فصل دوم

# مسئله طراحي و چيدمان تسهيلات

(بهروز پورقناد)

## مقدمه

قرار دادن تسهيلات (ماشين‌آلات) در فضاي كارخانه اغلب به‌عنوان مسئله چيدمان تسهيلات[1] ناميده مي‌شود. يک چيدمان مناسب تسهيلات در كارخانه مي‌تواند بر روي بهره‌وري كل فرآيند توليد كارخانه اثرگذار باشد (Amine et al.,2007). Tompkins و همكارانش در سال ۱۹۹۶ بيان كردند كه يک چيدمان مناسب مي‌تواند تا ۵۰ درصد از كل هزينه‌هاي عملياتي را كاهش دهد (Tompkins et al.,1996). اما در اين ميان اين سئوال پيش مي‌آيد كه كدام چيدمان مناسب‌ترين است و از چه ابزاري مي‌توان براي ارزيابي چيدمان‌هاي مختلف استفاده كرد و چه معياري در اين تصميم‌گيري از اهميت بيشتري برخوردار است. براي ارزيابي چيدمان مي‌توان معيارهاي متفاوتي در نظر گرفت كه در ادامه به آن‌ها خواهيم پرداخت. اما در مورد ابزارها



[1] Facility Layout Problem

باید گفت شبیه‌سازي یکي از مناسب‌ترین ابزارها براي ارزیابي چیدمان‌هاي مختلف مي‌باشد **(Aleisa et al.,2005)**. همچنین در بررسي مسائل چیدمان تسهیلات باید به این نکته توجه داشت که اغلب این مسائل **NP-Hard** مي‌باشند **(Garey et al.,1979)**. تا به حال چندین مرور ادبیات در این موضوع انجام شده است که اغلب هرکدام از آن‌ها به شاخه خاصي از مسائل چیدمان تسهیلات پرداخته‌اند. در این میان تعدادي از آن‌ها چندان جدید نیستند **(Levary et al.,1985)**، **(Kusiak et al.,1987)** و **(Hassan,1994)** و یا برخي از آن‌ها بر جنبه‌هاي خاصي از چیدمان تسهیلات متمرکز شده اند، مانند چیدمان حلقه‌اي[1] **(Asef-Vaziri et al.,2005)**، مسائل داینامیک[2] **(Balakrishnan et al.,1998)** و یا طراحي توسط الگوریتم‌هاي تکاملي[3] **(Pierrevalet al.,2003)**.

در این فصل از کتاب سعي شده است که یک مرور کلي از تمام جنبه‌هاي مسائل چیدمان، مفاهیم، مدل‌سازي و روش‌هاي حل انجام شود تا خواننده بتواند با تمامي مفاهیم مرتبط با چیدمان تسهیلات آشنا شود و بتواند به درکي مناسب از آن دست یابد. در ادامه این فصل ابتدا در بخش ۲ تعاریف ارائه شده از مسئله چیدمان تسهیلات در ادبیات موضوع مورد بررسي قرار مي‌گیرد. سپس در بخش ۳ خصوصیات و مفاهیم پایه‌اي مطرح در چیدمان تسهیلات به تفصیل مورد بررسي قرار خواهد گرفت، آنگاه در بخش ۴ بحث چیدمان تسهیلات داینامیک به صورت اجمالي بررسي خواهد شد، در بخش‌هاي ۵ و ۶ انواع مدل‌سازي‌هاي مسئله چیدمان تسهیلات و روش‌هاي حل آن‌ها مورد بحث قرار خواهد گرفت. در انتها در بخش ۷ مطالب مطرح شده در این فصل جمع‌بندي مي‌شود. همچنین مقالات موجود در ادبیات موضوعِ چیدمان تسهیلات در جداول جداگانه بر اساس نوع مدل‌سازي و روش حل آن‌ها مورد بررسي قرار خواهد گرفت که این بررسي پراکندگي مطالعات انجام شده در حوزه چیدمان تسهیلات را مشخص خواهد کرد. همچنین تمایل بیشتر پژوهشگران به استفاده از نوع خاصي از روش حل و مدل‌سازي را نشان خواهد داد.



[1] Loop Layout
[2] Daynamic Facility Layout
[3] Evaluation Algorithm

## تعريفي از مسئله چيدمان

محققان درباره تعريف مسئله چيدمان تسهيلات هم عقيده نيستند و تعاريف متفاوتي با ارائه مفاهيم مختلف در اين حوزه از ادبيات به چشم مي‌خورد. تا به حال بيشتر مسائلي كه در اين حوزه معرفي شده است تحت عنوان مسئله مكان‌يابي تسهيلات استاتيک (در مقابل مسئله چيدمان تسهيلات دايناميک) فرموله شده است. **Koopmans**و **Beckmann**در سال ۱۹۵۷ اولين كساني بودند كه اين مسئله را به عنوان يكي از معمول‌ترين مسائل موجود در كارخانجات مطرح كردند **(Koopmans&Beckmann,1957)**. آن‌ها اين مسئله را به عنوان مستقر كردن تسهيلات در كارخانه با هدف كمينه كردن هزينه حمل و نقل مواد تعريف كردند. در برخي ديگر از منابع موجود در ادبيات، چيدمان تسهيلات را به عنوان مسئله مستقر كردن **n** تسهيل مستطيل شكل در سطح، با در نظر گرفتن تابع هدفي بر اساس فاصله معرفي شده است **(Meller et al.,1999)**. آن‌ها بيان كردند كه در اين استقرار نبايد روي‌هم افتادگي در استقرار تسهيلات وجود داشته باشد مفهوم روي‌هم افتادگي هنگامي مطرح مي‌شود كه در چيدمان نهايي بين خطوط مشخص كننده شكل تسهيلات، تقاطع ايجاد شود. **Azadivar** و **Wan** در سال ۲۰۰۰ مسئله چيدمان تسهيلات را به عنوان تشخيص محل متناظر و تخصيص فضاهاي موجود به تعدادي معلوم از تسهيلات تعريف كرد **(Azadivar&Wan,2000)**. در سال ۲۰۰۲ در مقاله ديگري **Lee** و **Lee** مسئله چيدمان را به‌صورت چيدمان n تسهيل با مساحت‌ها و شكل نامساوي با هدف كمينه‌كردن هزينه حمل و نقل مواد معرفي مي‌كنند **(Lee&Lee,2002)**. **Shayan** و **Chittilappilly** در سال ۲۰۰۴ بيان داشتند كه مسئله چيدمان تسهيلات يک مسئله بهينه‌سازي است كه تلاش مي‌كند با در نظر گرفتن اثر متقابل ميان تسهيلات و جريان حمل و نقل مواد بين تسهيلات در هنگام طراحي، چيدماني موثر به دست آورد **(Shayan&Chittilappilly,2004)**.

تعداد زيادي از تحقيقات در اين حوزه انجام شده است و هر كدام بنابر مسئله مورد نظر خود تعريفي از مسئله چيدمان تسهيلات ارائه داده‌اند. اين تعاريف مختلف با وجود

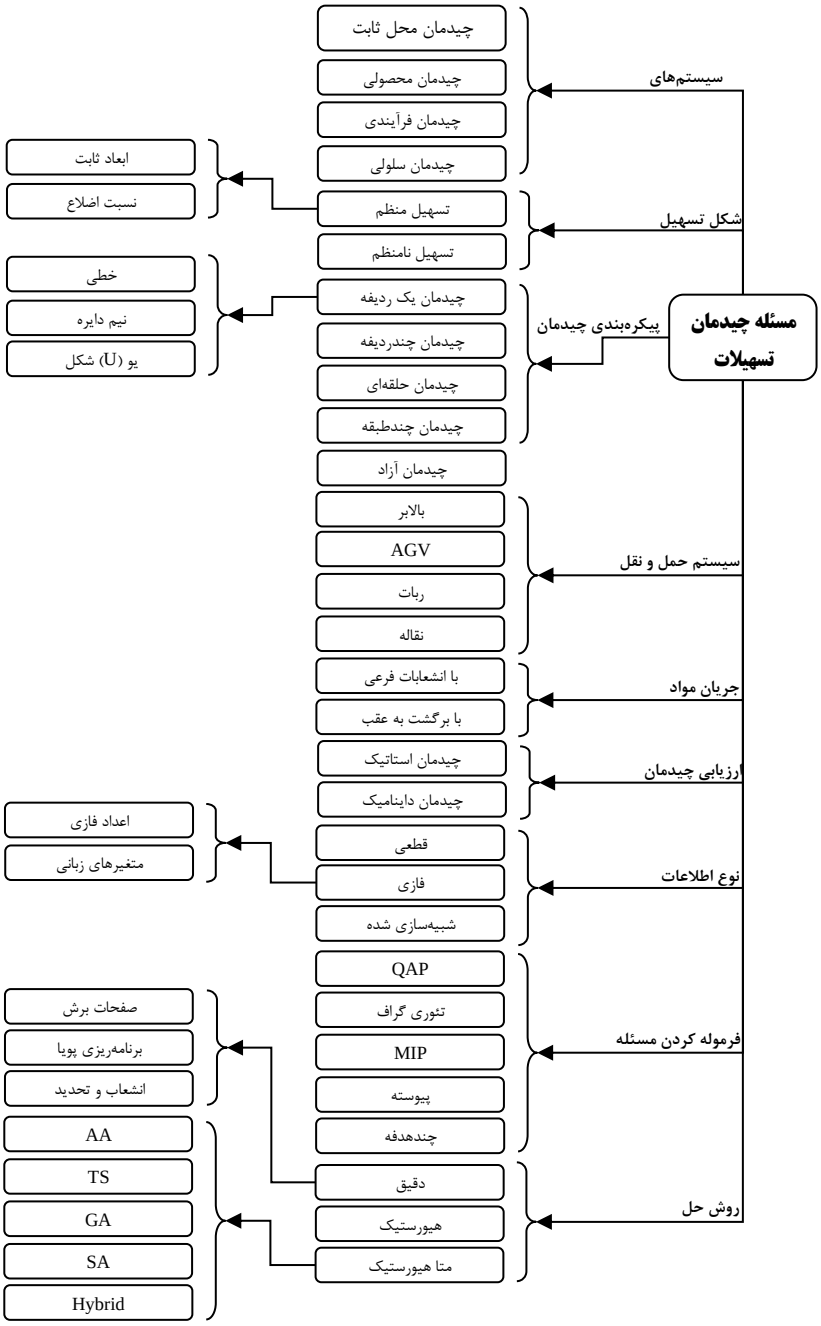
تفاوت‌هاي موجود در اکثر موارد اشتراک زيادي دارند. شايد بتوان تعريفي را که **Heragu** در سال ۱۹۹۷ در کتاب خود ارائه کرده است يک تعريف پايه در نظر گرفت که تمام خصوصيات اساسي تعاريف فوق را شامل مي‌شود.

**"مسئله چيدمان عبارت است از ايجاد يک نظم و ترتيب در هر آنچه که براي توليد کالا يا ايجاد يک سرويس نياز است. يک تسهيل عبارت است از آن‌چه که به انجام يک وظيفه[1] کمک مي‌کند. اين تسهيل ممکن است يک ماشين، يک مرکز کار، يک سلول توليدي، يک کارگاه از ماشين آلات، يک ديپارتمان، يک انبار و غيره باشد** (Heragu,1997)**. "**

پس از بيان يک مفهوم روشن و شفاف از تعريف مسئله چيدمان تسهيلات بهتر است در ادامه به بررسي برخي از خصوصيات مهم و تعاريف موجود در اين حوزه بپردازيم. همچنين براي درک بهتر از ميزان گستردگي و مفاهيم موجود در اين حوزه از ادبيات که مورد مطالعه قرار مي‌گيرد، به شکل (۱) توجه کنيد. اين شکل مي‌تواند ديدي کلي از مطالب مطرح شده در ارتباط با مسئله چيدمان تسهيلات را ارائه کند.



[1] Task




شکل۱-گستره مسائل چیدمان تسهیلات

## خصوصيات و مفاهيم پايه‌اي در طراحي چيدمان

انواع مختلفي از كارگاه‌ها با خصوصيات مختلف در ادبيات ذكر شده است. در واقع مسئله چيدمان تسهيلات وابستگي شديدي به تركيب سيستم توليدي مورد مطالعه دارد (Amine et al.,2007). چندين فاكتور در طراحي چيدمان وجود دارد كه به طور طبيعي موجب طبقه‌بندي سيستم‌هاي طراحي چيدمان مي‌شوند از جمله تعداد و تنوع توليد، سيستم در نظر گرفته شده براي حمل و نقل مواد، جريان‌هاي متفاوت و مجاز براي قطعات، تعداد طبقاتي كه مي‌توان تسهيلات را در آن مستقر كرد، شكل تسهيل و مكان‌هاي pick-up و Drop-off، (Amine et al.,2007).

در ادامه به بررسي هر يک از موارد فوق مي‌پردازيم.

### تعداد و تنوع توليد

طراحي چيدمان به طور كلي وابسته به تعداد و تنوع محصول مي‌باشد. در مقاله (Dilworth,1996) به ۴ نوع اصلي از چيدمان اشاره مي‌شود كه آن‌ها را به صورت مقابل نامگذاري كرده است؛ هرچند كه ممكن است نويسندگان ديگر اين طبقه بندي را به صورت ديگري ارائه دهند:

- چيدمان بر اساس ثبات محل[1]

در اين چيدمان محصول عموما توسط تسهيلات احاطه مي‌شود، در اين نوع خاص محصول حركت داده نمي‌شود و تعداد زيادي از منابع جهت انجام عمليات بر روي محصول حمل مي‌شوند. اين نوع از چيدمان در صنايعي كه محصولات بسيار بزرگ مانند هواپيما و كشتي توليد مي‌كنند به چشم مي‌خورد.



- چيدمان محصولي[2]

[1] Fixed layout
[2] Product layout

در چیدمان فرآیندي تعدادي از تسهیلات با کارکردهاي مشابه به صورت یک گروه در نظر گرفته مي‌شود، این نوع از چیدمان هنگامي کاربرد دارد که تنوع تولید زیاد باشد.

- چیدمان فرآیندي[1]

چیدمان فرآیندي براي مواردي که بهروري بالا و تنوع کم دارند به کار مي‌رود. در این چیدمان تسهیلات براساس توالي مورد نیاز براي تولید یک محصول مستقر مي‌شوند.

- چیدمان سلولي[2]

در چیدمان سلولي تسهیلات براي تولید محصولات مشابه به هم در سلول‌هایي گروه‌بندي مي‌شوند. در بعضي از مسائل مطرح شده در این موضوع محققان به دنبال یافتن چیدمان بهینه در هر سلول مي‌باشند (Hamann&Vernadat,1992) و (Proth,1992).

**شکل و ابعاد تسهیل**

به طور معمول در ادبیات به دو نوع کلي از اشکال اشاره شده است (شکل (۲) رابیینید). منتظم، که عموما به شکل مستطیلي مي‌باشند و نامنتظم، که به شکل یک چند ضلعي مي‌باشد که حداقل باید شامل یک زاویه ۲۷۰ درجه باشد (Lee&Kim,2000). ابعاد یک تسهیل مي‌تواند با طول ($L_i$) و عرض ($W_i$) به صورت ثابت تعریف شود، به این نوع تسهیل ثابت یا صلب گفته مي‌شود. بنابر عقیده بعضي از نویسندگان یک تسهیل مي‌تواند با استفاده از مساحتش تعریف شود، اگر نسبت اضلاع را به صورت $a_i = L_i/W_i$ تعریف کنیم و براي آن حد بالا $a_{iu}$ و حدپایین $a_{il}$ را تعریف کنیم به طوري که $a_{il} \le a_i \le a_{iu}$ تسهیل غیر منحصر به فردي تعریف شده است. نسبت اضلاع توسط نویسندگان دیگري نیز استفاده شد(Meller et al.,1999).

اگر $a_i = a_{il} = a_{iu}$ باشد آنگاه تسهیل به صورت صلب مي‌باشد (Cheif et al.,1998).



[1] Process layout
[2] Cellular layout

شکل ۲- شکل منتظم (b) و غیر منتظم (a)

**سیستم حمل ونقل مواد**

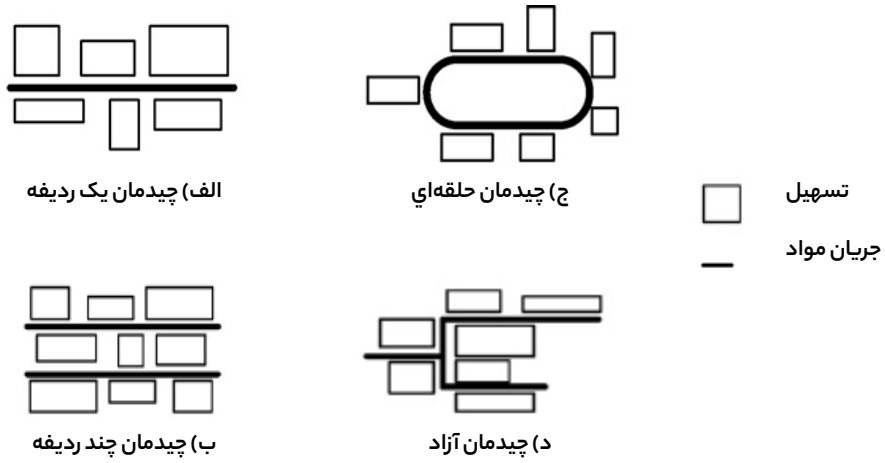
سیستم حمل و نقل[1] کمک مي‌کند که مطمئن شويم مواد به مکان مورد نظر تحويل داده مي‌شود. سيستم حمل و نقل مواد مي‌تواند از نقاله، **AGV**[2]، ربات و يا چيزهاي ديگر تشکيل شده باشد **(El-Baz,2004) .Tompkins** و همکارانش در سال ۱۹۹۶ تخمين مي‌زنند که حدود ۲۰ الي ۵۰ درصد از هزينه توليد مربوط به هزينه حمل و نقل است، بنابراين با طراحي صحيح سيستم حمل و نقل مي‌توان ۱۰ الي ۳۰ درصد از هزينه‌ها را کاهش داد **( Tompkins et al.,1996)**. هنگامي که با يک سيستم حمل و نقل روبرو هستيم مسئله مورد نظر، مسئله استقرار تسهيلات در مسير سيستم حمل و نقل مي‌باشد. دو مسئله طراحي وابسته را بايد در نظر بگيريم: پيدا کردن چيدمان تسهيلات و انتخاب تسهيلات و تجهيزات حمل و نقل که بر روي انتخاب وسايل حمل و نقل اثر مي‌گذارد **(Devise&Pierreval,2000)**، **(Hamann&Vernadat,1992)**، **(Porth,1992)**، **(Azadivar&Wang, 2000)** و **(Heragu&Kusiak,1998)**.

از ميان انواع مختلف چيدمان که بر اساس سيستم حمل و نقل طبقه‌بندي مي‌شود مي‌توان به موارد زير اشاره کرد (شکل (۳) را ببينيد):

چيدمان يک‌رديفه، چيدمان چندرديفه، چيدمان حلقه‌اي و چيدمان آزاد **(Yang et al.,2005)**.



[1] Matrial Handeling
[2] Automaited Guided Vehicel




شکل ۳- طبقه‌بندي سیستم‌هاي حمل و نقل

چیدمان یک‌ردیفه هنگامي ایجاد مي‌شود که تسهیلات در امتداد یک خط مستقر شوند (Djellab&Gourgand,2001)، (Ficko et al.,2004)، (Kumar et al.,1995) و (Kim et al.,1996). چندین نوع از چیدمان مي‌تواند بر اساس این شکل پایه ایجاد شود مانند: خط مستقیم، نیم دایره و یا U شکل (Hassan,1994). مسئله چیدمان حلقه‌اي با تخصیص m تسهیل به m مکان کاندید در یک حلقه بسته سروکار دارد. در این چیدمان قطعات در یک جهت جابجا مي‌شوند ((Chareb,2002، (Cheng et al.,1996)، Nearchou,2006)) و (Potts&Whitehead,2001).

در چیدمان حلقه‌اي مکان‌هاي ورود[1] و خروج[2] قطعات (L/U)یکي مي‌شود. در واقع این دو مکان یکي شده و مابین دو تسهیل قرار مي‌گیرد. چیدمان چند ردیفه شامل چند ردیف از تسهیلات مي‌باشد (Hassan,1994). در چیدمان آزاد محدودیتي براي استقرار تسهیلات مانند آن‌چه که در چیدمان حلقه‌اي یا تک ردیفه وجود دارد، مطرح نمي‌باشد (Yang et al.,2005).



[1] Load
[2] Unload

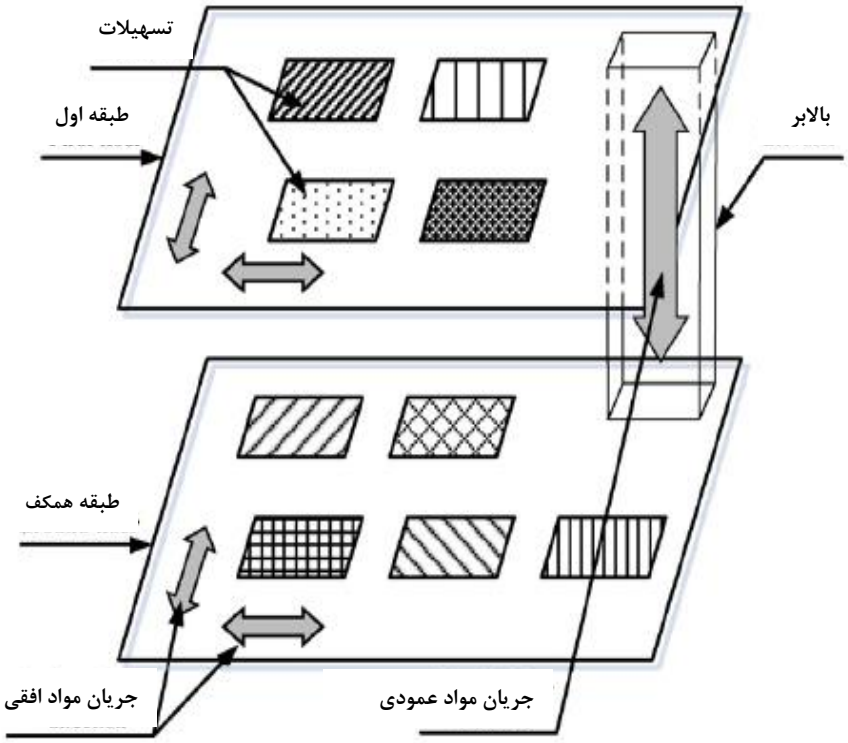
## چیدمان چند طبقه‌اي

امروزه هنگامي كه مي‌خواهيم يک كارخانه را در يک فضاي شهري بنا كنيم، تامين زمين آن بسيار سخت و پرهزينه مي‌باشد **(Amine et al.,2007)**. وجود محدوديت در فضاي افقي نياز استفاده از بُعد عمودي را ايجاب مي‌كند. اين محدوديت ممكن است سبب ايجاد چيدمان در چند طبقه شود (شكل (۴) را ببنيد). شكل (۴) نشان مي‌دهد كه قطعات مي‌توانند به طور افقي در يک طبقه حركت كنند[1]، همچنين مي‌توانند از يک طبقه به طبقات ديگر حركت كنند[2]. حركت قطعات ميان طبقات، به يک وسيله حمل و نقل خاص مانند بالابر[3] نياز دارد. در اين حالت علاوه بر مكان تسهيل بايد ارتفاع آن نيز در نظر گرفته شود **(Kochhar&Heragu,1998)**.

به نظر مي‌رسد كه **Johnson** اولين فردي بود كه در سال ۱۹۸۲ چيدمان چند طبقه‌اي را معرفي كرد **(Johnson,1982)**. او با مسئله يافتن چيدمان تسهيلات در يک ساختمان چند طبقه روبرو بود. پس از او تعدادي از تحقيقات با در نظر گرفتن جريان عمودي بين طبقات انجام شد **(Meller&Bozer,1996)**، **(Meller&Bozer,1997)**و **(Bozer&Meller,1994)**. بالابرها اغلب به عنوان يک سيستم حمل و نقل در نظر گرفته مي‌شوند **(Lee et al.,2005)**. ممكن است محل و تعداد آن‌ها از قبل معلوم باشد **(Lee et al.,2005)**. يا در حين يافتن جواب بهينه مشخص شود **(Matsuzaki,1999)**. و حتي ممكن است ظرفيت هر بالابر به عنوان يک محدوديت در نظر گرفته شود **(Matsuzaki,1999)**. همچنين تعداد طبقات ممكن است از قبل معلوم باشد **(Lee et al.,2005)** و يا بر اساس مساحت هر طبقه تعداد و ابعاد تسهيلات تعيين شود **(Patsiatzis&Papageorgiou,2002)**.



[1] Horizontal flow direction
[2] Vertical flow direction
[3] Elevator




شکل ۴- چیدمان چندطبقه‌اي

**برگشت به عقب و انشعابات فرعي**

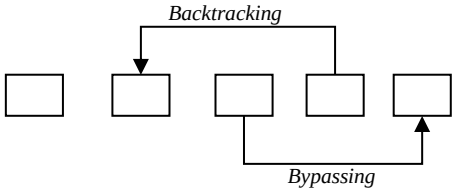
برگشت به عقب[1] و انشعابات فرعي[2] دو نوع خاص از جریان هستند که ممکن است در جریان مواد در چیدمان وجود داشته باشد (شکل (۵) را ببینید) و بر روي جریان مواد تاثیر گذار باشد **(Amine et al.,2007)**. برگشت به عقب حرکت یک قطعه از یک تسهیل به تسهیلي ماقبل آن در مسیر جریان مي‌باشد (**Das,1993**)، (**Zhou,1998**) و (**Braglia,1996**). تعداد این بازگشت به عقب‌ها باید کمینه شود. **Zhou** در سال ۱۹۹۸ این مسئله را مسئله آرایش خط



[1] Backtracking
[2] Bypassing

تولید[1] (PLFP) نامگذاري مي‌کند که شامل یافتن ترتیبي از تسهیلات است به نحوي که بازگشت به عقب‌ها را کمینه کند(Zhou,1998).

انشعاب فرعي هنگامي رخ مي‌دهد که یک قطعه از یک تسهیل به تسهیلي جلوتر در خط جریان حرکت (جهش) کند(Chen et al.,2001). Hassan در سال ۱۹۹۴ توضیح مي‌دهد که مطالعات زیادي براي کمینه کردن بازگشت به عقب در ادبیات انجام شده است ولي هیچ رویه‌اي براي اصلاح انشعابات در ادبیات ارائه نشده است (Hassan,1994). این حوزه از ادبیات موضوع همچنان یک حوزه بالقوه براي تحقیقات آتي به نظر مي‌رسد.



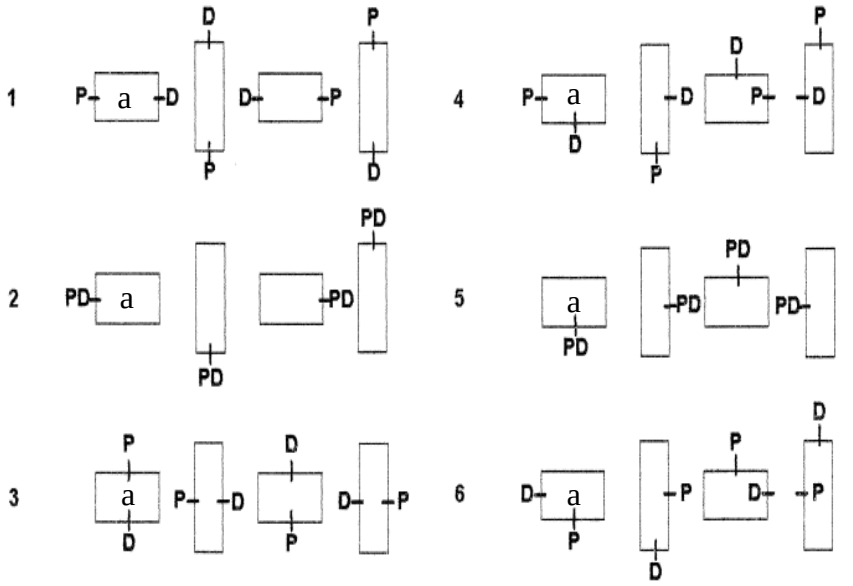

**شکل ۵- برگشت به عقب(*Backtracking*) و انشعابات فرعي(*Bypassing*)**

### نقاط Pick-up و Drop-off

اغلب شناخت نقاطي که قطعات وارد تسهیل مي‌شوند و یا از آن خارج مي‌شوند ضروري است. این نقاط را نقاط Pick-up و Drop-off (P/D) مي‌نامیم. اگرچه آن‌ها مي‌توانند در نقاط متفاوتي مستقر شوند(Kim&Kim,2000) ، اما در مطالعات بسیاري به جهت کم کردن پیچیدگي مسئله این نقاط را محدود کرده‌اند (Das,1993)، (Welgama&Gibson,1993) و (Rajasekharan et al.,1998). براي درک بهتر موضوع به شکل (۶) توجه کنید. به عنوان مثال همانطورکه در شکل مشاهده مي‌شود براي تسهیل a در هریک از شکل‌هاي (۱) الي (۶) نقاط P/D متفاوتي در نظر گرفته شده است. نقاط P/D ممکن است که براساس ساختمان تسهیل (شکل و نوع فعالیت تسهیل و همچنین محل استقرار کاربر) و یا بنابر نوع چیدمان تغییر کند.



[1] Production Line Formation Problem




شکل٦- نقاط(P/D)

## چیدمان تسهیلات داینامیک

همانطورکه امروزه مشاهده مي‌شود سیستم‌هاي توليدي باید قادر باشند که به تغییرات ایجاد شده در تقاضا، میزان تولید و درصد تولید محصولات به سرعت پاسخ دهند. Pageدر سال ۱۹۹۱ گزارش مي‌دهد که ۴۰ درصد فروش شرکت‌ها از فروش محصولات جدید مي‌باشد. بدیهي است که تغییر در درصد تولید محصولات (اضافه شدن محصولات جدید به سبد تولید محصولات که موجب تغییر در درصد تولید محصولات مي‌شود) با ایجاد تغییر در جریان تولید بر چیدمان تاثیرگذار مي‌باشد (Page,1991). همچنین مي‌دانیم که یک‌سوم از موسسات در آمریکا هر دو سال یکبار در چیدمان تسهیلات توليدي خود یک سازماندهي مجدد را تجربه مي‌کنند (Gupta&Seifoddini,1990). اما بیشتر مقالات منتشر شده در حوزه طراحي چیدمان از لحاظ مفهومي استاتیک مي‌باشند، به عنوان دیگر بیشتر نویسندگان فرض

کرده‌اند که اطلاعات کلیدي در طي بازه زماني طولاني باقي‌مانده ثابت است و در نتیجه چیدمان تسهیلات در طي این بازه زماني طولاني ثابت باقي مي‌ماند. اما با توجه به اینکه اصلي‌ترین ویژگي سیستم‌هاي تولیدي فراریت[1] است و در یک محیط فرار تقاضا ساکن نیست و در هر دوره تولید با دوره‌هاي دیگر متفاوت است، در نتیجه چیدمان تسهیلات باید با این تغییرات هماهنگ باشد.

به بیان دیگر وجود تغییرات در پارامترهاي مسئله چیدمان این لزوم را به وجود مي‌آورد که چیدمان بتواند به تغییرات پاسخ دهد **(Baykasoglu et al.,2006)**. در پاسخ به این نیاز سال‌هاي اخیر مسئله چیدمان تسهیلات داینامیک توسط برخي از محققان معرفي شده است. چیدمان تسهیلات داینامیک تغییرات در سیستم حمل و نقل و چیدمان را در طي دوره‌هاي چندگانه مجاز مي‌داند این به آن علت است که قسمت عمده پاسخ به تغییرات نیاز به آرایش مجدد و یا تغییر سازماندهي دارد **(Baykasoglu et al.,2006)** و **(Gupta&Seifoddini,1990)**.

در واقع ما در چیدمان تسهیلات داینامیک با یک موازنه[2] بین کاهش هزینه جریان تولید در یک چیدمان غیر موثر و هزینه آرایش مجدد روبرو هستیم **(Lacksonen&Enscore,1993)**. هنگامي که خصوصیات و پارامترهاي سیستم تغییر مي‌کند، این تغییر موجب به وجود آمدن یک افزایش معني‌دار در هزینه‌هاي حمل و نقل مواد مي‌شود این مسئله نیاز به آرایش مجدد را آشکار مي‌کند. آن‌ها دو هزینه را براي چیدمان مجدد در نظر گرفتند:

- هزینه چیدمان مجدد
- هزینه تولید از دست‌رفته

متذکر مي‌شویم که هزینه چیدمان مجدد به تعداد ماشین‌آلات جابجا شده یا ارتباطات تغییر یافته در سیستم حمل و نقل بستگي دارد **(Afentakis,1990)**. در ادبیات موضوع چیدمان تسهیلات داینامیک عموما کار انجام گرفته توسط **Rosenbaltt** را که در سال ۱۹۸۶



[1] Volatility
[2] Trade Off

انتشار یافت به عنوان اولین کار در این حوزه می‌شناسند، او اولین کسي بود که مسئله چیدمان تسهیلات داینامیک را مدل‌سازي و حل کرد. او براي حل بهینه مسئله از برنامه‌ریزي پویا استفاده کرد **(Baykasoglu et al.,2006)**. پس از او در سال ۱۹۹۳، **Lacksonen** مسئله چیدمان تسهیلات داینامیک را مورد بررسي قرار داد و این مسئله را به صورت یک مسئله **QAP** مدل‌سازي کرد، او در مدل‌سازي خود تسهیلات را به صورت هم‌اندازه در نظر گرفت **(Lacksonen&Enscore,1993)**. او در سال ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ کار خود را با در نظر گرفتن تسهیلات به صورت غیر مساوي توسعه داد، او از روش انشعاب و تحدید و برش درخت براي حل مسئله خود استفاده کرد**(Lacksonen&Enscore,1993)** و **(Afentakis et al.,1990)**. در مرور ادبیات موضوع مربوط به مدل‌سازي مسئله چیدمان تسهیلات داینامیک مهم‌ترین و متداول ترین شکل مدل‌سازي موجود مدل **QAP** می‌باشد که به شکل زیر بیان شده است **(Balakrishnan et al.,1998)**:

$$\text{Min } Z=\sum_{t=2}^{T}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{l=1}^{N} A_{tijl}Y_{tijl}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{N} C_{tijkl}X_{tij}X_{tkl} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{N} X_{tij}=1, \quad i=1,\dots,N, \quad t=1,\dots,T, \quad (2)$$

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

$$Y_{tijl}=X_{(t-1)ij}X_{til} \quad i,j,l=1,\dots,N, \quad t=2,\dots,T, \quad (4)$$

$$X_{tij}=\{0,1\} \quad i,j=1,\dots,N, \quad t=1,\dots,T, \quad (5)$$

$$Y_{tijl}=\{0,1\} \quad i,j,l=1,\dots,N, \quad t=2,\dots,T, \quad (6)$$

در مدل فوق پارامترها و متغیرها به شرح زیر می‌باشد:

**N** : تعداد تسهیلات و مکان‌ها،

**T** : تعداد پریودها،

$A_{tijl}$ : هزینه تغییر مکان تسهیل i در مکان j به l در پریود t،

$C_{tijkl}$ : هزینه جریان مواد بین تسهیل i در مکان j و تسهیل k واقع در مکان l در پریود t،

$X_{tij}$ = ۱ اگر تسهیل i به مکان j در پریود t تخصیص داده شود،
۰ در غیر این صورت،

$$Y_{tijl} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر تسهیل i در ابتداي پریود t از مکان j به مکان l جابجا شود،} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت،} \end{cases}$$

در این مدل‌سازي هر یک از معادلات فوق مفاهیم زیر را در بر دارد:

تابع هدف (۱) جمع هزینه‌هاي آرایش مجدد و حمل و نقل مواد را کمینه مي‌کند. محدودیت (۲) این اطمینان را ایجاد مي‌سازد که مدل در هر پریود، هر مکان را دقیقا به یک تسهیل تخصیص مي‌دهد. محدودیت (۳) این تضمین را به وجود مي‌آورد که در هر پریود هر تسهیل دقیقا به یک مکان اختصاص یافته است. محدودیت (۴) به ما کمک مي‌کند که هزینه‌هاي آرایش مجدد به هزینه‌هاي حمل و نقل مواد اضافه شود، در واقع اگر تسهیلي در پریودهاي متوالي تغییر مکان داشته باشد متغیر متناظر محدودیت مقدار ۱ به‌خود مي‌گیرد و در غیر این صورت این متغیر مقدار صفر به خود مي‌گیرد. محدودیت‌هاي (۵) و (۶) محدودیت صفر و یک براي متغیرهاي تصمیم مي‌باشند که در تصمیم‌گیري به ما کمک مي‌کنند.

از آنجا که مسئله چیدمان تسهیلات داینامیک داراي پیچیدگي محاسباتي **T)(N!)T** (**T** تعداد پریودها) مي‌باشد که براي حل به صورت بهینه به زمان حل زیادي نیاز دارد و حتي حل بهینه آن براي مسائلي با اندازه کوچک مشکل وگاه نشدني مي‌باشد. الگوریتم‌هاي هیورستیک و متاهیورستیک زیادي براي حل آن استفاده شده است که در بخش مربوطه به بررسي آن‌ها مي‌پردازیم **(Lacksonen&Enscore,1993)**. همچنین فصل سوم از این کتاب به بررسي کامل مباحث مرتبط با چیدمان تسهیلات داینامیک و مرور ادبیات این حوزه مي‌پردازد.



## فرموله کردن مسئله چیدمان

تفاوت در خصوصیات در نظر گرفته شده در مسئله، استاتیک و یا داینامیک بودن مسئله و دیگر ملاحظات، انواع مختلفي از فرموله کردن مسئله چیدمان تسهیلات را نتیجه مي‌دهد. مدل‌هاي مختلفي از مسائل چیدمان تسهیلات با در نظر گرفتن فرض‌هاي متفاوتي

در ادبيات به چشم مي‌خورد. اما با وجود گوناگوني‌هاي بسيار زياد موجود در ادبيات شايد بتوان انواع مدل‌هاي ارائه شده در مسائل را به چند دسته كلي تقسيم كرد.

مهمترين و پركاربردترين نوع مدل‌سازي مسائل چيدمان تسهيلات **QAP** مي‌باشد. **QAP** به طور گسترده‌اي براي حل مسائل چيدمان به‌كار رفته و روش‌هاي حل متفاوتي براي آن ارائه شده است.**(Amine et al.,2007)** دسته ديگري از روش‌ها را مي‌توان روش‌هايي دانست كه با استفاده از مباحث مطرح شده در تئوري گراف اقدام به مدل‌سازي و حل مسئله چيدمان تسهيلات مي‌كند. دسته ديگر مسائلي هستند كه با استفاده از **MIP** اقدام به مدل‌سازي مسئله كرده‌اند. در اين فصل از كتاب ديگر انواع مدل‌سازي‌هاي مطرح شده در ادبيات تحت عنوان روش‌هاي ديگر طبقه‌بندي شده است. اين دسته شامل مباحثي مانند فرموله كردن فازي، استفاده از برنامه‌ريزي چندهدفه و فرموله كردن پيوسته مي‌باشد **(Amine et al.,2007).**

**فرموله كردن بر اساس روش QAP**

فرموله كردن به صورت **QAP**[1] در طراحي چيدمان براي مستقر كردن تسهيلات با اندازه برابر استفاده مي‌شود. تا به حال اين نوع از مدل‌سازي در تعداد زيادي از مسائل طراحي چيدمان در ادبيات به كار رفته است. اين روش با تخصيص يک تسهيل به هر مكان و هر مكان فقط به يک تسهيل عمل مي‌كند و سعي دارد هزينه اختصاص تسهيلات را به مكان‌ها كه به صورت يک تابع هدف درجه۲ بيان مي‌شود كمينه كند. **Koopmans** و **Beckman** در سال ۱۹۵۷ اولين نفراتي بودند كه مسئله چيدمان را با در نظر گرفتن جريان مواد بين تسهيلات مدل كردند **(Kusiak&Heragu,1987)**. آن‌ها مسئله خود را به صورت **QAP** مدل كردند. علت اين نام گذاري اين بود كه تابع هدف براساس متغيرها از درجه ۲ مي‌باشد و محدوديت‌ها به صورت خطي تعريف شده‌اند. آن‌ها متغيرها و پارامترهاي مدل خود را به صورت زير تعريف كردند **(Koopmans&beckmann,1957)**:



- **n** : تعداد كل مكان‌ها
- $a_{ij}$ : درآمد هنگامي كه ماشين i در مكان j مستقر شود.
- $f_{ik}$ : جريان مواد بين دو ماشين i وk .

[1] Quadratic Assignment Problem

$c_{jl}$ : هزینه جریان مواد بین دو مکان j و l .

$x_{ij}$ : ۱ هنگامي که ماشین i در مکان j مستقر شود و صفر در غیر این صورت.

**Koopmans** و **Beckman** در سال ۱۹۵۷ فرض کردند که:

$a_{ij}$ : شامل عایدي ناخالص منهاي هزینه نخستین ورود مي‌باشد، اما هزینه حمل و نقل مواد بین تسهیلات را شامل نمي‌شود.

$f_{ik}$ : مستقل از محل استقرار تسهیل مي‌باشد.

$c_{jl}$ : مستقل از محل استقرار مي‌باشد و از هزینه حمل و نقل غیر مستقیم بین j و l با استفاده از یک مکان سوم کمتر مي‌باشد.

با معرفي پارامترها و متغیرهاي فوق و سه فرض بالا آن‌ها مسئله **QAP** را به صورت زیر بیان کردند:

$$Max \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{ij} - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} f_{ik}c_{jl}x_{ij}x_{kl}, \qquad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad i=1,2,\dots,n, \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad j=1,2,\dots,n, \qquad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad i,j=1,2,\dots,n, \qquad (10)$$

اگر پارامتر $a_{ij}$ را به جاي عایدي هنگامي که تسهیل **i** در مکان **j** مستقر شود به صورت هزینه در نظر بگیریم مي‌توانیم تابع هدف را به صورت معادله ۱۱ بازنویسي کنیم.

$$Min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{ij} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} f_{ik}c_{jl}x_{ij}x_{kl} \qquad (11)$$



**Lawler** درسال ۱۹۶۳متغیر $b_{ijkl}$ را به صورت زیر معرفي کرد و تابع هدف مسئله را به صورت معادله ۱۲ بازنویسي کرد(**Lawler,1963**).

$$b_{ijkl} = f_{ik}c_{jl} + a_{ij} \qquad if\ i=k$$

$$\begin{cases} f_{ik}c_{jl} & if\ i \neq k\ or\ j \neq 1 \end{cases}$$

$$Min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} b_{ijkl}x_{ij}x_{kl} \qquad (12)$$

در **QAP** فرض بر این است که همه تسهیلات (دپارتمان‌ها) داراي اندازه‌هاي برابر مي‌باشند. اما در عمل ممکن است که تسهیلات یک اندازه نباشند. اما این مسائل را هم مي‌توان به صورت یک مسئله **QAP** مدل‌سازي کرد، بدین صورت که تسهیل را به مربع‌هاي یک اندازه تقسیم مي‌کنیم. هر تسهیل ممکن است از تعدادي از این مربع‌ها تشکیل شده باشد. مي‌توان اندازه مربع‌ها را کوچکتر کنیم تا چیدمان بهتري به دست آوریم اما باید به این نکته توجه داشت که این کار اندازه مسئله را بزرگتر مي‌کند و سبب افزایش زمان اجرا مي‌شود **(Kusiak&Heragu,1987)**.

**Sahni** و همکارانش در سال ۱۹۷۶ نشان داد که مسئله **QAP** یک مسئله **NP-complete** است **(Sahni&Gonzalez,1976)**. بنابراین مسائل بزرگ فقط قابلیت حل بهینه تا ۱۵ تسهیل را دارد **(Kusiak&Heragu,1987)**. حل مسائلي با بیش از ۲۰ تسهیل به صورت بهینه، تقریبا غیرقابل حل مي‌باشد. **Burkard** در سال ۱۹۸۴ گزارشي از نتایج محاسباتي مسئله **QAP** ارائه داد **(Burkard,1983)**. به عنوان مثال براي یافتن حل بهینه مسئله‌اي با ۱۵ تسهیل با استفاده از یک پردازنده **CDC Cyber 76** به بیش از یک ساعت زمان نیاز است **(Nugent et al,1968)**. همچنین اگر براي حل مسئله **QAP** از الگوریتم انشعاب و تحدید و براي کدنویسي از زبان برنامه نویسي فورترن استفاده شود نیاز به $n^3+5.5n^2+17.5n$ حافظه مي‌باشد[1] **(Burkard,1983)**.



### تئوري گراف (GT)

استفاده از تئوري گراف[2] هنگامي کاربرد دارد که عملیات محاسباتي برروي رئوس و بردارهاي گرافي انجام شود که نشان دهنده یک چیدمان است **(Foulds,1991)**. در این نوع از

[1] برای اطلاعات بیشتر به مرجع شماره ۴۰ مراجعه شود.

[2] Graph Theory

فرموله کردن هر تسهیل به وسیله یک راس از گراف نشان داده مي‌شود و هر کمان نشان دهنده درجه نزديکي بين دو تسهيل مي‌باشد در ضمن در اين نوع از مدل‌سازي از اندازه تسهيلات چشم‌پوشي مي‌شود و فرض بر اين است که درجه نزديکي بين هر دو تسهيل شناخته شده است **(Meller&Gau,1996)**. تابع هدف در اين نوع از فرموله کردن به صورت بهينه کردن روابط مابين تسهيلات تعريف مي‌شود**Foulds** . **(Foulds,1991)** و **Robinson** در سال ۱۹۷۶ براي مدل‌سازي مسئله چيدمان تسهيلات با استفاده از تئوري گراف پارامترهاي زير را معرفي کردند **(Foulds&Robinson,1976)**.

**G=(V,E)** : يک گراف وزن‌دار است که در آن **V** مجموعه غير تهي از رئوس است و **E** مجموعه نقاط بدون ارتباط با **V**.

$w_{ij}$ : نشان دهنده ميزان مطلوبيت قرار دادن تسهيل i در مجاورت تسهيل j مي‌باشد.

**V** : مجموعه تسهيلات.

**N** : مجموعه جفت‌هايي از تسهيلات که در هر حل شدني بايد مجاور يکديگر باشند.

**F** : مجموعه جفت‌هايي از تسهيلات که در هر حل شدني نبايد مجاور يکديگر باشند.

$x_{ij}$ :
- ۱ اگر تسهيل i در مجاورت تسهيل **j** قرار گيرد.
- ۰ در غير اين صورت.

$$\{\{i,j\}: x_{ij} = 1, (i,j) \in E\} = E'$$

آنها با توجه به پارامترهاي فوق آن‌ها مسئله چيدمان تسهيلات را با استفاده از تئوري گراف به صورت زير فرموله کردند **(Foulds&Robinson,1976)**:



$$Max \sum_{i\in E}\sum_{j\in E} w_{ij}x_{ij} \qquad (13)$$

S $$s.t. \quad x_{ij} = 1, \qquad \{i,j\} \in N, \qquad (14)$$

$$x_{ij} = 0, \qquad \{i,j\} \in F, \tag{15}$$

**یک گراف مسطح** $(V, E' \mathring{U} N)$ **مي‌باشد** (16)

توجه کنید که یک گراف مسطح[1] گرافي است که بتوان آن را در روي یک سطح نمایش داد بدون اینکه کمان‌هاي آن تقاطعي داشته باشند. براي آشنایي با مفاهیم پایه‌اي و کلاسیک تئوري گراف مي‌توان به منابع مقابل مراجعه کرد **(Foulds,1991)**، **(Harary,1969)** و **(Bondy&Murty,1976)**.

در سال ۱۹۷۹ آقاي **Rosenblatt** با استفاده از ایده مدل فوق مدلي ارائه کرد که به طور همزمان سعي در کمینه کردن هزینه حمل و نقل مواد و بیشینه کردن درجه نزدیکي داشت **(Rosenblatt,1979)**. در همان سال توسط خود او و در سال ۱۹۸۲ توسط **Dutta** و **Sahu** روشي هیورستیک براي حل این مدل ارائه شد **(Dutta&Sahu,1982)**.

## روش MIP

در سال ۱۹۷۸ **Kaufman** و **Broeckx** یک مدل برنامه‌ریزي مختلط عدد صحیح[2] براي مسئله **QAP** ارائه دادند که در میان مدل‌هایي که تا آن زمان ارائه شده بود داراي کمترین تعداد متغیر و محدودیت بود. آن‌ها مقادیر $w_{ij}$ و $e_{ij}$ را به صورت معادلات (۱۷) و (۱۸) تعریف کردند **(Kaufman&Broechx,1978)**.

$$w_{ij} = x_{ij} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} b_{ijkl} x_{kl} \tag{17}$$

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} b_{ijkl}, \tag{18}$$



سپس آن‌ها مسئله را به صورت زیر مدل‌سازي کردند:

[1] Planner Graph
[2] Mix Integer Programing

$$Min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} b_{ijkl}x_{ij}x_{kl} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\left(\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} b_{ijkl}x_{kl}\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}, \qquad (19)$$

.s.t

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i = 1,2,\ldots,n, \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad j=1,2,\ldots,n \quad (21)$$

$$e_{ij}x_{ij} + \sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} b_{ijkl}x_{kl} - w_{ij} \le e_{ij}, \qquad i,j=1,2,\ldots,n \quad (22)$$

$$w_{ij} \ge 0, \qquad i,j=1,2,\ldots,n \quad (23)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}. \qquad i,j=1,2,\ldots,n \quad (24)$$

توجه کنید که مدل‌سازي ارائه شده داراي $n^2$ متغير صفر و يک، $n^2$ متغير پيوسته و $n^2+2n$ محدوديت است (Kaufman&Broechx,1978). در ادبيات مدل‌هاي معادل خطي نيز براي مسئله QAP ارائه شده است (Bazara&Sherali,1980)، (Burkard&Bonninger,1983) و (Friezi&Yadegar,1983). در اينجا مدل خطي ارائه شده توسط Bazaraa و Sherali در سال ۱۹۸۰ را ارائه مي‌دهيم. آن‌ها دو مقدار $g_{ijkl}$ و $y'_{ijkl}$ را به صورت زير تعريف کردند(Bazaraa&Sherali,1980).

$$g_{ijkl} = \left[a_{ij} + \frac{a_{kl}}{m-1}\right] + f_{ik}d_{jl} + f_{ki}d_{lj},$$

$$y'_{ijkl} = x_{ij}x_{kl} \qquad i= 1,2,\ldots,n-1, k = i+1,\ldots,n, l, j=1,2,\ldots,n, l\neq j$$

با استفاده از تعريف فوق مدل خطي مسئله QAP به صورت زير ارائه شد.



$$Min \quad \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=i+1}^{n}\sum_{l=1}^{n} g_{ijkl}y'_{ijkl}, \qquad (25)$$

*.s.t*

$$\sum_{k=i+1}^{n}\sum_{\substack{l=1\\ l\neq j}}^{n} y'_{ijkl} - (n-i)x_{ij} = 0 \qquad i=1,2,\ldots,n-1;\ j=1,2,\ldots,n \qquad (26)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq l}}^{n} y'_{ijkl} - (k-1)x_{kl} = 0, \qquad k=2,3,\ldots,n;\ l=1,2,\ldots,n, \qquad (27)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i=1,2,\ldots,n, \qquad (28)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad j=1,2,\ldots,n, \qquad (29)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \qquad i,j=1,2,\ldots,n, \qquad (30)$$

$$y'_{ijkl} \leq 1 \qquad i=1,2,\ldots,n-1;\ k=i+1,\ldots,n;\ j,l=1,2,\ldots,n;\ j\neq 1, \qquad (31)$$

$$y'_{ijkl} \geq 0 \qquad i=1,2,\ldots,n-1;\ k=i+1,\ldots,n;\ j,l=1,2,\ldots,n;\ j\neq 1, \qquad (32)$$

توجه شود که مدل فوق شامل $n^2$ متغیر عدد صحیح، $n^2(n-1)^2/2$ متغیر پیوسته و $n^2$۲ محدودیت می‌باشد (Bazaraa&Sherali,1980).

### انواع دیگر فرموله کردن

همانطور که در قبل بیان شد مدل‌سازي‌هاي فوق پرکاربردترین شیوه‌هاي مدل‌سازي مسائل مي‌باشند. ما در این قسمت انواع دیگر مدل‌سازي را که از لحاظ کاربرد در ادبیات از درجه کمتر اهمیت برخوردارند مورد بررسي قرار مي‌دهیم.



### فرموله کردن فازي

در بسیاري از موارد در دنیاي واقعي، یافتن اطلاعات لازم براي طراحي چیدمان به طور دقیق قابل شناسایي نیستند. استفاده از مدل‌سازي تصادفي و استفاده از مفاهیم

تئوري صف[1] بندرت به چشم مي‌خورد (Meng et al.,2004). منطق فازي براي مدل‌سازي عدم دقت و عدم اطمينان در اينگونه موارد به كار گرفته شده است (Raoot&Rakshi,1991)، (Grobeiny,1987) و (Evans et al.,1987). همچنين برخي از پژوهشگران شيوه‌اي براي چيدمان تسهيلات با ابعاد متفاوت ارائه داده‌اند كه در آن براي نشان دادن روابط متقابل ميان هر دو جفت از تسهيلات از روابط فازي استفاده كرده‌اند و با استفاده از منطق فازي معيار نزديكي و اهميت را براي هر تسهيل بيان نموده‌اند.

براي مدل‌سازي فازي مسئله آن‌ها از متغيرهاي زباني[2] استفاده كرده‌اند و يک الگوريتم هيورستيک براي حل مدل ارائه داده‌اند. برخي از پژوهشگران مسئله استقرار n تسهيل در n محل از پيش تعيين شده را موضوع پژوهش خود قرار داده‌اند (Grobeiny,1987)، (Evans et al.,1987) و (Grobelny,1987). آن‌ها تابع هدف خود را به صورت كمينه كردن هزينه كل حمل و نقل مواد در نظر گرفته‌اند و داده‌هاي لازم براي حل مسئله چيدمان مانند درجه نزديكي و جريان ميان تسهيلات را به صورت فازي به كار گرفته‌اند. آن‌ها يک روش هيورستيک بر مبناي روابط فازي دودويي ارائه داده‌اند كه عمليات انتخاب و جايگذاري تسهيل را در مكان-هاي موجود انجام مي‌دهد. همچنينRaoot و Rakshit در سال ۱۹۹۱ مسئله پيدا كردن بهترين آرايش براي استقرار تسهيلات در كارخانه را كه بر اساس روابط متقابل انجام مي‌شود با استفاده از متغيرهاي كلامي حل كردند(Raoot&Rakshi,1991). Cheng و همكارانش در سال ۱۹۹۵ براي چيدمان چند رديفه تسهيلات با اندازه‌هاي نابرابر از برنامه‌ريزي چندهدفه استفاده كردند (Gen et al.,1995). آن‌ها مايل به بررسي حالتي بودند كه در آن اهميت نزديكي[3] نمي‌تواند به صورت دقيق تعريف شود. آن‌ها براي نشان دادن اين عدم قطعيت از روش فازي استفاده كردند. Dweiri و Meier در سال ۱۹۹۶ با يک مسئله چيدمان تسهيلات گسسته روبرو بودند، آن‌ها مقدار قطعاتي كه بين تسهيلات در جريان است، ارتباط ميان تسهيلات و تعداد تسهيلاتي كه براي حمل و نقل استفاده مي‌شود را به صورت فاكتورهايي فازي در نظر



[1] Qeueing Theory
[2] Linguistic Variables
[3] Clearance

گرفتندAiello .(Aiello&Enea,2001) و Enea بیان کردند که با توجه به غیر قطعي بودن تقاضاي بازار این فاکتور را مي‌توان به وسیله اعداد فازي نشان داد. آن‌ها تابع هدف خود را به صورت کمینه‌سازي حمل و نقل مواد تعریف کردند و چیدمان را به صورت تک ردیفه در نظر گرفتند (Chiang et al.,2006). آن‌ها مسئله خود را تحت محدودیت ظرفیت تولید براي هر یک از تسهیلات فرموله کردند. پس از حل، آن‌ها یک هزینه فازي را به هر یک از چیدمان‌هاي ممکن نسبت دادند.

**مسئله چیدمان چند هدفه**

در اکثر مقالات که درباره مسئله چیدمان منتشر شده است تابع هدف، کمینه کردن تابعي از حمل و نقل مواد مي‌باشد (هزینه کل حمل و نقل، زمان حمل و نقل، مسافت حمل و نقل و غیره). در واقع در اکثر مواردي که در ادبیات به چشم مي‌خورد مسئله چیدمان تسهیلات با استفاده از QAP فرموله شده است، در این نوع از بیان مسئله، تابع هدف به صورت کمینه‌سازي هزینه بر اساس معیارهاي حمل و نقل و فاصله مي‌باشد(Chiang et al.,2006). هرچند در بعضي از منابع تابع هدف به صورت ماکزیمم کردن اثر بخشي در نظر گرفته شده است (Aiello et al.,2006). اما در هر دو نوع از بیان مسئله فقط یک معیار براي تابع هدف استفاده شده است.

اما از آنجا که این شیوه برخورد چندان واقع‌گرایانه به نظر نمي‌رسد برخي از نویسندگان تشخیص دادند که باید عوامل دیگري نیز مانند جریان تولید در مسئله طراحي چیدمان دخالت داده شود (Chiang et al.,2006). به طور مثال Tompkins در سال ۱۹۸۴ تداخلات به‌وجود آمده در مسیر جریان تولید را بررسي کرد و بیان داشت که وجود تداخل در مسیر جریان تولید سبب ایجاد تراکم و تقاطعات نامطلوب مي‌شود، او بر اهمیت کمینه‌سازي این تداخلات تاکید مي‌کند (Aiello et al.,2006). همچنین Apple در سال ۱۹۷۲ بر دوري کردن از ایجاد تقاطع و ترافیک تاکید مي‌کند (Apple,1972). در ادبیات، مثال‌هایي از مشکلات ایجاد شده در اثر وجود تقاطعات و تراکم به چشم مي‌خورد (Luggen,1991). تمامي این الزامات محققان را بر آن داشت تا از فرموله کردن مسئله چیدمان تسهیلات به صورت چندهدفه استفاده کنند. شروع این روند را باید سال ۱۹۷۹ دانست که تعدادي از روش‌هاي چندهدفه براي مسئله چیدمان

تسهیلات پیشنهاد شد (Aiello et al.,2006). درسال ۱۹۷۹، Rosenblatt براي حل مسئله چيدمان دو فاکتور را به طور همزمان در نظر گرفت، يکي کمي (جريان اطلاعات) و ديگري کيفي (مقدار نزديکي ارائه شده در ماتريس ارتباطات) با استفاده از تئوري مطلوبيت و روش‌هاي سنتي جمع وزن‌ها، تابع هدف مسئله به نحوي فرموله شد که هر دو فاکتور فوق را به طور همزمان در نظر بگيرد (Rosenblatt,1979). در سال ۱۹۹۲، Harmonosky و Tothers تعداد فاکتورهاي موثر در مسئله را افزايش دادند و چندين عامل کيفي و کمي را به صورت همزمان در يک تابع هدف فرموله کردند (فاکتورهاي کمي آن دسته از فاکتورها هستند که با استفاده از اعداد و فاکتورهاي کيفي آن دسته از فاکتورها هستند که با استفاده از متغيرهاي زباني بيان مي‌شوند). آن‌ها ابتدا موارد کيفي را به موارد کمي تبديل کردند و سپس مدل رياضي مسئله را استخراج کردند (Harmonosjy&Tothero,1992). آن‌ها از روش وزن‌دهي فاکتورها براي نشان دادن اهميت هر فاکتور استفاده کردند بدين‌صورت که هر فاکتور با اهميت بيشتر، وزن بيشتري را در مقايسه با ساير فاکتورها دريافت مي‌کند.

در مقاله نگاشته شده توسط Dweiri و Meier در سال ۱۹۹۶ فرض بر کمينه کردن همزمان جريان حمل و نقل مواد و جريان تسهيلات و جريان اطلاعات بوده است. برخي از نويسندگان از ترکيب خطي چند تابع هدف استفاده کرده‌اند (Harmonosky&Tothero,1992)، (Yang&Kuo,2003). برخي ديگر از روش AHP استفاده کرده‌اند (Chen&Sha,2005). آن‌ها با بيان اين واقعيت که در اکثر موارد مسائل در دنياي واقعي داراي چندين هدف مي‌باشد ولي در اکثر موارد مدل‌ها فقط در پي بهينه‌سازي براساس يک هدف مي‌باشند؛ در مقاله خود براي حل مسئله چيدمان چند هدفه از روش AHP استفاده کرده‌اند. آن‌ها براي مسئله خود با استفاده از يک مطالعه موردي نشان دادند که روش پيشنهاد شده جواب‌هاي موثري ارائه مي‌دهد. همچنين در برخي از منابع موجود در ادبيات از روش فازي و ترکيب آن با تصميم‌گيري چندهدفه استفاده شده است و نويسندگان با استفاده از اين شيوه سعي در ايجاد بهبود داشته‌اند (Deb&Bhattacharyya,2005 و Deb&Bhattacharyya,2005)).

**فرموله کردن پیوسته**

در برخي از مسائل مطرح شده در ادبیات فضاي چیدمان را به صورت پیوسته در نظر مي‌گیرند. این مسئله اغلب به عنوان **MIP** مدل‌سازي مي‌شود**(Meller&Bozer,1996)**. هر تسهیل مي‌تواند در هرجایي از صفحه مستقر شود به شرطي که رویهم افتادگي ایجاد نکند **( Meller et al.,1999، Meller&Bozer,1996))** و **(Dunker et al.,2005)**. براي مستقر کردن تسهیلات در صفحه یا از مختصات مرکز ثقل آن‌ها یعني $(x_i,y_i)$ استفاده مي‌شود که به صورت نصف طول $l_i$ ونصف عرض $w_i$ تعریف مي‌شود، و یا از مختصات گوشه سمت چپ آن‌ها که به صورت طول $l_i$ وعرض $w_i$ تعریف مي‌شود. فاصله میان تسهیلات مي‌تواند به عنوان مثال به صورت فاصله خط مستقیم در نظر گرفته شود **(Chwif et al., 1998)**.

$$|d_{ij}((x_i,y_i),(x_j,y_j))=|x_i-x_j|+|y_i-y_j \quad (33)$$

همچنین در این نوع از مدل‌سازي مي‌توان نقاط **(P/D)** را در نظر گرفت **(Welgama&Gibson.,1993)**، **(Kim&Kim,2000)** و **(Yang et al.,2005)**. البته تشخیص نقاط بهینه **(P/D)** خود به عنوان مسئله‌اي خاص در ادبیات مورد بحث قرار گرفته است **(Kim&Kim,1999)**، **(Chittratanawat&Noble,1999)** و **(Aiello et al.,2002)**.

توجه به این نکته ساده ضروري است که کل فضاي مورد نیاز براي چیدمان باید از مجموع مساحت تسهیلات بیشتر باشد. همچنین باید فضاي بیشتر از این مجموع، براي راهروها و دیگر وسایل در نظر گرفته شود **(Lacksonen,1997)**. همچنین موانع و فواصل مابین تسهیلات ممکن است در نظر گرفته شود **(Heragu&Kusiak,1988)**، **(Braglia,1996)**.

نکته بسیار مهم دیگري که باید در نظر گرفته شود این است که در چیدمان، تسهیلات نباید رویهم‌افتادگي وجود داشته باشند **Welgama.(Welgama&Gibson,1993)** و **Gibson** در سال ۱۹۹۳ شروطي را مطرح کردند که به وسیله آن‌ها از رویهم افتادگي جلوگیري مي‌شود. رابطه (۳۴) بیانگر شرطي است که از رویهم افتادگي در محور **X**ها جلوگیري مي‌کند، همچنین رابطه (۳۴) از رویهم افتادگي در محور **Y**ها جلوگیري مي‌کند.

$$(x_{jt}-x_{ib})(x_{jb}-x_{it})\geq 0 \quad (34)$$

$$(y_{jt}-y_{ib})(y_{jb}-y_{it})\geq 0 \quad (35)$$

در جايي كه $(x_{it}, y_{it})$ و $(x_{ib}, y_{ib})$ به ترتيب نشان‌دهنده گوشه بالا و سمت چپ و سمت راست تسهيل**i** است و $(x_{jt}, y_{jt})$ و $(x_{jb}, y_{jb})$ به ترتيب نشان دهنده گوشه بالا و سمت چپ و سمت راست تسهيل**j** است.**Mir** و **Imam** در سال ۲۰۰۱ براي نشان دادن اين محدوديت ميزان رويهم افتادگي بين دو تسهيل را به صورت $A_{ij}$ تعريف كردند. آن‌ها مسئله بهينه‌سازي خود را به صورت زير تعريف كردند(**Mir&Imam,2001**) .

Minimize objective function

subject to $A_{ij} \leq 0$ **(36)**

where **(37)**

$$A_{ij} = \lambda_{ij}(\Delta X_{ij})(\Delta Y_{ij}); \quad (38)$$

$$\Delta X_{ij} = \lambda_{ij}\left(\frac{L_i+L_j}{2}\right) - |x_i - x_j|; \quad (39)$$

$$\Delta Y_{ij} = \lambda_{ij}\left(\frac{W_i+W_j}{2}\right) - |y_i - y_j|; \quad (40)$$

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{for } \Delta X_{ij} \text{ and } \Delta Y_{ij} \leq 0 \\ +1 & \text{otherwis} \end{cases} \quad (41)$$



$(L_i,W_i)$ طول وعرض تجهيز i است و $(x_i,y_i)$ نشان دهنده مختصات تجهيز i مي‌باشد.

همچنين در ادبيات مطالعات كمي بر روي مسائل چيدمان تسهيلات دايناميک به صورت پيوسته به چشم مي‌خورد **Dunker**.(**Amine et al., 2007**) و همكارانش در سال ۲۰۰۵ يک مسئله چيدمان تسهيلات دايناميک را به صورت پيوسته مدل‌سازي كرد. آن‌ها تسهيلات را به صورت

غیر هم اندازه در نظر گرفتند و فرض کردند که اندازه تسهیلات از هر دوره به دوره دیگر تغییر می‌کند (Dunker et al.,2005).

## روش‌هاي حل

روش‌هاي حل متفاوتي براي حل انواع مسائلي که در ادبیات این حوزه ارائه شده است، وجود دارد. برخي از این روش‌ها به دنبال یافتن **حلي مناسب** براي مسئله مي‌باشند که شرایط خاصي را که تصمیم‌گیرنده تعیین مي‌کند ارضا کند، نوع دیگر از روش‌هاي حل به دنبال یافتن جواب بهینه جهاني[1] و یا بهینه موضعي[2] براي تابع هدف مي‌باشند.

در بررسي ادبیات در حوزه روش‌هاي حل به روش‌هاي متفاوتي برمي‌خوریم، به طور مثال در سال ۱۹۹۰، **Heragu** و **Kusiak** استفاده از یک سیستم خبره[3] براي حل مسئله چیدمان تسهیلات را پیشنهاد دادند ((Heragu&Kusiak,1990. همچنین در سال ۱۹۹۹، **Chung** از یک سیستم خبره که بر اساس شبکه‌هاي عصبي[4] کار مي‌کرد استفاده کرد (Chung,1999).

همانطور که اشاره شد روش‌هاي متفاوتي براي حل مسائل در ادبیات موضوع ارائه شده است که به عنوان مثال مي‌توان به مورد زیر اشاره کرد: روش‌هاي دقیق[5] مانند انشعاب و تحدید[6]، روش‌هاي تقریبي مانند متدهاي هیورستیک[7] و متاهیورستیک[8]. در این نوشتار روش‌هاي حل به سه دسته روش‌هاي دقیق، روش‌هاي هیورستیک و روش‌هاي متاهیورستیک تقسیم مي‌شوند.



[1] Global Optimum
[2] Local Optimum
[3] Expert System
[4] Neural Network
[5] Exact Method
[6] Branch and Bound
[7] Heurestic Method
[8] Metaheurestic Method

**روش‌هاي دقيق**

از جمله مهمترين روش‌هاي دقيق ارائه شده در ادبيات روش انشعاب و تحديد مي‌باشد. اين روش براي حل مسئله **QAP** استفاده شده است. علت اين موضوع استفاده از متغيرهاي صفر و يک در مدل **QAP** مي‌باشد. اما در ادبيات تنها مسائلي با اندازه کوچکتر از ۱۶ توسط اين روش دقيق حل شده است. اما علي‌رغم بهينه بودن اين روش کامپيوترهاي پيشرفته هم قادر به حل مسائل بزرگتر نمي‌باشند.

از ميان روش‌هاي دقيق ارائه شده در ادبيات مي‌توان به روش ارائه شده توسط **Kouvelis** و **Kim** در سال ۱۹۹۲ اشاره کرد که الگوريتم انشعاب و تحديد را براي حل يک مسئله حلقه‌اي، که داراي يک جهت است استفاده کرد **(Kouvelis&Chiang1992)**. همچنين**Meller** و همکارانش در سال ۱۹۹۹ از همين روش براي حل مسئله چيدمان **n** تسهيل مستطيلي شکل در **n** مکان مستطيلي استفاده کردند **Kim .(Meller et al., 1999)** و **Kim** در سال ۱۹۹۹ مسئله پيدا کردن نقاط **(P/D)** با تسهيلات يک اندازه و در يک چيدمان داده شده را معرفي کردند. تابع هدف مسئله به صورت کمينه کردن مسافت طي شده بين نقاط **(P/D)** تعريف شد. نويسندگان يک الگوريتم انشعاب و تحديد براي حل اين مسئله پيشنهاد دادند **Rosenblatt .(Kim&Kim,1999)** در سال ۱۹۸۶ از برنامه‌ريزي پويا براي حل چيدمان تسهيلات دايناميک که در آن تمام تسهيلات داراي اندازه يکسان مي‌باشند استفاده کرد. اين روش تنها قابليت حل مسائل کوچک را داشت (۶ تسهيل و ۵ دوره زماني) **(Gilmore,1962)**.

در سال‌هاي قبل از دهه ۶۰ ميلادي تعداد قابل ملاحظه‌اي از گزارش علمي در ارتباط با توسعه روش‌هاي حل بهينه مسئله **QAP** انجام شد. از اين ميان بيشتر پژوهشگران بر روي گسترش دو روش زير تحقيق کردند:

- الگوريتم انشعاب و تحديد
- الگوريتم صفحات برش

**الگوریتم انشعاب وتحدید**

اولین کساني که الگوریتم انشعاب و تحدید را توسعه دادندGilmore در سال ۱۹۶۲ و Lawler در سال ۱۹۶۳بودند. تفاوت عمده بین دو کار مستقل از هم که توسط این دو نویسنده انجام شد، چگونگي محاسبه حد پایین بود. هر دو الگوریتم بدون هیچ شرطي جواب‌هاي بالقوه را ارزیابي مي‌کردند. در این دو روش اگر هیچ قانوني براي هرس کردن درخت تصمیم در نظر گرفته نشود، آنگاه ممکن است فرآیند این دو روش ما را به یک تکنیک محاسباتي ناکارآمد راهنمایي کنند (Kusiak&Heragu,1987).

بجز دو الگوریتم فوق دو الگوریتم دیگر توسطLand در سال ۱۹۶۳ وGavett و Plyter در سال ۱۹۶۶ توسعه داده شد. این الگوریتم‌ها یک جفت از تسهیلات را به یک جفت از مکان‌ها تخصیص مي‌دهد. در حالي که الگوریتم ارائه شده توسطGilmore در سال ۱۹۶۲و Lawler در سال ۱۹۶۳ یک تسهیل را به یک مکان تخصیص مي‌دهد. الگوریتم‌هاي فوق الذکر با استفاده از یک فرآیند مرحله به مرحله تسهیلات را به مکان‌ها تخصیص مي‌دهد. تمامي الگوریتم‌هاي بهینه نیازمند حافظه محاسباتي زیادي هستند (Burkard,1984).

Lavalle و Roucairolدر سال ۱۹۸۵ براي حل مسئله QAP استفاده از یک الگوریتم انشعاب و تحدید موازي را پیشنهاد دادند (Lavalle&Roucairol,1985). این الگوریتم به طور موازي از چندین محل در درخت تصمیم شروع به جستجوي جواب بهینه مي‌کند. تا به حال نتایج محاسباتي گزارش شده نشان مي‌دهد که الگوریتم انشعاب و تحدید موازي براي حل مسائل مکان‌یابي تسهیلات با دوازده تسهیل یا بیشتر نیاز به حافظه محاسباتي زیادي دارد (Lavalle&Roucairol,1985).

Burkard در سال ۱۹۷۳یک الگوریتم حل بهینه براي مسئله QAP پیشنهاد داد (Burkard,1984) الگوریتم او براساس الگوریتم کاهش در یک ماتریس مربعي بنا شده بود. در سال ۱۹۷۵،Bazaraa یک الگوریتم انشعاب و تحدید براي حل مسئله چیدمان تسهیلات ارائه داد که در هر حل میاني یک چیدمان P تسهیله متناظر با آن حل ارائه مي‌دهد .(Bazaral,1975) Bazaraa و Elshafei در سال ۱۹۷۹ یک الگوریتم انشعاب و تحدید را براي حل مسئله QAP پیشنهاد دادند .(Bazara&Kirca,1979) این الگوریتم با استفاده از یک فرآیند مرحله به مرحله

یک تسهیل را به مکاني اشغال نشده تخصیص مي‌داد. **Kaku** و **Thompson**در سال ۱۹۸۶یک الگوریتم انشعاب وتحدید را ارائه دادند که از الگوریتم ارائه شده توسط **Lawler** در سال ۱۹۶۳به خصوص براي مسائل بزرگ کاراتر بود **(Kaku&Thompson,1986)**.

**الگوریتم صفحات برش**

**Bazaraa** و **Sherali** در سال ۱۹۸۰ الگوریتم صفحه برش ارائه دادند.**Burkard** و **Bonninger** در سال ۱۹۸۳ یک الگوریتم صفحه برش براي حل مسئله **QAP** ارائه دادند **(Burkard&Bonninger,1983)**.

الگوریتم‌هاي انشعاب و تحدید و صفحات برش داراي پیچیدگي زماني زیادي هستند. به عنوان مثال بزرگترین مسئله چیدماني که با استفاده از الگوریتم صفحات برش حل شده است داراي هشت تسهیل بوده است. تجربیات استفاده از الگوریتم انشعاب و تحدید نشان داده است که این الگوریتم در مراحل اولیه انشعاب به جواب بهینه دست مي‌یابد ولي این جواب تا هنگامي که تعداد زیادي از جواب‌ها تک‌تک شمرده نشود تایید نمي‌شود **(Bazara&Kircar,1979)**، **(Burkard&Bouninger,1983)**. این مسئله موجب شد که تعدادي از تحقیقات بر روي توسعه روش‌هایي بدون تایید بهینگي انجام شود. این تحقیقات موجب توسعه روش‌هاي هیورستیک انشعاب وتحدید شد. **Burkard** در سال ۱۹۸۴ دو شرط اساسي را براي توقف الگوریتم انشعاب و تحدید ذکر کرد **(Burkard,1984)**:

۱- شرط توقف براساس محدودیت زماني؛ بدین صورت که فرآیند محاسباتي پس از گذشت زمان از پیش تعیین شده متوقف مي‌شود.

۲- شرط توقف براساس کیفیت حد بالاي جواب؛ بدین صورت که پس از گذشت یک بازه زماني از پیش تعیین شده که جواب بهبودي نداشت حدبالاي مسئله درصدي کاهش مي‌یابد.

**روش‌هاي هيورستيک**

الگوريتم‌ها و روش‌هاي هيورستيک بخش عمده‌اي از ادبيات حوزه چيدمان تسهيلات را به خود اختصاص مي‌دهد. الگوريتم‌هاي هيورستيک را مي‌توان به دو گروه عمده سازنده و بهبود دهنده تقسيم کرد **(Singh&Sharma,2006)** الگوريتم‌هاي سازنده از ساده‌ترين و قديمي‌ترين الگوريتم‌هايي هستند که از لحاظ مفهومي و عملي براي حل مسائل **FLP** مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما کيفيت جواب آن‌ها چندان رضايت‌بخش نيست. الگوريتم‌هاي بهبود دهنده با استفاده از يک جواب شدني اوليه و تعويض تخصيص‌ها، سعي در بهبود جواب اوليه دارند **(Singh&Sharma,2006)**. الگوريتم‌هاي بهبود دهنده به سادگي با الگوريتم‌هاي سازنده قابل ترکيب هستند. الگوريتم **CRAFT** از جمله رايج‌ترين الگوريتم‌هاي بهبود دهنده مي‌باشد که براساس تعويض دودويي عمل مي‌کند **(Armour,1963)**. در اکثر موارد به دليل محاسبات زياد اين الگوريتم‌ها، نرم‌افزارهايي براي آن‌ها تهيه شده است. ليستي از اين نرم‌افزارها در جدول (۱) آورده شده است.

| ردیف | نام بسته ارائه شده | ارائه دهنده |
|---|---|---|
| ۱ | *CRAFT* | *Dr. Gordan Armour* |
| ۲ | *ALDEP* | *Seehof and Evans* |
| ۳ | *CORELAP* | *Dr. Moore James* |
| ۴ | *PLANET* | *Michael P. Deisenroth* |
| ۵ | *COMP2* | *Teichholz Eric* |
| ۶ | *COMPROPLAN COMSBUL* | *Kaiman Lee* |
| ۷ | *CORELAP8* | *Robert C. Lee* |
| ۸ | *DOMINO* | *Robert Dhillon* |
| ۹ | *GRASP* | *Teichholz Eric* |
| ۱۰ | *IMAGE* | *Dr. Johnson T.E.* |
| ۱۱ | *KONUVER* | *Dr. Warnecke* |
| ۱۲ | *LAYADAPT* | *Dr. Warnecke* |
| ۱۳ | *LAYOPT* | *Raimo Matto* |
| ۱۴ | *LAYOUT* | *John S. Gero* |
| ۱۵ | *LOVE* | *Dr. Love R.F.* |
| ۱۶ | *MUSTLAP2* | *Dr. Warnecke* |
| ۱۷ | *OFFICE* | *Dr. Vollman Thomas* |
| ۱۸ | *PLAN* | *McRoberts K.* |
| ۱۹ | *PREP* | *Anderson David* |
| ۲۰ | *RG and RR* | *Moucka Jan* |
| ۲۱ | *RITZMAN* | *Dr. Ritzman L.P.* |
| ۲۲ | *SISTLAPM* | *Dr. Warnecke* |
| ۲۳ | *SUMI* | *Prof. Spillers* |
| ۲۴ | *Terminal Sampling Procedure* | *Hitchings G.* |
| ۲۵ | *SPACECRAFT* | *Johnson* |
| ۲۶ | *COFAD* | *Tompkins and Reed* |
| ۲۷ | *SHAPE* | *Hassan, Hogg and Smith* |
| ۲۸ | *QLAARP* | *Banerjee et al.* |
| ۲۹ | *LOGIC* | *Tam* |
| ۳۰ | *MULTIPLE* | *Bozer, Meller, and Erlebacher* |
| ۳۱ | *FLEX–BAY* | *Tate and Smith* |
| ۳۲ | *DA (Adjacency Based)* | *Foulds and Robinson* |
| ۳۳ | *MATCH (Adjacency Based)* | *Montreuil, Ratliff and Goetschalckx* |
| ۳۴ | *SPIRAL (Adjacency Based)* | *Goetschalckx* |
| ۳۵ | *FACOPT* | *Balkrishnan et al.* |

جدول ۱ – لیست بسته‌هاي ارائه شده براي چیدمان تسهیلات

این الگوریتم‌ها عموما براساس درجه نزدیکي و یا مسافت کار مي‌کنند **(Armour,1963)**. به‌عنوان مثال الگوریتم **MATCH** توسط **Montreuil** و همکارانش در سال ۱۹۸۷ و الگوریتم **SPIRAL** توسط **Goetschalckx** در سال ۱۹۹۲، بر اساس درجه نزدیکي عمل مي‌کنند. الگوریتم **CRAFT** در سال ۱۹۸۷ توسط **Montreuil** و همکارانش، الگوریتم **SHAPE** توسط **Hassan** و همکارانش در سال ۱۹۸۶، الگوریتم **LOGIC** توسط **Tam** در سال ۱۹۹۲، الگوریتم **MULTIPLE** توسط**Lee** و همکارانش در سال ۲۰۰۵ و الگوریتم **FLEX-BAY** توسط **Tate** و **Smith** در سال ۱۹۹۵ براساس مسافت عمل مي‌کنند.

تفاوت عمده این دو نوع از الگوریتم‌ها در تابع هدف آن‌ها مي‌باشد. تابع هدف براي الگوریتم‌هایي که براساس درجه نزدیکي عمل مي‌کنند عموما به صورت معادله (۴۲) مي‌باشد.

$$Min \sum_i \sum_j (r_{ij}) x_{ij} \qquad (42)$$

که در آن پارامترها به صورت زیر تعریف مي‌شود.

$x_{ij}$ ۱ اگر **i** مجاور دپارتمان **j** باشد و صفر در غیر این صورت

$r_{ij}$ درجه نزدیکي دو دپارتمان **i** و **j**

**روش‌هاي متاهیورستیک**

اصولا روش‌هاي دقیقي که بتوانند به صورت ریاضي جواب بهینه را به‌دست آورند، وجود نداشته و یا در صورت وجود قابلت کاربرد عملي ندارند و اصطلاحا به‌کارگیري آن‌ها خیلي گران است. لذا بایستي روش‌هایي را جستجو کرد که حداقل بتوانند جواب‌هاي خوب (که ممکن است دیگر بهینه نباشند) را ارائه دهند. این‌گونه روش‌ها را روش‌هاي متاهیورستیک مي‌نامند. روش‌هاي متاهیورستیک روش‌هایي هستند که با استفاده از شیوه‌هاي ابتکاري که غالبا ایده اصلي آن‌ها از مسائل دنیاي واقعي الهام گرفته شده است، سعي در پیدا کردن

جوابي نزديک به بهينه دارند. تعداد زيادي از اين الگوريتم‌ها در ادبيات معرفي شده‌اند که ما به بررسي مهمترين و پرکاربردترين آن‌ها در حل مسائل چيدمان مي‌پردازيم. مهمترين و پرکاربردترين اين الگوريتم‌ها عبارتند از:

- الگوريتم بازپخت شبيه‌سازي شده[1] (SA)
- الگوريتم ژنتيک[2] (GA)
- الگوريتم مورچگان[3] (AA)
- الگوريتم جستجوي ممنوع[4] (TS)

**الگوريتم مورچگان**

الگوريتم مورچگان از رفتار طبيعي کلوني مورچگان الهام گرفته شده است. اساس اين الگوريتم از رفتار طبيعي مورچگان براي يافتن غذا گرفته شده است. در کلوني مورچگان هر مورچه يک ماده به نام فرمون[5] در مسير حرکت خود از آشيانه به سوي غذا و بالعکس برجاي مي‌گذارد. ديگر مورچگان فرمون را بو مي‌کنند تا منبع غذا را پيدا کنند. فرمون بيشتر در يک مسير، احتمال انتخاب آن مسير را بيشتر مي‌کند **(Solimanpur et al.,2005)**. بنابراين پس از گذشت مدتي تمام مورچگان از کوتاهترين راه بين لانه تا منبع غذا استفاده مي‌کنند. براي اطلاعات بيشتر به مقاله نوشته شده توسط **Dorigo** و همکارانش در سال ۱۹۹۶ مراجعه کنيد **(Dorigo et al.,1996)**. در الگوريتم **AA** هر مورچه به عنوان يک عامل محاسبه در نظر گرفته مي‌شود. الگوريتم **AA** از چندين عامل محاسبه تشکيل شده است تا مکانيزم جستجو را براي جستجوي فضاي جواب راهنمايي کند تا جواب بهينه به دست آيد **(Solimanpur et al.,2005)**. لازم به ذکر است که عامل محاسباتي لزوما مانند يک مورچه واقعي عمل نمي‌کنند. بنابراين بعضي از مطالب نقل شده در آينده ممکن است کاملا با زندگي واقعي مورچگان همخواني نداشته باشد. به طور مثال مورچه‌هاي مصنوعي مي‌توانند مسير حرکت خود را به خطر بسپارند.



[1] Simulated Annealing
[2] Genetic Algorithm
[3] Ant Algorithm
[4] Tabu Search Algorithm
[5] Pheromone

همچنین آن‌ها شامل اطلاعاتي از روش هیورستیک مورد استفاده مي‌باشند. این مورچگان مصنوعي پس از هر تکرار دور ریخته مي‌شوند (Solimanpur et al.,2005). در یک الگوریتم AA باید عناصر ذیل را مشخص کرد:

- ساختار جواب
- اطلاعات هیورستیک
- قانون بروز رساني فرمون
- احتمال انتخاب
- الگوریتم جستجوي محلي
- شرایط توقف

شیوه‌هاي مختلف به کارگیري این الگوریتم، مي‌تواند انواع مختلفي از الگوریتم AA را نتیجه دهد. الگوریتم AA اخیرا به طور گسترده‌اي براي حل مسائل بهینه‌سازي ترکیبي استفاده شده است. به خصوص الگوریتم AA به طور موثري توانسته است براي حل مسائل FLP که به صورت QAP مدل‌سازي شده است به کارگرفته شود. در سال ۱۹۹۹ StMutzle و Dorigo کاربردهاي مختلف الگوریتم AA را براي حل مسئله QAP مرور کرده‌اند (StMutzle& Dorigo,1999). در سال ۱۹۹۷ Taillard و Gambardella یک الگوریتم AA سریع براي حل مسائل چیدمان با استفاده از فرموله کردن QAP ارائه داده‌اند که در هر تکرار الگوریتم فقط از یک مورچه استفاده مي‌شود(Taillard&Gambardella,1997). در سال ۱۹۹۹ Gambardella و همکارانش یک الگوریتم ترکیبي به نام HAS-QAP براي حل مسائل QAP ارائه دادند (Gambardella et al.,1997). ایده اصلي این روش این بود که از فرمون باقي مانده براي ایجاد یک جواب استفاده نمي‌کرد بلکه براي تغییر جواب استفاده مي‌کرد.



در سال ۲۰۰۰ StMutzle و Hoos یک الگوریتم Max-Min AA به نام MMAS براي حل QAP پیشنهاد کرد که در آن تنها مورچه اجازه داشت از خود فرمون برجاي بگذارد، در این الگوریتم از یک حد براي Trail Level استفاده شد تا از ایستایي جلوگیري شود (StMutzle&Hoos,2000). در سال ۲۰۰۵، Solimanpur و همکارانش بیان داشتند که یک فرض

اساسي كه در مدل QAP وجود دارد اين است كه مكان‌هاي كانديد مشخص هستند. بنابراين فاصله بين محل از قبل به صورت يک مقدار عددي معلوم است (Solimanpur et al.,2005). آن‌ها در مقاله خود بيان داشتند كه فاصله بين دو ماشين متفاوت است. بنابراين فرض فاصله بين توالي مرتبط با FLP يكسان نمي‌باشد و بنابراين هيچ يک از الگوريتم‌هاي AA ارائه شده قادر به حل اين مسئله نمي‌باشند. بايد اين نكته را در نظر داشت كه اين مسئله بسيار مشكل‌تر از QAP مي‌باشد (Meller et al., 1999). در كار انجام داده شده توسط Solimanpur و همكارانش در سال ۲۰۰۵ دو فرض اساسي در نظر گرفته شده بود:

۱- ماشين‌ها مستطيلي مي‌باشند و با ابعاد متفاوت و فاصله بين آن‌ها به صورت مركز به مركز محاسبه مي‌شود.

۲- فاصله بين هر دو ماشين متغير است.

اين فرض يک فرض مهم در مسائل سيستم‌هاي توليدي در دنياي واقعي مي‌باشد. هيچ شكي در ميان نيست كه نرخ توليد ماشين‌هاي مختلف در يک سيستم واقعي متفاوت است و اين فرض نتيجه مي‌دهد كه فضاي لازم جهت انبارش قطعات نيمه‌ساخته در جريان فرآيند ساخت يكسان نيست. برخي از فاكتورهاي موثر در اين فاصله به شرح زير مي‌باشند (Solimanpur et al.,2005).

- مسير و مقدار توليد.
- زمان لازم براي انجام پروسه توليد توسط هر ماشين.
- شكل و اندزه قطعات.
- نوع MHD.
- نوع و سايز پالت‌هاي استفاده شده.



الگوريتمAA مي‌تواند مانند يک مدل صف يا شبيه‌سازي براي يافتن فضاي مورد نياز ميان ماشين‌ها به‌كار رود (Solimanpur et al.,2005).

ایده اصلي كه اين تابع هدف بر اساس آن تعريف شده است اين است كه اگر دو ديپارتماني كه داراي درجه نزديكي زيادي هستند كنار يكديگر قرار بگيرند هزينه حمل و نقل مواد كاهش مي‌يابد. تابع هدف الگوريتم‌هايي كه براساس مسافت عمل مي‌كنند عموما به صورت معادله (۴۳) مي‌باشد.

$$Min(TC)=\frac{1}{2}\sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq l}}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}C_{ik}D_{jl}X_{ij}X_{kl} \quad (43)$$

فلسفه اين تابع هدف اين است كه افزايش مسافت طي شده هزينه كل را افزايش مي‌دهد. در اين معادله اگر $C_{ik}$ را با $F_{ik}$ به صورت معادله (۴۴) جايگزين كنيم تابع هدف به دست آمده مربوط به چيدمان چندطبقه‌اي مي‌باشد **(Solimanpur et al.,2005)**.

$$Min(TC)=\sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq l}}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\left(C_{ikH}*D_{jlH}+C_{ikV}*D_{jlV}\right)X_{ij}X_{kl} \quad (44)$$

در جايي كه $C_{ij}H$ و $D_{ji}H$ به ترتيب نشاندهنده هزينه حمل ونقل و فاصله افقي مي‌باشند و $C_{ij}V$ و $D_{ji}V$ به ترتيب نشان دهنده هزينه حمل و نقل و فاصله عمودي مي‌باشند.

**الگوريتم ژنتيک**

الگوريتم**GA** يک روش جستجوي موثر در فضاهاي بسيار وسيع و بزرگ است كه در نهايت منجر به جهت‌گيري به سمت پيدا كردن يک جواب بهينه مي‌گردد كه شايد نتوان در مدت زمان زندگي يک فرد به آن جواب بهينه دست يافت. دراين الگوريتم‌ها بايد فضاي جواب مسئله به فضاي ژنتيک تبديل شود بنابراين مزيت كار با الگوريتم‌هاي كد شده در اين است كه اصولا كدها قابليت تبديل فضاي پيوسته به فضاي گسسته را دارند. يكي از تفاوت‌هاي اصلي روش **GA** با روش‌هاي قديمي بهينه‌سازي در اين است كه در**GA** با جمعيت يا مجموعه‌اي از نقاط در يک لحظه خاص كار مي‌كنيم. نكته جالب ديگر اين كه اصول **GA** بر تعداد پردازش

تصادفي يا به تعبير صحيح‌تر پردازش تصادفي هدايت شده استوار است. بنابراين عملگرهاي تصادفي فضاي جستجو را به صورت انطباقي مورد بررسي قرار مي‌دهند. در استفاده از الگوريتم سه تعريف اساسي زير بايد به طور مناسب انجام شود:

۱- تعريف تابع هدف يا تابع هزينه

۲- تعريف و پياده سازي فضاي ژنتيک

۳- تعريف و پياده سازي عملگرهاي GA

اگر سه قسمت فوق به درستي تعريف شوند، بدون شک GA به خوبي عمل خواهد کرد و در نهايت مي‌توان با اعمال تغيراتي کارايي سسيستم را افزايش داد. الگوريتم GA با يک مجموعه آغازين از جواب‌هاي احتمالي از مسئله مورد نظر شروع مي‌کند. اين جواب-هاي اوليه به عنوان جمعيت شناخته مي‌شوند. مشخصه متمايز کننده هر فرد در جامعه کروموزن ناميده مي‌شود. ميزان ارزش هر کروموزن به وسيله تابع هدف و يا تابع برازندگي ارزيابي مي‌شود. به طور مثال براي يک مسئله چيدمان تسهيلات هزينه حمل و نقل مي‌تواند به عنوان يک تابع برازندگي معرفي شود (El-Baz, 2004). کروموزن‌هايي که در تکرار بعدي استفاده مي‌شوند به وسيله توليد مثل ايجاد مي‌شوند. در طي هر توليد مثل با استفاده از تغيير و يا ترکيب کروموزن‌ها جمعيتي جديد ايجاد مي‌شود. ترکيب کروموزن‌ها (ادغام و تغيير کروموزن‌ها) يا به اصطلاح جهش نامگذاري شده‌اند (El-Baz, 2004). در نتيجه ادغام کروموزن‌ها با يکديگر طي يک روش احتمالي ادغام شده و يک جفت کروموزن جديد ايجاد مي‌کنند. در عمل ادغام جزئي از کروموزن تغيير کرده و کروموزني جديد ايجاد مي‌شود.

انتخاب کروموزن‌ها از جمعيت براي انجام ادغام و جهش با استفاده از ارزيابي آن‌ها به وسيله تابع برازندگي انجام مي‌شود. هنگامي که جمعيتي جديد ايجاد مي‌شود جمعيت قبلي حذف شده تا فضا براي جمعيت جديد محيا شود. اين عمل در طي تکرارهاي بعدي ادامه مي‌يابد تا شرايط توقف ارضا شود. قدم‌هاي الگوريتم ژنتيک را بر اساس مسائل مختلف مي‌توان به صورت متفاوتي تعريف کرد. اما علي‌رغم برخي تفاوت‌ها در کليات الگوريتم‌هاي استفاده شده براي حل مسائل چيدمان تشابهات بسياري وجود دارد. به عنوان

نمونه قدم‌هاي **GA** را كه در مقالات مورد استفاده قرار گرفته است مي‌توان به صورت زير بيان كرد[1] (**Mak,1998**)

قدم ۱ : ايجاد يک جمعيت اوليه از كروموزون‌ها با اندازه **P** و به صورت تصادفي

قدم ۲ : كشف رمز هر كروموزن و ارزيابي مقدار تابع هدف هر كروموزن با حل كانديد متناظر با آن.

قدم ۳ : به‌دست آوردن مقدار برازندگي هر كروموزن با استفاده از مقدار به‌دست آمده براي تابع هدف در قدم قبلي.

قدم ۴ : با توجه به پارامترهاي تعريف شده در مسئله، **n** تا از بدترين كروموزن‌ها را حذف كرده و با استفاده از كروموزن‌هاي باقي مانده جمعيت كنوني را تكميل كنيد.

قدم ۵ : قانون انتخاب را به كار گيريد تا **P** عدد از كروموزن‌ها را به عنوان والد جهت توليد جمعيت جديد انتخاب كنيد.

قدم ۶ : يک جفت والد از كروموزن‌هاي انتخاب شده در قدم ۵ انتخاب كنيد و با استفاده از عملگرهاي ادغام و جهش يک فرزند جديد توليد كنيد.

قدم ۷ : فرزندان توليد شده در قدم ۶ را به جمعيت اضافه كنيد. اگر تعداد جمعيت جديد به حد از پيش تعيين شده نرسيده است به قدم ۶ برگرديد.

قدم ۸ : شرايط توقف را بررسي كنيد. اگر شرايط توقف به‌دست آمده است، جستجو را متوقف كرده و بهترين كروموزن تمام الگوريتم را به عنوان جواب نهايي در نظر بگيريد. كروموزن را رمزگشايي كنيد. جواب متناظر جواب بهينه خواهد بود. در غير اين صورت يک جمعيت جديد توليد كنيد.



**الگوريتم بازپخت شبيه‌سازي شده**

اين الگوريتم يك شيوه تصادفي براي حل مسائل بهينه‌سازي پيچيده مي‌باشد كه ايده اصلي آن از فرآيند بازپخت جامدات گرفته شده است. اين روش برپايه شبيه‌سازي مونت-

[1] براى كسب اطلاعات بيشتر در مورد الگوريتم ژنتيک و چگونگى كاربرد آن در مسائل مختلف مهندسى صنايع به كتاب Genetic Algorithms and Engineering Design نوشته Gen و Cheng انتشارات Wiley سال ۱۹۹۶ مراجعه شود.

کارلو[1] می‌باشد که به شما اجازه می‌دهد مسائل بهینه‌سازي ترکیبي پیچیده را حل کنید **(Azadivar&Wang,2000)** نام آن ناشي از شباهت این روش با رفتار سیستم فیزیکي ذوب شدن یك ماده و کم‌شدن درجه حرارت آن به صورت تدریجي تا رسیدن به نقطه انجماد می‌باشد **(Azadivar&Wang,2000)** در این فرآیند ماده جامد حرارت داده می‌شود تا ذوب شود و سپس دماي ماده جامد بر اساس یک برنامه انجماد به آرامي کاهش می‌یابد تا اینکه ماده جامد به کمترین سطح انرژي یا سطح پایه دست یابد **(Dorigo et al.,1996)**. اگر دماي اولیه به قدر کافي زیاد نباشد یا سرد شدن به سرعت انجام شود ماده جامد در حالت پایه ترك‌ها و یا عیب‌هاي زیادي خواهد داشت. **McKendall** و **Shang Jin** در مقاله خود در سال ۲۰۰۶ بیان می‌دارند که **Kirkpatrick** و همکارانش در سال ۱۹۸۳ جز اولین افرادي بودند که از **SA** براي حل مسائل بهینه‌سازي پیچیده استفاده کردند **(McKendall&Shang ,2006)**.

قبل از توسعه روش‌هاي متاهیورستیک مانند **SA, TS, GA** روش‌هاي جستجوي محلي زیادي مانند**Add/Drop** و **Exchange Heuristics** براي حل مسائل بهینه‌سازي پیچیده استفاده می‌شد. این روش‌هاي هیورستیک به طور ویژه‌اي با یك حل ابتدایي شروع می‌کنند و به طور احتمالي به سمت یك جواب همسایه حرکت می‌کند (یك جواب کمي بهتر از جواب اولیه) هزینه جواب همسایه به دست می‌آید و با هزینه جواب ابتدایي مقایسه می‌شود. اگر هزینه جواب همسایه بهتر باشد (کمتر از هزینه جواب ابتدایي) این جواب به عنوان بهترین جواب انتخاب می‌شود و به عنوان جواب ابتدایي در تکرار بعدي استفاده می‌شود. در غیر این صورت جواب آغازین به عنوان جواب ابتدایي تکرار بعدي استفاده می‌شود. این رویه تا هنگام رسیدن به شرایط توقف ادامه می‌یابد **(Kouvelis et al,2000)**.

اغلب این شیوه‌ها در خطر همگرا شدن به یك بهینه موضعي ضعیف هستند. براي فائق آمدن به این اشکال در برخي از منابع موجود در ادبیات یک تکنیك جستجوي محلي با چندین جواب آغازین به الگوریتم اضافه شده است **(Balakrishnan et al.,2003)**. اگر چه احتمال به دست آوردن بهینه‌هاي محلي افزایش می‌یابد، اما این تکنیك از لحاظ محاسباتي هزینه‌بر



[1] Mont Carlo

است و فقط کمي بهتر عمل مي‌کند. تا به حال استراتژي‌هايي که از روش‌هاي جستجوي محلي با پذيرش جواب‌هاي همسايگي غير بهتر استفاده کرده‌اند به شکل موثرتري کار کرده‌اند **(McKendall&Shang,2006)**.به بيان ديگر در الگوريتم **SA** از ايده **قبول حرکت‌هاي غير بهبود دهنده** استفاده مي‌کند تا از به دام افتادن در بهينه‌هاي محلي ضعيف اجتناب کنند. در **SA** احتمال قبول حرکت غير بهبود دهنده در ابتدا زياد است اما هنگامي که جستجو ادامه مي‌يابد و دما کاهش مي‌يابد احتمال قبول حرکت غير بهبود دهنده کاهش مي‌يابد **(Misevicius,2006).** تا به حال الگوريتم **SA** براي حل مسائل بهينه‌سازي متفاوتي در ادبيات به کار رفته است، هر چند که در تنظيم پارامترها و قدم‌هاي الگوريتم تفاوت‌هايي به چشم مي‌خورد اما مي‌توان کليات الگوريتم را به صورت زير بيان کرد **(McKendall et al,2006).**

- انتخاب تنظيمات براي پارامترهاي هيورستيك و ايجاد يك جواب اوليه و محاسبه هزينه آن (اين جواب به عنوان حل جاري شناخته مي‌شود)
- به دست آوردن حل همسايه از جواب جاري با استفاده از تکنيك‌هاي جستجوي محلي.
- به دست آوردن هزينه جواب همسايگي و مقايسه آن با هزينه حل جاري.

الف- اگر هزينه همسايه بهتر باشد به عنوان حل جاري قبول مي‌شود.

ب- اگر هزينه همسايه بدتر باشد آنگاه با احتمالي به عنوان حل جاري قبول مي‌شود. در غير اين صورت حل جاري را حفظ مي‌کنيم. شمارنده و پارامترها را به روز مي‌کنيم و قدم‌هاي ۲ تا ٤ را ادامه مي‌دهيم، تا يك شرط توقف مناسب تحقق يابد. مهم‌ترين عنصر **SA** احتمال قبول و برنامه‌ريزي بازپخت مي‌باشد. احتمال قبول به عنوان احتمال قبول يك جواب غير بهبود يافته نسبت به جواب جاري است **(Balakrishnan et al.,2003).** اين احتمال توسط رابطه (٤٥) محاسبه مي‌شود:

$$P(\Delta TC) = \exp(-\Delta TC/Tc) \qquad (45)$$



جايي که $T_c$ دماي جاري است و $\Delta TC$ تغيير در هزينه کل را نشان مي‌دهد. (هزينه حل همسايه منهاي هزينه حل جاري و **ΔTC = f(y') – f(y)** اگر **x** يك عدد تصادفي در بازه ۰ و ۱ باشد و $x < P(\Delta TC)$ سپس قبول يك همسايه غيربهبود يافته به عنوان حل جاري در غير اين

صورت حل غیر بهبود یافته رد مي‌شود و حل جاري y را نگه مي‌دارد. در آغاز احتمال قبول حل غیر بهبود یافته زیاد است و این باید هنگامي که دماي آغازي تعیین شود در نظر گرفته شود. هر چند، همانطور که دما کاهش مي‌یابد احتمال قبول حل غیر بهبود یافته کاهش مي‌یابد. برنامه بازپخت همچنین برنامه سردشدن را مي‌دهد، تنظیم پارامترها براي SA، که براي کاهش دما استفاده مي‌شود. دماي جاري با معادله زیر تعیین مي‌شود:

$$,Tc = T_0\acute{\alpha}r-1,\ r = 1,2,...,R \qquad (46)$$

جایي که $T_0$ دماي آغازین است، به $\alpha$ نرخ سردشدن گفته مي‌شود که معمولاً در ۰/۱ تنظیم مي‌شود و ۱- R تعداد کاهش‌ها در دما است. قبل از کاهش دما تعداد تغییرات دودویي قبول شده مورد نیاز براي اجرا تا حصول اطمینان از رسیدن سیستم به حالت پایدار تعیین مي‌شود. هنگامي که دما پایین است این امکان وجود دارد که تعداد زیادي از تغییرات دودویي اجرا شوند اما تعداد کمي از آن‌ها قبول مي‌شود. بنابراین دما باید بعد از تعداد معیني از تغییرات کاهش یابد.

### الگوریتم جستجوي ممنوع

اگرچه بحث جستجوي ممنوع به اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ بر مي‌گردد ولي شکل فعلي این روش تنها چندین سال است که به طور گسترده‌اي مورد استفاده قرار گرفته شده است. در حال حاضر این روش به عنوان یک روش بهینه‌سازي که به سرعت در بسیاري از زمینه‌هاي جدید به کارگرفته مي‌شود مطرح است. این روش به عنوان یک روش نویدبخش براي حل مسائل و کاربردهاي علمي معرفي شده است. TS را مي‌توان به عنوان تکنیکي برگرفته از مفاهیم هوش مصنوعي در نظر گرفت. این تکنیک روشي کلي براي هدایت جستجو در دست‌یابي به جواب‌هاي خوب در فضاي جواب پیچیده است.



این روش به صورت یک الگوریتم متوالي مجموعه‌اي از جواب‌هاي مسئله یعني X را با حرکت‌هاي پي در پي از یک جواب s به جواب دیگر مثل 's در همسایگي آن، یعني N(s)

به‌دست مي‌آورد. اين حرکت‌ها با هدف رسيدن به يک جواب خوب (بهينه يا نزديک به بهينه) و با ارزيابي تابع هدفي مثل f(s) که مي‌بايست حداقل شود صورت مي‌گيرند. TS را مي‌توان به صورت يک روش ساده کاهنده به شکل زير خلاصه کرد:

قدم ۱- يک جواب اوليه $s\epsilon X$ را انتخاب کرده، فرض کنيد s*=s متغير شمارنده تکرارها (k) را مساوي صفر قرار دهيد و با T تهي آغاز کنيد (T ليست ممنوع است).

قدم ۲- يک ليست کانديد V از جواب‌هاي موجود در N(s) – T ايجاد کنيد. اگر N(s) – T تهي است به قدم ۴ رفته در غير اين صورت قرار دهيد k=k+1 و $s'\epsilon V$ را به گونه‌اي انتخاب کنيد که به ازاي هر $s''\epsilon V$ داشته باشيم f(s')≤f(s'').

قدم ۳- اگر f(s')<f(s*) (s* بهترين جوابي است که تا حال به‌دست آمده است) قرار دهيد s*=s'،

قدم ۴- اگر تکرارها به حداکثر تعداد از قبل تعيين شده رسيده و يا اگر N(s) – T=Φ است، و يا اينکه مستقيما از قدم ۲ به اين مرحله رسيده‌ايد توقف کنيد. در غير اين صورت ليست T را به روز کرده به قدم ۲ برگرديد.

## نتيجه‌گيري

پس از بررسي تمام مفاهيم مرتبط با حوزه مورد بررسي و سير پيشرفت و تکامل شيوه‌هاي مدل‌سازي و حل مدل‌ها در اين قسمت با استفاده از جداول سعي در ارائه يک دسته‌بندي کامل از اين حوزه داريم. جداول ارائه شده به روشني حوزه‌هايي که بيشتر مورد توجه بوده است و همچنين حوزه‌هايي که کمتر بدان پرداخته شده است را روشن مي‌کند. در جدول (۲) تقسيم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي آن‌ها ارائه شده است. در جدول (۲) اکثر مقالات موجود در اين حوزه (۱۳۰ مقاله ) مورد بررسي قرار گرفته است. بررسي دقيق اين جدول به روشني تمايل بيشتر به استفاده از QAP را نشان مي‌دهد هر چند که ديگر روش‌ها نيز همچنان مورد توجه هستند.

به دلیل اهمیت روش‌هاي حل متاهیورستیک و اقبال عمومي براي حل مسائل بهینه‌سازي بزرگ به کمک این روش‌ها در جدول (۳) به بررسي ۷۹ مقاله ارائه شده در ادبیات پرداخته‌ایم. با نگاهي کلي به جدول فوق استفاده بیشتر از **SA** و **GA** در حل مسائل به روشني به چشم مي‌خورد. همچنین در سال‌هاي اخیر تعداد مقالاتي که از الگوریتم **AA** براي حل مسائل بهینه‌سازي استفاده کرده‌اند به‌طور چشمگیري افزایش یافته است. اما همچنان تعداد مقالاتي که از الگوریتم **TS** براي حل استفاده کرده‌اند در مقایسه با دیگر روش‌ها کمتر مي‌باشد.

با توجه به گستردگي حوزه مورد مطالعه موارد بسیاري براي مطالعات آتي قابل ذکر هستند از آن جمله مي‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دخیل کردن محدودیت‌ها و فاکتورهاي موجود در دنیاي واقعي مانند محدودیت در بودجه، ارزش زماني پول و تمایل به حفظ وضعیت موجود در مدل.
- ارائه روشي کارا براي حل مسائل بسیار بزرگ (به طور مثال ۱۵۰ دپارتمان) که کمبود چنین روشي در ادبیات موضوع به چشم مي‌خورد. به عنوان مثال حل مسایل چیدمان با سایز بزرگ به روش مدل برنامه‌ریزي ریاضي با استفاده از الگوریتم‌هاي فرا ابتکاري **(Solimanpour&Jafari,2008)**.
- بهبود روش‌هاي حل موجود که همچنان افقي گسترده در ادبیات موضوع مي‌باشد. مانند توسعه حل مدل‌هاي ابتکاري براي چیدمان متعامد **(Ignacioi et al,2004)**.
- ترکیب روش‌هاي فوق و ارائه الگوریتم‌هاي بهبود یافته.
- تنظیم پارامترهاي الگوریتم براي دستیابي به زمان اجراي کمتر و مقدار تابع هدف بهتر.
- در نظر گرفتن هزینه متغیر براي مسایل چیدمان تسهیل که بر اساس مقدار تولید تغییر مي‌کند.
- در نظر گرفتن چند وسیله حمل و نقل که نوع آن‌ها بر اساس میزان تولید تعیین مي‌شود.
- در نظر گرفتن چیدمان چند طبقه در تولید سلولي و استفاده از وسایل حمل و نقل عمودي.
- در نظر گرفتن چیدمان پویا در تولید سلولي.

- در نظر گرفتن محدوديت وجود ستون و يا راهرو در چيدمان سلولي (Min et al,2008).
- استفاده از مدل‌هاي تصميم‌گيري چند شاخصه براي حل مسايل چيدمان سلولي و استفاده از پارامترهايي كه مي‌توانند براي تعيين كردن وزن عمليات مورد استفاده قرار گيرند (Ahi et al.,2009).
- بررسي مسائل چيدمان با سايز بزرگ به روش مدل برنامه‌ريزي رياضي با در نظر گرفتن جريان بين سلول‌ها (Wang et al.,2005).
- طراحي چيدمان داخل سلول و بين سلولي با در نظر گرفتن افق برنامه‌ريزي چند پريودي.
- در نظر گرفتن درجه نزديكي ارتباطات، نامحدود بودن مكان‌يابي در چيدمان سلولي (Tavakkoli-Moghaddam et al.,2007).
- استفاده از درخت جايگشت در حل مسايل چيدمان عمومي (Xie&Sahinidis,2007).
- استفاده از بُعد سوم براي طراحي چيدمان كارخانه، در نظر گرفتن جنبه‌هاي غير واقعي رويكردهاي استاتيك و نيز استفاده از رويكردهاي پويا، استفاده از متدهاي فازي در حالت عدم قطعيت، طراحي كارگاه‌هايي با در نظر گرفتن چند مجهول به طور همزمان (Amine et al., 2007).
- در نظر گرفتن طرح چيدمان U شكل با محدوديت‌هايي همچون زمان سفر اپراتور، مكان‌يابي حوزه تعميراتي، محدوديت‌هاي حمل و نقل و ايستگاه‌هاي موازي كه در بهره‌وري اپراتور موثر هستند (Aase et al.,2004).

| ردیف | نویسندگان | شماره منبع | سال | روش مدل‌سازی | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | QAP | GT | MIP | سایر | |
| 1 | Murtagh et al. | 145 | 1982 | X | | | X | |
| 2 | Dutta & Sahu | 144 | 1982 | X | | | X | |
| 3 | Foulds | 146 | 1983 | X | X | | | Graph theory |
| 4 | Kirkpatrick et al. | 119 | 1983 | X | | | | Simulated annealing |
| 5 | Burkard & Rendl | 120 | 1984 | X | | | | Simulated annealing |
| 6 | Herroelen & Vangils | 147 | 1985 | | | | X | Flow dominance theory |
| 7 | Fortenberry & Fox | 148 | 1985 | | | X | | Pair–wise exchange |
| 8 | Hammouche & Webster | 149 | 1985 | | | | | Graph theory (theoritical approach) |
| 9 | Foulds & Giffin | 150 | 1985 | | X | X | | Graph theory |
| 10 | Green & Al_Hakim | 151 | 1985 | | | X | X | |

| 11 | Rosenblatt | 91 | 1986 | X | | | | Dynamic programming |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | Kaku & Thomson | 122 | 1986 | X | | | | Simulated annealing |
| 13 | Hassan et al. | 152 | 1986 | | | X | X | Construction |
| 14 | Foulds et al. | 153 | 1986 | X | X | | | Graph theory |
| 15 | Urban | 154 | 1987 | X | | | X | |
| 16 | Wilhelm & Ward | 121 | 1987 | X | | | | Simulated annealing |
| 17 | Grobelny | 69 | 1987 | | | | X | Fuzzy approach |
| 18 | Evans et al. | 68 | 1987 | X | | | | Fuzzy set theory |
| 19 | Rosenblatt & Lee | 155 | 1987 | X | | | X | |
| 20 | Jacobs | 156 | 1987 | X | X | | | Graph theory |
| 21 | Montreuil et al. | 103 | 1987 | | X | | | Graph theory |
| 22 | Hassan & Hogg | 157 | 1987 | | X | | | Graph theory |
| 23 | Grobelny | 67 | 1988 | | | | X | Fuzzy approach |
| 24 | Kaku et al. | 158 | 1988 | X | | | X | |
| 25 | Kumar et al. | 159 | 1988 | | | | | Expert system, pattern recognition |
| 26 | Heragu & Kusiak | 24 | 1988 | | | X | X | |
| 27 | Smith & Macleod | 160 | 1988 | X | | | | L. R. and B & B |
| 28 | Malakooti&Tsurushima | 161 | 1989 | | | | X | Expert system, rule based |
| 29 | Malakooti | 162 | 1989 | | | | | |
| 30 | Heragu & Kusiak | 89 | 1990 | | | X | | Knowledge approach |

**جدول ۲- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي**

| ردیف | نویسندگان | شماره منبع | سال | روش مدل‌سازي | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | سایر | MIP | GT | QAP | |
| 31 | Abdou & Dutta | 163 | 1990 | | | | | Expert system |
| 32 | Houshyar & McGinis | 164 | 1990 | X | X | | | Cut approach |
| 33 | Connolly | 123 | 1990 | | | | X | Simulated annealing |
| 34 | Al-Hakim | 165 | 1991 | | | X | | Graph theory |
| 35 | Hassan & Hogg | 168 | 1991 | | X | X | | Graph theory |
| 36 | Logendran | 169 | 1991 | X | X | | | |
| 37 | Heragu & Kusiak | 166 | 1991 | X | X | | | Unconstrained opt. |
| 38 | Kaku et al. | 167 | 1991 | X | X | | | |

| 39 | Raoot & Rakshit | 66 | 1991 | | | | X | Fuzzy based |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | Burkard et al. | 170 | 1991 | X | | | | QAP LIB |
| 41 | Camp et al. | 171 | 1992 | | | X | X | Penalty function |
| 42 | Tam | 125 | 1992 | | | X | | Simulated annealing |
| 43 | Tam | 106 | 1992 | | | X | | Genetic algorithm |
| 44 | Heragu & Alfa | 126 | 1992 | | | | X | Simulated annealing |
| 45 | Kouvelis et al. | 127 | 1992 | X | | | | Simulated annealing |
| 46 | Jajodia et al. | 128 | 1992 | | | | X | Simulated annealing |
| 47 | Leung | 172 | 1992 | | X | | X | Graph theory |
| 48 | Kaku & Rachamadya | 173 | 1992 | X | | | X | |
| 49 | Rosenblatt & Golany | 174 | 1992 | X | | | X | |
| 50 | Goetschalckx | 175 | 1992 | X | X | | X | Graph theory |
| 51 | Harmonosky & Tothero | 78 | 1992 | X | | | X | Pairwise, construction |
| 52 | Askin & Mitwasi | 176 | 1992 | | | X | X | |
| 53 | Balakrishnan et al. | 177 | 1992 | X | | | X | |
| 54 | Al–Hakim | 178 | 1992 | | X | | | Grapht theory |
| 55 | Lacksonan & Enscore | 179 | 1993 | X | | | | B & B, cutting plane, D.P. |
| 56 | White | 180 | 1993 | X | | | | Branch and bound; convex programming |
| 57 | Yaman et al. | 181 | 1993 | X | | | X | |
| 58 | Das | 41 | 1993 | | | X | X | |
| 59 | Urban | 183 | 1993 | | | X | X | |
| 60 | Montreuil et al. | 184 | 1993 | | X | X | | Graph theory, LP |

**جدول ۲- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي (ادامه)**

| ردیف | نویسندگان | شماره منبع | سال | روش مدل‌سازي | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | QAP | GT | MIP | سایر | |
| 61 | Laursen | 124 | 1993 | X | | | | Simulated annealing |
| 62 | Shang | 129 | 1993 | X | | | | Simulated Annealing & AHP |
| 63 | Raoot & Rakshit | 182 | 1994 | | | | X | Fuzzy based |
| 64 | Bozer et al. | 45 | 1994 | | | | X | |
| 65 | Boswell | 185 | 1994 | | X | | X | Graph theory based |
| 66 | Sirinaovakul | 186 | 1994 | | | | X | Knowledge based expert |
| 67 | Langevin et al. | 187 | 1994 | | | X | X | |

| 68 | Trethway & Footle | 188 | 1994 | | | | X | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 69 | Souilah | 130 | 1995 | | | X | | Simulated annealing |
| 70 | Banerjee & Zhou | 134 | 1995 | | | X | | Genetic search |
| 71 | Tate & Smith | 135 | 1995 | X | | X | X | Genetic Algorithm |
| 72 | Peng et al. | 131 | 1996 | X | | | | Simulated annealing |
| 73 | Meller & Bozer | 43 | 1996 | | | | X | Simulated annealing |
| 74 | White | 189 | 1996 | X | | | | Lagrangian relaxation |
| 75 | Badiru & Arif | 190 | 1996 | | | | X | Fuzzy theory |
| 76 | Chiang & Kouvelis | 191 | 1996 | | | | X | Tabu Search |
| 77 | Watson & Giffin | 192 | 1997 | | | | X | Vertex splitting algo. |
| 78 | Meller | 44 | 1997 | | | X | X | |
| 79 | Lacksonan | 87 | 1997 | | | X | X | Branch & bound |
| 80 | Bozer & Meller | 193 | 1997 | | | | X | |
| 81 | Sarker et al. | 194 | 1998 | X | | | X | |
| 82 | Zetu et al. | 195 | 1998 | | | | | Virtual reality(Theoritical approach) |
| 83 | Urban | 196 | 1998 | X | | | | Dynammic programming |
| 84 | Kochhar & Heragu | 32 | 1998 | | | X | X | Extension of Genetic Algorithm |
| 85 | Islier | 136 | 1998 | | | | | Genetic Algorithm |
| 86 | Rajshekaran et al. | 36 | 1998 | | | X | X | Genetic Algorithm |
| 87 | Mak et al. | 118 | 1998 | | | X | | Genetic Algorithm |
| 88 | Mckendall et al. | 137 | 1999 | | | X | X | Genetic Algorithm nested approach |
| 89 | Kochhar & Heragu | 138 | 1999 | | | | X | Genetic Algorithm |
| 90 | Gau & Meller | 139 | 1999 | | | X | X | Genetic Algorithm |

**جدول ۲- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي (ادامه)**

| ردیف | نویسندگان | شماره منبع | سال | روش مدل‌سازي | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | QAP | GT | MIP | سایر | |
| 91 | Chan & Sha | 197 | 1999 | X | | | X | |
| 92 | Smith & Helm | 198 | 1999 | | | | X | Virtual reality (Theoritical approach) |
| 93 | Dweiri | 199 | 1999 | | | | X | Fuzzy based |
| 94 | Helm & Hadley | 200 | 2000 | | | X | X | Tabu–search based |
| 95 | Kim & Kim | 35 | 2000 | | | X | X | |
| 96 | Al–Hakim | 140 | 2000 | | | | | Genetic Algorithm |
| 97 | Ahuja | 141 | 2000 | X | | | | Genetic algorithm |

| 98 | Azadivar & Wang | 23 | 2000 | X | | | | Simulated annealing |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 99 | Baykasoglu & Gindy | 132 | 2001 | X | | | | Simulated annealing |
| 100 | Barbosa–Povoa et al. | 202 | 2001 | | | X | X | |
| 101 | Al–Hakim | 203 | 2001 | | | | | Maximally planer graph |
| 102 | Knowles & Corne | 201 | 2002 | X | | | | Multi–obj. approach |
| 103 | Wang & Sarker | 204 | 2002 | X | | | X | |
| 104 | Chan, Chan & Ip | 205 | 2002 | | | X | X | |
| 105 | Wu & Appleton | 142 | 2002 | | | X | | Genetic Algorithm |
| 106 | Misevicius | 133 | 2003 | X | | | | Simulated annealing |
| 107 | Balakrishnan et al. | 111 | 2003 | X | | | X | SA & Genetic Algorithm |
| 108 | Lee, Han & Roh | 143 | 2003 | | | X | | GA, Dijkstra algorithm |
| 109 | Diponegoro & Sarker | 206 | 2003 | X | | | X | |
| 110 | Castillo & Peters | 207 | 2003 | X | | | X | Extended distance based |
| 111 | M. Adel El–Baz | 207 | 2004 | | | | X | Genetic Algorithm |
| 112 | Solimanpur et al | 209 | 2004 | X | | | X | AA |
| 113 | Ficko et al | 210 | 2004 | | | | X | Genetic Algorithm |
| 114 | Ming–Jaan Wang et al | 211 | 2005 | X | | | X | Genetic Algorithm |
| 115 | Solimanpur et al | 212 | 2005 | X | | | X | Genetic Algorithm |
| 116 | Kyu–Yeul Lee et al | 213 | 2005 | | | | X | Genetic Algorithm |
| 117 | Thomas Dunker et al | 214 | 2005 | | | | X | Dynamic Programming – Genetic Algorithm |
| 118 | Deb & Bhattacharyya | 215 | 2005 | | | | X | Fuzzy |
| 119 | Yang et al | 216 | 2005 | | | | X | SA |
| 120 | Christian Hicks | 217 | 2006 | | | | X | Genetic Algorithm |

**جدول ۲- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي (ادامه)**

| ردیف | نویسندگان | شماره منبع | سال | روش مدل‌سازي | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | QAP | GT | MIP | سایر | |
| 121 | Aiello et al | 218 | 2006 | | | | X | Multi Obj. – GA |
| 122 | Baykasoglu et al | 219 | 2006 | X | | | | AA |
| 123 | Cheng Yeh | 220 | 2006 | | | | X | SA |
| 124 | McKendall et al | 221 | 2006 | X | | | | SA & AA |
| 125 | Ertay et al | 222 | 2006 | | | | X | AHP & Fuzzy |
| 126 | McKendall et al | 223 | 2006 | X | | | | SA |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 127 | Chiang et al | 224 | 2006 | X | | | | QAP – Combination optimization |
| 128 | Hani et al | 226 | 2007 | X | | | | AA |
| 129 | Socha & Dorigo | 225 | 2008 | | | | X | Continuous formulation – AA |
| 130 | Ramkumar et al | 227 | in press | X | | | | GA |

جدول ۲- تقسیم بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي (ادامه)

| ردیف | نویسندگان | شماره | سال | روش حل | | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AA | GA | SA | TS | سایر | |
| 1 | Kirkpatrick et al. | 119 | 1983 | | | X | | | |
| 2 | Burkard & Rendl | 120 | 1984 | | | X | | | |
| 3 | Fortenberry & Fox | 148 | 1985 | | | | | X | Pair–wise exchange |
| 4 | Rosenblatt | 91 | 1986 | | | | | X | Dynamic programming |
| 5 | Kaku & Thomson | 122 | 1986 | | | X | | | |
| 6 | Wilhelm & Ward | 121 | 1987 | | | X | | | |
| 7 | Grobelny | 69 | 1987 | | | | | X | Fuzzy approach |
| 8 | Evans et al. | 68 | 1987 | | | | | X | Fuzzy set theory |
| 9 | Kumar et al. | 159 | 1988 | | | | | X | Expert system, pattern recognitio |
| 10 | Smith & Macleod | 160 | 1988 | | | | | X | L. R. & B & B |
| 11 | Malakooti &Tsurushima | 161 | 1989 | | | | | X | Expert system, rule based |
| 12 | Heragu & Kusiak | 89 | 1990 | | | | | X | Knowledge approach |
| 13 | Abdou & Dutta | 163 | 1990 | | | | | X | Expert system |
| 14 | Houshyar & McGinis | 164 | 1990 | | | | | X | Cut approach |
| 15 | Connolly | 123 | 1990 | | | X | | | |
| 16 | Tam | 125 | 1992 | | | X | | | |
| 17 | Tam | 106 | 1992 | | X | | | | |
| 18 | Heragu & Alfa | 126 | 1992 | | | X | | | |
| 19 | Kouvelis et al. | 127 | 1992 | | | X | | | |
| 20 | Jajodia et al. | 128 | 1992 | | | X | | | |
| 21 | Lacksonan &Enscore | 179 | 1993 | | | | | X | B & B, cutting plane, D.P. |
| 22 | White | 180 | 1993 | | | | | X | Branch & bound; convex |
| 23 | Laursen | 124 | 1993 | | | X | | | |
| 24 | Shang | 129 | 1993 | | | X | | X | SA & AHP |
| 25 | Raoot & Rakshit | 182 | 1994 | | | | | X | Fuzzy based |
| 26 | Sirinaovakul | 186 | 1994 | | | | | X | Knowledge based expert |
| 27 | Souilah | 130 | 1995 | | | X | | | |
| 28 | Banerjee & Zhou | 134 | 1995 | | X | | | | |
| 29 | Tate & Smith | 135 | 1995 | | X | | | | |
| 30 | Peng et al. | 131 | 1996 | | | X | | | |

جدول ۳- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي بر پایه روش‌هاي هیورستیک

| مرجع | نویسندگان | شماره | سال | روش حل | | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AA | GA | SA | TS | سایر | |
| 31 | Meller & Bozer | 43 | 1996 | | | X | | | |
| 32 | White | 189 | 1996 | | | | | X | Lagrangian relaxation |
| 33 | Badiru & Arif | 190 | 1996 | | | | | X | Fuzzy theory |
| 34 | Chiang & Kouvelis | 191 | 1996 | | | | X | | Tabu Search |
| 35 | Lacksonan | 87 | 1997 | | | | | X | Branch & bound |
| 36 | Zetu et al. | 195 | 1998 | | | | | X | Virtual reality(Theoritical approach) |
| 37 | Urban | 196 | 1998 | | | | | X | Dynammic programming |
| 38 | Kochhar & Heragu | 32 | 1998 | | X | | | | Extension of GA |
| 39 | Islier | 136 | 1998 | | X | | | | |
| 40 | Rajshekaran et al. | 36 | 1998 | | X | | | | |
| 41 | Mak et al. | 118 | 1998 | | X | | | | |
| 42 | Mckendall et al. | 137 | 1999 | | X | | | | |
| 43 | Kochhar & Heragu | 138 | 1999 | | X | | | | |
| 44 | Gau & Meller | 139 | 1999 | | X | | | | |
| 45 | Smith & Helm | 198 | 1999 | | | | | X | Virtual reality (Theoritical approach) |
| 46 | Dweiri | 199 | 1999 | | | | | X | Fuzzy based |
| 47 | Helm & Hadley | 200 | 2000 | | | | X | X | |
| 48 | Al–Hakim | 140 | 2000 | | X | | | | |
| 49 | Ahuja | 141 | 2000 | | X | | | | |
| 50 | Azadivar & Wang | 23 | 2000 | | | X | | | |
| 51 | Baykasoglu & Gindy | 132 | 2001 | | | X | | | |
| 52 | Al–Hakim | 203 | 2001 | | | | | X | Maximally planer graph |
| 53 | Knowles & Corne | 201 | 2002 | | | | | X | Multi–obj. approach |
| 54 | Wu & Appleton | 142 | 2002 | | X | | | | |
| 55 | Misevicius | 133 | 2003 | | | X | | | |
| 56 | Balakrishnan et al. | 111 | 2003 | | X | X | | | SA & GA |
| 57 | Lee, Han & Roh | 143 | 2003 | | X | | | | GA, Dijkstra algorithm |
| 58 | Castillo & Peters | 207 | 2003 | | | | | X | Extended distance based |
| 59 | M. Adel El–Baz | 207 | 2004 | | X | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | Solimanpur et al | 209 | 2004 | X | | | | | |
| 61 | Ficko et al | 210 | 2004 | | X | | | | |
| 62 | Ming–Jaan Wang et al | 211 | 2005 | | X | | | | |
| 63 | Solimanpur et al | 212 | 2005 | | X | | | | |
| 64 | Kyu–Yeul Lee et al | 213 | 2005 | | X | | | | |
| 65 | Thomas Dunker et al | 214 | 2005 | | X | | | | |

جدول ۳- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي بر پایه روش‌هاي هیورستیک (ادامه)

| ردیف | نویسندگان | شماره منبع | سال | روش حل | | | | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AA | GA | SA | TS | سایر | |
| 66 | Deb & Bhattacharyya | 215 | 2005 | | | | | X | Fuzzy |
| 67 | Yang et al | 216 | 2005 | | | X | | | |
| 68 | Christian Hicks | 217 | 2006 | | X | | | | |
| 69 | Aiello et al | 218 | 2006 | | X | | | | |
| 70 | Baykasoglu et al | 219 | 2006 | X | | | | | |
| 71 | Cheng Yeh | 220 | 2006 | X | | | | | |
| 72 | McKendall et al | 221 | 2006 | X | | X | | | SA & AA |
| 73 | Ertay et al | 222 | 2006 | | | | | X | AHP |
| 74 | McKendall et al | 223 | 2006 | | | X | | | SA |
| 75 | Chiang et al | 224 | 2006 | | | | | X | QAP – Combination optimization |
| 76 | Hani et al | 226 | 2007 | X | | | | | AA |
| 77 | Socha & Dorigo | 225 | 2008 | X | | | | | AA |
| 78 | Ramkumar et al | 227 | in press | | X | | | | GA |

جدول ۳- تقسیم‌بندي مقالات بر اساس نوع مدل‌سازي بر پایه روش‌هاي هیورستیک (ادامه)

## منابع و مآخذ


[1] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M. and Trevino, J., (1996), Facilities planning, Wiley, New York.

[2] Aleisa, E.E. and Lin, L., (2005), for effectiveness facilities planning: Layout optimization then simulation, or vice versa. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.

[3] Garey, M.R. and Johnson D.S., (1979), a guide to the theory of NP–completeness, Computers and intractability: W.H. Freeman, New York.

[4] Levary, R.R. and Kalchik, S., (1985), Facilities layout–a survey of solution procedures, Computers & Industrial Engineering 9 (2), pp. 141–148.

[5] Kusiak, A. and Heragu S.S., (1987), the facilities layout problem, European Journal of Operational Research, 29 (3), pp. 229–251.

[6] Hassan, M.M.D., (1994), Machine layout problem in modern manufacturing facilities, International Journal of Production Research, 32 (11), pp. 2559–2584.

[7] Asef–Vaziri, A. and Laporte, G., (2005), Loop based facility planning and material handling, European Journal of Operational Research, 164 (1), pp. 1–11.

[8] Balakrishnan, J. and Cheng, C.H., (1998), Dynamic layout algorithms: A state–of–the–art survey, Omega, 26 (4), pp. 507–521.

[9] Pierreval, H., Caux, C., Paris, J.L. and Viguier, F., (2003), Evolutionary approaches to the design and organization of manufacturing systems, Computers & Industrial Engineering, 44 (3), pp. 339–364.

[10] Koopmans, T.C. and Beckmann, M., (1957), Assignment problems and the location of economic activities, Econometrica, 25 (1), pp. 53–76.

[11] Meller, R.D., Narayanan, V. and Vance, P.H., (1999), Optimal facility layout design, Operations Research Letters, 23 (3–5), pp. 117–127.

[12] Lee, Y.H. and Lee, M.H., (2002), A shape–based block layout approach to facility layout problems using hybrid genetic algorithm, Computers & Industrial Engineering, 42, pp. 237–248.

[13] Shayan, E. and Chittilappilly, A., (2004), Genetic algorithm for facilities layout problems based on slicing tree structure, International Journal of Production Research, 42 (19), pp. 4055–4067.

[14] Heragu S.S., (1997), Facilities design, BWS, Boston.

[15] Dilworth, J.B., (1996), Operation management, McGraw Hill.

[16] 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.

[17] Amine, D., Pierreval, H. and Hajri–Gabouj, S., (2007), Facility layout problems: A survey, Annual Reviews in Control, 31, 255–267.

[18] Chwif, L., Pereira Barretto, M.R. and Moscato, L.A., (1998), A solution to the facility layout problem using simulated annealing, Computers in Industry, 36 (1–2), pp. 125–132.

[19] El–Baz, M.A., (2004), A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments, Computers & Industrial Engineering, 47 (2–3), pp. 233–246.

[20] Devise, O. and Pierreval, A., (2000), Indicators for measuring performances of morphology and materials handling systems, International Journal of Production Economics, 64 (1–3), pp. 209–218.

[21] Hamann, T. and Vernadat, F., (1992), The intra cell layout problem in automated manufacturing system, 8th international Conference on CAD/CAM, robotics and factory of the future (CARs & FOF 92) Metz, France.

[22] Proth, J.M., (1992), Conception et gestion des systèmes de production, Presses Universitaires de France, pp. 68–77.

[23] Azadivar, F. and Wang, J., (2000), Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms, International Journal of Production Research, 38 (17), pp. 4369–4383.

[24] Heragu, S.S. and Kusiak, A., (1988), Machine layout problem in flexible manufacturing systems", Operations Research, 36 (2), pp. 258–268.

[25] Yang T., Peters, B.A. and Tu, M., (2005), Layout design for flexible manufacturing systems considering single–loop directional flow patterns", European Journal of Operational Research, 164 (2), pp. 440–455.

[26] Djellab, H. and Gourgand, A., (2001), A new heuristic procedure for the single–row facility layout problem, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 14 (3), pp. 270–280.

[27] Ficko, M., Brezocnick, M. and Balic, J., (2004), Designing the layout of single– and multiple–rows flexible manufacturing system by genetic algorithms, Journal of Materials Processing Technology, (157–158), pp. 150–158.

[28] Chaieb, I., (2002), Conception et exploitation des systèmes de production flexibles manufacturières: Introduction des tâches de transport, Ph.D. dissertation (in French). France: Spécialité en productique automatique et informatique industrielle, Ecole centrale de Lille.

[29] Cheng, R.., Gen, M. and Tosawa, T., (1996), Genetic algorithms for designing loop layout manufacturing systems, Computers & Industrial Engineering, 31 (3–4), pp. 587–591.

[30] Kumar, K.R., Hadjinicola, G.C. and Lin, T.L., (1995), A heuristic procedure for the single–row facility layout problem", European Journal of Operational Research 87 (1), pp. 65–75.

[31] Nearchou, A.C., (2006), Meta–heuristics from nature for the loop layout design problem, International Journal of Production Economics, 101 (2), pp. 312–328.

[32] Kochhar, J.S. and Heragu, S.S., (1998), MULTI–HOPE: A tool for multiple floor layout problems, International Journal of Production Research, 36 (12), pp. 3421–3435.

[33] Johnson, R.V., (1982), SPACECRAFT for multi–floor layout planning, Management Sciences, 28 (4), pp. 407–417.

[34] 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, Computers & Industrial Engineering, 30 (3), pp. 411–422.

[35] Kim, J.G. and Kim, Y.D., (2000), Layout planning for facilities with fixed shapes and input and output points, International Journal of Production Research, 38 (18), pp. 4635–4653.

[36] Rajasekharan, M., Peters, B.A. and Yang, T., (1998), A genetic algorithm for facility layout design in flexible manufacturing systems, International Journal of Production Research 36 (1), pp. 95–110.

[37] Welgama, P.S. and Gibson, P.R., (1993), A construction algorithm for the machine layout problem with fixed pick–up and drop–off points, International Journal of Production Research, 31 (11), pp. 2575–2590.

[38] Lawler, E. L., (1963), the quadradic assignment problem, Management Scince, 9, 586–599.

[39] Sahni, S, Gonzalez, T., (1976) P–complete approximation problem. Journal of ACM, 23:555–65.

[40] Burkard, R.E., (1983), location with spatial interaction–Quadratic assignment problem, discrete location theory, Academic Press, New York.

[41] Das, S.K., (1993), A facility layout method for flexible manufacturing system, International Journal of Production Research, 31 (2), pp. 279–297.

[42] Potts, C.N. and Whitehead, J.D., (2001), Workload balancing and loop layout in the deign of a flexible manufacturing system, European Journal of Operational Research, 129 (2), pp. 326–336.

[43] Meller, R.D. and Bozer, Y.A., (1996), a new simulated annealing algorithm for the facility layout problem, International Journal of Production Research, 34 pp. 1675–1692.

[44] Meller, R.D. and Bozer, Y.A., (1997), Alternative approaches to solve the multi–floor facility layout problem, Journal of Manufacturing Systems, 16 (3), pp. 192–203.

[45] Bozer, Y.A., Meller, R.D. and Erlebacher, S.J., (1994), an improvement–type layout algorithm for single and multiple floor facilities, Management Science, 40 (7), pp. 918–932.

[46] 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, Computers & Operations Research 32 (4), pp. 879–899.

[47] Matsuzaki, K., Takashi, I. and Yoshimoto K., (1999), Heuristic algorithm to solve the multi–floor layout problem with the consideration of elevator utilization, Computers & Industrial Engineering, 36 (2), pp. 487–502.

[48] Kouvelis and Chiang, P. W.C., (1992), A simulated annealing procedure for the single row layout problems in flexible manufacturing systems, International Journal of Production Research, 30 pp. 717–732.

[49] Chen, D.S., Wang, Q. and Chen, H.C., (2001), Linear sequencing for machine layouts by a modified simulated annealing, International Journal of Production Research, 39 (8), pp. 1721–1732.

[50] Patsiatzis and D.I. Papageorgiou, L.G., (2002), Optimal multi–floor process plant layout, Computers and Chemical Engineering, 26 (4–5), pp. 575–583.

[51] Zhou, J., (1998), Algorithmes ET outils pour l'analyse des flux de production à l'aide du concept d'ordre. Ph.D. dissertation (in French). University of Strasbourg 1.

[52] Nugent, C.E., Vollmann, T.E. and Ruml, J., (1968), an experimental comparison of techniques for the assignment of facilities of location, Operations Research 16, 150–173.

[53] Foulds, L.R., (1991), Graph Theory Applications, Springer Verlag, NY.

[54] Foulds, L.R. and Robinson, D.F., (1976), A strategy for solving the plant layout problem, Operation Research Quarterly, 27(4), 845–855.

[55] Harary, F., (1969), Graph Theory, Addison Wesley Reading, MA.

[56] Bondy, J.A. and Murty, U.S.R., (1976), Graph Theory with Application, North–Holland, New York.

[57] Rosenblatt, M.J., (1979), the facilities layout problem: a multigoal approach, International Journal of production Research, 17(4), 323–332.

[58] Braglia, M., (1996), Optimization of a simulated–annealing–based heuristic for single row machine layout problem by genetic algorithm, international Transactions in Operational Research, 3 (1), pp. 37–49.

[59] Meller, R.D. and Gau, K.–Y., (1996), the facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 15, 351–366.

[60] Dutta, K.N. and Sahu, S., (1982), A multigoal Heuristic for facility design problem MUGHAL, International Journal of Production Research, 20(2), 147–159.

[61] Kaufman, L. and Broechx, F., (1978), an algorithm for quadratic assignment problem using Benders' decomposition, European Journal of Operational Research 2, 204–211.

[62] Friezi, A.M. and Yadegar, J., (1983), on the quadratic assignment problem, Discrete Applied Mathematics 5, 89–98.

[63] Bazaraa, M.S. and Sherali, M.D., (1980), Benders' partitioning sheme applied to a new formulation of quadratic assignment problem, Journal of Operation Research society 33(1), 991–1003.

[64] Burkard, R.E. and Bonninger, T., (1983), A heuristic for quadratic Boolean program with applications to quadratic assignment problems, European Journal of Operational Research 13, 374–386.

[65] Meng, G., Heragu, S.S. and Zijm, H., (2004), Reconfigurable layout problem, International Journal of Production Research 42 (22), pp. 4709–4729.

[66] Raoot, A.D. and Rakshi, A. t, (1991), A 'fuzzy' approach to facilities layout planning, International Journal of Production Research 29, pp. 835–857.

[67] Grobeiny, J., (1987). The fuzzy approach to facility layout problems, Fuzzy Sets and Systems 23, pp. 175–190.

[68] Evans, G.W., Wilhlem, M.R. and Karwowsky, W., (1987), A layout design heuristic employing the theory of fuzzy sets, International Journal of Production Research 25, pp. 1431–1450.

[69] Grobelny, J., (1987), on one possible 'fuzzy' approach to facility layout problems, International Journal of Production Research 25, pp. 1123–1141.

[70] Gen, M., Ida, K. and Cheng, C., (1995), Multi row machine layout problem in fuzzy environment using genetic algorithms, Computers & Industrial Engineering, 29(1–4), pp. 519–523.

[71] Dweiri, F. and Meier, F.A., (1996), Application of fuzzy decision–making in facilities layout planning, International Journal of Production Research, 34 (11), pp. 3207–3225.

[72] Aiello, G. and Enea, M., (2001), Fuzzy approach to the robust facility layout in uncertain production environments, International Journal of Production Research, 39 (18), pp. 4089–4101.

[73] Chiang, W.C., Kouvelis, P. and Urban, T. L., (2006), Single– and multi–objective facility layout with workflow interference considerations, European Journal of Operational Research, 174, pp.1414–1426.

[74] Aiello, G., Enea, M. and Galante, G., (2006), A multi–objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method, Robotics and Computer–Integrated Manufacturing, 22, pp. 447–455.

[75] Apple, J.M., (1972), Material Handling Systems Design, John Wiley & Sons, New York.

[76] Luggen, W.W., (1991), Flexible Manufacturing Cells and Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

[77] Harmonosky, CM, Tothero, GK., (1992), A multi–factor plant layout methodology, Int J Prod Res, 30(8), pp.1773–89.

[78] Harmonosky, C.M. and Tothero, G.K., (1992), A multi–factor plant layout methodology, International Journal of Production Research, 30 (8), pp. 1773–1789.

[79] Yang, T. and Kuo, C., (2003), A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem, European Journal of Operational Research, 147, pp. 128–136.

[80] Chen, C.W. and Sha, D.Y., (2005), Heuristic approach for solving the multi–objective facility layout problem, International Journal of Production Research, 43 (21), pp. 4493–4507.

[81] Deb, S.K. and Bhattacharyya, B., (2005), Fuzzy decision support systems for manufacturing facilities layout planning, Decision Support Systems, 40, pp. 305–314.

[82] Deb, SK., and Bhattacharyya, B., (2003), Facilities layout planning based on fuzzy multiple criteria decision–making methodology, Int J Production Research, 41(18), 4487–504.

[83] Dunker, T., Radonsb, G. and Westkämpera, E., (2005), Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem, European Journal of Operational Research, 165 (1), pp. 55–69.

[84] 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, Journal of the operational research society, 50 (5), pp. 517–525.

[85] Chittratanawat, S. and Noble, J.S., (1999), An integrated approach for facility layout, P/D location and material handling system design, International Journal of Production Research, 37 (3), pp. 683–706.

[86] Aiello, G., Enea, M. and Galant, G.e, (2002), An integrated approach to the facilities and material handling system design, International Journal of Production Research 40 (15), pp. 4007–4017.

[87] Lacksonen, T.A., (1997), Preprocessing for static and dynamic facility layout problems, International Journal of Production Research, 35 (4), pp. 1095–1106.

[88] Mir, M. and Imam, M.H., (2001), A hybrid optimization approach for layout design of unequal–area facilities, Computers & Industrial Engineering, 39 (1–2), pp. 49–63.

[89] Heragu, S.S. and Kusiak, A., (1990), Machine layout: An optimization and knowledge–based approach, International Journal of Production Research, 28, pp. 615–635.

[90] Chung, Y.K., (1999), A neuro–based expert system for facility layout construction, Journal of Intelligent Manufacturing, 10 (5), pp. 359–385.

[91] Rosenblatt, M.J., (1986), the dynamics of plant layout, Management Science, 32 (1), pp. 76–86.

[92] Gilmore, P.C., (1962), Optimal and suboptimal algorithm for the Quadratic Assignment Problem, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematic 10, 305–313.

[93] Gvett, J.W. and Plyter, N.V., (1966), The Optimal assignment of facilities to location by branch and bound, Operations Research 14, 210–232.

[94] Land, A.H., (1963), a problem of assignment with interrelated costs, Operations Research Quarterly 14, 185–198.

[95] Burkard, R.E., (1984), Location with spatial interaction quadratic assignment problem, in: R.L. Francis and P.B Mirchandani (Eds), Discrete Location Theory, Academic Press, New York.

[96] Lavalle, I. and Roucairol, C., (1985), Parallel branch and bound algorithm, presented at EURO VIII, Bologna, Italy.

[97] Bazara, M.S., (1975), Computerized Layout design: A branch and bound approach, AIIE Transactions 7(4), 432–437.

[98] Bazara, M.S. and Kirca, O., (1979), A branch and bound based heuristic for solving quadratic assignment problem, Navel Research Logistics Quarterly 26, 106–121.

[99] Kaku, B.K. and Thompson, G.L., (1986), An exact algorithm for the general quadratic assignment problem, European Journal of Operation Research 23, 382–390.

[100] Burkard, R.E. and Bouninger, T., (1983), A heuristic for quadratic Boolean program with application to quadratic assignment problem, European Journal of Operation Research 13, 374–386.

[101] Singh, S. P.and Sharma, R. R. K., (2006), A review of different approaches to the facility layout problems, International Journal Advance Manufacturing Technology 30, 425–433.



[102] Armour, G.C. Buffa and E.S., (1963), A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities, Management Science 9 (2), pp. 294–300.

[103] Montreuil, B., Ratliff, HD., Goetschalckx, M., (1987), Matching based interactive facility layout, IIE Trans 19(3), 271–279.

[104] Goetschalckx, M., (1992), an interactive layout heuristic based on hexagonal adjacency graphs, European Journal of Operation Research, 63, 304–321.

[105] Hassan, MMD., Hogg, GL., Smith, DR. SHAPE., (1986), a construction algorithm for area placement evaluation, International Journal of Production Research 24(5), 1283–1295.

[106] Tam, K.Y., (1992), Genetic algorithms, function optimization and facility layout design, European Journal of Operational Research 63 (2), pp. 322–346.

[107] Tate, DM, Smith, AE, (1995), a genetic approach to the quadratic assignment problem, Comput & Operation Research 22, 73–83.

[108] Tompkins, J.A. and Reed, J.R., (1976), an applied model for the facilities design problem, International Journal of Production Research 14, pp. 583–595.

[109] Banerjee, P., Montreuil, B., Moodie, CL., Kashyap RL, (1992), A modeling of interactive facilities layout designer reasoning using qualitative patterns, International Journal of Production Research 30(3), 433–453.

[110] Foulds, LR., Robinson, DF., (1978), Graph theoretic heuristics for the plant layout problem, International Journal of Production Research, 16(1), 27–37.

[111] Balakrishnan, J., Cheng, C.H., and Wong, K.F., (2003), FACOPT: A user friendly FACility layout OPTimization system, Computers & Operations Research 30 (11), pp. 1625–1641.

[112] Solimanpur, M., Prem, Vrat, Ravi Shankar, (2005), An ant algorithm for the single row layout problem in & exible manufacturing systems, Computers & Operations Research 32, 583–598.

[113] Dorigo, M, Maniezzo, V., Colorni, A., (1996), the ant system: optimization by a colony of cooperating agents, IEEE Transactions on Systems, Man andCybernetics; 26(1), 1–13.

[114] StMutzle, T., Dorigo, M., (1999), ACO algorithms for the quadratic assignment problem, In: Corne D, Dorigo M, Glover F, editors. New ideas in optimization, New York: McGraw–Hill.

[115] Taillard, ED., Gambardella, LM., (1997), Adaptive memories for the quadratic assignment problem, Technical Report IDSIA–87–97, IDSIA, Lugano, Switzerland.

[116] Gambardella, LM., Taillard, ED., Dorigo, M., (1999), Ant colonies for the QAP, Journal of the Operations Research Society 50, 167–76.

[117] StMutzle, T., Hoos, HH., (2000), MAX–MIN ant system", Future Generation Computer Systems;16, 889–914.

[118] Mak, K.L., Wong, Y.S. and Chan, F.T.S., (1998), A genetic algorithm for facility layout problems, Computer Integrated Manufacturing Systems 11 (1–2), pp. 113–127.

[119] Kirkpatrick S, Gelatt Jr CD, Vecchi MP, (1983), Optimisation by simulated annealing, Sci 220(4598), 671–680.

[120] Burkard, RE, Rend, F., (1984), A thermodynamically motivated simulation procedure for combinatorial optimization problems, European Journal of Operation Research 17, 169–174.

[121] Wilhelm MR, Ward TL, (1987), solving quadratic assignment problems by simulated annealing, IIE Trans 19:107–119.

[122] Kaku, BK, Thompson, GL., (1986), an exact algorithm for the general quadratic assignment problem, Eur J Oper Res 23 (3):382–390.

[123] Connolly, DT., (1990), An improved annealing scheme for the QAP, Eur J Oper Res 46, 93–100.

[124] Laursen, PS., (1993), simulated annealing for the QAP–optimal tradeoff between simulation time and solution quality, Eur J Oper Res 69, 238–243.

[125] Tam, KY., (1992), A simulated annealing algorithm for allocating space to manufacturing cells, Int J Prod Res 30, 63–87.

[126] Heragu, SS., Alfa AS., (1992), Experimental analysis of simulated annealing based algorithms for the layout problem, Eur J Oper Res 57, 190–223.

[127] Kouvelis, P., Kurawarwala, A.A., and Gutierrez G.J., (1992), Algorithms for robust single and multiple period layout planning for manufacturing systems, European Journal of Operations Research 63 (2) , pp. 287–303.

[128] Jajodia, S., Minis, I., Harhalakis, G., Proth, J. M., (1992), CLASS: computerized layout solutions using simulated annealing, Int J Prod Res 30(1), 95–108.

[129] Shang, J., Multi–criteria facility layout problem: an integrated approach, Eur J Oper Res 66, 291–304.

[130] Souilah, A., (1995), Theory and methodology: simulated annealing for manufacturing systems layout design, Eur J Oper Res 82, 592–614.

[131] Peng, T., Huanchen, W., Dongme, Z., (1996), Simulated annealing for the quadratic assignment problem: a further study, Comput Ind Eng 31(3/4), 925–928.

[132] Baykasoglu, A. and Gindy, N.N.Z., (2001), A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem, Computers & Operations Research 28 (14), pp. 1403–1426.

[133] Misevicius, A., (2003), A modified simulated annealing algorithm for quadratic assignment problem, Informatica 14(4), 497–514.

[134] Banerjee, P. and Zhou, Y., (1995), facilities layout design optimization with single loop material flow path configuration, International Journal of Production Research 33 (1), pp. 183–204.

[135] Tate, DM., Smith, AE., (1995), A genetic approach to the quadratic assignment problem, Comput Oper Res 22, 73–83.

[136] Islier, A.A., (1998), A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design, International Journal of Production Research 36 (6), pp. 1549–1569.

[137] McKendall, AR., Noble, JS., Klein, CM., (1999), Facility layout of irregular–shaped departments using a nested approach, Int J Prod Res 37(13), 2895–2914.

[138] Kochhar, JS., Heragu, SS., (1999), Facility layout design in a changing environment, Int J Prod Res 37(11):2429–2446.

[139] Gau, KY., Meller, RD., (1999), An iterative facility layout algorithm, Int J Prod Res 37(16), 3739–3758.

[140] Al–Hakim, L., (2000), On solving facility layout problems using genetic algorithms, International Journal of Production Research 38 (11), pp. 2573–2582.

[141] Ahuja, RK., Orlin, JB., Tiwari., A., (2000), A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem, Comput Oper Res 27, 917–934.

[142] Wu, Y. and Appleton, E., (2002), The optimisation of block layout and aisle structure by a genetic algorithm, Computers & Industrial Engineering 41 (4), pp. 371–387.

[143] Lee, KY., Han, SN., Roh, M., (2003), An improved genetic algorithm for facility layout problems having inner structure walls and passages, Comput Oper Res 30, 117–138.

[144] Dutta, KN., Sahu, S., (1982), a multigoal heuristic for facilities design problems: MUGHAL, Int J Prod Res 20(2), 147–154.

[145] Murtagh, BA., Jefferson, TR., Sornprasit, V., (1982), A heuristic procedure for solving the quadratic assignment problem, Eur J Oper Res 9, 71–76.

[146] Foulds, LR., (1983), Techniques for facilities layout: deciding which pairs of activities should be adjacent, Manege Sci 9 (12), 1414–1416.

[147] Herroelen, W., Vangils, A., (1985), on the use of flow dominance in complexity measure for facility layout problems, Int J Prod Res 23(1), 97–108.

[148] Fortenberry, JC., Cox, JF., (1985), Multiple criteria approach to the facilities layout problem, Int J Prod Res 23(4), 773–782.

[149] Hammouche, A., Webster, D., (1985), Evaluation of an application of graph theory to the layout problem, Int J Prod Res 23 (5), 987–1000.

[150] Foulds, LR., Giffin, JW., (1985), A graph–theoretic heuristic for minimizing total transportation cost in facilities layout, Int J Prod Res 23, 1247–1257.

[151] Green, LH., Al–Hakim, LA., (1985), A heuristic for facility layout planning, Omega 13:469–474.

[152] Hassan, M.M.D., Hogg, G.L. and Smit, D.R.h., (1986), SHAPE: A construction algorithm for area placement evaluation, International Journal of Production Research 24 (5), pp. 1283–1295.

[153] Foulds, LR., Giffin, JW., Cameron, DC., (1986), Drawing a block plan with graph theory and a microcomputer, Comput Ind Eng 10, 109–116.

[154] Urban, TL., (1987), A multiple criteria model for the facilities layout problem, Int J Prod Res 25(12), 1805–1812.



[155] Rosenblatt, MJ., Lee, HL., (1987), A robustness approach to facilities design, Int J Prod Res 25, 479–486.

[156] Jacobs FR., (1987), A layout planning system with multiple criteria and a variable domain representation, Manage Sci 33, 1020–1034.

[157] Hassan, MMD., Hogg, GL., (1987), A review of graph theory applications to the facilities layout problem, Omega 15, 291– 300.

[158] Kaku, BK., Thompson, GL., Baybars, I., (1988), a heuristic method for the multi–story layout problem, Eur J Oper Res 37:384–397.

[159] Kumar, SRT., Kashyap, RL., Moodie, CL., (1988), Application of expert systems and pattern recognition methodologies to facilities layout planning, Int J Prod Res 26(5), 905–930.

[160] Smith, JM., Macleodl, R., (1988), A relaxed assignment algorithm for the quadratic assignment problem, INFORMS 26(3), 170– 190.

[161] Malakooti, B., Tsurushima, A., (1989), an expert system using priorities for solving multiple–criteria facility layout problems, Int J Prod Res 27(5), 793–808.

[162] Malakooti, B., (1989), multiple objective facility layouts: a heuristic to generate efficient alternatives, Int J Prod Res 27(7), 1225–1238.

[163] Abdou, G., Dutta, SP., (1990), an integrated approach to facilities layout using expert systems, Int J Prod Res 28(4), 685–708.

[164] Houshyar, A., McGinnis, LF., (1990), A heuristic for assigning facilities to locations to minimize WIP travel distance in a linear facility, Int J Prod Res 28(8), 1485–1498.

[165] Al–Hakim, LA., (1991), two graph theoretic procedures for an improved solution to the facilities layout problem, Int J Prod Res 29(8), 1701–1718.

[166] Heragu, S.S. and Kusiak, A., (1991), Efficient models for the facility layout problem, European Journal of Operational Research 53 (1), pp. 1–13.

[167] Kaku, BK., Thompson, GL., Morton, TE., (1991), A hybrid heuristic for the facilities layout problems, Comput Oper Res 18(3), 241– 253.

[168] Hassan, MMD., Hogg, GL., (1991), On constructing a block layout by graph theory, Int J Prod Res 29(6), 1263–1278.

[169] Logendran, R., (1991), Impact of sequence of operations and layout of cells in cellular manufacturing, Int J Prod Res 29 (2), 375–390.

[170] Burkard, RE., Kafish, S., Rend, F., (1991), QAPLIB– a quadratic assignment problem library, Eur J Oper Res 55, 115–119.

[171] Camp, DJV., Carter, MW., Vannelli, A., (1992), A nonlinear optimization approach for solving facility layout problems, Eur J Oper Res 57, 174–189.

[172] Leung, J., (1992), A graph–theoretic heuristic for flexible manufacturing systems, European Journal of Operational Research 57 (2), pp. 243–252.

[173] Kaku, K., Rachamadugu, R., (1992), Layout design for flexible manufacturing systems, Eur J Oper Res 57, 224–230.

[174] Rosenblatt, MJ., Golany, B., (1992), A distance assignment approach to the facility layout problem, Eur J Oper Res 57, 253–270.

[175] Goetschalckx, M., (1992), An interactive layout heuristic based on hexagonal adjacency graphs, Eur J Oper Res 63, 304–321.

[176] Askin, RG., Mitwasi, MG., (1992), Integrating facility layout with process selection and capacity planning, Eur J Oper Res 57, 162–173.

[177] Balakrishnan, J., Robert, Jacobs F. and Venkataramanan, M.A., (1992), Solutions for the constrained dynamic facility layout problem, European Journal of Operational Research 57 (2) (), pp. 280–286.

[178] Al–Hakim, LA., (1992), A modified procedure for converting a dual graph to a blok layout, Int J Prod Res 30(10), 2467–2476.

[179] Lacksonen, T.A. and Enscore, E.E., (1993), Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout problem, International Journal of Production Research 31, pp. 503–517.

[180] White, DJ., (1993), A convex form of the quadratic assignment problem, Eur J Oper Res 65:407–416.

[181] Yaman, R., Gethin, DT., Clarke, MJ., (1993), An effective sorting method for facility layout construction, Int J Prod Res 31 (2), 413–427.

[182] Raoot, AD., Rakshit, A., (1994), A fuzzy heuristic for the quadratic assignment formulation to the facility layout problem, Int J Prod Res 32(3), 563–581.

[183] Urban, T.L., (1993), A heuristic for the dynamic facility layout problem, IIE Transactions 25 (4) , pp. 57–63.

[184] Montreuil, B., Venkatadri, U., Ratliff, HD., (1993), Generating a layout from a design skeleton, IIE Trans 25(1), 3–15.

[185] Boswell, SG., (1994), A reply to 'a note on similarity of a new greedy heuristic for facility layout by graph theory to an existing approach, Int J Prod Res 32(1), 235–240.

[186] Sirinaovakul, B., Thajchayapong, P., (1994), A knowledge base to assist a heuristic search approach to facility layout, Int J Prod Res 32(1), 141–160.

[187] Langevin, A., Montreuil, B., Riopel, D., (1994), Spine layout design, Int J Prod Res 32(2), 429–442.

[188] Tretheway, SJ., Foote, BL., (1994), Automatic computation and drawing of facility layout with logical aisle structures, Int J Prod Res 32(7), 1545–1555.

[189] White, DJ., (1996), A lagrangean relaxation approach for a turbine design quadratic assignment proble, J Oper Res Soc 47:766–775.

[190] Badiru, AB., Arif, A., (1996), FLEXPERT: facility layout expert system using fuzzy linguistic relationship codes, IIE Trans 28, 295–308.

[191] Chiang, W.C. and Kouvelis, P., (1996), An improved tabu search heuristic for solving facility layout design problems, International Journal of Production Research 34 (9), pp. 2565–2585.

[192] Watson, KK., Giffin, JW., (1997), The vertex splitting algorithm for facilities layout, Int J Prod Res 35, 2477–2492.

[193] Bozer, YA., Meller, RD., (1997), A reexamination of distancebased facility layout problem, IIE Trans 29(7):549–560.

[194] Sarker, BR., Wilhelm, WE., Hogg, GL., (1998), One–dimensional machine layout problems in a multi–product flow line with equidistant layouts, Eur J Oper Res 105(3), 401–426.

[195] Zetu, D., Prashant, B., Schneider, P., (1998), Data input model for virtual reality–aided facility layout, IIE Trans 30(7), 597–620.

[196] Urban, TL., (1998), Solution procedures for dynamic facility layout problem, Annals Oper Res 76, 323–342.

[197] Chen, CW., Sha, DY., (1999), A design approach to the multiobjective facility layout problem, Int J Prod Res 37(5), 1175– 1196.

[198] Smith, RP., Helm, JA., (1999), Virtual facility layout design: the value of an iterative three–dimensional representation, Int J Prod Res 37(17), 3941–3957.

[199] Dweiri, F., (1999), Fuzzy development of crisp activity relationship charts for facilities layout, Comput Ind Eng 36(1), 1–16.

[200] Helm, SA., Hadley, SW., (2000), Tabu search based heuristics for multi floor facility layout, Int J Prod Res 38(2), 365–383.

[201] Knowles, JD., Corne, DW., (2002), Towards landscape analysis to inform the design of a hybrid local for the multi–objective quadratic assignment problem, Hybrid Intell Syst, 271–279.

[202] Barbosa–Povoa, AP., Mateus, R., Novais, AQ., (2001), Optimal two dimensional layout of industrial facilities, Int J Prod Res 39 (12), 2567–2593.

[203] Al–Hakim, LA., (2001), A note on efficient facility layout planning in a maximally planar graph model, Int J Prod Res 39 (7), 1549–1555.

[204] Wang, S., Sarker, BR., (2002), Locating cells with bottleneck machines in cellular manufacturing systems, Int J Prod Res 40 (2), 403–424.

[205] Chan, WM., Chan, CY., Ip, WH., (2002), A heuristic algorithm for machine assignment in cellular layout, Comput Ind Eng 44, 49–73.

[206] Diponegoro, A., Sarker, BR., (2003), Machine assignment in a nonlinear multi–product flowline, J Oper Res Soc 54(5), 472–489.

[207] Castillo I, Peters BA, "An extended distance based facility layout problem", Int J Prod Res 41(11), 2451–2479, 2003.

[208] El–Baz, M. Adel, (2004), A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments, Computers & Industrial Engineering 47, 233–246.

[209] Solimanpur, M., Vrat, P., Shankar, R., (2004), Ant colony optimization algorithm to the inter–cell layout problem in cellular manufacturing", European Journal of Operational Research 157, 592–606.

[210] Ficko, M., Brezocnik, M., Balic, J., (2004), Designing the layout of single– and multiple–rows flexible manufacturing system by genetic algorithms, Journal of Materials Processing Technology 157–158, pp 150–158.

[211] Wang, Ming–Jaan, Hu, Michael H., Ku, Meei–Yuh., (2005), A solution to the unequal area facilities layout problem by genetic algorithm, Computers in Industry 56, 207–220.

[212] Solimanpur, M., Prem, V., Ravi S., (2005), An ant algorithm for the single row layout problem in &exible manufacturing systems, Computers & Operations Research 32, 583–598.

[213] Lee K., Myung–Il, R., Hyuk–Su, J., (2005), An improved genetic algorithm for multi–&oor facility layout problems having inner structure walls and passages, Computers & Operations Research 32, 879–899.

[214] Thomas, D., G€unter, R., Engelbert, W., (2005), Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem, European Journal of Operational Research 165, 55–69.

[215] Deb, S.K., Bhattacharyya, B., (2005), Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning, Decision Support Systems 40, 305– 314.

[216] Taho, Y., Brett, A.P., Mingan, T., (2005), Layout design for flexible manufacturing systems considering single–loop directional flow patterns, European Journal of Operational Research 164, 440–455.

[217] Christian, H., (2006), A Genetic Algorithm tool for optimising cellular or functional layouts in the capital goods industry, Int. J. Production Economics 104, 598–614.

[218] Aiello, G., Enea, M., Galante, G., (2006), A multi–objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method, Robotics and Computer–Integrated Manufacturing 22, 447–455.

[219] Baykasoglu, A., Dereli, T., Sabuncu, I., (2006), An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems, Omega 34, 385 – 396.

[220] Cheng, Y., (2006), Architectural layout optimization using annealed neural network, Automation in Construction 15, 531 – 539.

[221] McKendall, Alan R. Jr., Shang, J., (2006), Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem, Computers & Operations Research 33, 790–803,m.

[222] Ertay, T., Ruan, D., Tuzkaya, U.R., 2006), Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems, Information Sciences 176, 237–262.

[223] McKendall, Alan R. Jr., Shang, J., Kuppusamy, S., (2006), Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem, Computers & Operations Research 33, 2431–2444.

[224] Chiang, W., Kouvelis, P., Urban, T.L., (2006), Single– and multi–objective facility layout with workflow interference considerations, European Journal of Operational Research 174, 1414–1426.

[225] Socha, K., Dorigo, M., (2008), Ant colony optimization for continuous domains, European Journal of Operational Research 185, 1155–1173.

[226] Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., Chen, H., (2007), Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, European Journal of Operational Research 183, 633–642.

[227] Ramkumar, A.S., Ponnambalam, S.G., Jawahar, N., Suresh, R.K., (in press), Iterated fast local search algorithm for solving quadratic assignment problems, Robotics and Computer–Integrated Manufacturing.

[228] Page, A.L., (1991), New product development survey: Performance, and best practices, PDMA Conference Chicago.

[229] Gupta, T. and Seifoddini, H., (1990), Production data based similarity coefficient for machine–component grouping decisions in the design of cellular manufacturing system, International Journal of Production Research 28 (4), pp. 1247–1269.

[230] Afentakis, P., Millen, R., Solomon, MM., (1990), namic layout strategies for flexible manufacturing systems, International Journal of Production Research;28:311–23.

[231] Min, Z., Selcuk, S., Rajan, Batta., Rakesh, Nagi., (2008), Facility placement with sub–aisle design in an existing layout, Eropean Journal Of Operational Research.

[232] Ahi A., Aryanezhad, Mir.B., Ashtiani, B., Makui A., (2009), A novel approach to determine cell formation, intracellular machine layout and cell layout in the CMS problem based on TOPSIS method, Computers & Operations Research, pages 1478–1496.

[233] Solimanpour M., Jafari A., (2008), Optimal solution for the two –dimentional facility layout problem using a branch–and–bound algorithm, Computers& Industrial Engineering, 606–619.

[234] Tavakkoli–Moghaddam, R., Javadian, N., Javadi, B., Safaei, N., (2007), Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands, Applied Mathematical and Computation, 721–728.

[235] Ignacio, C., Thaddeus, S., (2004), A spring – embedding approach for facility layout problem, Operational Research Society, 73–81.

[236] Wei, X., Nikolaos, V., (2007), A baranch –and–bound algorithm for the countinuos facility layout problem, Computers And chemical Engineering, 1016–1028.

[237] Aase, G.R., Olson, J.R., Schniederjans, M.J., (2004), U–shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, European journal of operational research, 698–711.