه فاصله بین بخش‌ها به بررسی فواصل مستقیم بین آن‌ها می‌پردازیم. هزینه جابه-جایی مواد نیز پس از انتخاب نوع روش حمل‌ونقل برای جابه‌جایی مواد بین دو بخش، از روش TOPSIS با درنظر گرفتن برخی معیارهای خاص، محاسبه می‌کنیم. با جمع هزینه‌های بازآرایی و هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین بخش‌ها، هزینه طراحی چیدمان حاصل می‌گردد.



شکل ۳-۳ : ارزیابی طراحی چیدمان به روش سیستماتیک

فصل چهارم: نتایج محاسباتی

۴-۱- مقدمه

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده به بررسی روش پیشنهادی برای حل مسئله چیدمان پویای تجهیزات پرداخته می‌شود. برای ساده‌سازی در درک مفاهیم بیان‌شده و روش مطرح‌شده روند اجرای الگوریتم ترکیبی را که در بخش پیشین به تفسیر بیان نموده شد، یک مثال عددی بیان می‌شود. درواقع در هر پژوهش مسیر دستیابی به پرسش‌های مطرح‌شده در فصل اول یکتا بوده و نیز این نوع پژوهش در ایران کم‌تر به‌صورت گسترده موردبحث و بررسی قرارگرفته تا علاقه‌مندان و پژوهش‌گران در هر دوره بتوان بهتر مسائل ازاین‌دست را به‌خوبی درک و در ادامه مسیر پیشینیان گام بردارند، لذا ارائه مثالی عددی امری مهم تلقی خواهد شد. البته در این بخش سعی بر این بوده که به تشریح حل مسئله اصلی در قالب مثالی ساده پرداخته شود. سپس به اعتبارسنجی و تحلیل جواب‌های به‌دست‌آمده با روش SA-AVNS پرداخته می‌شود. رسیدن به پاسخ به‌تنهایی نمی‌تواند موفقیت ما را دریافتن راه‌حلی مناسب ثابت کند. لذا اعتبارسنجی آنچه انجام‌شده می‌تواند به کار ما اعتبار ببخشد.

۴-۲- معرفی مسئله نمونه

در این بخش، یک نمونه مساله با سایز کوچک توسط الگوریتم پیشنهادی حل می‌شود و خروجی مدل که شامل تخصیص ماشین آلات به دپارتمان ها است به تفصیل نمایش داده می‌شوند. در اینجاکارخانه‌ای با شش دستگاه فرض شده است. این دستگاه‌ها را با شکل‌های یکسان و هرکدام به‌اندازه واحد درنظر گرفته شده است. این شش بخش در زمینی به طول سه واحد و عرض دو واحد قرارگرفته است. در این طرح، هزینه جابه‌جایی مواد بین هر دو دستگاه را با تعیین بهترین روش حمل‌ونقل مواد محاسبه می‌کنند. بدین منظور، از تکنیک تاپسیس[۲۳] که روشی مناسب در این پژوهش برای تصمیم‌گیری است، استفاده می‌شود. در این تکنیک برای تعیین بهترین گزینه به بررسی معیارهای (فاکتورهای) اثرگذار در گزینه‌ها پرداخته شده است. ۱) حاصل تقسیم جریان مواد بین دو دستگاه بر ظرفیت هر گزینه در هزینه جابه‌جایی هر گزینه یا ۲) حاصل تقسیم سرعت گزینه انتخابی بر فاصله بین دو دستگاه. گزینه‌ها و معیارهای انتخابی در این پژوهش در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

[23] TOPSIS

اگر جدول شاخص ها مشابه زیر باشد؛

جدول ۴-۱ معیارهای در نظر گرفته شده

گزینه ها	هزینه ثابت	قابلیت اطمینان	سرعت	ظرفیت	هزینه انتقال
۱	۱۰۰۰۰	۰.۷	۳۵	۴۰۰	۱۵۰
۲	۸۰۰۰	۰.۷۵	۱۸	۱۵۰	۴۰۰
۳	۲۰۰۰	۰.۹۸	۶	۵۰	۵۰۰

جدول ۴-۲ ماتریس جریان بین ماشین ها برای دوره اول

	ماشین۱	ماشین۲	ماشین۳	ماشین۴	ماشین۵	ماشین۶
ماشین۱	0	89	40	20	90	47
ماشین۲	43	0	5	77	66	75
ماشین۳	78	49	0	22	56	3
ماشین۴	41	43	51	0	35	72
ماشین۵	67	46	74	43	0	7
ماشین۶	90	34	54	93	85	0

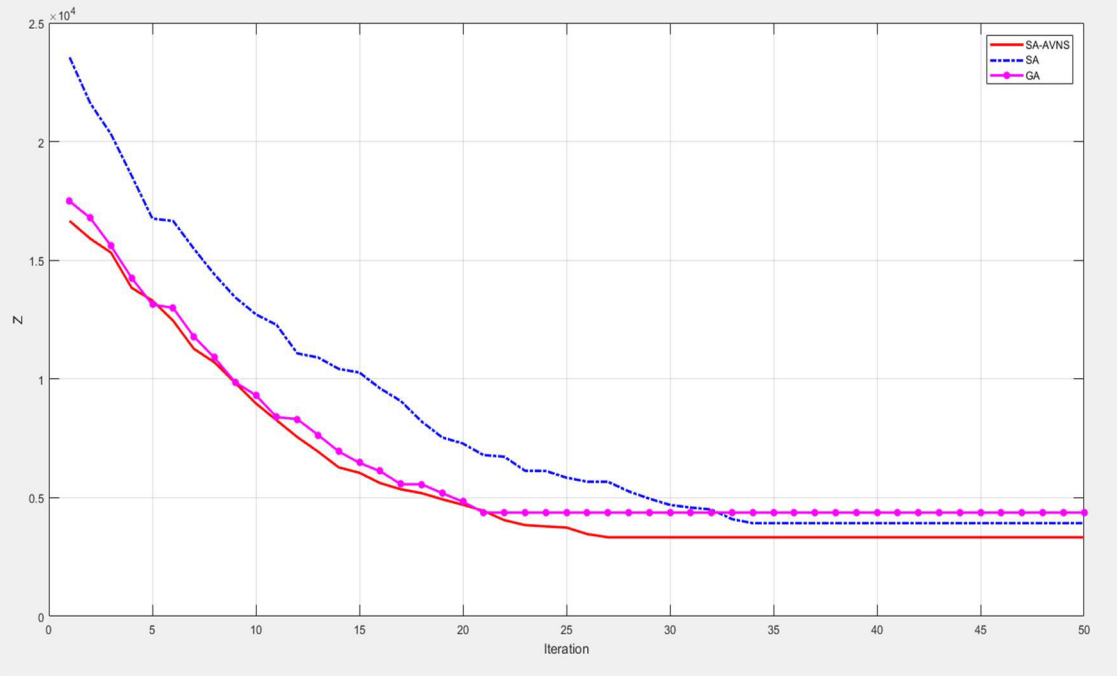
جدول ۴-۳ ماتریس جریان بین ماشین ها برای دوره دوم

	ماشین۱	ماشین۲	ماشین۳	ماشین۴	ماشین۵	ماشین۶
ماشین۱	0	67	59	64	18	1
ماشین۲	31	0	13	18	76	43
ماشین۳	37	45	0	29	63	70
ماشین۴	14	56	11	0	54	32
ماشین۵	71	80	39	85	0	2
ماشین۶	3	83	92	71	2	0

جدول ۴-۴ ماتریس جریان بین ماشین ها برای دوره سوم

	ماشین۱	ماشین۲	ماشین۳	ماشین۴	ماشین۵	ماشین۶
ماشین۱	0	40	31	10	54	18
ماشین۲	60	0	55	20	83	7
ماشین۳	11	73	0	77	14	73
ماشین۴	41	98	88	0	55	73
ماشین۵	78	48	66	12	0	87
ماشین۶	98	44	100	98	11	0

بر این اساس نتیجه بدست آمده از سه الگوریتم SA-AVNSو SA و GA در ادامه آورده شده است.



نمودار ۴-۱ نمودار همگرایی ۳ الگوریتم مورد مقایسه

همان طور که مشخص است الگوریتم پیشنهادی توانسته در تکرار ۲۷ به جواب بهینه دست پیدا کند و دو الگوریتم دیگر در پیدا کردن جواب بهینه ناتوان بوده اند.

جواب بهینه بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی به قرار زیر است که کاملا مشخص است بر اساس چیدمان بهینه از جابجایی ها در دورهای مختلف تا آنجا که امکان داشته است پرهیز شده است که محدودیت ثابت بودن دو دستگاه ۲ در موقعیت ۱ و دستگاه ۶ در موقعیت ۶ نیز که در ادامه توضیح داده خواهد شد، اعمال شده است.

جدول ۴-۵ ماتریس چیدمان بهینه در دوره های مختلف

دوره اول	2	1	4	5	3	6
دوره دوم	2	4	5	1	3	6
دوره سوم	2	4	5	3	1	6

علاوه بر مطالبی که تاکنون بیان شد، در هر کارخانه‌ای محدودیت‌هایی برای تعیین محل دستگاه‌ها وجود دارد. از جمله می‌توان به دستگاه‌های سنگین و پرهزینه در جابه‌جایی مانند دستگاه پرس اشاره کرد. همچنین محدودیت‌هایی که به دلیل امکان احتراق باید فاصله‌ای بین دو دستگاه درنظر گرفته شود. در ادامه مثال بالا، دستگاه رنگ‌پاشی را به دلیل مواد آتش‌زا و دستگاه جوشکاری را به دلیل حرارت بالا، نباید درکنار هم قرار داده شوند. حداقل یک بخش بین محل قرارگیری این دو بخش فاصله باشد. محدودیت دیگری که در این مثال درنظر گرفته‌شده، محل قرارگیری دستگاه پرس و CNC است. نیاز به فونداسیون و پی‌ریز و هزینه‌هایی که برای جابه‌جایی این دو دستگاه برآورد می‌شود، ثابت بودن محل قرارگیری را مقرون‌به‌صرفه می‌کند. این دو دستگاه نیاز به وسیله‌ای برای تهویه هوادارند که این موضوع نیز به ثابت بودن جایگاه دو دستگاه پرس و CNC تأکید می‌کند. دستگاه‌های ۱تا۶ (۱:پرس، ۲:مونتاژ، ۳:رنگ‌پاشی، ۴:CNC، ۵:تراشکاری ۶:جوشکاری) در بخش‌های ۱تا۶ قرار داده شده‌اند. درواقع با توجه به شرایط و محدودیت‌های مثال گفته‌شده می‌توان شکل فرضی اولیه برای این کارخانه را به‌صورت زیر در نظر گرفت.

۱ تراشکاری	۲ جوشکاری	۳ مونتاژ
۴ پرس	۵ رنگ پاشی	۶ CNC

شکل ۴-۱ :چیدمان احتمالی برای طراحی چیدمان موردمطالعه با توجه به محدودیت‌های بیان‌شده (طول۳ واحد و عرض۲واحد)

ازآنجاکه الگوریتم VNS و SA برای حل به مقادیر اولیه نیازمندند لذا الگوریتم SA-AVNS در هر دوره باید مقادیر اولیه تصادفی محل قرارگیری تجهیزات وارد شده‌اند. به‌طور خلاصه می‌توان بیان کرد که ابتدا نقاط اولیه داده‌شده که با توجه به داده‌های مقاله بالاکریشنان (-پیشینه تحقیق-) تعیین‌شده بودند را یک‌بار با الگوریتم SA اجرا شده تا نتایج مناسب بدست آمده و داده‌های پرت کنار گذاشته شوند و بار

دیگر نتایج را با الگوریتم AVNS. همچنین از یک استراتژی برای نرمال‌سازی و رفع مشکلات ناشی از عدم توجه به محدودیت‌های تعریف‌شده در مدل کمک گرفته می‌شود که در فصل قبل با عنوان استراتژی جبران از آن نام برده شد.

۴-۳- اعتبارسنجی و تحلیل نتایج

برای اعتبارسنجی راه‌حل‌های دست آمده مقدار تابع هدف را برای داده‌های مختلف مطابق با داده‌های مقاله بالاکریشنان (۱۹۹۸) را با مقادیر حاصل از مقدار میانگین تابع در هر دوره، مقایسه شد. در این مقایسه می‌توان تفاوت داده‌های مقدار میانگین و روش پیشنهادی را با بررسی دیورژانس محاسبه نمود. پس از بررسی تابع هدف با توجه به مسئله پایه همچنین می‌توان پاسخ‌های به‌دست‌آمده با روش‌های AVNS و SA را نیز مورد بررسی قرار داد.

برای محاسبه مقدار درصد Dev از فرمول زیر استفاده می‌کنیم. برای هر یک از مقادیر میانگین تابع مقایسه صورت می‌گیرد.

جدول۴-۶: مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم SA و AVNS

N	T	N=6					N=15					N=30				
		SA-AVNS بهترین جواب	بهترین جواب SA	بهترین جواب AVNS	فاصله جواب الگوریتم پیشنهادی با SA یا AVNS	فاصله جواب الگوریتم پیشنهادی با AVNS	SA-AVNS بهترین جواب	بهترین جواب SA	بهترین جواب AVNS	فاصله جواب الگوریتم پیشنهادی با SA	فاصله جواب الگوریتم پیشنهادی با AVNS	SA-AVNS بهترین جواب	بهترین جواب SA	بهترین جواب AVNS	فاصله جواب الگوریتم پیشنهادی با SA	فاصله جواب الگوریتم پیشنهادی با AVNS
5	1	1967964	1967029	1968903	-0.047	-0.048	8814330	8817548	8816401	-0.036	-0.023	13207410	13209780	13209433	-0.018	-0.015
	2	1684895	1762817	1958400	-4.42	-13.97	8821740	8824162	8823747	-0.027	-2.27	13216183	13216260	13215918	-5.826	0.002
	3	1967621	1656544	1791297	18.78	9.84	8807598	8809698	8808344	-0.024	-9.615	13212495	13213688	13212404	-0.009	6.88
	4	1768250	1792316	1886329	-1.343	-6.26	8792530	8795467	8794573	-0033	-0.023	13210277	13211399	13210946	-0.008	-0.005
	5	1707462	1707050	1923786	0.024	-11.245	8878523	8878505	8880149	2.027	-0.018	13190836	13191004	13192182	-0.001	-0.010
	6	1801302	1908282	1928385	-5.61	-6.59	8839507	8839445	8839233	7.014	0.003	13195657	13196452	13194813	-0.021	-0.009
	7	1871788	1868517	1759357	0.17	6.39	8778950	8783031	8780838	-0.046	-0.022	13196276	13197815	13197978	-0.012	-0.013
	8	1813379	1861233	1769535	-2.57	2.48	8834870	8835669	8832721	-0.009	0.024	14514389	14516245	14513048	-0.013	-0.004
10	1	2268998	2521262	2518461	-10.005	-9.91	12976786	12978453	12977162	-0.013	-0.003	29432219	29434511	29434335	-0.0078	-0.007
	2	2811673	2814226	2813031	-0.091	-0.048	12998901	13002920	13001903	-0.031	-0.023	29463366	29467191	29465059	-0.013	-0.006
	3	2813661	2816690	2815108	-0.107	-0.05	12998067	13000110	12998035	-0.016	2.46	29562863	29566017	29566297	-0.011	-0.012
	4	3255978	3258912	3258316	-0.090	-0.072	12973326	12974638	12974590	-0.010	-0.009	29417777	29420102	29418978	-0.008	-0.004
	5	3416327	3416064	3415325	0.007	0.029	13065311	13068819	13068487	-0.027	-0.024	29392362	29434511	29392274	-0.143	2.99
	6	3416267	3416404	3418955	-.004	-0.078	13017749	13021582	13017888	-0.029	-0.001	23531076	23535142	23533351	-0.0173	-0.009
	7	3299016	3299670	3299892	-1.98	-0.026	12966534	12968228	12967274	-00013	-0.006	23599444	23601343	23597774	-0.008	-0.007
	8	3297835	3298009	3298261	-0.005	-0.013	13007930	13011240	13012439	-0.025	-0.035	29484203	29486897	29418978	-0.009	0.02

جدول ۴-۷. مقایسه بهترین جواب مدل پیشنهادی و میانگین جواب پیشنهادی

		شماره مسئله	1	2	3	4	5	6	7	8
N6	T5	بهترین جواب								
		SA-AVNS	1967964	1684895	1967621	1768250	1707462	1801302	1871788	1813379
		میانگین جواب								
		SA-AVNS	1917900	1462800	2085000	1145200	3559600	1858600	1967300	1845600
		Dev%	2.610	15.183	-5.629	54.405	-52.032	-3.082	-4.855	-1.746
N6	T10	بهترین جواب								
		SA-AVNS	2520284	2811673	2813661	3255978	3416327	3416267	3299016	3297835
		میانگین جواب								
		SA-AVNS	3667500	3629300	3881500	3446000	3415300	3416900	2170100	1465400
		Dev%	-31.28	-22.53	-27.51	-5.51	0.0301	-0.0185	52.021	125.05
N15	T5	بهترین جواب								
		SA-AVNS	8814330	8821740	8807598	8792530	8878523	8839507	8778950	8834870
		میانگین جواب								
		SA-AVNS	8816700	8823800	8810300	8797600	8883100	8841100	8781800	8836200
		Dev%	-0.0269	-0.0233	-0.0307	-0.0576	-0.0515	-0.0180	-0.032	-0.0151
N15	T10	بهترین جواب								
		SA-AVNS	12976786	12998901	12998069	12973326	13065311	13017749	12966534	13007930
		میانگین جواب								
		SA-AVNS	12977000	13001000	12999000	12974000	13066000	13018000	12967000	13010000
		Dev%	-0.0016	-0.0016	-0.0072	-0.0052	-0.0053	-0.0019	-0.0036	-0.016
N30	T5	بهترین جواب								
		SA-AVNS	13207410	13216183	13212495	13210277	13190836	13193657	13196276	14514389
		میانگین جواب								
		SA-AVNS	13209000	13218000	13214000	13220000	13192000	13196000	13198000	14516000
		Dev%	-0.012	-0.014	-0.011	-0.0735	-0.0088	-0.0177	-0.0131	-0.0111
n30	T10	بهترین جواب								
		SA-AVNS	29432219	29463366	29562863	29417777	29392362	23531076	23599444	29484203

	میانگین جواب								
	SA-AVNS	29434000	29465000	29564000	29420000	29394000	23533000	23600000	29486000
	Dev%	-0.0061	-0.00554	-0.00385	-0.00756	-0.0056	-0.0082	-0.00236	-0.0061

در جدول ۴-۶ مشاهده می‌شود که هرچه تعداد داده‌ها و تعداد تکرارها بیشتر شود، مقدار حد فاصل بین الگوریتم پیشنهادی SA-AVNS با هریک از الگوریتم‌های SA و AVNS بیشتر و نتایج بهتری را رقم می‌زند. برای محاسبه حدفاصل بین دو الگوریتم؛ حدفاصل دو الگوریتم پیشنهادی و یکی از الگوریتم‌های مورد مقایسه تقسیم بر الگوریتم مورد مقایسه در صد بدست می‌آید.

که در جدول ۴-۷، برای محاسبه مقدار درصد Dev از فرمول زیر استفاده می‌کنیم. برای هر یک از مقادیر پیشینه این مقایسه صورت می‌گیرد.

$$\text{Dev\%}= \frac{F_{S\square} \quad - F_{average}}{F_{average}} \times 100$$

در جدول ۴-۷ می‌بینیم که هرچه تعداد بخش‌ها افزون می‌گردد مقدار اثربخشی این روش بیش‌تر نمایان شده‌است. تأثیر این مدل زمانی برای ما آشکار می‌شود که تعداد بخش‌ها ۱۵ یا ۳۰ باشد. در ادامه عملکرد الگوریتم ترکیبی با هریک از الگوریتم‌ها و زمانی که هریک برای محاسبه نیاز دارند مقایسه شده‌است.

جدول ۴-۸: نتایج حاصل اجرای الگوریتم SA-AVNS براساس مدل ارائه شده

شماره مسئله	من ویتنی U-value	ارزش معیار U برای $p<0.05$	تفاوت آماری معنی‌دار برای $p<0.05$
6-5	32	13	معنی دار نیست
6-10	32	13	معنی دار نیست
15-5	28	13	معنی دار نیست
15-10	27	13	معنی دار نیست
30-5	26	13	معنی دار نیست
30-10	28	13	معنی دار نیست

سطح معنی داری برابر ۰.۰۵ است. اگر $U<U_c$ باشد (c؛ سطح بحرانی)، پس تفاوت بین دو نمونه معنی‌دار خواهد بود.

برای تحلیل نتایج نیاز به توجه مناسب به پاسخ‌های دریافتی است. در این بخش که حاصل اعمال تابع هدف با محدودیت‌های ذکرشده، در الگوریتم SA-AVNS است، پس از اجرای برنامه، مقادیر تابع هدف در کسری از ثانیه محاسبه و موقعیت‌های احتمالی چیدمان بهینه را نشان می‌دهد. این پاسخ تنها راه‌حل برای تصمیم‌گیرنده نیست. درواقع به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که با توجه به شرایط موجود بهترین جواب احتمالی را در کم‌ترین زمان تعیین کنند. مهندسی صنایع در این بخش نه‌فقط به ابزار بلکه به افکار درست نیازمند است. لازم به ذکر است که گاه تنها و تنها یک‌راه پیش پای تصمیم‌گیرنده و با عنایت به اجرای برنامه به دست می‌آید، که در صورت نیاز می‌توان آن را تغییر داد. اما تجربه حاصل از استفاده از حل توابع پیچیده ترکیبی نشان داده که بهره‌گیری از نتایج به‌دست‌آمده از این الگوریتم‌های اثبات‌شده خالی از لطف نیست و طبعاً محققینی که در این مسیر سالیان است زمان گذاشته و روش‌های نوین و الگوریتم‌های قوی‌تری را پیشنهاد داده‌اند کاری عبث نبوده است. لذا برای پیشبرد بهتر و سودمندتر اهداف سازمان به، که این ابزار و روش‌ها را به‌کاربرده و زمان برنامه-ریزی‌ها و هزینه‌های مربوطه را اندک نماییم. این بخش اهمیت بیش‌تری نسبت به سایر فصول

پایان‌نامه دارد. زیرا در این بخش قرار است پاسخ سوالات مطرح‌شده و هدف از ارائه این پژوهش بیان شود.

نتایج محاسباتی الگوریتم ترکیبی SA-AVNS را در جدولی برای مقایسه مقدار تابع هدف با مقدار تابع هدف الگوریتم HVNS-SA برمبنای مقاله حسنی و همکاران(۲۰۱۵) حاصل شد و درصد انحراف معیار نیز محاسبه شد. در این مقایسه می‌توان مشاهده نمود که روش تعریف شده به نتایج مطلوبی دست نیافته است. در ادامه جدول مربوطه نشان داده شده است.

مقدار درصد انحراف معیار در این جدول به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Dev\%}= \frac{F_{SA-A} - F_{HVNS}}{F_{HVNS}} \times 100$$

جدول۴-۹ : مقایسه الگوریتم SA-AVNS و HVNS-SA مطابق با مقاله حسنی و همکاران(۲۰۱۵)

	N	6			15			30		
T	شماره مسئله	بهترین جواب SA-AVNS	بهترین جواب HVNS-SA	Dev%	بهترین جواب SA-AVNS	بهترین جواب HVNS-SA	Dev%	بهترین جواب SA-AVNS	بهترین جواب HVNS-SA	Dev%
5	1	1967964	1527010	28.87	8814330	7677410	14.81	13207410	13768011	-4.07
	2	1684895	1843430	-8.60	8821740	8863960	-0.48	13216183	12507699	5.66
	3	1967621	1705810	6.74	8807598	8425650	4.53	13212495	13107766	0.79
	4	1768250	1611460	9.73	8792530	7294970	20.53	13210277	12849644	2.81
	5	1707462	1924880	-0.113	8878523	7608410	16.69	13190836	12453856	5.92
	6	1801302	1650350	9.15	8839507	7196700	22.83	13193657	12102545	9.015
	7	1871788	1777050	5.33	8778950	8214320	6.87	13196276	12726923	3.69
	8	1813379	1612270	12.47	8834870	7882690	12.08	14514389	13464701	7.79
10	1	2268998	2465770	-7.98	12976786	12537500	3.50	29432219	27123600	8.51
	2	2811673	2691330	4.47	12998901	11580300	12.25	29463366	25723400	14.54
	3	2813661	1770050	58.96	12998067	11599100	12.06	29562863	26430200	11.85
	4	3255978	3030530	7.44	12973326	11327000	14.53	29417777	26375600	11.53
	5	3416327	2958030	15.49	13065311	12657700	3.22	29392362	25942400	13.29
	6	3416267	3363850	1.56	13017749	12938000	0.62	23531076	25280100	-6.92
	7	3299016	2708020	21.82	12966534	11719900	10.64	23599444	26725400	-11.69
	8	3297835	2910200	13.32	13007930	13421000	-3.078	29484203	27260900	8.15

و همچنین زمان محاسبات الگوریتم SA-VNS نسبت به الگوریتم‌های AVNS و SA به‌تنهایی نشان داده شده است. در این جدول می‌توان مشاهده نمود که زمان محاسباتی الگوریتم AVNS بسیار کم‌تر از دو الگوریتم دیگر است. به‌عبارت‌دیگر، عاملی که موجب کاهش زمان الگوریتم پیشنهادی می‌شود همین الگوریتم نام‌برده است. البته می‌توان مشاهده نمود که مقدار تابع هدف در الگوریتم SA نسبت به الگوریتم AVNS کاهش‌یافته است. اما این الگوریتم نقش بسزایی دریافتن بهترین موقعیت قرارگیری تجهیزات دارد. درواقع با بررسی نواحی محتمل بیش‌تری توانسته به بهترین پاسخ دست یابد.

جدول۴-10 : مقایسه cpu time الگوریتم‌های SA و AVNS و SA-AVNS

N	T	N=6			N=15			N=30		
		AVNS-SA زمان	SA زمان	AVNS زمان	AVNS-SA زمان	SA زمان	AVNS زمان	AVNS-SA زمان	SA زمان	AVNS زمان
5	1	34.451	17.175	17.199	276.412	113.872	103.974	862.007	436.138	436.766
	2	34.33	17.228	17.162	205.390	103.768	103.808	883.693	428.725	682.923
	3	34.345	17.169	17.239	204.486	103.542	103.465	885.0967	481.952	452.424
	4	33.965	17.156	17.122	205.943	103.894	103.883	852.931	459.964	473.932
	5	33.041	17.138	17.032	206.63	103.806	103.928	828.817	434.094	447.724
	6	34.067	17.252	17.158	206.429	104.111	104.038	894.073	471.098	466.436
	7	34.158	18.269	18.087	205.424	103.937	103.740	876.045	449.227	431.185
	8	45.54	23.099	23.217	202.289	102.043	102.859	830.682	473.383	473.273
10	1	127.172	63.284	63.991	815.018	409.684	410.209	3523.713	1689.983	1687.730
	2	128.401	63.463	64.135	820.575	409.854	410.045	3504.18	1690.01	1659.59
	3	127.325	64.621	64.698	834.377	417.321	420.802	3303.08	1697.84	1665.15
	4	128.014	64.039	64.016	805.383	411.414	420.708	1319.06	667.08	666.59
	5	127.140	63.682	63.641	857.310	426.65	406.994	1411.12	904.63	708.983
	6	127.198	63.769	63.595	820.933	456.591	466.001	1321.96	666.57	666.44
	7	126.144	63.571	63.804	883.777	420.113	418.687	1323.11	679.98	672.31
	8	126.160	63.577	63.408	882.855	402.743	403.024	1554.49	682.14	680.53

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- نتیجه‌گیری

ازآنجاکه امروزه افراد با تخصص‌های گوناگون در جایگاه‌های تصمیم‌گیری متفاوت در سازمان‌ها و کارخانه‌ها باید توانایی شناخت و تصمیم‌گیری و سپس برنامه‌ریزی در کم‌ترین زمان ممکن را داشته باشند، لذا از روش‌های مختلفی برای دستیابی به بهترین جواب، مطابق با شرایط و نوع نیاز هر مطالعه‌ای استفاده می‌شود. برخلاف روش‌های تصمیم‌گیری قطعی که تنها یک‌راه به تصمیم‌گیرنده می‌دهند و امکان مدنظر قرار دادن معیارهای بااهمیت در موقعیت‌های گوناگون نمی‌دهند، روش‌های تصمیم‌گیری احتمالی چندین راه‌حل را ارائه می‌دهند تا در صورت چشم‌پوشی از یک محدودیت، یا تغییر در شرایط تعریف مدل، به جوابی بهتر دست یابند. درواقع به مدیران امکان انتخاب یکی از چندین راه‌حل بهتر را می‌دهد. همان‌طور که در فصول پیشین گفته شد، پیچیدگی دنیای کنونی و تغییرات گاه، ناگهانی نیاز ما را به انتخابی بهتر و سریع‌تر، افزون می‌کند. زیرا لحظه‌ای درنگ می‌تواند موجب پیروزی ترغیب و هزینه‌های گزاف شود. مدل‌های پیچیده و سرعت در انتخاب ما را به استفاده از روش‌های نوین در تصمیم‌گیری سوق می‌دهد. روش‌هایی که در کمتر از چند دقیقه ما را به مطلوب می‌رساند. در این مسیر، نرم‌افزارها، کمک شایانی کرده‌اند. به‌عبارت‌دیگر، هزینه‌های گزاف پیشرو را با پرداخت هزینه‌های اندک اولیه در جهت مدل‌سازی و حل مدل، به حداقل می‌رساند. در این پژوهش از برنامه متلب که نسبت به برنامه‌های مشابه، در فهم و اجرا برای کاربران با حرفه‌های متفاوت، ساده‌تر است و حل مسائل ماتریسی را قوی‌تر از سایر برنامه‌های مشابه انجام می‌دهد، برای کد نویسی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. برای اثبات درستی به مقایسه نتایج الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی با مقادیر میانگین بدست آمده صورت گرفت که درصد انحراف معیار برای ماتریس‌های با تعداد بالا منطقی‌تر است. در نهایت می‌توان بیان نمود که روش پیشنهادی در پیشبرد اهداف و تصمیم‌گیری بهینه در کمترین زمان ما را یاری نماید. این روش که با ادغام دو الگوریتم با رفتاری مشابه به‌ویژه در مقدار دهی اولیه و همپوشانی نقاط ضعف یکدیگر امکان بررسی و بهبود را به ما می-

دهد. این روش سرعت بسیار مناسب و پیچیدگی در فهم و درک و اجرا دارد. الگوریتم SA، الگوریتمی پرکاربرد بخصوص در پژوهش‌های بهینه‌سازی و یافتن جوابی بهبودیافته است. و الگوریتم AVNS الگوریتمی نوین با سرعت بسیار مناسب که درگیر داده‌های پرت نمی‌شود است. همچنین باید دراین‌جا به این نکته توجه نمود که الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر که از شاخصه‌های ۱تا۷ برای حل بهره می‌جست، الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر انطباق‌پذیر به‌صورت انطباقی و با انتخاب مقادیر با احتمال بالاتر که شانس بیش‌تری دارند، در حل الگوریتم استفاده می‌کند. به بیانی دیگر الگوریتم AVNS نسبت به VNS بهبود یافته است. لذا این دو ترکیب اتفاقی بسیار درخور توجه را ایجاد می‌کند.

۵-۲- پیشنهادها

نیاز به بهبود و پیشرفت همیشگی است. این تحقیق مانند سایر تحقیقات به‌ویژه در مقطع کارشناسی ارشد قطعا کاستی‌های بسیاری دارد. ازآن‌جاکه در این پژوهش نتایج چندان مملوسی به‌دست نیامده لذا نیاز به توجه و بهبود در ادامه از سوی آیندگان وجود دارد. همچنین بررسی دیگر بخش‌ها می‌تواند این تحقیق را به سمت بهبود بیشتر سوق دهد. بنابراین در ادامه روش انجام شده در این پژوهش می‌توان به نتایج کامل‌تری بدست یابند. بررسی این پژوهش با سایر الگوریتم‌های ارائه‌شده، که با تعدادی از آن‌ها و ویژگی‌های آن‌ها آشنا شدیم می‌تواند مسیری برای رسیدن به بهترین پاسخ باشد. پیشنهاد دیگر اینکه از این روش پیشنهادی در سایر مسائل بهینه‌سازی بهره برد. همچنین از سایر زبان‌های برنامه‌نویسی مانند C++ برای حل این مدل می‌توان استفاده شود، زیرا در حل چنین مدل‌هایی لازم به توجه به زمان حل بوده و هر زبانی که بتواند این زمان را به سمت بهینه کاهش یابد مثمرثمر خواهد بود.

منابع

منابع فارسی

۱- توکلی ا. و پویا ع. و علوی طبری س، (۱۳۹۲)، "طراحی مدل تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی جهت انتخاب طرح جانمایی تسهیلات" چشم‌انداز مدیریت صنعتی، شماره ۱۰، ص ۵۷-۸۴.

۲- جبل عاملی م. س. و قادری ع، (۱۳۸۴)، " حل مسائل بزرگ جایابی – تخصیص با استفاده از الگوریتم ترکیبی جستجوی همسایگی متغیر" دومین سمینار لجستیک و زنجیره تأمین

۳- چهارسوقی س. ک.، ممیزی ف. و یزد خواستی ا، (۱۳۹۳) " توسعه مدل مکان‌یابی هاب بر مبنای صرفه جویی اقتصادی جریان‌ها با استفاده از وسایل حمل‌ونقل ظرفیت دار و محدودیت جریان ورودی به هاب"، **نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید**، سال ۲، شماره ۴، ص ۱-۱۹ ISSN: 2345-2269

۴- خلیلیان س، (۱۳۸۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بهینه‌سازی چیدمان کارگاه"، تهران، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۵- رستگار ا. و صحرائیان ر، (۱۳۹۲)، "توسعه روش جستجوی هماهنگی در حل مسائل بهینه‌سازی، مطالعه موردی: در زمان‌بندی تولید ماشین‌های موازی"، **نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید**، سال ۱، شماره ۱، ص ۵۷-۷۱.

۶- روئین‌فر ر. و کاظمی سفه م، (۱۳۹۴)، " ارائه الگوریتم ژنتیک ابتکاری برای مسئله مکان-یابی تسهیلات پویا با درنظر گرفتن وسایل حملو نقل چندگانه"، دومین همایش ملی پژوهش‌های مهندسی صنایع.

۷- محمدی شاد ع. و فتاحی، پ، (۱۳۹۱)، "یک روش فرا ابتکاری ترکیبی برای مسئله مکان-یابی-مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت‌دار با پنجره‌های زمانی سخت"، **نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۶، شماره۲، ص ۲۱۹-۲۳۳.**

۸- مسلمی پور ق، (۱۳۹۴)، " طراحی چیدمان درون سلولی پویا با استفاده از الگوریتم انجماد تدریجی در محیط تصادفی سیستم‌های تولید سلولی"، اولین کنفرانس تصمیم‌گیری در علوم مهندسی و مدیریت.

منابع انگلیسی

9- Abdelghani S. (1995). "Simulated annealing for manufacturing systems layout design", **Eur. J. of .Oper. Res., 82, pp. 592–614**.

10- Abdinnour H.S. and Hadley S.W. (2000). "Tabu search based heuristics for multi-floor layout", **Int. J. Prod. Res., 38, 2, pp. 365–383.**

11- Afentakis, P. A. (1989) "Loop layout design problem for flexible manufacturing systems", **Int. J. of .Flexible Manuf. Syst., 1, pp. 143–175.**

12- Ahmadi, A., Pishvaee, M. S. and Akbari Jokar, M. R. (2017). "A survey on multi-floor facility layout problems", **Comput. & Ind. Eng., 107, pp. 158-170.** https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.03.015

13- Aiello, G., Enea, M., and Galante, G. (2002). "An integrated approach to the facilities and material handling system design", Int. J. Prod. Res**., 40, 15, pp. 4007–4017.**

14- Aiello, G., Enea, M., and Galante, G. (2006). "Multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method", **Robotics & Comput. Integ. Manuf., 22, pp. 447–455.**

15- Aiello G. and Enea M. (2001). “Fuzzy approach to the robust facility layout in uncertain production environments”, **Int. J. Prod. Res., 39, 18, pp. 4089–4101.**

16- Anjos, M.F. and Vannelli, V., (2006), "a new mathematical programming framework for facility layout design", **INFORMS J. on .Comput., 18, 1, pp. 111-118**.

17- Armour, G. C. and Buffa, E. S. (1963). “A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities”, **Manag. Science, 9, 2, pp. 294–300**.

18- 4. Ashtiani B., Aryanezhad M.B. and Farhang Moghaddam B. (2007). “Multi-start simulated annealing for dynamic plant layout problem”, **J. Ind. Eng. Int., 3, 4, pp. 44–50.**

19- Azadi Moghaddam, M. and Kolahan, F. (2015), "Optimization of edm process parameters using statistical analysis and simulated annealing algorithm", **Int. J. of .Eng., 28, 1, pp. 154-163.**

20- Azadivar, F. and Wang, J. (2000). “Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms”, **Int. J. of .Prod. Res., 38, 17, 4369–4383**.

21- Azevedo, M., M., Crispim, J. and A., de Sousa, J., P. (2017). “A dynamic multi-objective approach for the reconfigurable multi-facility layout problem”, **J. of .Manuf. Syst., 42, pp. 140–152.**

22- Balakrishnan, J., Jacobs, F.R. and Venkataramanan, M.A. (1992). "Solutions for the constrained dynamic facility layout problem", **Eur. J. of .Oper. Res., 57, 2, pp. 280–286**.

23- Balakrishnan, J. and Cheng, C. H. (1998). “Dynamic layout algorithms: A state of- the-art survey”, **Omega, 26, 4, pp. 507–521**.

24- Balakrishnan, J., Cheng, C.H. and Conway, D.G. (2000). "An improved pairwise exchange heuristic for the dynamic plant layout problem**", Int. J. of .Prod. Res., 38, 13, pp. 3067–3077**.

25- Balakrishnan J. and Cheng C.H. (2000). "Genetic search and the dynamic layout problem", **Comput. Oper. Res., 27, 6, pp. 587–593.**

26- Balakrishnan, J., Cheng, C.H., Conway, D.G. and Lau, E.C.M. (2003). "A hybrid genetic algorithm for dynamic layout", **Int. J. of .Prod. Econ., 86, 2, pp. 107–120**.

27- Balakrishnan, J., Cheng, C. H., Conway, D. G. and Lau, C. M. (2003b). "A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem", **Int. J. of .Prod. Econ., 86, 2, pp.107–120.**

28- Balakrishnan, J. and Cheng, C.H. (2006). "A note on ''a hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem''", **Int. J. of .Prod. Econ., 103, pp. 87-89**.

29- Banerjee, P. and Zhou, Y. (1995). "Facilities layout design optimization with single loop material flow path configuration", **Int. J. of .Prod. Res., 33, 1,183–204.**

30- Barzinpour, F., Fahimi, K., Samaei, F., (2014), "A New Optimization via Invasive Weeds Algorithm for Dynamic Facility Layout Problem", 10th Int. Ind. Eng. Conference, 1,1, pp. 11-20, Tehran, Iran. ISSN 1735-5540.

31- Baykasoglu, A. and Gindy, N. N. Z. (2001). "A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem", **Comput. Oper. Res., 28, 14, pp. 1403–1426.**

32- Baykasoglu, A., Dereli, T. and Sabuncu, I. (2006). "An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems", **Omega, 34, 4, pp. 385–396.**

33- Bazaraa, M.S., (1975), "Computerized Layout Design: A Branch and Bound Approach", **AIIE Transactions, 7, 4, pp. 432-438.**

34- Berna H.U. and Attila I.A. (2009) "A clonal selection algorithm for dynamic facility layout problems", **J. Manuf. Syst., 28, pp. 123–131**.

35- Bonabeau E., Dorigo M. and Theraulaz G., (1999), "Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Intelligence", Oxford University Press, New York, USA.

36- Bozer Y. A., Meller R. D. and Erlebacher S. J. (1994), "An improvement-type layout algorithm for single and multiple floor facilities", **Manag. Sci., 40, 7, pp. 918–932.**

37- Bozer Y.A. and Meller R.D. (1997), "A reexamination of the distance-based facility layout problem", IIET rans. (Inst. Ind. Eng.), 29, 7, pp. 549-560**.**

38- Bozorgi N., Abedzadeh M. and Zeinali M. (2014), "Tabu search heuristic for efficiency of dynamic facility layout problem", **Int. J. of .Adv. Manuf. Technol., 77, pp. 689–703.** http://dx.doi.org/10.1007/s00170-014-6460-9

39- Bozorgi N., Abedzadeh M. and Zeinali M. (2015). "Tabu search heuristic for efficiency of dynamic facility layout problem", **Int. J. of .Adv. Manuf. Technol., 77, pp.** 689-703. DOI 10.1007/s00170-014-6460-9.

40- Brimberg J., Hansen P., Mladenovi´c N. and Taillard, É. (2000). "Improvements and comparison of heuristics for solving the multisource Weber problem", **Oper. Res., 48, 3, pp. 444–460.**

41- Braglia M. (1996). "Optimization of a simulated-annealing-based heuristic for single row machine layout problem by genetic algorithm", **Int. Trans. in .Oper. Res., 3, 1, pp. 37–49.**

42- Braglia M., Zanoni S. and Zavanella L. (2003). "Layout design in dynamic environments: Strategies and quantitative indices", **Int. J. of .Prod. Res., 41, 5, pp. 995–1016.**

43- Chan W.K. and Malmborg C.J. (2010). "A Monte Carlo simulation based heuristic procedure for solving dynamic line layout problems for facilities using conventional material handling devices", **Int. J. Prod. Res, 48, 10, pp. 2937–2956**.

44- Chang C.C., Wu T. H. and Wu C.W. (2013). "An efficient approach to determine cell formation, cell layout and intracellular machine sequence in cellular manufacturing system", **Comput. Ind. Eng, 66, 2, pp. 438–450.**

45- Che, A., Zhang Y. and Feng, J. (2017). "Bi-objective optimization for multi-floor facility layout problem with fixed inner configuration and room adjacency constraints", **Comput. & Ind. Eng., 105, pp. 265-276.** doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.018.

46- Chen C. W., Sha D. Y. (2005). "Heuristic approach for solving the multi objective facility layout problem", **Int. J. of .Prod. Res., 43, 21, pp. 4493–4507.**

47- Chen D. S., Wang Q. and Chen, H. C. (2001). "Linear sequencing for machine layouts by a modified simulated annealing", **Int. J. of .Prod. Res., 39, 8, pp. 1721–1732**.

48- Chen, G. and Rogers, J., (2009). "Managing dynamic facility layout with multiple objectives", in PICMET Proceedings, pp. 1175–1184, Portland, Oregon USA.

49- Chen X., Yang J., Li Z., Tian D. and Shao Z. (2008), "A combined global and local search method to deal with construction optimization for continuous tabu search", **Int. J. for Numerical Methods in .Eng., 76, pp. 1869-1891.**

50- Cheng R., Gen M. and Tosawa T. (1996). "Genetic algorithms for designing loop layout manufacturing systems", **Comput. & .Ind. Eng., 31, 3-4, pp. 587–591**.

51- Cheng R. and Gen M. (1998). "Loop layout design problem in flexible manufacturing systems using genetic algorithms", **Comput. & .Ind. Eng., 34, 1, pp. 53–61.**

52- Cheng M.Y. and Lien L.C., (2012). "A hybrid Al-based particle bee algorithm (PBA) for benchmark functions and facility layout optimization", **J. Comput. Civ. Eng., 26, 5, pp. 612-624.**

53- Chiang W. C. and Kouvelis P. (1996). "An improved tabu search heuristic for solving facility layout design problems", **Int. J. of .Prod. Res., 34, 9, pp. 2565–2585.**

54- Co H. C., Wu A. and Reisman, A. (1989). "A throughput-maximizing facility planning and layout model", **Int. J. of .Prod Res., 27, 1, pp. 1–12.**

55- Conway D.G. and Venkataramanan M.A. (1994). "Genetic search and the dynamic facility layout problem", **Comput. Oper. Res., 21, 8, pp. 955–960.**

56- Corry P. and Kozan E. (2004). "Ant colony optimisation for machine layout problems", Comput. Optim. Appl., 28, 3, pp. 287–310.

57- Creutz M. (1983). "Microcanonical Monte Carlo simulation", **Physical Review Letters, 50, pp. 1411–1414**.

58- Chung Y. K. (1999). "A neuro-based expert system for facility layout construction", **J. of .Intell. Manuf., 10, 5, pp. 359–385.**

59- Chwif L., Pereira Barretto M. R. and Moscato L. A. (1998). "A solution to the facility layout problem using simulated annealing" **Comput. in .Ind., 36, 1-2, pp. 125–132.**

60- Dapa K., Loreungthup P., Vitayasak S. and Pongcharoen P. (2012). "Bat Algorithm, Genetic Algorithm and Shuffled Frog Leaping Algorithm for designing non identical rectangular machine layout", **Lect. Notes. Artif. Intell., 8271, pp. 59–68.**

61- Das S. K. (1993). "A facility layout method for flexible manufacturing systems", **Int. J. of .Prod. Res., 31, 2, pp. 279–297.**

62- Datta D., Amaral A. R. S. and Figueira J. R. (2011). "Single row facility layout problem using a permutation-based genetic algorithm", **Eur. J. of .Oper. Res., 213, 2, pp. 388-394.** https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.03.034.

63- Deb S. K. and Bhattacharyya B. (2005). "Fuzzy decision support systems for manufacturing facilities layout planning", **Decis. Support Syst., 40, pp. 305–314.**

64- Devise O. and Pierreval A. (2000). "Indicators for measuring performances of morphology and materials handling system", **Int. J. of .Prod. Econ., 64, 1-3, pp. 209–218.**

65- Deb S. K. and Bhattacharyya B. (2005). "Fuzzy decision support systems for manufacturing facilities layout planning", **Decis. Support Syst., 40, pp. 305–314.**

66- Dekkers A. and Aarts E. H., (1991). "Global optimization and simulated annealing", **Math. Prog., 50, pp. 367–393.**

67- Dilworth, J. B. (1996). "**Operation management**", McGraw Hill.

68- Djellab H. and Gourgand A. (2001). “A new heuristic procedure for the single row facility layout problem”, **Int. J. of .Comput. Integ. Manuf., 14, 3, pp. 270–280.**

69- Dong M., Wu C.a. and Hou F. (2009). “Shortest path based simulated annealing algorithm for dynamic facility layout problem under dynamic business environment", **Exp. Syst. with Appl., 36, pp. 11221-11232**.

70- Dorigo M. (1992), Ph.D. Thesis: “Optimization, Learning and Natural Algorithms”, Politecnico di Milano, Italy.

71- Drezner Z. (1987). “A heuristic procedure for the layout of a large number of facilities”, **Int. J. of .Manag. Sci., 33, 7, pp. 907–915.**

72- Drezner Z. (2008). “Extensive experiments with hybrid genetic algorithms for the solution of the quadratic assignment problem”, **Comput. Oper. Res., 35, pp. 717–736.**

73- Drira A., Pierreval H. and Hajri-Gabouj S., (2007). “Facility layout problems: A survey”, **A. Reviews in Control, 31, pp. 255-267.**

74- Duech G. and Scheuer T. (1990). “Threshold accepting: A general purpose optimization algorithm appearing superior to simulated annealing”, **J. of .Comput. Physics, 90, pp. 161–175.**

75- Dueck G. (1993). “New optimization heuristics: The great deluge algorithm and the record to record travel”, **J. of .Comput. Physics, 104, 1, pp. 86–92.**

76- Dunker T., Radonsb G. and Westka¨mpera E. (2003). “A coevolutionary algorithm for a facility layout problem”, **Int. J. of .Prod. Res., 41, 15, pp. 3479–3500.**

77- Dunker T., Radonsb, G. and Westkampera E. (2005). “Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem”, **Eur. J. of .Oper. Res., 165, 1, pp. 55–69.**

78- Dweiri F. and Meier F.A. (1996). “Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning”, vol. 34(11), Int. J. Prod. Res., pp. 3207–3225.

79- El-Baz M. A. (2004). “A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments”, **Comput. & .Ind. Eng., 47, 2-3, pp. 233–246.**

80- http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2004.07.001.

81- Engelbrecht A. P. (2005). “**Fundamentals of computational swarm intelligence**”, Wiley, Chichester.

82- Erel J. B. and Ghosh J., Simon J. T. (2003) “New heuristic for the dynamic layout problem”, **J. of .Oper. Res. Soc., 54, 12, pp. 1275-1282.**

83- Ertay T., Ruan D. and Tuzkaya U. R. (2006). “Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems”, **Inf. Sci., 176, 3, pp. 237–262.**

84- Espinoza F.P., Minsker B.S. and Goldberg D.E. (2001). “A self-adaptive hybrid genetic algorithm”, In: Proceedings on the Genetic and Evolutionary Computation Conference. San Francisco.

85- Evans G. W., Wilhelm M. R. and Karwowski W. (1987). “A layout design heuristic employing the theory of fuzzy sets”, **Int. J. Prod. Res., 25, 10, pp. 1431–1450.**

86- Feo T. and Resende M.G.C. (1995) “Greedy randomized adaptive search procedures”, **J. of .Glob. Optim., 6, pp. 109–133.**

87- Fesanghary, M., Mahdavi, M., Minary-Jolandan, M. and Alizadeh,Y., (2008), “Hybridizing harmony search algorithm with sequential quadratic programming for engineering optimization problems”, **Comput. Methods in Appl. Mech. and Eng., 197, pp. 3080–3091.**

88- Ficko M., Brezocnick M. and Balic J. (2004). “Designing the layout of single and multiple-rows flexible manufacturing system by genetic algorithms”, **J. of Materials Proc. Technol., 157, 158, pp. 150–158.**

89- 43. Fisher E.L. and Nof S.Y. (1984). "FADES : Knowledge-based facility design", In: Proc. of .int. ind. Eng., pp. 74–85, Conference, Chicago.

90- Fong Sze J., Salhi S. and Wassan N. (2016). "A hybridisation of adaptive variable neighborhood search and large neighborhood search: Application to the vehicle routing problem", **Expert. Syst. with .Appl., 65, pp. 383-397.** https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.060.

91- Fong Sze J., Salhi S. and Wassan N. (2017). "The cumulative capacitated vehicle routing problem with min-sum and min-max objectives: An effective hybridisation of adaptive variable neighborhood search and large neighborhood search", **Trans. Res. Part B: Methodological, 101, pp. 162-184.** https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.04.003.

92- Fruggiero F., Lambiase A. and Negri F. (2006). "Design and optimization of a facility layout problem in virtual environment", **In Proceeding of ICAD 2006, pp. 2206.**

93- Fu Q., Wang Z. and Jiang Q. (2010) "Delineating soil nutrient management zones based on fuzzy clustering optimized by PSO", **Elsevier. Mathematical and Computer Modelling, 51, 11-12, pp. 1299-1305**.

94- 49. Gen M., Ida K. and Cheng C. (1995). "Multi row machine layout problem in fuzzy environment using genetic algorithms", **Comput. Ind. Eng., 29, 1-4, pp. 519–523.**

95- Gambardella L.M., Taillard E.D. and Dorigo M. (1999) "Ant colonies for the quadratic assignment problem", **J. Oper. Res. Soc., 50, pp. 167–176.**

96- Grobeiny J. (1987a). "The fuzzy approach to facility layout problems", **Fuzzy Sets and Systems, 23, pp. 175–190.**

97- Grobelny J. (1987b). "On one possible 'fuzzy' approach to facility layout problems", **Int. J. Prod. Res., 25, 8, pp. 1123–1141.**

98- Grobenlyn J. (1998). "Linguistic pattern method for a workstation layout analysis", **Int. J. Prod. Res., 26, pp. 1779–1798.**

99- Guan J. and Lin G. (2016). "Hybridizing variable neighborhood search with ant colony optimization for solving the single row facility layout problem", **Eur. J. of .Oper. Res., 248, 3, pp. 899-909.** https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.014.

100- Gupta T. and Seifoddini H. (1990). "Production data based similarity coefficient for machine–component grouping decisions in the design of cellular manufacturing system", **Int. J. of Prod. Res., 28, 4, pp.1247–1269.**

101- Gupta Y. P., Gupta M. C., Kumar A. and Sundaram C. (1996). "A genetic algorithm-based approach to cell composition and layout design problems", **Int. J. of .Prod. Res., 34, 2, pp. 447–482.**

102- Hamann T. and Vernadat F. (1992). "The intra cell layout problem in automated manufacturing system", 8th int. Conference on CAD/CAM, robotics and factory of the future (CARs & FOF 92).

103- Harmonosky C. M. and Tothero G. K. (1992). "A multi-factor plant layout methodology", **Int. J. of .Prod. Res., 30, 8, pp.1773–1789.**

104- 58. Harraz N. (1997), M.Sc. thesis: "A knowledge-based decision support system for facility layout", Alexandria University.

105- Hasani A., Soltani R. and Eskandarpour M. (2015). "A hybrid meta-heuristic for the dynamic layout problem with transportation system design", **Int. J. of .Eng., 28, 8, pp. 1175-1185.**

106- Hansen P. and Mladenovic N. (2001). "J-Means: a new local search heuristic for minimum sum-of-squares clustering", **Pattern Recognit, 34, pp. 405–413.**

107- Hansen P. and Mladenovic N. (2003). "**Variable Neighborhood Search**", in: F. Glover, G. Kochenberger (Eds.), Handbook of Metaheuristics, Int. Series in Oper. Res. & Manage. Sci., Springer, New York, 57, pp. 145–184.

108- Hansen P., Mladenovic N. and Urosevic, D. (2004). "Variable neighborhood search for the maximum clique", **Discrete Applied Math., 145, pp. 117-125.**

109- Hansen P., Mladenovic N. and Moreno Pérez J. A. (2008). "Variable neighborhood search: methods and applications", **A Quarterly J. of .Oper. Res., 6, 4, pp. 319–360.** DOI 10.1007/s10288-008-0089-1.

110- Hen H. and Shanghai Y. T. (2010). "A two-stage genetic algorithm for automatic clustering", **Elsevier. Neuro comput., 81, pp. 49–59**.

111- Hassan M. M. D., Hogg G. L. and Smith, D. R. (1986). "SHAPE: A construction algorithm for area placement evaluation", **Int. J. of .Prod. Res., 24, 5, pp. 1283–1295.**

112- Hassan, M. M. D. (1994). "Machine layout problem in modern manufacturing facilities", **Int. J. of .Prod. Res., 32, 11, pp. 2559–2584.**

113- Heragu S. S. and Kusiak A. (1988). "Machine layout problem in flexible manufacturing systems", **Oper. Res., 36, 2, pp. 258–268.**

114- Heragu S. S., Kusiak A. (1990). "Machine layout: An optimization and knowledge-based approach", **Int. J. of .Prod. Res., 28, 4, pp. 615–635.**

115- Heragu S. S. (1997). "**Facilities design**", Boston: BWS.

116- Hicks C. (2004). "A genetic algorithm tool for designing manufacturing facilities in the capital goods industry", **Int. J. Prod. Econ., 90, 2, pp. 211.**

117- 65. Hu G.H., Chen Y.P., Zhou Z.D., and Fang H.C. (2007). "A genetic algorithm for the inter-cell layout and material handling system design", **Int. J. Adv. Manuf. Technol., 34, pp.1153–1163.**

118- Huang M. D., Romeo F. and Sangiovanni-Vincentelli, A. L. (1986). "An efficient general cooling schedule for simulated annealing", In IEEE Int. Conference on .Comput-Aided Design, pp. 381–384., Santa Clara, CA.

119- Huntley C., Brown D. (1991). "A parallel heuristic for quadratic assignment problems", **Comput. Oper. Res., 18, 3, pp. 275–289.**

120- Hungerländer P., Anjos M. F. (2015). "A semidefinite optimization-based approach for global optimization of multi-row facility layout", **Eur. J. of .Oper. Res., 245, 1, pp. 46-61**. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.02.049

121- Ingber L. (1996) "Adaptive simulated annealing", **Cont. and Cyber., 25, 1, pp. 33–54.**

122- Jamili A., GhannadPour S.F and GhoreshiNejad M. R. (2014). "Train scheduling problem with consideration of praying constraint as an application of job shop scheduling problem", **Int. J. of .Eng., 27, 7, pp. 1091-1098**.

123- Jason B. (2011). "**Clever algorithms: Nature-inspired programming recipes**", first edition, lulu, ISBN: 978-1-4467-8506-5, pp. 55-56.

124- Jeong S.J., Kim K.S. and Lee Y.H. (2009). "The efficient search method of simulated annealing using fuzzy logic controller", **Exp. Syst. Appl., 36, pp. 7099–7103**.

125- Ji P., Yongzhong W. and Haozhao L. (2006). "A solution method for the quadratic assignment problem (QAP)", The 6th international symposium on operations research and its applications (ISORA'06), pp. 106–117, Xinjiang, China.

126- Johnson D. S., Aragon C. R., McGeoch L. A. and Schevon C. (1989). "Optimization by simulated annealing: An experimental evaluation. Part I. Graph partitioning", **Res., 37, pp. 865–892.**

127- Johnson, R. V. (1982). "SPACECRAFT for multi-floor layout planning", **Manag. Sci., 28, 4, pp. 407–417.**

128- Kaku B. K., Mazzola J. B. (1997). "A tabu search heuristic for the dynamic plant layout problem", **J. on .Comput., 9, pp. 374–84.**

129- Karaboga D. and Basturk B. (2007). "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm", **J. Glob. Optim., 39, 3, pp. 459–471.**

130- Keivani A., Rafienejad S.N., Kaviani M. R. and Afshari H. (2010) "A Simulated Annealing for Multi Floor Facility Layout Problem", **Proceedings of the World Congress on Eng. and .Comput. Sci., 2,**

131- Keller B., Buscher U., (2015). "Single row layout models", **Eur. J. Oper. Res., 245, 6, pp. 29–44.** http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.03.016.

132- Kennedy J., Eberhart, R. C. (1995). "Particle swarm optimization", In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks, 4, pp. 1942–1948.

133- Khalil T. M. (1973). "Facilities relative allocation technique (FRAT)", **Int. J. of .Prod. Res., 11, 2, pp. 183–194.**

134- Kia R., Baboli A., Javadian N., Tavakkoli-Moghaddam R., Kazemi M. and Khorrami J., (2012). "Solving a group layout design model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing", **Comput Oper Res., 39, 26, pp. 42–58.** http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2012.01.012.

135- Kia R., Javadian N., Paydar M.M. and Saidi -Mehrabad M. (2013). "A simulated annealing for intra-cell layout design of dynamic cellular manufacturing systems with route selection, purchasing machines and cell reconfiguration", **Asia–Pac. J. Oper. Res.,30, 4, pp. 135-134.**

136- Kia R., Khaksar-Haghani F., Javadian N. and TavakkoliMoghaddam R. (2014). "Solving a multi-floor layout design model of a dynamic cellular manufacturing system by an efficient genetic algorithm", **J. of .Manuf. Syst., 33, 1, pp. 218–232.**

137- Kim J. G. and Kim Y. D. (2000). "Layout planning for facilities with fixed shapes and input and output points", **Int. J. of .Prod. Res., 38, 18, pp. 4635–4653.**

138- Kim J. G. and Kim Y. D. (1999). "A branch and bound algorithm for locating input and output points of departments on the block layout**", J. of the .Oper. Res. soc., 50, 5 pp.517–525.**

139- Kim C. B., Kim S. S. and Bobbie L. F. (1996). "Assignment problems in single row and double-row machine layouts during slow and peak periods", **Comput. Ind. Eng., 30, 3, pp. 411–422.**

140- Kim J. Y. and Kim Y. D. (1995). "Graph theoretic heuristics for unequal-sized facility layout problems", **Omega, 23, 4, pp. 391–401.**

141- Kirkpatrick F., Gelatt C. and Vecci M. (1983). "Optimization by simulated annealing", **Sci. Magazine,4598, 220, pp. 671–680.**

142- Kochhar J. S. and Heragu S. S. (1998). "MULTI-HOPE: A tool for multiple floor layout problems", **Int. J. of .Prod. Res., 36, 12, pp. 3421–3435.**

143- Komarudin Kuan Y. W. (2010). "Applying ant system for solving unequal area facility layout problems", **Eur. J. Oper. Res., 202, pp. 730–746.**

144- Koopmans T. C. and Beckmann M. (1957). "Assignment problems and the location of economic activities**", Econometrica, 25, 1, pp. 53–76**.

145- Kouvelis P. and Chiang W. C. (1992). “A simulated annealing procedure for the single row layout problems in flexible manufacturing systems”, **Int. J. of .Prod. Res., 30, pp. 717–732.**

146- Kouvelis P. and Kim M.W. (1992). “Unidirectional loop network layout problem in automated manufacturing systems”, **Oper. Res., 40, pp. 533–550.**

147- Kouvelis P., Kurawarwala A. A. and Gutierrez G. J. (1992). “Algorithms for robust single and multiple period layout planning for manufacturing systems”, **Eur. J. of .Oper. Res., 63, 2, pp. 287–303.**

148- Kosucuoglu D. and Bilge U. (2012). “Material handling considerations in the FMS loading problem with full routing flexibility”, **Int. J. Prod. Res., 50, 65, pp. 30–52.** http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.653837.

149- Krishnan K.K., Cheraghi S.H. and Nayak C.N. (2008). “Facility layout design for multiple production scenarios in a dynamic environment”, **Int. J. Ind. Syst. Eng., 3, 2, pp. 105–133.**

150- Krishnan K.K., Jaafari A.A., Sanpour M.A. and Hojabri H. (2009). “A mixed integer programming formulation for multi floor Layout”, **African J. Business Manag., 3, 10, pp. 616–620.**

151- Krishnan M., Karthikeyan T., Chinnusamy T. R. and Raja K.V. (2012). “A novel hybrid metaheuristic scatter search-simulated annealing algorithm for solving flexible manufacturing system layout”, **Eur. J. Sci. Res., 73, pp. 52–61.**

152- Kulturel-Konak S., Smith A. E. and Norman B.A. (2004). “Layout optimization considering production uncertainty and routing flexibility”, **Int. J. Prod. Res., 42, 21, pp. 4475–4493.**

153- Kulturel-Konak S. (2007). “Approaches to uncertainties in facility layout problems: Perspectives at the beginning of the 21st century”, **J. of .Intell. Manuf., 18, pp. 273–284**.

154- Kumara S. R. and Kashyap R. L. (1988). “Application of expert systems and pattern recognition methodologies to facilities layout planning”, **Int. J. Prod. Res., 26, pp. 905–930.**

155- Lacksonen T. A. and Enscore E. E. (1993). “Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout problem”, **Int. J. of .Prod. Res., 31, pp. 503–517.**

156- Lacksonen T.A. (1994). "Static and dynamic layout problems with varying areas", **J. of the Oper. Res. Soc., 45, 1, pp. 59–69**.

157- Lacksonen T. A. (1997). “Preprocessing for static and dynamic facility layout problems”, **Int. J. of .Prod. Res., 35, 4, pp. 1095–1106.**

158- Lee G. C. and Kim Y. D. (2000). “Algorithms for adjusting shapes of departments in block layouts on the gird-based plane”, **Omega, 28, 1, pp. 111–122.**

159- Lee Y. H. and Lee M. H. (2002). “A shape-based block layout approach to facility layout problems using hybrid genetic algorithm”, **Comput. Ind. Eng., 42, pp. 237–248.**

160- Lee K. Y., Roh M. I. and Jeong H. S. (2005). “An improved genetic algorithm for multi-floor facility layout problems having inner structure walls and passages”, **Comput. & .Oper. Res., 32, 4, pp. 879–899.**

161- Lee R. and Moore J. M. (1967). “CORELAP-computerized relationship layout planning”, **The J. of .Ind. Eng., 18, pp. 195–200.**

162- Leitner M. and Raidl G. R. (2012) “Variable Neighborhood and Greedy Randomized Adaptive Search for Capacitated Connected Facility Location”, **Comput. Aid. Syst. Theory – EUROCAST 2011, 6927, pp. 295-302.**

163- Leonardo C., Marcos R. P. B. and Lucas A. M. (1998). "A solution to the facility layout problem using simulated annealing", **Comput. Ind.,36, pp.125–132.**

164- Leung J. (1992). "A graph-theoretic heuristic for flexible manufacturing systems", **Eur. J. of .Oper. Res., 57, 2, pp. 243–252.**

165- Li X.L. (2003), Ph.D. Thesis: "A New Intelligent Optimization-artificial Fish Swarm Algorithm", Zhejiang University of Zhejiang, China.

166- Li Y., Pardalos P. M. and Resende M. (1994). "A greedy randomized adaptive search procedure for the quadratic assignment problem", In: P. M. Pardalos and H. Wolkowicz (eds) Quadratic assignment and related problems, DIMACS. Series in Discrete Math. and Theoretical Comput. Sci., AMS., 6, pp .237–261.

167- Liang L. Y. and ChaoW. C. (2008) "The strategies of tabu search technique for facility layout optimization", **Autom. Constr., 17, pp. 657–669.**

168- Liang J. J., Qin A. K., Suganthan P. N. and Baskar S. (2006). "Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions", **IEEE Trans. Evolut. Comput., 10, 3, pp. 281–295.**

169- Liao S. H. (2005). "Expert system methodologies and applications-a decade review from 1995 to 2004", **Expert. Syst. Appl., 28, pp. 93–103**.

170- Lien L. C. and Cheng M. Y. (2014) "Particle bee algorithm for tower crane layout with material quantity supply and demand optimization", **Auto. in .Constr., 45, pp. 25-32.**

171- Locatelli M. (2000). "Simulated annealing algorithms for continuous global optimization: Convergence conditions", **J. of .Optim. Theory and .Appl., 29, 1, pp.87–102.**

172- Liu H. and Abraham A. (2007) "An hybrid fuzzy variable neighborhood particle swarm optimization algorithm for solving quadratic assignment problems**", J. Univ. Comput. Sci., 13, 7, pp. 1032–1054.**

173- Lundy M. and Mees A. (1986). "Convergence of an annealing algorithm", **Math. Prog., 34, pp. 111–124.**

174- Lutuksin T. and Pongcharoen P. (2010). "Best-worst ant colony system parameter investigation by using experimental design and analysis for course timetabling problem", In: Proceedings of the 2nd Int. Conference on .Comput. and .Net. Technol., ICCNT 2010.

175- Mahdi A. H., Amet H. and Portman M. C. (1998). "Physical layout with minimization of the transport cost (Research Internal Report)", Nancy, France: LORIA.

176- Mak K. L., Wong Y. S. and Chan F. T. S. (1998). "A genetic algorithm for facility layout problems", **Comput. Integ. Manuf. Syst., 11, 1-2, pp.113–127.**

177- Malakooti B. and Tsurushima. (1989). "An expert system using priorities for solving multiple-criteria facility layout problems", **Int. J. Prod. Res., 27, 5, pp. 793–808**.

178- Martinez G. S. (2016). "Biased roulette wheel: a quantitative trading strategy approach", **Comput. Finance, General Finance, arXiv:1609.09601v1, pp. 1-23.**

179- Marvin A. A., Sukran N. K. and Basheer M. K. (2006). "An empirical comparison of tabu search, simulated annealing, and genetic algorithms for facilities location problems", **Int. J. Prod. Econ., 103, pp. 742–754**

180- Matsuzaki K., Takashi I. and Yoshimoto K. (1999). "Heuristic algorithm to solve the multi-floor layout problem with the consideration of elevator utilization", **Comput. Ind. Eng., 36, 2, pp. 487–502.**

181- Mavridou T. D. and Pardalos P. M. (1997). “Simulated annealing and Genetic Algorithms for the facility layout problem: a survey”, **Comput. Optim. Appl., 7, 1, pp.111–126**.

182- Mazinani M., Abedzadeh M. and Mohebali N. (2013). “Dynamic facility layout problem based on flexible bay structure and solving by genetic algorithm”, **Int. J. Adv. Manuf. Technol., 65, 5-8, pp. 929–943.** http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4229-6.

183- McKendall A. R. and Shang J. (2006). “Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem”, **Comput. Oper. Res., 33, 3, pp. 790–803**.

184- McKendall A. R., Shang J. and Kuppusamy S. (2006). “Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem”, **Comput. Oper. Res., 33, 8, pp. 2431–2444.**

185- McKendall J. A. R. (2008). “Improved tabu search heuristics for the dynamic space allocation problem”, **Comput. Oper. Res., 35, pp. 3347– 3359.**

186- McKendall J. A. and Hakobyan A. (2010). “Heuristics for the dynamic facility layout problem with unequal-area departments”, **Eur. J. Oper. Res., 201, pp. 171–182.**

187- Mehdizadeh E. and Fatehi Kivi A. (2014). “Three meta-heuristic algorithms for the single-item capacitated lot-sizing problem (research note)”, **Int. J. of .Eng., 27, 8, pp. 1223-1232**.

188- Meller R. D., Narayanan V. and Vance P. H. (1999). “Optimal facility layout design”, **Oper. Res. Letters, 23, 3-5, pp. 117–127.**

189- Meller R. D. and Bozer Y. A. (1996). "A new simulated annealing algorithm for the facility layout problem", **Int. J. of .Prod. Res., 34, pp. 1675–1692.**

190- Meller R. D. and Bozer Y. A. (1997). "Alternative approaches to solve the multi floor facility layout problem", **J. of .Manuf. Syst., 16, 3, pp. 192–203.**

191- Meller R. D., Narayanan V. and Vance P. H. (1999). "Optimal facility layout design", **Oper. Res. Letters, 23, 3-5, pp. 117–127.**

192- Meng G., Heragu S. S. and Zijm H. (2004). "Reconfigurable layout problem", **Int. J. of .Prod. Res., 42, 22, pp. 4709–4729.**

193- Metropolis N., Rosenbluth A., Rosenbluth M., Teller A. and Teller E. (1953). "Equation of state calculations by fast computing machines**", J. of Chem. Phys., 21, pp. 1087–1092.**

194- Mir M. and Imam M. H. (2001). "A hybrid optimization approach for layout design of unequal-area facilities", **Comput. Ind. Eng., 39, 1-2, pp. 49–63.**

195- Mohammad-khanloo M. and Bashiri M. (2013). "A clustering based location-allocation problem considering transportation costs and statistical properties (research note)", **Int. J. of .Eng., 26, 6, pp. 597-604.**

196- Mohammadi M. and Forghani K. (2016). "Designing cellular manufacturing systems considering S-shaped layout", **Comput. Ind. Eng., 98, pp. 221-236.** https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.041.

197- Montreuil B. and Venkatadri U. (1990). "Strategic interpolative design of dynamic manufacturing system layouts", **Manag. Sci., 37, pp. 272–286**.

198- Mortazavi A. and Togan V. (2016). "Sizing and layout design of truss structures under dynamic and static constraints with an integrated particle swarm

optimization algorithm", **Appl. Soft Comput. J., 11, pp. 32.** http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.11.032.

199- Moslemipour G. and Lee T.S. (2012). "Intelligent design of a dynamic machine layout in uncertain environment of flexible manufacturing systems", **J. Intell. Manuf., 23, 5, pp. 1849–1860.**

200- Moslemipour G., Lee T. S. and Rilling D. (2012). "a review of intelligent approaches for designing dynamic and robust layouts in flexible manufacturing systems", **Int. J. Adv. Manuf. Technol., 60, pp.11–27.** DOI 10.1007/s00170-011-3614-x.

201- Mladenovic M. and Hansen P. (1997). "Variable neighborhood search", **Comput. & .Oper. Res., 24, pp. 1097–1100.**

202- Nagar A., Haddock J. and Heragu S. (1995). "Multiple and bicriteria scheduling: a literature survey", **Eur. J. Oper. Res., 81, 1, pp. 88–104.**

203- Nearchou A. C. (2006). "Meta-heuristics from nature for the loop layout design problem", **Int. J. of .Prod. Econ., 101, 2, pp. 312–328.**

204- Niknam T. and Amiri B. (2010). "An efficient hybrid approach based on PSO, ACO and k-means for cluster analysis", **Elsevier. Appl. Soft Comput., 10, 1, pp. 183–197.**

205- Ning X., Lam K. C. and Lam M. C. K. (2010). "Dynamic construction site layout planning using max-min ant system", **Autom. Constr., 19, pp. 55–65.**

206- Ou-Yang C. and Utamima A. (2013). "Hybrid Estimation of Distribution Algorithm for solving Single Row Facility Layout Problem", **Comput. Ind. Eng., 66, 1, pp. 95-103.**

207- Ozdamar L. and Demirhan M. (2000). "Experiments with new stochastic global optimization search techniques", **Comput. Oper. Res., 27, 9, pp. 841–865.**

208- Paes F. G., Pessoa A. A. and Vidal, T. (2017). "A Hybrid Genetic Algorithm with Decomposition Phases for the Unequal Area Facility Layout Problem", **Eur. J. of .Oper. Res., 256, 3, pp. 742-756.**

209- Page A. L. (1991). "New product development survey: Performance, and best practices". PDMA Conference, Chicago, USA.

210- Palomo-Romero J. M., Salas-Morera L. and Garcia-Hernandez L. (2017). "An island model genetic algorithm for unequal area facility layout problems", **Expert Syst. with Applications: An Int. J., 67, C, pp. 151-162.** doi: 10.1016/j.eswa.2016.10.004

211- Palubeckis G. (2015). "Fast local search for single row facility layout", **Eur. J. of .Oper. Res., 246, 3, pp. 800-814.** https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.055.

212- Palubeckis G. (2016). "Single row facility layout using multi-start simulated annealing",**Comput. Ind. Eng.,13, pp. 1-16.** https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.026.

213- Pardalos P. M. and Wolkowicz H. (1994). "Quadratic assignment and related problems", DIMACS Series in Discrete Mathematics, Vol. American Math. Soc., 16, pp. 364.

214- Patsiatzis D. I. and Papageorgiou L. G. (2002). "Optimal multi-floor process plant layout", **Comput. & Chemical Eng., 26, 4-5, pp. 575–583.**

215- Pedamallu C.S. and Ozdamar L. (2008). "Investigating a hybrid simulated annealing and local search algorithm for constrained optimization", **Eur. J. of .Oper. Res., 185 pp. 1230–1245.**

216- Pierreval H., Caux C., Paris J. L. and Viguier, F. (2003). "Evolutionary approaches to the design and organization of manufacturing systems", **Comput. Ind. Eng., 44, 3, pp. 339–364**.

217- Pillai V. M., Hunagund I. B. and Krishnan K. K. (2011). "Design of robust layout for dynamic plant layout problems", **Comput. Ind. Eng., 61, pp. 813–823**.

218- Pitsoulis L and Resende MGC (2002) "**Greedy randomised adaptive search procedures**" In: Resende MGC, Pardalos PM (eds) Handbook of applied optimization. Oxford University Press, Oxford, pp 168–181.

219- Pham D. T., Koc E., A. Ghanbarzadeh Otri, S., Rahim S. and Zaidi M. (2006). "The bees algorithm- a novel tool for complex optimization problems", In Proceedings of the Second International Virtual Conference on Intelligent Production Machines and Systems, pp. 454-461.

220- Phen C. S., Kuan Y. W. (2008). "Application of ant colony optimisation algorithms in solving facility layout problems formulated as quadratic assignment problems: a review", **Int. J. Ind. Syst. Eng.3, pp. 6**. DOI: 10.1504/IJISE.2008.020679.

221- Poli R. and Kennedy J., Blackwell T. (2007). "Particle swarm optimization—an overview", **Swarm Intell., 1, 1, pp. 33–57.**

222- Potts C. N. and Whitehead J. D. (2001). "Workload balancing and loop layout in the design of a flexible manufacturing system", **Eur. J. of .Oper. Res., 129, 2, pp. 326–336.**

223- Pourhassan M. R. and Raissi S. (2017). "An integrated simulation-based optimization technique for multi-objective dynamic facility layout problem", J. of .Ind. Inf. Integ., In Press, Corrected Proof. https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.06.001.

224- Pourvaziri H. and Naderi B. (2014). “A hybrid multi-population genetic algorithm for the dynamic facility layout problem”, **Appl. Soft Comput., 24, pp. 457–469.**

225- Pourvaziri H. and Pierreval H. (2016). “Dynamic Facility Layout Problem Based on Open Queuing Network Theory”, **Eur. J. of .Oper. Res., 259**. doi: 10.1016/j.ejor.2016.11.011.

226- Proth J. M. (1992). “Design and management of production systems”, Presses Univ. of France., pp. 68–77.

227- Rahmaniani R., Ghaderi A. and Saidi-Mehrabad M. (2012). “A Simulated Annealing Algorithm within the Variable Neighborhood Search Framework to Solve the Capacitated Facility Location-Allocation Problem”, **J. of .Optim. in .Ind. Eng., 10, pp. 45-54.**

228- Rajasekharan M., Peters B. A. and Yang, T. (1998). “A genetic algorithm for facility layout design in flexible manufacturing systems”, **Int. J. of .Prod. Res., 36, 1, pp. 95–110.**

229- Ramkumar A. S. and Ponnambalam S. G. (2006). “Hybrid ant colony system for solving quadratic assignment formulation of machine layout problems”, In: Proceedings of the IEEE conference on cybernetics and intelligent systems, Bangkok.

230- Raoot A. D. and Rakshit A. (1991). “A ‘fuzzy’ approach to facilities layout planning”, **Int. J. of .Prod. Res., 29, pp. 835–857.**

231- Raoot A. and Rakshit A. (1993). “A ‘linguistic pattern’ approach for multiple criteria facility layout problems”, **Int. J. Prod. Res., 31,1, pp. 203–222.**

232- Resende M. G. C. and Ribeiro C. C. (2003). “**Greedy randomised adaptive search procedures**”, In: Kochenberger G, Glover F (eds) Handbook of metaheuristics. Kluwer, Norwell, pp 216–249.

233- Rezazadeh H., Ghazanfari M., Saidi-Mehrabad M. and Sadjadi S. J. (2009). "An extended discrete particle swarm optimization algorithm for the dynamic facility layout problem", **J. Zhejiang Univ. Sci. A., 10, 4, pp. 520–529.**

234- Ripon K.S.N., Glette K., Nizam Khan K., Hovin M. and Torresen J. (2013). "Adaptive variable neighborhood search for solving multi-objective facility layout problems with unequal area facilities", **Swarm and Evolut. Comput., 8, pp. 1-12.**

235- Rodriguez J. M., MacPhee F. C., Bonham D. J. and Bhavsar V. C. (2004). "Solving the quadratic assignment and dynamic plant layout problems using a new hybrid meta-heuristic approach", In: Proceedings of the 18th A. int. symp. on high perform. Comput. Syst. and appl., pp. 9–16, Winnipeg, Manitoba, Canada.

236- Rosenblatt M. J. (1986). "The dynamics of plant layout", **Manag. Sci., 32, 1, pp. 76–86.**

237- Rubio-Sánchez M., Gallego M., Gortázar F. and Duarte A. (2016). "GRASP with path relinking for the single row facility layout problem", **Knowledge-Based Syst., 106, pp. 1-13.**

238- Saab Y. and Rao V. (1991). "Combinational optimization by stochastic evolution", **IEEE Trans. on .Comput. Aid. Design, 10, pp. 525–535.**

239- Safarzadeh S. and Koosha H. (2017). "Solving an extended multi-row facility layout problem with fuzzy clearances using GA", **Appl. Soft Comput., 61, pp. 819-831.** https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.09.003.

240- Sahin R. and Turkbey O. (2009). "A new hybrid tabu-simulated annealing heuristic for the dynamic facility layout problem", **Int. J. of .Prod. Res., 47, 24, pp. 6855-6873**.

241- Sahin R., Ertogral K. and Turkbey O. (2010). "A simulated annealing heuristic for the dynamic layout problem with budget constraint", **Comput. Ind. Eng., 59, pp. 308–313**. doi:10.1016/j.cie.2010.1004.1013.

242- Samarghandi H. and Eshghi K. (2010). "An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem", **Eur. J. Oper. Res. 205, pp. 98–105.**

243- Saravanan M. and Kumar S. G. (2013). "Different approaches for the loop layout problems: are view", Int. J. Adv. Manuf. Technol., 69, pp. 2513–2529. **http://dx.doi.org/10.1007/s00170-013-5133-4.**

244- Satheesh Kumar R. M., Asokan P. and Kumanan S. (2009). "Artificial immune system-based algorithm for the unidirectional loop layout problem in a flexible manufacturing system", **Int. J. Adv. Manuf. Technol., 40, pp. 553–565.**

245- Scholz D., Petrick A. and Domschke W. (2009). "STaTS: a slicing tree and tabu search based heuristic for the unequal area facility layout problem", **Eur. J. Oper. Res., 197, 1, pp. 166–178.**

246- Seehof J. M. and Evans W. O. (1967). "Automated layout design program", **J. of .Ind. Eng., 18, pp. 690–695.**

247- shah Nawaz Ripon K., Glette K., Nizam Khan K., Hovin M. and Torresen J. (2013). "Adaptive variable neighborhood search for solving multi-objective facility layout problems with unequal area facilities", **Swarm and Evolut. Comput., 8, pp. 1–12**.

248- Shayan E. and Chittilappilly A. (2004). "Genetic algorithm for facilities layout problems based on slicing tree structure", **Int. J. of .Prod. Res.,42, 19, pp. 4055–4067**.

249- Sirirat M andPeerayuth C. (2007). "The approximated dynamic programming approach to the dynamic quadratic assignmen problem", **Thammasat. Int. J .Sci. Technol., April–June, 12, 2.**

250- Smith A. E. and Norman B. A. (2000). "In: Parmee IC (ed) Evolutionary design of facilities considering production uncertainty", **Evolut. design and manuf.: selected papers from ACDM. Springer, London, pp 175–186.**

251- Sohrabi B. and Bassiri M. H. (2004). "Experiments to determine the simulated annealing parameters case study in vrp", **Int. J. of Eng., 17, 1, pp. 71-80**.

252- Solimanpur M., Vrat P. and Shankar R. (2005). "An ant algorithm for the single row layout problem in flexible manufacturing systems", **Comput. & .Oper. Res., 32, 3, pp. 583–598.**

253- Sooncharoen S., Vitayasak S. and Pongcharoen P. (2015). "Application of Biogeography-Based Optimisation for Machine Layout Design Problem", **Int. J. of .Mech. Eng. and Robotics Res., 4, pp. 3.**

254- Solimanpur M., Vrat P. and Shankar R. (2004). "Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing", **Eur. J. Oper. Res., 157, pp. 592–606.**

255- Solimanpur M., Saeedi S. and Mahdavi I. (2010). "Solving cell formation problem in cellular manufacturing using ant-colony based optimization", **Int. J. Adv. Manuf. Technol., 50, pp. 1135–1144.**

256- Suman B. and Kumar P. (2006). "A survey of simulated annealing as a tool for single and multi objective optimization", **J. Oper. Res. Soc., 57, pp. 1143–1160**.

257- Suo X. and Liu Z. (2008). "Relationships among SFLP, DFLP and robust layout", **Applied Mechanics and Materials, 10-12, pp. 235-241.**

258- Surya P. S. (2009). "Solving facility layout problem: three-level tabu search metaheuristic approach", **Int. J. Recent. Trends. in .Eng., 1, pp. 73–77.**

259- Talbi E.G. (2009). "**Metaheuristics from design to implementation**", New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, Hobokn.

260- Tam K.Y. (1992). "Genetic algorithms, function optimization, and facility layout design", **Eur. J. Oper. Res., 63, 2, pp. 322–346.**

261- Tam K. Y. and Chan S. K. (1998). "Solving facility layout problems with geometric constraints using parallel genetic algorithms: Experimentation and findings", **Int. J. of. Prod. Res., 36, 12, pp. 3253– 3272.**

262- Tavakkoli-Moghaddam R., Sayarshad H.R. and ElMekkawy, T.Y. (2009). "Solving a new multi-period mathematical model of the rail-car fleet size and car utilization by simulated annealing", **Int. J. of .Eng., 22, 1, pp. 33-46**.

263- Tavakkoli-Moghaddam R., Torabi N. and Ghaseminejad A. (2015) "A Quaternion Firefly Algorithm to Solve a Multi-row Facility Layout Problem", **IJE TRANSACTIONS B: Applications, 28, 11, pp. 1605-1613.**

264- Teo Y. T. and Ponnambalam S. G. (2008). "A Hybrid ACO/PSO Heuristic to solve single row layout problem", In: 4th IEEE conference on automation science and engineering, Key Bridge Marriott, pp. 597–602,Washington DC, USA.

265- Thangavel K., Karnan M., Jeganathan P., Petha Lakshmi A., Sivakumar R. and Geetharamani G. (2006). "Ant colony algorithms in diverse combinational optimization problems: a survey", **ACSE. J., 6, 1, pp. 7–26.**

266- Thepphakorn, T., Pongcharoen P. and Hicks C. (2014). "An ant colony based time stabling tool", **Int. J. Prod. Econ., 149, pp. 131–144.**

267- Tompkins J. A. and Reed, J. R. (1976). "An applied model for the facilities design problem**", Int. J. of .Prod. Res., 14, pp. 583–595.**

268- Tommelein P. and Zouein. (1993). "Interactive dynamic layout planning", **J. Constr. Eng. Manag., 119, 2, pp. 266-287.**

269- Tsuchiya K., Bharitkar S. and Takefuji Y. (1996). "A neural network approach to facility layout problems", **Eur. J. Oper. Res., 89, pp. 556–563.**

270- Tuzkaya G, and Gülsün B. (2008). "Evaluating centralized return centers in a reverse logistics network: An integrated fuzzy multi-criteria decision approach", **Int. J. Environ. Sci. Technpl., 5, 3, pp. 339-352.**

271- Tzeng G. H., Teng M. H., Chen J. J. and Opricovic S. (2002). "Multicriteria selection for a restaurant location in Taipei", **Int. J. of .Hosp. Manag., 21, 2, pp. 171-187.**

272- Urban T. L. (1993). "A heuristic for the dynamic facility layout problem", **IIE Trans., 25, 4, pp. 57–63.**

273- Urban T. L. (1998). "Solution procedures for the dynamic facility layout problem", **Ann. Oper. Res., 76, pp. 323–342.**

274- Urban T. L., Chiang W. C. and Russel R. A. (2000). "The integrated machine allocation and layout problem", **Int. J. of .Prod. Res., 38, 2913–2930.**

275- Vitayasak S., Pongcharoen P. and Hicks C. (2017). "A tool for solving stochastic dynamic facility layout problems with stochastic demand using either a Genetic Algorithm or modified Backtracking Search Algorithm", **Int. J. of .Prod. Econ., 190, pp. 146-157.**

276- Wang M. J., Hu M. H. and Ku M. H. (2005). "A solution to the unequal area facilities layout problem by genetic algorithm", **Comput. in .Ind., 56, 2, pp. 207–220**.

277- Welgama P. S. and Gibson P. R. (1993). “A construction algorithm for the machine layout problem with fixed pick-up and drop-off points”, **Int. J. of .Prod. Res., 31, 11, pp. 2575–2590**.

278- Wood I. and Downs T. (1998) “Demon algorithms and their application to optimization problems”, In IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp. 1661–1666.

279- Wu, Y. and Appleton, E. (2002). “The optimisation of block layout and aisle structure by a genetic algorithm”, **Comput. Ind. Eng., 41, 4, pp. 371–387**.

280- Wu Y. and Ji P. (2007). “Solving the quadratic assignment problems by a genetic algorithm with a new replacement strategy”, **World Acad. Sci. Eng. Technol., 30.**

281- Yahya M. and Saka M. P. (2014). “Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights”, **Auto. in .Constr., 38, pp. 14–29.**

282- Yang T. and Brett A. P. (1998). “Flexible machine layout design for dynamic and uncertain production environments”, **Eur. J. Oper. Res., 108, pp. 49–64.**

283- Yang T. and Kuo C. (2003). “A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem”, **Eur. J. of .Oper. Res., 147, pp. 128–136.**

284- Yang T., Peters B. A. and Tu M. (2005). “Layout design for flexible manufacturing systems considering single-loop directional flow patterns”, **Eur. J. of .Oper. Res., 164, 2, pp. 440–455.**

285- Yu-Hsin Chen G. (2013). “A new data structure of solution representation in hybrid ant colony optimization for large dynamic facility layout problems”, **Int. J. Prod. Econ., 142, pp. 362–371**

286- 164. Yuying L., Qiaoyan W., Lixiang L. and Haipeng P. (2009). "Hybrid chaotic ant swarm optimization", **Chaos, Solitons and Fractals, 42, pp. 880–889.**

287- Zahara E. and Hu C. H. (2008) "Solving constrained optimization problems with hybrid particle swarm optimization", **Eng. Optim., 40, pp. 1031–1049.**

288- Zhao W., Wang L., Yin Y., Wang B. and Wei Y. (2014). "An improved backtracking search algorithm for constrained optimization problems**", Lect. Notes Comput. Sci. (Incl. Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinforma.), 8793, pp. 222–233**.

289- Zhou J. (1998), Ph.D. dissertation : "Algorithms and tools for workflow analysis using the order concept", University of Strasbourg, French, 1.

Abstract

The goal of the dynamic layout design problem solution is to achieve the location of equipment deployment in the factory space in different periods of time, so that by changing the flow of materials between equipment according to the history of literature, the position of equipment from one period to another can be changed. In addition, the factors involved in finding the best deployment can be involved in the problem. An effective layout design minimizes the cost of the organization. A factor which, in the light of previous research, has a significant impact on reducing deployment costs, especially in dynamic conditions, is the cost of transportation of materials between equipment, which has been addressed in this study. The model presented in this study is a comprehensive mathematical model based on the dynamic layout design and the transportation system. Considering the real assumptions such as the fixed position of some equipment and the proper spacing between hazardous equipment, this model has been integrated in detail. To this end, certain criteria have been considered in line with the literature background and expert opinions, such as capacity, cost and reliability of equipment to implement the design of the transportation system. Complexity in solving the problem has inevitably led to the use of the meta-innovative algorithm. Solving this difficult complexity, according to research, has been done by a variable-search neighborhoods algorithm and simulation of refrigeration. The proposed algorithm has the high ability to generate responses with the characteristics of convergence and variation in the obtained solutions. To prove this ability, the performance of the model is compared with the basic methods in the history of literature. By comparing the performance of the proposed model, and the problem of designing the dynamic layout of the high-skins, which is a special case of refrigeration simulation, and the Hosni model, which has followed the model of the high-ranking model of the variable-search algorithm, was solved and the results with the resulting answers Compared to the model of Balakrishnan and Hasani. The effectiveness of the proposed algorithm has made it possible to achieve a near-optimal solution design with minimal cost. In this research, the proposed algorithm is evaluated and verified by solving numerical examples. These numerical examples are based on a case study of the home appliance industry. After solving the problem with the case study, it is possible to demonstrate the efficiency of the proposed model and the proposed solution in the real world. According to the interpretations that have been made on the computational results, the superiority of the proposed method has been demonstrated in comparison with other existing methods.

Keywords: Dynamic Plant Layout Problem, Transportation System Design, Hybrid Meta-Heuristic, Variable Neighborhood Search, Simulated Annealing;

Faculty of Industrial Engineering and Management

M.Sc. Thesis in Master Of Business Administration

A hybrid meta-heuristic algorithm to combination of transportation planning and layout design dynamic flow workshop manufacturing facilities

By: Narges Rezavandi

Supervisor:

Dr. Ali Akbar Hasani

September2018