مجله
پژوهش های مدیریت
شماره ۸۷ - زمستان ۱۳۸۹

ارائه روش چیدمان بهینه ماشین آلات با استفاده از مدل سازی ریاضی (مطالعه موردی: شرکت پویا خودرو شرق)

دکتر عباس طلوعی اشلقی *
محدثه مجریان **

چکیده

این مقاله بر مدل سازی ریاضی و حل مسائل برنامه ریزی عدد صحیح به وسیله روش های بهینه سازی تمرکز دارد. هدف از ارائه این مقاله توسعه مدلی جهت جانمایی تسهیلات است. این کار ابتدا از طریق مطالعات و بازدید از کارخانه پویا خودرو شرق با شناسایی عوامل مؤثر آغاز شد. که خود شامل دو مبحث می گردد:اول شامل اندازه طول و عرض دپارتمان ها و مورد دوم مربوط به فراوانی جریان مواد بین دپارتمان ها است. روشن است که ارائه مدل های متنوع از تمام عوامل ممکن خواهد بود و بنابر این بایستی با روش های بهینه سازی بهترین چیدمان ممکن را بدست آورد. بهینه سازی رویکردی است که به وسیله آن بهترین جواب ممکن برای یک مسأله را با توجه به هدف تعیین شده و قیدهای موجود تعیین می شود.

مدل توسعه داده شده،نوع بسط یافته، مدل نردین و همکاران است؛ که جهت حداقل سازی مجموع کل جریان و مسافت های حرکتی محصولات از یک دپارتمان به دپارتمان دیگر ، با توجه به تابع هدف می باشد. اندازه گیری این مسافت از مرکز دپارتمان ها به صورت خط مستقیم انجام می گیرد. مدل به مطالعهٔ تعیین M دپارتمان برای N موقعیت هر دپارتمان می پردازد، به گونه ای که همواره $N \geq M$ باشد. مدل ارائه شده بر مبنای پیش فرض ها و با استفاده از نرم افزار حل شده است و چیدمان نهایی و پیشنهادی با توجه به پاسخ بدست آمده از حل مدل ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی :

جانمایی، جانمایی تسهیلات، مدل سازی ریاضی، بهینه سازی

* دانشیار، ، عضو هیات علمی تمام وقت دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران (toloie@gmail.com)
تهران- بزرگراه اشرفی اصفهانی- به سمت حصارک- دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
** دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران (m.mojrian@gmail.com)
تهران- بزرگراه اشرفی اصفهانی- به سمت حصارک- دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

نویسنده مسئول یا طرف مکاتبه : دکتر عباس طلوعی اشلقی

تاریخ دریافت مقاله : ۸۷/۷/۹ تاریخ اصلاحات مقاله : ۸۷/۸/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله : ۸۷/۹/۲۰

مقدمه

سابقه مسائل مرتبط با طرح‌ریزی واحدهای صنعتی را باید به قدمت تجارت و تولید دانست، به موازات پیشرفت و توسعه سیستم‌های تولیدی و تجاری، توجه بیشتری به بهره گیری از فضاها مطرح شده است. سوال بسیاری از مدیران این است که " چرا باید جانمایی یا طراحی چیدمان انجام دهیم ؟" در ساده ترین حالت این کار مانند آوردن اثاث و لوازم به خانه و چیدن و مرتب کردن آنها بطوری است که رضایت ما جلب شود. این موضوع جهت تغییرات چیدمان تسهیلات و واحدهای سازمان‌های غیر تولیدی نیز صادق است؛ اما، جا به جایی تجهیزات و ملزومات در یک واحد تولیدی یا خدماتی بسیار بیشتر باعث از دست رفتن زمان، نارضایتی پرسنل و معطل ماندن تجهیزات می‌شود (عبدالهی پور،۱۳۸۳).

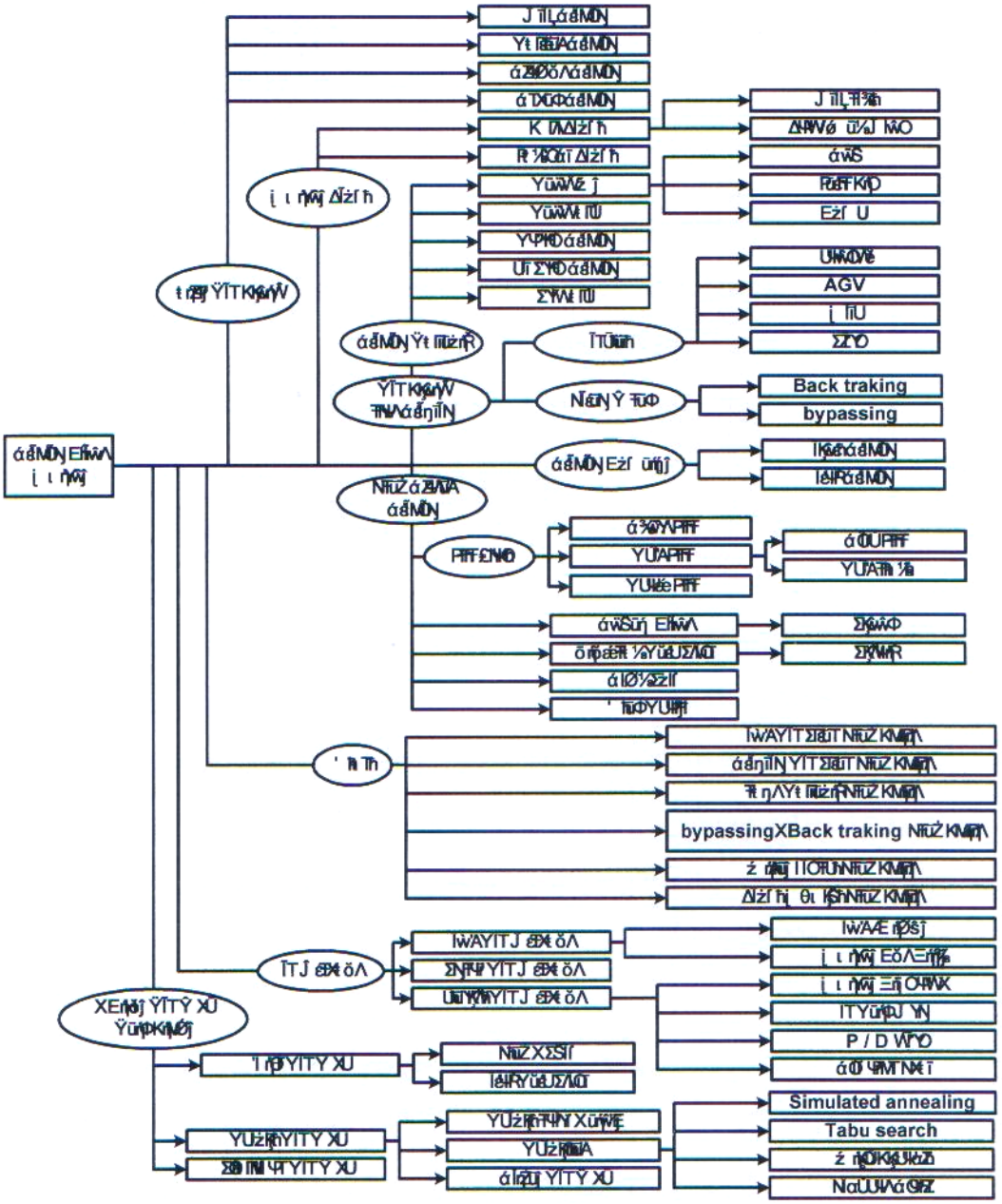
با صرف زمان کوتاهی جهت طراحی نحوه چیدمان تجهیزات و فضا ها قبل از استقرار آن ها، می‌توان از بروز بسیاری از خسارت ها و نارضایتی ها جلوگیری کرد. بسیاری از مشکلات واحدهای تولیدی، مانند زمان طولانی فرآیند تولید، وجود گلوگاه ها در واحد تولیدی و نارضایتی کارکنان و... با طراحی مجدد چیدمان تجهیزات و واحدهای تولیدی قابل رفع می باشند. مسلما جا به جایی و ایجاد تغییرات در چیدمان فضاها و تجهیزات بر روی کاغذ به مراتب ساده تر و کم هزینه تر از انتقال و جابه جایی واقعی آنها است. به همین دلیل محققان در جریان این مسائل، به دنبال یافتن الگوریتم ها و روش‌های تصمیم‌گیری هستند که در عین حال که به جواب خوبی در مورد نحوه چیدمان تجهیزات و واحد ها می‌رسند، پاسخ قابل اجرا در محیط عملیاتی بوده و با شرایط محیط کار سازگار باشد.

از این رو، باید الزامات ، نیازمندی ها و محدودیت‌های محیط کار و کارکنان و... را در فرآیند تصمیم‌گیری در نظر گرفته و اهدافی برای تصمیم‌گیری فرض شود که میزان دستیابی به آنها، معیار سنجش میزان کارایی و مقبولیت جواب حاصل از فرآیند تصمیم‌گیری باشد. در این مورد ضرورت وجود تکنیک های قوی که بتواند تصمیم گیرنده را در این زمینه یاری کند، کاملا محسوس است.

برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده، اغلب از مدل‌های ریاضی برای ساده کردن و خلاصه کردن مسائل واقعی استفاده می‌شود تا تجزیه و تحلیل سیستماتیک را ممکن سازد.

مسأله جانمایی تسهیلات به عنوان مسائل بدون ساختار شناخته شده است. مسائل بدون ساختار به راحتی قابل فرموله کردن با مدل‌های ریاضی نیستند و علی رغم توانایی تکنیک‌های کمی که توسط رایانه ها اجرا می‌شوند، مسأله جانمایی تسهیلات، هنوز نیازمند تفکر انسانی، دانش تجربی و قضاوت ذهنی هستند. علیرغم وجود چنین مشکلات و موانع در زمینه مسائل جانمایی تسهیلات، می توان با وجود مقالات فراوانی که در این زمینه منتشر شده اند؛ به وجود ویژگی های مهم مسائل جانمایی اشاره کرد، که به نظر می رسد در ساختاری که در شکل شماره ۱ مطرح شده است، قابل درک باشد. در حقیقت، مسائل این تحقیقات وابسته به ۳ عامل کلی است: ۱) شرایط کارخانه (کارگاه): (شرایط سیستم های تولید، شکل تسهیلات، سیستم جابجایی مواد و تکامل و تغییر شکل جانمایی ها) ، ۲) نحوه نمایش مسائل: (فرمول بندی مسائل، اهداف و محدودیت ها) ، ۳) روش و رویکرد مورد استفاده برای حل مسائل (روش های تصمیم گیری).

شکل شماره ۱: ساختار درختی مسائل جانمایی (دریرا و همکاران ، ۲۰۰۷)



از منظر دیگر، اکثر مطالبی کـه در مـورد مـسائل طراحـی جانمایی بیان شده اند در دو دسته مهم جـای مـی‌گیرنـد: ۱) رویکردهای الگوریتمی ، ۲) رویکردهای فرآیندی.
رویکردهای الگوریتمی، معمولا محـدودیت‌هـای طراحـی و هدف ها را ساده تر می کند، تا تابع هـدف محـدودتری را مطرح کننـد. در ایـن رویکردهـا بـرای تولیـد گزینـه‌هـای تصمیم‌گیـری از نـرم افـزارهـای تجـاری، مثـل Spiral و PLANOPT استفاده می‌شـود. رویکـردهـای فرآینـدی، می‌توانند همزمـان هـدف‌هـای کیفـی و کمـی در فرآینـد طراحی را در نظر بگیرند. بـرای ایـن رویکـرد هـا، فرآینـد طراحی به چندین مرحله تقسیم می‌شوند، که بـه صـورت متوالی مـورد بررسـی قـرار مـی‌گیرنـد. موفقیـت رویکـرد فرآیندی به تولید گزینه‌های تصمیم گیری متعدد بـستگی دارد؛ که معمولا توسط یک طراح با تجربه صورت می‌گیرد. بنا بر این، چنین رویکردی ممکن است غیر عینی باشـد و ممکن است به علت فقدان اطلاعات پایه ای ، جواب بـدی به دست آید (عبدل ، رحیم احمد ، ۲۰۰۵) .
انسان عموماً جهت اجرای تصمیم گیـری یکـی از دو روش زیر را به کار مـی بـرد: ۱) روش آزمـون و خطـا، ۲) روش مدل سازی.
در روش آزمون و خطا تصمیم گیرنده با واقعیـت برخـورد می کند. بدین ترتیب که یکی از گزینه ها را انتخاب کرده و نتیجه را مشاهده می کند، چنانچه خطای تـصمیم زیـاد بوده و مشکلاتی بروز کند، تصمیم را عوض کرده و گزینـه ای دیگر را انتخاب می کنند.در روش مدل سازی، تـصمیم گیرنده مسأله واقعی را مـدل سـازی نمـوده، عناصـر آن و تأثیر آنها بر یکدیگر را مشخص مـی نمایـد و بـه تجزیـه و تحلیل مدل و پیش بینی عملکرد مسأله واقعی می پردازد. در روش آزمون و خطا سرعت تصمیم سـازی بـالا بـوده و تصمیم سریع اتخاذ می گردد، ولی عموماً هزینهٔ خطا قابل توجه می باشد. در حالی که روش مـدل سـازی زمـان بـر بوده و اتخـاذ تـصمیم، فرآینـدی نـسبتاً طـولانی و دقیـق خواهد بود، اما امکان بروز خطا نیز کمتر می گردد.
به طور کلی، در فرآیند تصمیم سازی یـک مـسأله واقعـی، اگر تعداد عوامل زیاد باشد، روش سعی و خطا توصیه نمی شود.

ساختار این مقاله بدین صورت است که ابتدا به بیان مساله پرداخته می شود،سپس الگوریتم مدل سـازی بـه صـورت پارامتریک مطرح خواهد شد. پس از آن اعتبار مـدل مـورد بررسی می شود و در انتها مـدل بـا اسـتفاده از داده هـای واقعی در یک مطالعه موردی کالیبره می شود. بخش آخـر به یافته ها وپیشنهادها می پردازد.

بیان مساله

تسهیلات، یک موجودیت است کـه عملکـرد هـر کـاری را آسان می کند. تسهیلات ممکن است یـک ماشـین افـزار، مرکـز خـدمت دهـی ، سـلول تولیـدی، کارگـاه ماشـینی، دپارتمان، انبار و ... باشد. جانمایی تسهیلات یک ترتیـب و آرایش از هر چیزی است که بـرای تولیـد کالاهـا یـا ارائـه خدمات الزامـی و ضـروری اسـت (هرگـو ، ۱۹۹۱). جانمـایی تسهیلات نشان دهنده ترتیب خاص تسهیلات فیزیکی می باشـد (سـید حـسینی و صـفا کـیش،۱۳۸۴). در واقـع هـدف از مطالعه جانمایی تسهیلات عبارت اسـت از: حـداقل کـردن تأخیرها در جابجائی مواد، تأمین انعطاف پذیری، اسـتفاده مؤثرتر از فضا و نیروی کار و افزایش روحیه کارکنان است. جانمایی تسهیلات در فضای کارخانـه غالبـا بـه " مـسائل جایابی تسهیلات " منتهی می گردد؛ این مـسائل اهمیـت خاصی در هزینه های تولید، جریـان سـاخت، زمـان هـای تأخیر و بهره وری دارند. جانمایی مناسب تسهیلات در کل کارآیی عملیات تأثیر دارد و می تواند حتـی تـا ۵۰ درصـد کل مخارج عملیاتی را کـاهش بدهـد (تـامپکینز و ریـد ، ۱۹۷۶) و همچنین مقدار محصولات و خدمات یک سازمان را افزایش بدهد (سید حسینی ، ۱۳۸۴) .
شرکت پویا خودرو شرق (PKS)، مکان اجرای عملیـاتی است که در سال ۱۳۸۳ با هدف تولید دسته سیم مجموعه کولر خودرو تأسیس گردید. شرکت پویـا خـودرو شـرق بـا تشدید رقابت در صنعت خـودرو و سـرعت پاسـخگویی بـه مصرف کنندگان، در پاسـخگویی بـه مـشتریان و نیازهـای تأمین کنندگان و با توجه به محدودیت مکـان و جانمـایی ناصحیح چیدمان، ناکارآمد می باشد. بنابراین مسأله اصـلی تحقیق، جانمایی و چیدمان جدید خط تولید و دستگاه هـا در یک مکان تعریـف شـده ،در فـضای شـرکت اسـت، بـه نحوی که محدودیت های مربوط به متغیرهـای شناسـایی

شده، مسافت و جریان مواد، متغیرهایی که در نظر است بر اساس آنها جانمایی انجام شود، بر طرف شود؛ به عبارت دیگر مسأله جانمایی در این مقاله عبارت است از انتخاب محلی مناسب برای خط های تولید که تابع هدف مدل تحقیق را بهینه نماید.

در شرکت پویا خودرو شرق خطوط مونتاژهای اصلی و فرعی در فضای کارخانه بسیار نزدیک به هم قرار دارند، به طوری که فضای سالن ها بسیار شلوغ و عملیات پرسنل با تأخیر انجام می گیرد. این نوع چیدمان دارای دو اشکال است که در ابتدای طرح مسأله آشکار می گردد: ۱) تولید کالاهای نیمه ساخته در کنار دستگاهها (ایجاد محصول در پای کار)؛ ۲) اختلال در مسافت حرکتی در فضای کارخانه. درواقع این مقاله به دنبال پاسخ به سؤال مطرح شده از طرف شرکت پویا خودرو شرق است که " شرکت چگونه می تواند با نصب و استقرار مناسب و صحیح خطوط تولید به کاهش تعداد حرکت بین خطوط تولیدی برسد؟ ".

الگوریتم طراحی مدل

ایجاد مدل ریاضی برای شرکت پویا خودرو شرق، با هدف حداقل سازی میزان و مسافت حرکت در میان دو دپارتمان،و بسط یافته مدل ارائه شده نردین و همکاران در سال ۲۰۰۹ است. عوامل و محدودیت های مختلف در جهت بهترین چیدمان برای فضای خط تولید، و با توجه به پیش فرض ها، پارامترها و متغیرهایی به شرحی که در زیر بیان می گردد، در نظر گرفته می شود:

• پیش فرض های مدل

۱- همهٔ دپارتمان ها دارای شکل هندسی مستطیل و ثابت هستند.

۲- هر یک از دپارتمان ها به دو صورت افقی و یا عمودی فرض می شوند.

۳- مسافت ما بین دپارتمان ها به طور مستقیم و از مراکز دپارتمان ها اندازه گیری می شود.

۴- کف کارخانه به صورت اندازهٔ ثابت W (عرض) × H (طول) در نظر گرفته می شود، به طوریکه همهٔ دپارتمان ها را دربر گیرد؛ و هیچ همپوشانی بین دپارتمان ها نباشد.

۵- همهٔ ابعاد باید به صورت عدد صحیح اندازه گیری بشود.

۶- یک نوع دپارتمان، می تواند در پایین یا بالا و یا راست و چپ هر کدام از دیگر دپارتمان ها قرار گیرد.

• علائم مدل

i و j	علامت شماره دپارتمان ($i , j = 1,2, \ldots,N$)
left (right)	جهت دپارتمان i که ممکن است، سمت چپ یا راست دپارتمان دیگر (j)باشد.
below (above)	جهت دپارتمان i که ممکن است سمت بالا یا پایین دپارتمان دیگر (j)باشد.

• پارامترهای مدل

d_{ij}	مسافت ما بین موقعیت دپارتمان های i و j ($j = 1,2, \ldots,N , i \neq j$) به طوریکه $d_{ii} = 0$ برای همهٔ i)
f_{ij}	جریان مواد ما بین تسهیلات i و j ثابت است. ($f_{ii} = 0$ برای همهٔ i)
M	تعداد کل دپارتمان هایی که در سیستم ساخت (تولید) وجود دارد.
N	تعداد موقعیت های دپارتمانی که در آرایش چیدمان کارخانه وجود دارد.
O_i	جهت دپارتمان i
L	طول کل فضای ساخت
W	عرض کل فضای ساخت
α_i	طول دپارتمان i
β_i	عرض دپارتمان i ($\beta_i \leq \alpha_i$)
H	عدد بزرگ ($LW \leq H$)

• متغیرهای تصمیم مدل

x_i	مرکز دپارتمان i (در امتداد محور x)
y_i	مرکز دپارتمان i (در امتداد محور y)

O_i ۱ اگر افقی باشد

۰ اگر عمودی باشد

$b_{ij}^{left\ (right)}$ ۱ اگر دپارتمان i سمت چپ (راست) دپارتمان j باشد.

۰ اگر دپارتمان i سمت چپ (راست) دپارتمان j نباشد.

$b_{ij}^{below\ (above)}$ ۱ اگر دپارتمان i سمت پایین (بالا) دپارتمان j باشد.

۰ اگر دپارتمان i سمت پایین (بالا) دپارتمان j نباشد.

برای درک بهتر و بیشتر مسائل جانمایی تسهیلات، باید انواع و مشخصه‌های جانمایی تسهیلات بیان گردد:

- جانمایی بر حسب محصولات تولیدی[1]
- جانمایی بر حسب فرآیند[2]
- جانمایی بر حسب گروه (جانمائی گروهی)[3]
- جانمایی بر حسب مورد موقعیت ثابت[4]

فرآیندهای جریان پیوسته، تولید انبوه و تولید دسته ای معمولاً از طریق جانمایی بر حسب محصول سازماندهی می شوند. جانمایی بر حسب محصول عبارت است از ترتیب تجهیزات بر مبنای توالی عملیات انجام شده در تولید و حرکت محصولات در یک مسیر پیوسته از یک بخش به بخش بعدی. این نوع جانمایی اساساً برای تولید محصولاتی با تعداد زیاد و فرآیندهای تولیدی مشابه به کار می‌رود. به طور کلی، در تولید به روش جریان متوالی، تولید انبوه، و فرآیندهای دسته ای، از جانمایی محصولی استفاده می‌کنند. ویژگی‌های مهم و کلیدی این نوع جانمایی، نحوه استقرار تجهیزات بر اساس توالی عملیاتی است، که باید برای تولید انجام شوند. بر این اساس محصولات در یک مسیر متوالی از یک بخش به بخش بعدی انتقال می‌یابند. در مقایسه با انواع دیگر جانمایی، جانمایی محصولی مزایایی دارد. از آنجایی که این نوع جانمایی جریانی روان و منطقی برای محصول فراهم می‌آید، به کار گیری تجهیزات حمل و نقل در این نوع جانمایی آسان تر است و حجم مواد نیم ساخته بین ایستگاه‌های کاری کاهش می‌یابد. همچنین تقسیم زمان تولید به واحدهای کوچک، حمل و نقل اندک مواد، کم بودن مهارت‌های مورد نیاز برای کارکنان، طرح‌ریزی ساده و سیستم کنترل تولید، از دیگر ویژگی‌های قابل توجه این نوع جانمایی است. همچنین جانمایی‌های محصولی به خودی خود نقاط ضعفی هم دارند. اول اینکه، خرابی یک ماشین در خط تولید، باعث خوابیدن کل خط تولید می‌شود، زیرا جریان تولید منقطع می‌گردد. مورد بعدی اینکه، یک تغییر در طراحی محصول و یا معرفی محصولات جدید ممکن است نیازمند تغییرات اساسی در جانمایی فعلی باشند؛ تغییر در چیدمان عموما هزینه بر است. و ظرفیت خط تولید با توجه به گلوگاه ایستگاه کاری مشخص می‌شود. نکته آخر این که بالانس خط تولید یک امر بحرانی در پیاده سازی این خط تولید است. و به علت تقسیمات زیاد نیروی کار، در این نوع جانمایی رضایت شغلی به علت یکنواختی زیاد کار کارکنان، کم است (سید حسینی و صفا کیش، ۱۳۸۴) .

جانمایی فرآیندی شامل یک گروه بندی عملکردی از ماشین آلات و یا فعالیت‌هایی که کار مشابهی انجام می‌دهند، می‌شود. بنابراین، فرآیند تولید هر محصول، جریان مواد را در جانمایی فرآیندی تعیین می‌کند. در مقایسه با جانمایی محصولی، جانمایی فرآیندی از دو مزیت مهم برخوردار است. به طور کلی، جانمایی فرآیندی سرمایه گذاری اندکی در تجهیزات نیاز دارد؛ و این امر ناشی از آن است که ماشین ها در این نوع جانمایی، معمولا کارکردها و کاربردهای همانندی دارند و این نوع ماشین آلات چند کاره، اکثرا ارزان تر از ماشین‌های ویژه و مخصوصی هستند که در جانمایی محصولی از آنها استفاده می‌شود؛ و مزیت دیگر، رضایت شغلی بیشتر کارکنان در کار با این نوع جانمایی، است. برخی از ویژگی‌های مهم جانمایی فرآیندی عبارتند از: هزینه حمل و نقل مواد، بالاست؛ به این علت که محصولات باید بطور متوالی بین چندین بخش حرکت کنند. همچنین، از آنجایی که هر محصول، مسیر عملیاتی مختص به خود را دارد، در صورت افزایش تنوع محصولات، برنامه ریزی تولید و سیستم‌های کنترل پیچیده خواهند شد. به علاوه، جانمایی فرآیندی به

1. Product Layout
2. Process Layout
3 .Group Layout
4 .Fixed – Position Layout

علت افزایش حمل و نقل مواد بین بخش ها، زمان کل تولید را افزایش می‌دهد. در آخر، به علت اینکه هر یک از کارکنان، عهده دار انجام فعالیت‌های گوناگونی هستند، مهارت‌های آنها نیز باید گسترده تر باشد (سید حسینی و صفا کیش، ۱۳۸۴) .

جانمایی گروهی یا تولید سلولی، ترکیبی از دو نوع جانمایی فرآیندی و محصولی است.ابتدا واحد ها را بر حسب تشابه دسته بندی می‌کند؛ سپس نحوه استقرار تجهیزات و ماشین آلات را مربوط به هر یک از دسته ها که شامل اجزای مشابه هستند، تعیین می‌کند. در جانمایی گروهی، بسیاری از هزینه‌های حمل و نقل مواد که در جانمایی فرآیندی، الزامی است، کاهش می‌یابد. این امر کمک می‌کند که کارکنان، بر نحوه تولید ، بیش تر از جا به جایی مواد بین ماشین آلات تمرکز داشته باشند. مزیت دیگر این است که، به علت تشابه ماشین آلات هر واحد، راه اندازی ماشین آلات بسیار آسان تر از جانمایی فرآیندی است؛ شایان ذکر است که جانمایی فرآیندی، بسیار منعطف تر از جانمایی محصولی است؛ و از طرفی به منظور دسته بندی بخش ها و محصولات به دسته‌های مشابه، به تکنولوژی‌های مشابهی برای این منظور نیازمند است. با در نظر گرفتن این موارد ناگزیر از تحلیل‌های سیستماتیک در فرآیند تولیدی شرکت است، که این امر نیز هزینه بر است (سید حسینی و صفا کیش، ۱۳۸۴).

در برخی شرایط، محصولاتی که تولید می‌شوند، مثل: کشتی، هواپیما، لوکوموتیو و نظائر آن بزرگ و یا سنگین هستند. در چنین حالتی به جای حرکت مواد اولیه، ترجیح داده می شود، ماشین ها و کارکنان حرکت کنند. جدول شماره ۱ روابط بین جانمایی محصولی، فرآیندی و گروهی را برای انتخاب الگوی مناسب و ایجاد تعادل بین انعطاف پذیری و بهره وری هر یک از موارد، بیان کرده است.

جدول شماره ۱ : مقایسه الگوهای جانمایی

فاکتور مورد بررسی	جانمایی فرآیندی	محصولی	گروهی
میزان انعطاف پذیری	بالا	پایین	متوسط
پتانسیل اتوماسیون	پایین	بالا	متوسط
انواع تجهیزات و ماشین آلات	عمومی و چند منظوره	ویژه و تخصصی	اندکی تخصصی
حجم تولید	پایین	بالا	متوسط
به کار گیری تجهیزات	پایین	بالا	متوسط
هزینه و الزامات بهره برداری	پایین	بالا	متوسط

در این قسمت، با توجه به پیش فرض ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم ذکر شده در قسمت های قبل، مدل ریاضی زیر ارائه می گردد:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} f_{ij} \{ | x_i - x_j | + | y_i - y_j | \} \quad (۱)$$

Subject to:

$$x_1 = O_1 (\alpha_1 / 2) + (1\text{-}O_1) (\beta_1 / 2) \quad (۲)$$

$$y_1 = O_1 (\beta_1 / 2) + (1\text{-}O_1) (\alpha_1 / 2) \quad (۳)$$

$$x_i + O_i\alpha_i / 2 + (1\text{-}O_i) \beta_i / 2 \le x_j - O_j\alpha_j / 2 - (1\text{-}O_j) \beta_j / 2 + H\, b_{ij}^{left} + H\, b_{ij}^{below} + H\, b_{ij}^{above} \quad (۴)$$

$$x_j + O_j\alpha_j / 2 + (1\text{-}O_j) \beta_j / 2 \le x_i - O_i\alpha_i / 2 - (1\text{-}O_i) \beta_i / 2 + H\, b_{ij}^{right} + H\, b_{ij}^{below} + H\, b_{ij}^{above} \quad (۵)$$

$$y_j + O_i\beta_i / 2 + (1\text{-}O_i) \alpha_i / 2 \le y_j - O_j\beta_j / 2 - (1\text{-}O_j) \alpha_j / 2 + H\, b_{ij}^{right} + H\, b_{ij}^{left} + H\, b_{ij}^{above} \quad (۶)$$

$$y_j + O_j\beta_j / 2 + (1\text{-}O_j) \alpha_j / 2 \le y_i - O_i\beta_i / 2 - (1\text{-}O_i) \alpha_i / 2 + H\, b_{ij}^{right} + H\, b_{ij}^{left} + H\, b_{ij}^{below} \quad (۷)$$

$$b_{ij}^{left} + b_{ij}^{right} + b_{ij}^{below} + b_{ij}^{above} = 1 \quad (۸)$$

$$O_i , b_{ij}^{left} , b_{ij}^{right} , b_{ij}^{below} , b_{ij}^{above} \in \{ 0 , 1 \} \quad (۹)$$

$$x_i , y_i \ge 0 \quad \forall\ i \quad (۱۰)$$

$$\{ (i,j) \mid i = 2 , \dots , N\text{-}1 ; j = i +1 , \dots , N ; i \ne j \} \quad (۱۱)$$

تابع هدف (۱) مجموع کل جریان و مسافت های حرکتی محصولات را از یک دپارتمان به دپارتمان دیگر حداقل می سازد. اندازه گیری مسافت از مرکز دپارتمان ها و به صورت خط مستقیم و با فرمول $| x_i - x_j | + | y_i - y_j |$ انجام می گیرد. در واقع x_1 و y_1 لزوماً مراکز دپارتمان ۱ نیستند؛ بلکه نشان دهندهٔ اولین سلولی هستند که در چیدمان قرار می گیرد. محدودیت های بیان شده در مدل، موجب جلوگیری از همپوشانی دپارتمان ها، محدود کردن حداکثر فضای دپارتمان در چیدمان و بیان محدوده متغیرهای تصمیم می گردد. به طوری که، محدودیت های (۲) و (۳) تضمین می کنند که اولین دپارتمان بر روی نقطه مبدأ مختصات (0,0) قرار گیرد. در حالیکه، محدویت های (۴) تا (۷) مانع از هم پوشانی هر یک از دپارتمان ها می گردند؛ و همچنین دپارتمان i می تواند در قسمت های راست، چپ، بالا یا پایین دپارتمان j قرار بگیرد. متغیر b_{ij} یک متغیر صفر و یک است که برای محدویت های خاصی اجرا می شود. محدودیت (۸) سه متغیر مازاد را از جواب خارج می کند. محدودیت های (۹) تا (۱۱) حدود هر یک از متغیرها را تعیین می کند.

مطالعه موردی

حل مدل بیان شده، نیازمند شناسایی پارامتر ها و اعداد ثابت است؛ با توجه به پارامترهای ذکر شده در قسمت قبل، عبارتند از:

- تعداد کل دپارتمان هایی که در سیستم ساخت (تولید) وجود دارد M=۹ ؛ در جدول شماره ۳ با ذکر نام و مساحت بیان شده است.
- تعداد موقعیت های دپارتمانی که در آرایش چیدمان کارخانه وجود دارد N=۹ .
- جهت دپارتمان i که می تواند عمودی یا افقی باشد. O_i.
- طول کل فضای ساخت L =۱۰۲ متر و عرض کل فضای ساخت W =۶۰ متر .
- با توجه به اعداد فوق مقدار H (یک عدد بزرگ است) که بزرگتر مساوی $W \times L$ = ۶۱۲۰ در نظر گرفته شده است؛ بنابراین H برابر با ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته می شود. H= ۱۰۰۰۰ و ($LW \leq H$) .
- α_i = طول دپارتمان i .
- β_i = عرض دپارتمان i ($\beta_i \leq \alpha_i$)

طول و عرض کل دپارتمان هایی که در سیستم ساخت (تولید) وجود دارد،در جدول شماره ۳ آمده است:

جدول شماره ۲: نام و مساحت دپارتمان های سیستم ساخت (تولید)

شماره دپارتمان	نام دپارتمان (ایستگاه)	عرض (β)	طول (α)
۱	انبار	۲۰	۵۰
۲	Komax	۲۰	۲۴
۳	آماده سازی	۸	۲۰
۴	پرس	۱۲	۲۰
۵	Hot Melt	۶	۱۴
۶	برش روکش	۶	۶
۷	انبار میانی	۱۶	۲۰
۸	دسته سیم های کوچک	۲۰	۲۴
۹	فیکس و پیش مونتاژ	۴۰	۷۰

جدول شماره ۳: میزان جریان مواد بین دپارتمان ها

From / to	انبار	Komax	آماده سازی	پرس	Hot melt	برش روکش	انبار میانی	دسته سیم های کوچک	فیکس و پیش مونتاژ
انبار		46544	111	242	0	10642	0	1651	4021
Komax	0		3328	28872	0	1838	27926	2914	6879
آماده سازی	0	0		8348	596	8302	111	1557	460
پرس	0	0	0		0	0	242	5079	2142
Hot melt	0	0	0	0		0	0	102	345
برش روکش	0	0	0	0	0		0	2741	918
انبار میانی	0	0	0	0	0	0		7993	9021
دسته سیم های کوچک	0	0	0	0	0	0	0		0

روابط جریان مواد ما بین دپارتمان ها (f_{ij}) با توجه به پیش فرض مسأله ثابت و مطابق با اعداد داخل جدول شماره ۴ از - به است؛ نشان دهنده رابطهٔ بین دو دپارتمان است؛ و عدد ۰ نیز نشان دهندهٔ عدم وجود رابطهٔ بین دو دپارتمان است.

بررسی اعتبار مدل

در هر تحقیقی جهت بررسی صحت و درستی جواب حاصله باید به دنبال بررسی اعتبار و درستی روش انجام پژوهش بود. در این مقاله جهت بررسی اعتبار مدل ارائه شده، مسأله حل شده ای که در نرم‌افزار PLANOPT موجود است؛ مورد استفاده قرار می گیرد.

این نرم‌افزار محصول شرکت Engineering Optimization Software است که هدف آن بهینه ساختن چیدمان وسائل و تجهیزات در محیط‌های صنعتی مانند کارخانه‌ها است.

نرم‌افزار این امکان را می‌دهد تا بهترین چیدمان را برای فضای مطرح شده، بدست آورد. این نرم‌افزار از طریق الگوریتم بهینه‌سازی که دارد می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد. از قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌توان از رویکرد سخت و نرم آن در چیدمان صحیح یاد کرد. در بعضی از مواقع، برای فضاهای مورد نظر ابعاد خاصی مورد نیاز است. برای

مثال با محاسبات انجام شده در واحد مهندسی، برای تولید محصولی نیاز به اضافه کردن خط جدیدی با ابعاد ۷۰۰ ×۹۰۰ متر است. اگر دپارتمان‌هایی با این شرایط وجود داشته باشد؛ دپارتمان دارای شرایط سخت است؛ ولی اگر واحد مهندسی تشخیص داد که فقط احتیاج به ۶۳۰۰۰۰ متر مربع فضا است؛ بنابراین در این حالت دپارتمان در نرم افزار رویکرد نرم را برمی‌گزینند. این نرم‌افزار می‌تواند در حل یک مسأله هم از رویکرد نرم و هم از رویکرد سخت استفاده کند. از خصوصیات بسیار مهم دیگر این نرم‌افزار انعطاف‌پذیری آن با شرایط طبیعی محیط است؛ یعنی اگر محدودیت‌های فیزیکی مختلفی در سایت مورد نظر وجود داشته باشد، به راحتی می‌توان آن را وارد نرم‌افزار نمود و چیدمان بهینه را به دست آورد.

- **حل مسأله جانمایی فرضی با نرم‌افزار PLANOPT**

داده ها (مساحت) در مسأله نرم‌افزار PLANOPT و همچنین جدول از – به، این مسأله به ترتیب به صورت جداول شماره ۵ و ۶ است :

جدول شماره ۴: مساحت دپارتمان ها

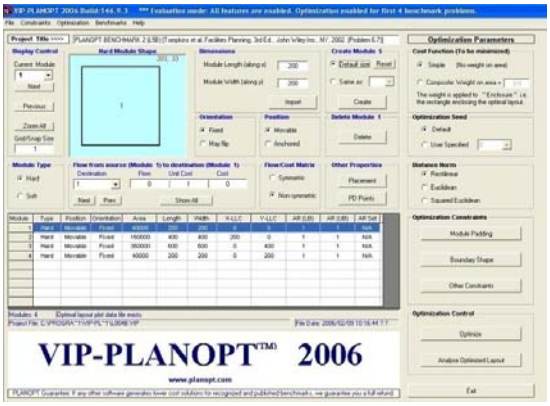
شماره دپارتمان	عرض(β)	طول(α)
۱	۲۰۰	۲۰۰
۲	۴۰۰	۴۰۰
۳	۶۰۰	۶۰۰
۴	۲۰۰	۲۰۰

جدول شماره ۵: جدول از – به

from \ to	1	2	3	4
1		250	25	240
2	125		400	335
3	100	0		225

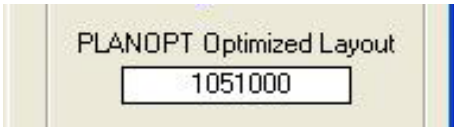
این داده ها به نرم افزار به صورت شکل شماره ۲ وارد می شود. پس از ورود اطلاعات به نرم افزار و انتخاب هر یک از آیتم های مورد نیاز از قبیل جهت، موقعیت، جریان مواد، هزینه و نوع تابع هدف ؛ مقدار بهینه تابع هدف محاسبه می گردد. مقدار بهینه تابع هدف نیز با فشار دادن کلید Optimize نشان داده می شود؛ در این زمان علاوه بر مقدار ریاضی ، نوع چیدمان و نحوه قرارگیری دپارتمان ها نیز به اجرا در می آید. شکل شماره ۳ مقدار و چیدمان بهینه مسأله را نشان می‌دهد.

شکل ۲- وارد کردن داده ها به نرم‌افزار PLANOPT



شکل ۳- چیدمان بهینه با استفاده از نرم‌افزار PLANOPT

شکل شماره ۵ : مقدار بهینه در نرم افزار PLANOPT



- **حل مسأله جانمایی فرضی با مدل سازی ریاضی پیشنهادی**

در این قسمت به حل مسأله مطرح شده با استفاده از مدل ارائه شده در تحقیق پرداخته می شود؛ همان طوری که پیش از این نیز بیان گردید هدف از این انجام این کار مقایسه پاسخ های دو روش و بررسی صحت و درستی پاسخ به دست آمده از حل مدل مطروحه می باشد.

در بهنه سازی مدل ریاضی ارائه شده نیز پاسخ بدست آمده نیز مقدار ۱۰۵۱۰۰۰ می باشد؛ که در شکل شماره ۷ نشان داده شده است :

شکل شماره ۴: مقدار بهینه در نرم افزار PLANOPT

```
Global optimal solution found.
Objective value:                              1051000.
Extended solver steps:                              2
Total solver iterations:                          422
```

حل مدل ریاضی در مطالعه موردی

یکی از کارآترین نرم افزار های موجود در حل مسائل بهینه سازی ریاضی، نرم افزار LINGO می باشد. حسن استفاده از این برنامه کامپیوتری در انعطاف پذیری بالای آن برای توسعه مدل ریاضی جانمایی ماشین آلات (تسهیلات) در کارخانه پویا خودرو شرق و سایر واحدهای تولیدی می باشد؛ که به راحتی می توان در این برنامه تغییراتی از جهت تعداد دپارتمان ها و میزان جریان مواد انجام گیرد .

برنامه اجرایی نرم افزار LINGO برای مدل اختصاصی ریاضی جانمایی ماشین آلات (تسهیلات) در کارخانه پویا خودرو شرق در زیر مطرح شده است.

```
sets:
box/1..9/:x,Length,y,Width,ort;
path(box,box):left,right,below,above,disx,disy,dis,vol;
endsets
min= @sum(path: dis * vol);
@for (path: dis = disx + disy);
!Distance x Linear Equation;
@for (box (i):
@for (box (j): disx (i,j) >=  ( x (i) - x (j)) ));
@for (box (i):
@for (box (j): disx (i,j) >=  ( x (j) - x (i)) ));
!Distance y Linear Equation;
@for (box (i):
@for (box (j): disy (i,j) >=  ( y (i) - y (j)) ));
@for (box (i):
@for (box (j): disy (i,j) >=  ( y (j) - y (i)) ));
!Total Length;
@for (box (i):x(i) <= 102 - 0.5 * ort(i) *  Length(i) - 0.5 * (1-ort(i)) *  Width(i));
!Total Width;
@for (box (j):y(j) <= 60 - 0.5 * ort(j) *  Width(j) - 0.5 * (1-ort(j)) *  Length(j));
!First Value;
@for (box (i): x (i) >= 0.5 * ort(i) * Length(i) + 0.5 * (1-ort(i)) * Width(i));
!left;
```

```
@for (box(j)|i #ne# j: y (j) + 0.5 * (1-ort(j)) * Length(j) + 0.5 * ort(j) *
!Overlap;
!right;
@for (box (i):
@for (box(j)|i #ne# j: x (i) + 0.5 * ort(i) * Length(i) + 0.5 * (1-ort(i)) * Width(i) <= x (j) - 0.5 * ort(j) *
Length(J) - 0.5 * (1-ort(j)) * Width(J)  + 10000 * left (i,j)+ 10000 * below (i,j) + 10000 * above (i,j)));
!left;
@for (box (i):
@for (box(j)|i #ne# j: x (j) + 0.5 * ort(j) * Length(j) + 0.5 * (1-ort(j)) * Width(j) <= x (i) - 0.5 * ort(i) *
Length(i) - 0.5 * (1-ort(i)) * Width(i) + 10000 * right (i,j)+ 10000 * below (i,j) + 10000 * above (i,j)));
!above;
@for (box (i):
@for (box(j)|i #ne# j: y (i) + 0.5 * (1-ort(i)) * Length(i) + 0.5 * ort(i) * Width(i) <= y (j) - 0.5 * (1-ort(j)) *
Length(J) - 0.5 * ort(j) *  Width(J) + 10000 * left (i,j)+ 10000 * right (i,j) + 10000 * below (i,j)));
!below;
@for (box (i):
@for (box(j)|i #ne# j: y (j) + 0.5 * (1-ort(j)) * Length(j) + 0.5 * ort(j) * Width(j) <= y (i) - 0.5 * (1-ort(i)) *
Width(i) - 0.5 * ort(i) *  Width(i) + 10000 * left (i,j)+ 10000 * right (i,j) + 10000 * above (i,j)));
!Integer Value;
@for (box: @bin (ort));
@for (path: @bin (left));
@for (path: @bin (right));
@for (path: @bin (below));
@for (path: @bin (above));
@for (path (i,j): left (i,j) + right (i,j)+ below (i,j)+ above(i,j) = 1);
data:
Length = 50,24,20,20,14,6,20,24,70;
Width = 20,20,8,12,6,6,16,20,40;
vol= 0,46544,111,242,0,10642,0,1651,4021,
    0,0,3328,28872,0,1838,27926,2914,6879,
    0,0,0,8348,596,8302,111,1557,460,
    0,0,0,0,0,0,242,5079,2142,
    0,0,0,0,0,0,0,102,345,
    0,0,0,0,0,0,0,2741,918,
    0,0,0,0,0,0,0,7993,9021,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0;
enddata
```

بعد از ورود مدل و داده هـای مربوطـه بـه نـرم افـزار ، در نهایت با حل شدن برنامه کامپیوتری مـذکور، پاسـخ هـای مربوط به متغیرهای مدل ریاضی جانمـایی تـسهیلات کـه مورد نظر تصمیم گیرندگان است، به صـورت زیـر حاصـل می گردد:

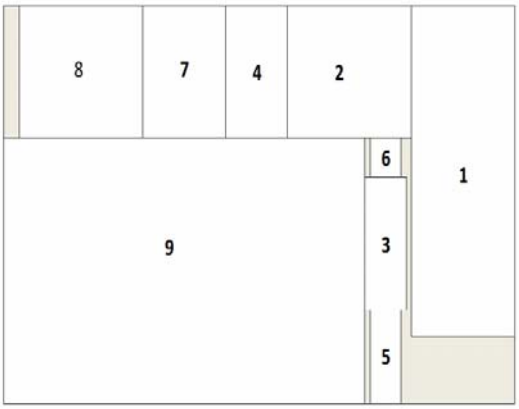
$x_1 = 89$, $x_2 = 67$, $x_3 = 74$, $x_4 = 49$, $x_5 = 74$, $x_6 = 74$, $x_7 = 35$, $x_8 = 15$, $x_9 = 35$

$y_1 = 35$, $y_2 = 50$, $y_3 = 24$, $y_4 = 50$, $y_5 = 7$, $y_6 = 37$, $y_7 = 50$, $y_8 = 50$, $y_9 = 20$

$O_1 = 0$, $O_2 = 1$, $O_3 = 0$, $O_4 = 0$, $O_5 = 0$, $O_6 = 0$, $O_7 = 0$, $O_8 = 1$, $O_9 = 1$

با توجه به داده های ذکر شده و مدل طراحی شده مطـابق بخش های قبل، پس از حـل مـدل و بـا توجـه بـه نتـایج حاصل جانمایی حاصل به صورت شکل شماره ۱۰ حاصـل می گردد.:

شکل شماره ۸ : جانمایی حاصل از حل مدل



نتیجه گیری

مسأله جایابی در زمینه های مختلف اقتصادی دارای دامنه کاربرد وسیعی است. به لحاظ اهمیتی که جایابی تسهیلات به منظور تولید محصولاتی که روی موفقیت سرمایه گذاری تأثیر به سزایی دارند و سبب کاهش هزینه ها و بالا رفتن توان رقابتی سازمان ها می شود. در نهایت جایابی تسهیلات، در یک واحد صنعتی، تأثیر زیادی در بهره وری تجاری سازمان و بهینه سازی ارتباطات، جریان و گردش اطلاعات و ارتقای کارایی کارکنان دارد. مطمئناً هر واحد صنعتی نیازمند اجرای بهترین جایابی ممکن با در نظر گرفتن تمامی شرایط و محدودیت ها است.

شرکت مورد مطالعه در این تحقیق نیز از این امر مستثنی نمی باشد؛ و در جهت بهبود مسائل در درون شرکت، اقدام به حل مشکل جانمایی تسهیلات نموده است. در این راستا، پاسخ به دست آمده از حل مدل ریاضی منجر به ارائه جانمایی بهینه با روش های ریاضی گردید. این تحقیقات هنوز هم نیاز به پیشنهاد و یا بهبود روش ها در جهت طراحی ، چیدمان های توافقی و بزرگ، پیش بینی حساسیت ها و تحلیل جایابی مدل های تصادفی جهت ارزیابی راه حل ها، دارد.

در این شرایط بـرای حـل مـسائل چیـدمان، مـی تـوان از روش های دیگری چون روش هـای فراابتکـاری ؛ بـه ایـن دلیل که از عهده مسائل با اندازه بزرگتر با محدودیت های کاملا واقع بینانه بر می آید ، استفاده نمود.

منابع و مآخذ :

۱. جعفری، حسن، ۱۳۷۹، " حل عددی و فرمول بندی برای پایداری موضعی خرپاها با استفاده از بهینه سازی ریاضی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

۲. سید حسینی، سید محمد و صفا کیش، محمد سعید، ۱۳۸۴، "مبانی جامع و پیشرفته مدیریت تولید و عملیات در سازمان های تولیدی و خدماتی ، جلد اول".۵۰۵ - ۴۹۸ .

۳. عبد الهی پور، مهدی، ۱۳۸۳،"استقرار بهینه واحدهای اداری با استفاده از روش AHP " ، دانشگاه یزد.

۴. قدسی پور، سید حسن، ۱۳۸۵، " مباحثی در تصمیم گیری چند معیاره برنامه ریزی چند هدفه (روش های وزن دهی بعد از حل) " ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران). ۱۵-۱۰.

5. Abdul – Rahim Ahmad , An intelligent Expert System for Decision Analysis & Support in Multi – Attribute layout Optimization , Engineering application of artificial intelligent, 2005.

6. Drira ,A., Pierreval,H., Hajri-Gabouj, S., Facility Layout Problem: A survey, Annual Reviews in control,31,255-267,2007.

7. Heragu, S.S. and Kusiak, A., Efficient Models for Facility Layout Problem, European Journal of Operational Research, 53(1), 1-13, 1991.

8. http://www.planopt.com/VIP-PLANOPT/index.htm. 11.8.2010.

9. Nordin,N.N., & Zainuddin,Z.M., & Salim,S., & Rajeswari,R., Mathematical Modeling and Hybrid Heuristic for Unequal Size Facility Layout Problem, Journal of Fundamental Sciences, 5 , 79-87 , 2009.

10. Tompkins,J.A., & Reed,J.R., An Applied Model for The Facilities Design Problem. International Journal of Production Research, 14, 583-595, 1976.