



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 مطالعه 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 اشرافی 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 اشرافی 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

مقدمه

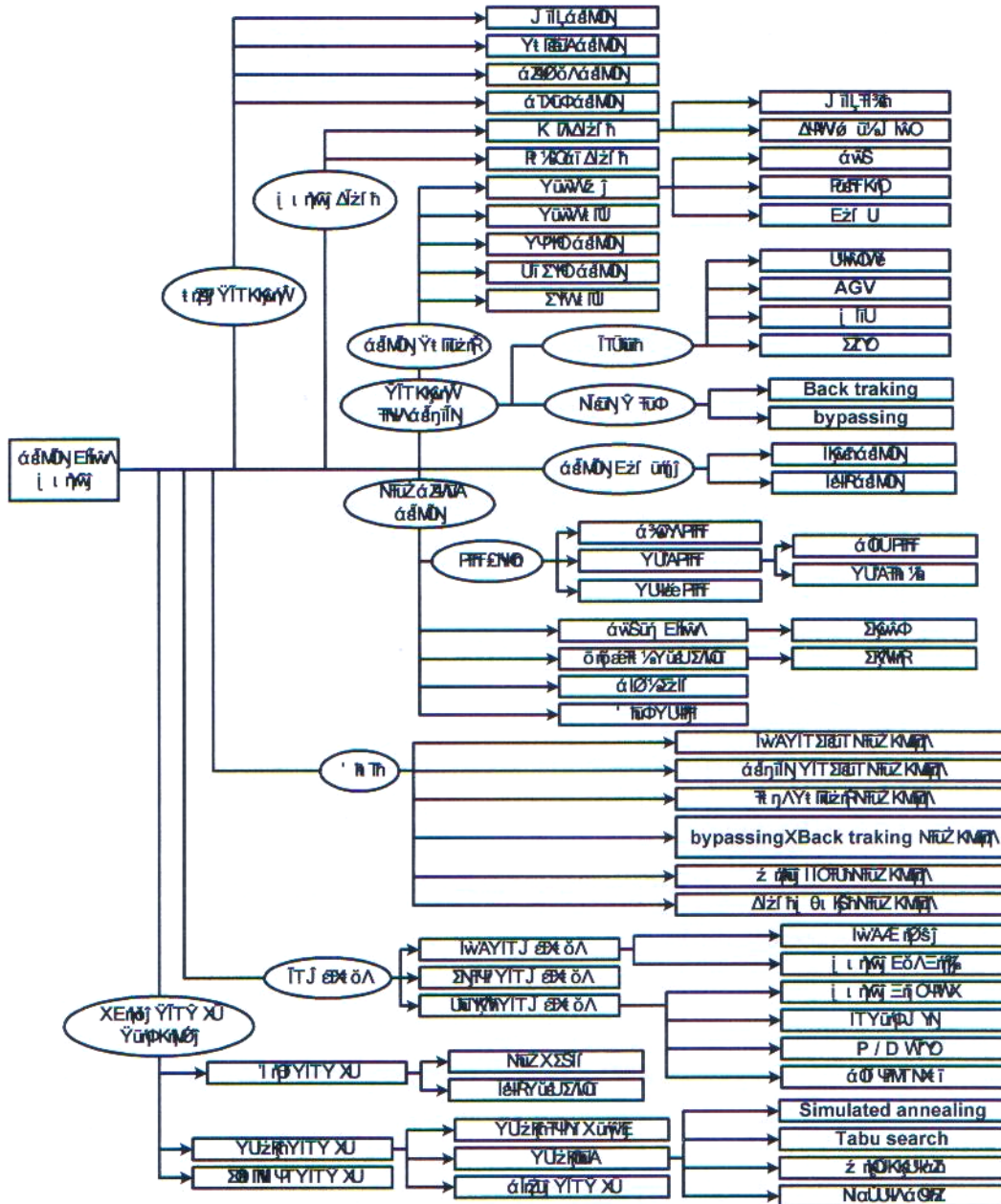
برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده، اغلب از مدل‌های ریاضی برای ساده کردن و خلاصه کردن مسائل واقعی استفاده می‌شود تا تجزیه و تحلیل سیستماتیک را ممکن سازد. مسأله جانمایی تسهیلات به عنوان مسائل بدون ساختار شناخته شده است. مسائل بدون ساختار به راحتی قابل فرموله کردن با مدل‌های ریاضی نیستند و علی‌رغم توانایی تکنیک‌های کمی که توسط رایانه‌ها 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، می‌توان با وجود مقالات فراوانی که در این زمینه منتشر شده‌اند؛ به وجود ویژگی‌های مهم مسائل جانمایی اشاره کرد، که به نظر می‌رسد 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 سیستم‌های تولید، شکل تسهیلات، سیستم جابجایی مواد و تکامل و تغییر شکل جانمایی‌ها)، (۲) نحوه نمایش مسائل: (فرمول بندی مسائل، اهداف و محدودیت‌ها)، (۳) روش و رویکرد مورد استفاده برای حل مسائل (روش‌های تصمیم‌گیری).

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 بهره‌گیری از فضاها مطرح شده است. سوال بسیاری از مدیران این است که "چرا باید جانمایی یا طراحی چیدمان انجام دهیم؟" در ساده‌ترین 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 (عبدلهی پور، ۱۳۸۳).

با صرف زمان کوتاهی جهت طراحی نحوه چیدمان تجهیزات و فضاها قبل از استقرار آن‌ها، می‌توان از بروز بسیاری از خسارت‌ها و نارضایتی‌ها جلوگیری کرد. بسیاری از مشکلات واحدهای تولیدی، مانند زمان طولانی فرآیند تولید، وجود گلوگاه‌ها در واحد تولیدی و نارضایتی کارکنان و... با طراحی مجدد چیدمان تجهیزات و واحدهای تولیدی قابل رفع می‌باشند. مسلماً جا به جایی و ایجاد تغییرات در چیدمان فضاها و تجهیزات بر روی کاغذ به مراتب ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر از انتقال و جابه‌جایی واقعی آنها است. به همین دلیل محققان در جریان این مسائل، به دنبال یافتن الگوریتم‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری هستند که در عین حال که به جواب خوبی در مورد نحوه چیدمان تجهیزات و واحدها می‌رسند، پاسخ قابل اجرا در محیط عملیاتی بوده و با شرایط محیط کار سازگار باشد.

از این رو، باید الزامات، نیازمندی‌ها 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 تکنیک‌های قوی که بتواند تصمیم‌گیرنده را در این زمینه یاری کند، کاملاً محسوس است.

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



ساختار این مقاله بدین صورت است که ابتدا به بیان مساله پرداخته می‌شود، سپس الگوریتم مدل سازی به صورت پارامتریک مطرح خواهد شد. پس از آن اعتبار مدل مورد بررسی می‌شود و در انتها مدل با استفاده از داده‌های واقعی در یک مطالعه موردی کالیبره می‌شود. بخش آخر به یافته‌ها و پیشنهادهای می‌پردازد.

بیان مساله

تسهیلات، یک موجودیت است که عملکرد هر کاری را آسان می‌کند. تسهیلات ممکن است یک ماشین افزار، مرکز خدمت دهی، سلول تولیدی، کارگاه ماشینی، دپارتمان، انبار و ... باشد. جانمایی تسهیلات یک ترتیب و آرایش از هر چیزی است که برای تولید کالاها یا ارائه خدمات الزامی و ضروری است (هرگو، ۱۹۹۱). جانمایی تسهیلات نشان دهنده ترتیب خاص تسهیلات فیزیکی می‌باشد (سید حسینی و صفا کیش، ۱۳۸۴). در واقع هدف از مطالعه جانمایی تسهیلات عبارت است از: حداقل کردن تأخیرها در جابجائی مواد، تأمین انعطاف پذیری، استفاده مؤثرتر از فضا و نیروی کار و افزایش روحیه کارکنان است. جانمایی تسهیلات در فضای کارخانه غالباً به "مسائل جایابی تسهیلات" منتهی می‌گردد؛ این مسائل اهمیت خاصی در هزینه‌های تولید، جریان ساخت، زمان‌های تأخیر و بهره‌وری دارند. جانمایی مناسب تسهیلات در کل کارآیی عملیات تأثیر دارد و می‌تواند حتی تا ۵۰ درصد کل مخارج عملیاتی را کاهش بدهد (تامپکینز و رید، ۱۹۷۶) و همچنین مقدار محصولات و خدمات یک سازمان را افزایش بدهد (سید حسینی، ۱۳۸۴).

شرکت پویا خودرو شرق (PKS)، مکان اجرای عملیاتی است که در سال ۱۳۸۳ با هدف تولید دسته سیم مجموعه کولر خودرو تأسیس گردید. شرکت پویا خودرو شرق با تشدید رقابت در صنعت خودرو و سرعت پاسخگویی به مصرف کنندگان، در پاسخگویی به مشتریان و نیازهای تأمین کنندگان و با توجه به محدودیت مکان و جانمایی ناصحیح چیدمان، ناکارآمدی می‌باشد. بنابراین مسأله اصلی تحقیق، جانمایی و چیدمان جدید خط تولید و دستگاه‌ها در یک مکان تعریف شده، در فضای شرکت است، به نحوی که محدودیت‌های مربوط به متغیرهای شناسایی

از منظر دیگر، اکثر مطالبی که در مورد مسائل طراحی جانمایی بیان شده‌اند در دو دسته مهم جای می‌گیرند: (۱) رویکردهای الگوریتمی، (۲) رویکردهای فرآیندی. رویکردهای الگوریتمی، معمولاً محدودیت‌های طراحی و هدف‌ها را ساده‌تر می‌کند، تا تابع هدف محدودتری را مطرح کنند. در این رویکردها برای تولید گزینه‌های تصمیم‌گیری از نرم افزارهای تجاری، مثل Spiral و PLANOPT استفاده می‌شود. رویکردهای فرآیندی، می‌توانند همزمان هدف‌های کیفی و کمی در فرآیند طراحی را در نظر بگیرند. برای این رویکرد‌ها، فرآیند طراحی به چندین مرحله تقسیم می‌شوند، که به صورت متوالی مورد بررسی قرار می‌گیرند. موفقیت رویکرد فرآیندی به تولید گزینه‌های تصمیم‌گیری متعدد بستگی دارد؛ که معمولاً توسط یک طراح با تجربه صورت می‌گیرد. بنا بر این، چنین رویکردی ممکن است غیر عینی باشد و ممکن است به علت فقدان اطلاعات پایه‌ای، جواب بدی به دست آید (عبدل، رحیم احمد، ۲۰۰۵).

انسان عموماً جهت اجرای تصمیم‌گیری یکی از دو روش زیر را به کار می‌برد: (۱) روش آزمون و خطا، (۲) روش مدل سازی.

در روش آزمون و خطا تصمیم‌گیرنده با واقعیت برخورد می‌کند. بدین ترتیب که یکی از گزینه‌ها را انتخاب کرده و نتیجه را مشاهده می‌کند، چنانچه خطای تصمیم زیاد بوده و مشکلاتی بروز کند، تصمیم را عوض کرده و گزینه‌ای دیگر را انتخاب می‌کنند. در روش مدل سازی، تصمیم‌گیرنده مسأله واقعی را مدل سازی نموده، عناصر آن و تأثیر آنها بر یکدیگر را مشخص می‌نماید و به تجزیه و تحلیل مدل و پیش‌بینی عملکرد مسأله واقعی می‌پردازد. در روش آزمون و خطا سرعت تصمیم‌سازی بالا بوده و تصمیم سریع اتخاذ می‌گردد، ولی عموماً هزینه‌ی خطا قابل توجه می‌باشد. در حالی که روش مدل سازی زمان‌بر بوده و اتخاذ تصمیم، فرآیندی نسبتاً طولانی و دقیق خواهد بود، اما امکان بروز خطا نیز کمتر می‌گردد.

به طور کلی، در فرآیند تصمیم‌سازی یک مسأله واقعی، اگر تعداد عوامل زیاد باشد، روش سعی و خطا توصیه نمی‌شود.

دپارتمان ها را دربر گیرد؛ و هیچ همپوشانی بین دپارتمان ها نباشد.

۵- همه 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 ($i, j = 1, 2, \dots, N$)

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 ($j = 1, 2, \dots, N$)

$i \neq j, \dots, N, i$ به طوریکه $d_{ii} = 0$ برای همه i

f_{ij} جریان مواد ما بین تسهیلات i و j ثابت است.

($f_{ii} = 0$ برای همه 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

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. در واقع 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- همه 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 اندازه ثابت W (عرض) $\times H$ (طول) در نظر گرفته می شود، به طوریکه همه

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 عموماً 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 ماشین‌ها در این نوع جانمایی، معمولاً کارکردها و کاربردهای همانندی دارند و این نوع ماشین آلات چند کاره، اکثراً 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

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

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^۱
- جانمایی بر حسب فرآیند^۲
- جانمایی بر حسب گروه (جانمایی گروهی)^۳
- جانمایی بر حسب مورد موقعیت ثابت^۴

فرآیندهای جریان پیوسته، تولید انبوه و تولید دسته ای معمولاً از طریق جانمایی بر حسب محصول سازماندهی می‌شوند. 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

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

جدول شماره ۱: مقایسه الگوهای جانمایی

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

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:

علت افزایش حمل و نقل مواد بین بخش ها، زمان کل تولید را افزایش می دهد. در آخر، به علت اینکه هر یک از کارکنان، عهده دار انجام فعالیت های گوناگونی هستند، مهارت های 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 می کند؛ سپس نحوه استقرار تجهیزات و ماشین آلات را مربوط به هر یک از دسته ها که شامل اجزای مشابه هستند، تعیین می کند. در جانمایی گروهی، بسیاری از هزینه های حمل و نقل مواد که در جانمایی فرآیندی، الزامی است، کاهش می یابد. این امر کمک می کند 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 دسته های مشابه، به تکنولوژی های مشابهی برای این منظور نیازمند است. با در نظر گرفتن این موارد ناگزیر از تحلیل های 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 می شوند، 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.

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

Subject to:

$$x_i = O_i (\alpha_i / 2) + (1 - O_i) (\beta_i / 2) \quad (۲)$$

$$y_i = O_i (\beta_i / 2) + (1 - O_i) (\alpha_i / 2) \quad (۳)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

(۲) و (۳) تضمین می کنند که اولین دپارتمان بر روی نقطه مبدأ مختصات (0,0) قرار گیرد. در حالیکه، محدودیت های (۴) تا (۷) مانع از هم پوشانی هر یک از دپارتمان ها می گردند؛ و همچنین دپارتمان ۱ می تواند در قسمت های راست، چپ، بالا یا پایین دپارتمان ۱ قرار بگیرد. متغیر b_{ij} یک متغیر صفر و یک است که برای محدودیت 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.

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 دهنده 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

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	
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 رابطه بین دو دپارتمان است؛ و عدد ۰ نیز نشان دهنده عدم وجود رابطه 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 نرم افزار PLANOPT موجود است؛ مورد استفاده قرار می گیرد.

این نرم افزار محصول شرکت Engineering Optimization Software است که هدف آن بهینه ساختن چیدمان وسائل و تجهیزات در محیط های صنعتی مانند کارخانه ها است.

نرم افزار این امکان را می دهد تا بهترین چیدمان را برای فضای مطرح شده، بدست آورد. این نرم افزار از طریق الگوریتم بهینه سازی که دارد می تواند هزینه ها را کاهش دهد. از قابلیت های این نرم افزار می توان 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

مطالعه موردی

حل مدل بیان شده، نیازمند شناسایی پارامترها 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 $M=9$ ؛ در جدول شماره ۳ با ذکر نام و مساحت بیان شده است.
- تعداد موقعیت های دپارتمانی که در آرایش چیدمان کارخانه وجود دارد $N=9$.
- جهت دپارتمان i که می تواند عمودی یا افقی باشد. O_i
- طول کل فضای ساخت $L=102$ متر و عرض کل فضای ساخت $W=60$ متر.

- با توجه به اعداد فوق مقدار H (یک عدد بزرگ است) که بزرگتر مساوی $W \times L = 6120$ در نظر گرفته شده است؛ بنابراین H برابر با ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته می شود. $H=10000$ و $(LW \leq H)$.

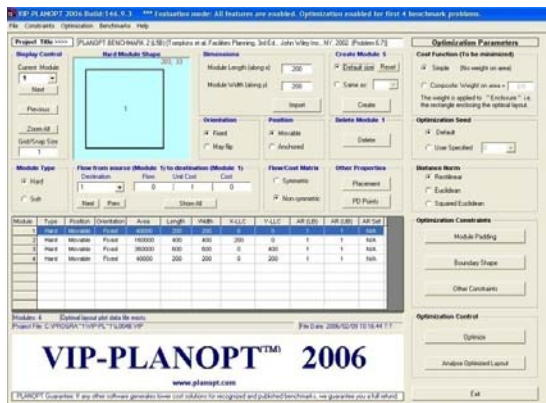
- α_i = طول دپارتمان i .
 - β_i = عرض دپارتمان i ($\beta_i \leq \alpha_i$)
- طول و عرض کل دپارتمان هایی که در سیستم ساخت (تولید) وجود دارد، در جدول شماره ۳ آمده است:

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

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 می دهد.

شکل ۲- وارد کردن داده ها به نرم افزار PLANOPT



شکل ۳- چیدمان بهینه با استفاده از نرم افزار PLANOPT



مثال با محاسبات انجام شده در واحد مهندسی، برای تولید محصولی نیاز به اضافه کردن خط جدیدی با ابعاد 700×900 متر است. اگر دپارتمان هایی با این شرایط وجود داشته باشد؛ دپارتمان دارای شرایط سخت است؛ ولی اگر واحد مهندسی تشخیص داد که فقط احتیاج به 630000 متر مربع فضا است؛ بنابراین در این حالت دپارتمان در نرم افزار رویکرد نرم را برمیگزیند. این نرم افزار می تواند در حل یک مسأله هم از رویکرد نرم و هم از رویکرد سخت استفاده کند. از خصوصیات بسیار مهم دیگر این نرم افزار انعطاف پذیری آن با شرایط طبیعی محیط است؛ یعنی اگر محدودیت های فیزیکی مختلفی در سایت مورد نظر وجود داشته باشد، به راحتی می توان آن را وارد نرم افزار نمود و چیدمان بهینه را به دست آورد.

• حل مسأله جانمایی فرضی با نرم افزار PLANOPT داده ها (مساحت) در مسأله نرم افزار PLANOPT و همچنین جدول از - به، این مسأله به ترتیب به صورت جداول شماره ۵ و ۶ است:

جدول شماره ۴: مساحت دپارتمان ها

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

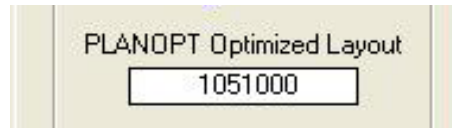
جدول شماره ۵: جدول از - به

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

شکل شماره ۴: مقدار بهینه در نرم افزار PLANOPT

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

شکل شماره ۵: مقدار بهینه در نرم افزار PLANOPT



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.

• 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 مطرح شده می باشد.
در بهینه سازی مدل ریاضی ارائه شده نیز پاسخ بدست آمده نیز مقدار ۱۰۵۱۰۰۰ می باشد؛ که در شکل شماره ۷ نشان داده 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,
0,0,0,0,0,242,5079,2142,
0,0,0,0,0,0,102,345,
0,0,0,0,0,0,2741,918,
0,0,0,0,0,0,7993,9021,
0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0;
enddata

```

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 برای حل مسائل چیدمان، می توان از روش های دیگری چون روش های فراابتکاری؛ به این دلیل که از عهده مسائل با اندازه بزرگتر با محدودیت های کاملاً واقع بینانه بر می آید، استفاده نمود.

بعد از ورود مدل و داده های مربوطه به نرم افزار، در نهایت با حل شدن برنامه کامپیوتری مذکور، پاسخ های مربوط به متغیرهای مدل ریاضی جانمایی تسهیلات که مورد نظر تصمیم گیرندگان است، به صورت زیر حاصل می گردد:

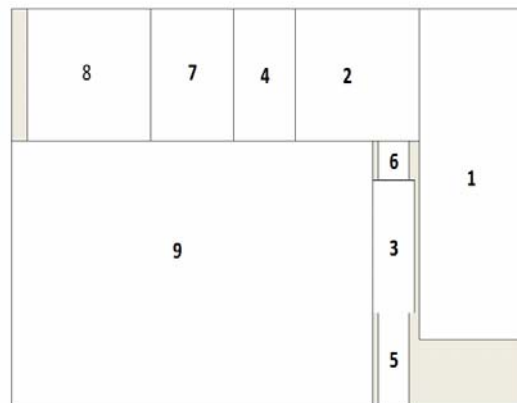
$$x_1 = 89, x_2 = 67, x_3 = 74, x_4 = 49, x_5 = 74, x_6 = 74, x_7 = 35, x_8 = 15, x_9 = 35$$

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

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

با توجه به داده های ذکر شده و مدل طراحی شده مطابق بخش های قبل، پس از حل مدل و با توجه به نتایج حاصل جانمایی حاصل به صورت شکل شماره ۱۰ حاصل 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 محصولات 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

منابع و مأخذ :

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.