وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدلی برای چیدمان تسهیلات پویا با چند تابع هدف

استاد راهنمای اول:

آقاي دکتر بهزاد اشجری

استاد راهنمای دوم:

آقاي دکتر رضا توکلی مقدم

دانشجو:

شهاب عسگریان

1390

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات تحقیق

1-1- مقدمه 1
2-1- ضرورت تحقیق 2
3-1- پیشینه مسئله چیدمان تسهیلات 2
1-3-1- چیدمان ایستا در مقایسه با چیدمان پویا 2
2-3-1- مدلهای مسئله چیدمان تسهیلات 3
1-2-3-1- مسئله تخصیص درجه دو 3
3-3-1- اهداف در مسائل چیدمان تسهیلات 4
1-3-3-1- تابع هدف مبتنی بر فاصله 4
2-3-3-1- فاصله خطی شکسته و اقلیدسی 5
3-3-3-1- توابع هدف مبتنی بر مجاورت 6
4-3-1- الگوریتم‌های بهینه در مقابل الگوریتم‌های ابتکاری 9
1-4-3-1- الگوریتم‌های بهینه 9
2-4-3-1- الگوریتم‌های ابتکاری 10
4-1- تعریف کلی مسئله و هدف از انجام مطالعه 11
5-1- نرم‌افزارهای مطرح در چیدمان تسهیلات 12

فصل دوم: ادبیات و پیشینه موضوع

1-2- مقدمه 15
2-2- رویکردهای موجود جهت حل مسائل چیدمان تسهیلات 15
1-2-2- الگوریتم‌های بهینه 15
2-2-2- الگوریتم‌های ابتکاری 16
1-2-2-2- الگوریتم‌های سازنده 16
2-2-2-2- الگوریتم‌های بهبود دهنده 16
3-2-2-2- الگوریتم‌های ترکیبی 20
4-2-2-2- الگوریتم کلونی مورچه 20
3-2- الگوریتم‌های حل مسائل چیدمان پویا 24
1-3-2- مدلهای بهینه 24
2-3-2- مدلهای هیوریستیک 24

2-4- رویکردهای مختلف جهت مدلسازی با چند تابع هدفه 29
2-4-1-روش‌های وزنی 30
2-4-1-1-رتبه بندی 31
2-4-1-2-مقایسات زوجی 31
2-4-1-3-روش بردار ویژه 32
2-4-2- روش‌های جستجو 33
2-4-3- رویکرد بهینه‌گی پارتو 33
2-5- خصوصیات مدلهای مسئله چیدمان تهسیلات 34

فصل سوم: مدل ریاضی و روش حل پیشنهادی

3-1- مقدمه 40
3-2- تعریف مسئله 41
3-3- مفروضات و محدودیت‌ها 42
3-4- اندیس‌ها، پارامترهای ورودی و متغیرهای تصمیم مدل 43
3-4-1 اندیس‌ها 43
3-4-2 پارامترهای ورودی 43
3-4-3 متغیرهای تصمیم 43
3-5- مدل ریاضی 43

فصل چهارم: ارائه الگوریتم و روش حل پیشنهادی

4-1- مقدمه 50
4-2- روش حل 51
4-2-1- قدم اول: جمع‌آوری داده و تحلیل جریان مواد 53
4-2-2- قدم دوم: رسم نمودار از-به برای تابع هدف کمی 60
4-2-3-قدم سوم: مصاحبه با سهام‌داران بر روی عوامل کیفی 61
4-2-4- قدم چهارم: رسم نمودار مجاورت برای تابع هدف کیفی 63
4-2-5- قدم پنجم: اجرای الگوریتم ابتکاری ACO/SA-DML بر روی داده‌ها 65
4-2-6- قدم ششم: بدست آوردن چیدمان‌های تسهیلات مختلف 65
4-2-7- قدم هفتم: جمع بندی نتایج و ارائه پیشنهاد 67
4-3- پارامترهای الگوریتم ACO/SA-DML 71
4-4- الگوریتمACO/SA-DML 72
4-5- مقدار دهی پارامترها
4-6- جمع بندی

فصل پنجم: تحلیل نتایج محاسباتی

5-1- مقدمه

5-2- تفسیر نتایج

5-3- آزمایش الگوریتم ACO/SA-DML

5-3-1- تفسیر داده‌های مطالعه موردی شماره 1

5-3-1-1- حل 1

5-3-1-2- حل 2

5-3-2- تفسیر داده‌های مطالعه موردی شماره 2

5-3-2-1- حل 1

5-3-2-2- حل 2

5-3-3- تفسیر داده‌های مطالعه موردی شماره 3

5-3-3-1- حل 1

5-3-3-2- حل 2

5-4- تجزیه و تحلیل نتایج ACO/SA-DML

5-5- جمع‌بندی

فصل ششم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

6-1- مقدمه

6-2- نتیجه گیری

6-3- پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده

مراجع

ضمائم

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول 1-1 خلاصه نرم‌افزارهای چیدمان 14

جدول 4-1 نتایج حل برای مسئله چیدمان تسهیلات پویا 71

جدول 4-2 نتایج حل برای مسئله چیدمان چند هدفه 72

جدول الف-1 ضرایب مورد استفاده در الگوریتم حل 87

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 1-1 چیدمان تسهیلات با فرمول بندی QAP 4

شکل 1-2 نمودار از- به بکار برده شده در اهداف بر پایه فاصله 5

شکل 1-3 نمودار از- به متقارن 5

شکل 1-4 فاصله خطی شکسته در مقایسه با فاصله اقلیدسی 6

شکل 1-5 جدول درجه نزدیکی 8

شکل 1-6 نمودار رابطه فعالیت 8

شکل 2-1 فلوچارت الگوریتم دودویی 17

شکل 2-2 چیدمان تسهیلات M در N 18

شکل 2-3 فلوچارت الگوریتم آنیل شبیه سازی شده 19

شکل 2-4 فلوچارت الگوریتم HAS-QAP 23

شکل 2-5 رویکردهای مختلف به مسئله چیدمان تسهیلات 35

شکل 3-1 نمونه‌ای از ماتریس نرخ نزدیکی 46

شکل 3-2 ماتریس نرخ نزدیکی با مقادیر عددی اختصاص داده شده 46

شکل 3-3 مدل چیدمان تسهیلات پویا با چند تابع هدف 47

شکل 3-4 نمونه نمودار روابط 52

شکل 3-5 چیدمان تسهیلات بر پایه نمودار روابط 53

شکل 3-6 نمونه برگه درجات وزنی 56

شکل 3-7 روش پیاده سازی الگوریتم ACO/SA-DML بصورت کاربردی 57

شکل 3-8 چیدمان تسهیلات پویا تخصیص داده شده به دو مورچه 60

شکل 3-9 نمودار از- به فاصله 61

شکل 3-10 نمودار از- به جریان دوره 1 61
شکل 3-11 نمودار از- به جریان دوره 2 62
شکل 3-12 نمودار از- به جریان دوره 3 62
شکل 3-13 نمودار از- به نرخ نزدیکی دوره 1 63
شکل 3-14 نمودار از- به نرخ نزدیکی دوره 2 63
شکل 3-15 نمودار از- به نرخ نزدیکی دوره 3 64
شکل 3-15 نمودار از- به جریان نرمالیزه شده دوره 1 65
شکل 4-1 چیدمان تسهیلات پویا با اثر «انجام ندادن هیچ کار» 74
شکل 4-2 چیدمان تسهیلات پویا ایجاد شده توسط الگوریتم برای مجموعه داده‌های 1 75
شکل 4-3 چیدمان تسهیلات پویا ایجاد شده توسط الگوریتم برای مجموعه داده‌های 2 76
شکل 4-4 چیدمان تسهیلات پویا ایجاد شده با درنظر گرفتن مقدار عددی 5- برای x در مجموعه داده‌های 2 77
شکل 4-5 چیدمان تسهیلات پویا ایجاد شده توسط الگوریتم برای مجموعه داده‌های 3 78
شکل 4-6 چیدمان تسهیلات پویا ایجاد شده با درنظر گرفتن مقدار عددی 5- برای x در مجموعه داده‌های 3 79
شکل الف-1 ماتریس جریان مواد دوره زمانی اول 83
شکل الف-2 ماتریس جریان مواد دوره زمانی دوم 84
شکل الف-3 ماتریس جریان مواد دوره زمانی سوم 84
شکل الف-4 ماتریس فاصله 85
شکل الف-5 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی اول 85
شکل الف-6 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی دوم 86
شکل الف-7 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی سوم 86
شکل الف-8 ضریب همبستگی پیرسون بین ماتریسهای جریان مواد و نرخ نزدیکی 87
شکل ب-1 ماتریس جریان مواد دوره زمانی اول 88
شکل ب-2 ماتریس جریان مواد دوره زمانی دوم 89
شکل ب-3 ماتریس جریان مواد دوره زمانی سوم 89
شکل ب-4 ماتریس فاصله 90

شکل ب-5 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی اول 90
شکل ب-6 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی دوم 91
شکل ب-7 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی سوم 91
شکل ب-8 ضریب همبستگی پیرسون بین ماتریسهای جریان مواد و نرخ نزدیکی 91
شکل ج-1 ماتریس جریان مواد دوره زمانی اول 92
شکل ج-2 ماتریس جریان مواد دوره زمانی دوم 93
شکل ج-3 ماتریس جریان مواد دوره زمانی سوم 93
شکل ج-4 ماتریس فاصله 94
شکل ج-5 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی اول 94
شکل ج-6 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی دوم 95
شکل ج-7 ماتریس نرخ نزدیکی دوره زمانی سوم 95
شکل ج-8 ضریب همبستگی پیرسون بین ماتریسهای جریان مواد و نرخ نزدیکی 95

فصل اول

کلیات تحقیق

1-1 مقدمه

چیدمان تسهیلات نقش مهمی را در فرآیند تولید ایفا می‌کند و کاملا بر سودآوری یک شرکت اثرگذار می‌باشد. یک چیدمان موثر می‌تواند جریان مواد و فاصله بین دپارتمان‌ها را حداقل سازد که این امر منجر به کاهش هزینه جریان مواد و معمولا بهبود در چرخه زمان تولید است.

امروزه با توجه به تغییرات سریع شرایط تجاری، محیط تولیدات پویا رو به رشد و فزونی است. برای هم‌گام بودن با این شرایط، می‌بایست چیدمان تسهیلات با این تغییرات تطبیق پذیر باشد. محیطهای صنعتی پویا[1]ی امروز، به دلیل تغییرات سریع محیطهای تجاری دستخوش دوران فرازونشیب بسیاری می‌باشند. برای جا نماندن از آهنگ این تغییرات، چیدمان تسهیلات می‌بایست سازگار با تغییرات باشد. چیدمان می‌بایست «به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشد تا با تغییرات در طراحی محصول، طراحی فرآیند و برنامه‌ریزی سازگار گردد» [1]. هیراگو پیش‌بینی کرد که در برنامه‌ریزی تسهیلات آینده چینش مجدد تسهیلات موجود بسیار رایجتر از چینش کاملا جدید تسهیلات خواهد گردد.[5] چیدمان تسهیلات پویا (DFLP) با تغییرات چیدمان تسهیلات در طی زمان سروکار دارد. این نوع مسئله به عنوان یکی از مشتقات مسئله چیدمان تسهیلات ایستا (SFLP) توجه زیادی را به خود جلب نموده است. در این فصل به ضرورت تحقیق در رابطه با مسئله چیدمان تسهیلات پویا، پیشینه این موضوع و اطلاعات لازم جهت بررسی موضوع و مطالعه این رساله، تعریف مسئله و هدف از انجام رساله در دست ارائه می‌شود.

2-1 ضرورت تحقیق

برنامه‌ریزی چیدمان تسهیلات[2] نقش بسیار مهمی را در روند تولید ایفا می‌کند و تاثیر بسیاری بر سودآوری یک شرکت دارد. چیدمان انتخاب شده، رابطه فیزیکی بین فعالیتها از جمله جابجایی[3] مواد را برقرار می‌سازد [1].

[1] Dynamic Manufacturing Enviroments
[2] Facility layout planning
[3] Material Handling

از آنجایی که فعالیتهای مربوط به جابجایی مواد بین 20 تا 50 درصد کل هزینه‌های اجرایی یک شرکت تولیدی را به خود اختصاص می‌دهند [2] ، تولید کنندگان با چیدمان بهینه تسهیلاتشان می‌توانند هزینه تولید خود را کاهش داده و بر قابلیت رقابت خود بیافزایند. «تسهیلات می توانند به تنهایی باعث بدست آوردن و یا از دست دادن میلیونها دلار در سال گردند. تسهیلات می‌توانند برای تصمیم گیرندگان یک شرکت انعطاف پذیری موثربر هزینه را به ارمغان بیاورند و یا آنها را بدون هیچ انتخاب واقع بینانه‌ای برای ایجاد تغییر رها کنند»[3]. علاوه بر تمام این مسائل، هزینه‌های غیر مستقیم[4] یک شرکت نیز به اثربخشی چیدمانها وابسطه است.[4]

همانطور که اشاره گردید، طراحی چیدمان تسهیلات و فعالیتهای جابجایی مواد با یکدیگر مرتبط و عناصری جدانشدنی می‌باشند. یک چیدمان موثر می-تواند جریان مواد و فاصله‌ی بین محل دپارتمانها را به حداقل برساند که این امر منجر به کاهش هزینه جریان مواد و همچنین غالبا بهبود در چرخه زمانی می‌شود. به منظور طراحی تسهیلات جدید، هر دو عملکرد می‌بایست مد نظر قرار گیرند.

3-1 پیشینه مسئله چیدمان تسهیلات

در این بخش به بحث در باره پیشینه چیدمان تسهیلات خواهیم پرداخت که شامل موضوعات چینش ایستا و پویا[5]، مدلهای استفاده شده در مسئله چیدمان تسهیلات و اهداف مختلف برای سنجش میزان کارایی چیدمان تسهیلات می‌باشد.

1-3-1 چیدمان ایستا در مقایسه با چیدمان پویا

در مسئله چیدمان سنتی و یا ایستا فرض بر آنست که تمامی داده‌ها- دپارتمانها، مساحتها و جریان- ثابت هستند. اما شرایط کسب و کار پیوسته در حال تغییر است، بنابراین بیشتر پروژه‌های چیدمان به جای آنکه توسعه تسهیلات جدید باشد، طراحی دوباره تسهیلات موجود است.

در حال حاضر تولید محصولات تابع یک چرخه طول عمر کوتاه محصول است، خصوصا در صنایعی با فناوری روز که عوض کردن یک خط تولید با خط تولید محصولی دیگر و توقف خطوط تولید امری کاملا طبیعی است. تصمیم گیرندگان خصوصا مدیران و یا برنامه‌ریزان تسهیلات، با اطلاعات نا کاملی سرو کار دارند که به سرعت نیز منسوخ خواهند شد؛ آنها معمولا مجبورند در شرایطی که موقعیت یکی از تسهیلات را تعیین می‌کنند، نگران موقعیت سایر تسهیلات در آینده نزدیک باشند. به دلیل تغییرات پیوسته شرایط محیطی، بنگاه‌های اقتصادی مجبورند که انعطاف پذیر، سازگار و نوآور باشند.

برای هم‌گام بودن با تغییرات پر سرعت، چیدمان کارخانه می‌بایست مطابق با احتیاجات تولید محصولات همواره متغیر، دوباره طراحی شود. به همین منظور، برنامه‌ریزی چیدمان تسهیلات پویا[6] پدیدار می‌گردد. برعکس چیدمان سنتی تسهیلات که چیدمان در طول زمان ثابت می‌ماند، مفهوم چیدمان تسهیلات پویا بعد زمان را در برنامه‌ریزی چیدمان تسهیلات معرفی می‌کند. برنامه-ریزان و یا مدیران برای رسیدن به یک چیدمان تسهیلات پویا می‌بایست دوره-های زمانی[7] را نیز مد نظر قرار دهند. در هر دوره زمانی برای تشخیص اینکه آیا دوباره چینی تسهیلات لازم است یا خیر، می‌بایست هزینه‌های جریان مواد و هزینه چینش دوباره[8] مد نظر قرار گیرند. بدین منظور، در چیدمان تسهیلات پویا برآورد هزینه‌های جریان مواد و مجاورت دپارتمانها[9] لازم است.

---

[4] Indirect Cost
[5] Static and Dynamic Layout
[6] Dynamic Facility Layout Planning (DFLP)
[7] Time Periods
[8] Rearrangement Cost
[9] Department Adjacency

فاکتورهای متعددی وجود دارند که یک برنامه‌ریز تسهیلات می‌بایست در رابطه با چیدمان تسهیلات «پویا» مد نظر قرار دهد: (1) هزینه‌ای که بر اثر وقفه در زمان تولید ایجاد می‌شود؛ (2) هزینه جابجایی فیزیکی تسهیلات از مکان فعلی آنها به موقعیت جدید. (این شامل هزینه‌های برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی، ساختمان، جابجایی و نصب می‌باشد.) [6]

2-3-1 مدلهای مسئله چیدمان تسهیلات

مسئله چیدمان تسهیلات می‌تواند به طرق مختلفی مدلسازی شود که از مدلهای برجسته می‌توان به مسئله تخصیص درجه دو[10]، مدل برنامه‌ریزی مختلط خطی[11]، مدل پوشش مجموعه‌ای درجه دو[12] و مدل غیر خطی با ضوابط مخصوص در تابع هدف و محدودیتها اشاره کرد.[7]. از آنجایی که مسئله تخصیص درجه دو بیشترین ارتباط را به این تحقیق دارد، در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

1-2-3-1 مسئله تخصیص درجه دو

چیدمان تسهیلات مسئله تعیین مکان دپارتمانها با جریان مواد بین آنها، معمولا بصورت مسئله تخصیص درجه دو مدل می‌شود. مسئله QAP که توسط کوپمن و بکمن در سال 1957 معرفی شد[8]، بهترین تخصیص n دپارتمان در بین n مکان می‌باشد. لغت درجه دو از این حقیقت نشات می‌گیرد که این مسئله با ضرب جفتهای متغیر تصمیم مکانی سروکار دارد. مسئله تخصیص درجه دو نه تنها در برنامه‌ریزی چیدمان کارخانه ، بلکه در محیط دانشکده‌ها و چیدمان بیمارستانها، چیدمان صفحه‌کلیدها و برنامه‌ریزی کارگاه ساختمانی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود عمومیت زیاد، حل مسئله QAP با استفاده از الگوریتمهای حل سنتی،دشوار است. «محاسبات مسئله QAP با بیش از 15 تا 20 تسهیلات بسیار دشوار است و این شرایط در اواسط دهه 1970 اندکی تغییر کرده است».[8]

به منظور بررسی دقیقتر، فرض کنید که یک مجموعه n تایی از تسهیلات و یک مجموعه n تایی برای مکانها وجود دارد. برای هر جفت از مکانها، یک فاصله مشخص و برای هر جفت از تسهیلات یک میزان وزن و یا جریان تخصیص داده شده است (مثلا میزان ملزومات حمل شده بین دو تسهیلات). مسئله تخصیص تمامی تسهیلات به مکانهای مختلف است با این هدف که حاصلضرب فاصله در جریانهای مربوطه حداقل گردد. نمایش ریاضی مسئله تخصیص درجه دو در زیر نشان داده شده است [9]:

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{h=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} c_{jkhl}x_{jk}x_{hl} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{n} x_{jk} = 1 \qquad K = 1,\dots,n \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_{jk} = 1 \qquad j = 1,\dots,n \quad (3)$$

$$x_{jk} = (0,1) \qquad \text{for all j and k} \quad (4)$$

[10] Quadratic Assignment Problem (QAP)
[11] Linear Mixed-Integer Programming model
[12] Quadratic Set Covering model

مشکل فرمول بندی QAP الزام برابری تعداد دپارتمانها و مکانهای استقرار است. اگر تعداد مکانهای استقرار کمتر از دپارتمانها باشد، مسئله را نمی‌توان بصورت QAP مدلسازی کرد.[7]

شکلی بصورت زیر برای نمایش چیدمان تسهیلات در فرمولبندی QAP استفاده می‌شود. هر یک از حروف ABCD نماد یک دپارتمان و شماره‌ها نمایانگر محل استقرار می‌باشند.

Dept A [1]	Dept B [2]
Dept C [3]	Dept D [4]

شکل 1-1 چیدمان تسهیلات با فرمول بندی QAP

3-3-1 اهداف در مسائل چیدمان تسهیلات

برای رسیدن به چیدمانهای مطلوب تسهیلات، دو رویکرد در الگوریتمهای چیدمان تسهیلات مورد مطالعه قرار گرفته‌اند:

1. تابع هدف بر پایه حداقل سازی فاصله با دیدگاه کمی
2. تابع هدف بر پایه حداکثر سازی مجاورت با دیدگاه کیفی

1-3-3-1 تابع هدف بر پایه فاصله (کمی)[13]

هدف کلی این رویکرد حداقل سازی مجموع حاصلضرب جریانها در فاصله‌ها می‌باشد. جریان مواد بصورت یک نمودار از-به نشان داده می‌شود. نمونه‌ای از نمودار از-به در زیر نشان داده می‌شود:

		به دپارتمان			
		A	B	C	D
از دپارتمان	A	-	10	15	20
	B	10	-	10	5
	C	15	10	-	5
	D	20	5	5	-

شکل 1-2- نمودار از- به بکار برده شده در اهداف بر پایه فاصله

برای تفسیر نمودار از-به، تقاطع دپارتمان A (ردیف اول) و دپارتمان B (ستون دوم) که مقدار 10 را نمایش می‌دهد را مشاهده کنید. این مقدار نشان دهنده هزینه جابجایی مواد از دپارتمان A به دپارتمان B است که می‌توان آنرا جریان مواد، تجهیزات، نیروی کاری و یا اطلاعات بین دو دپارتمان در نظر گرفت. توجه شود که چون نمودار (یا ماتریس) از-به متقارن است، برای مثال مقدار A به B با B به A برابر است، ماتریس از-به بصورت زیر نیز می‌تواند نمایش داده شود که در آن تنها نیمه پایینی ماتریس پر گردیده است:

	به دپارتمان			
	A	B	C	D

[13] Distance-based (Quantitative) Objective

	A	-			
	B	10	-		
از دپارتمان	C	15	10	-	
	D	20	5	5	-

شکل 1-3 نمودار از- به متقارن

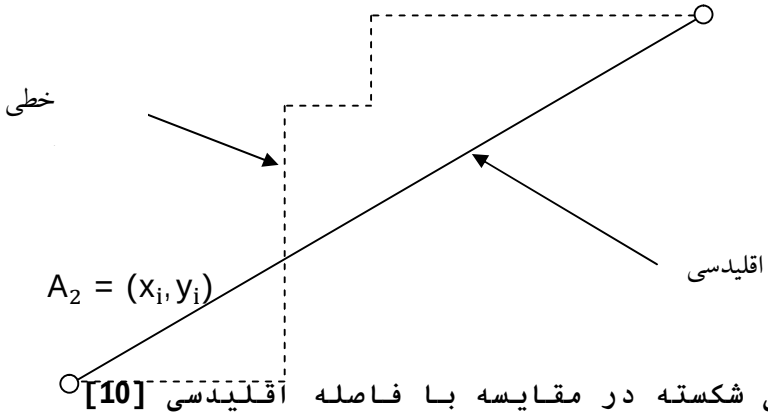
1-3-3-2 فاصله خطی شکسته[14] و اقلیدسی[15]

دو روش عمومی جهت سنجش فاصله بین دو دپارتمان وجود دارد. اولین روش، استفاده از فاصله متریک خطوط مستقیم متعامد متصل کننده‌ی بین دپارتمانهاست. حمل کننده‌ی موادی که درون راهروهای متعامد در چیدمان تسهیلات حرکت می‌کند مثالی از این نوع سنجش فاصله است. فاصله خطی شکسته بین دو نقطه بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A_1 = (x_i, y_i) \text{ and } A_1 = (x_j, y_j); \text{Distance} = (x_j - x_i) + (y_j - y_i) \qquad (5)$$

روش دیگر، روش اقلیدسی (یا فاصله مستقیم) است و بوسیله اندازه متریک خط مستقیم وصل کننده بین دو نقطه محاسبه می‌گردد. یکی از کارکردهای فاصله اقلیدسی، محاسبه فاصله یک کانوایر مستقیم الخط واصل بین دو ایستگاه کاری است. فاصله بین همان نقاط A_1 و A_2 بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{Distance} = \sqrt{(x_j - x_i) + (y_j - y_i)} \qquad (6)$$



شکل 1-4 فاصله خطی شکسته در مقایسه با فاصله اقلیدسی [10]

برای محاسبه فاصله بین دو دپارتمان، می‌توان فاصله بین نقاط بارزدن و تخلیه بار دو دپارتمان را اندازه گرفت. اما بدلیل سادگی و اینکه معمولا نقاط تخلیه و بار زدن مشخص نمی‌باشند، اندازه گیری مرکز تا مرکز[16] استفاده می‌شود. در اینصورت فاصله‌ی بین مرکز یک دپارتمان تا دپارتمان دیگر اندازه‌گیری می‌شود. با وجود اینکه « سنجش CTC الگوی اصلی جریان مواد را در هر وسیله را نشان می‌دهد اما قادر به ضبط سایر جزئیات مربوط به پیکربندی داخلی یک وسیله نیست»[11] سنجش CTC در اکثر الگوریتم‌های چیدمان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

---

[14] Rectilinear
[15] Euclidean
[16] Centroid-to-Centroid (CTC)

3-3-3-1 توابع هدف بر پایه مجاورت

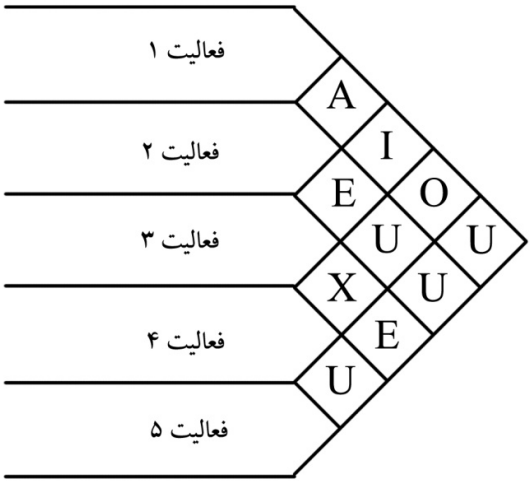
معمولا ارزیابی چیدمان تسهیلات بر اساس فاصله به تنهایی کافی نیست. گاهی لازم است که جنبه‌های کیفی چیدمان تسهیلات نیز مد نظر قرار گیرند. عواملی که بر لزوم نزدیکی بین دو دپارتمان یا وسیله را موثر می‌باشند عبارتند از: (1) میزان جریان کار، (2) دلایل ایمنی/ اصول فنی و (3) ترجیح اپراتور. جریان کار بین دو وسیله شامل کل جریان مواد، تجهیزات، نیروی کار و اطلاعاتی است که بین آن دو انتقال می‌یابد. گاهی نزدیکی دو دپارتمان یا وسیله منجر به افزایش احتمال وقوع حادثه، آلودگی صوتی، آلودگی حرارتی و از این قبیل مشکلات می‌شود و در اینصورت از خطرات محیطی و ایمنی بین آن دو دپارتمان یا وسیله نباید چشم پوشی شود. برای مثال کوره آهنگری و ایستگاه‌های تعدیل حرارت قطعات حتی در صورت ناچیز بودن جریان کار بین آندو، می‌بایست در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. از طرف دیگر ایستگاه جوشکاری و ایستگاه نقاشی با وجود تعامل نزدیک نمی‌توانند در مجاورت هم باشند زیرا حرارت و جرقه‌های ناشی از فرآیند جوشکاری می‌تواند منجر به اشتعال محلولهای قابل اشتعال شود.[12] سومین عامل یا همان ترجیحات اپراتور بسیار رایج است اما تشخیص آن دشوار می‌باشد. مدیر تسهیلات با دلیل موجه و یا بدون هیچ دلیل بخصوصی تصمیم می‌گیرد که بدون توجه به جریان مواد و یا جریان کاری، دو وسیله و یا دپارتمان نزدیک به یکدیگر و یا کاملا دور از هم قرار گیرند[13].

برای تعیین میزان ارجحیت مجاورت بین تسهیلات می‌توان از نمودار رابطه فعالیت[17] استفاده نمود. نمودار رابطه فعالیت به عنوان روند سیستماتیک برآورد بعد کیفی چیدمان تسهیلات در برنامه ریزی سیستماتیک چیدمان[18] بکار برده می‌شود. [14] برای تشخیص روابط مجاورت بین هر جفت از دپارتمانها، مجموعه‌ای از کدهای حرفی استفاده می‌شود:

[17] Activity Relationship Chart
[18] Systematic Layout Planning

میزان نزدیکی	کد رابطه
لازم[19]	A
بسیار مهم[20]	E
مهم[21]	I
نزدیکی عادی[22]	O
غیر مهم[23]	U
نامطلوب[24]	X

شکل 1-5 جدول درجه نزدیکی



شکل 1-6 نمودار رابطه فعالیت [15]

درجه نزدیکی میزان مطلوبیت «نزدیکی» برای هم جوار بودن دو دپارتمان را مشخص می‌سازد. یک جفت از دپارتمانها با درجه نزدیکی A می‌بایست تحت هر شرایطی در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. برای مثال، دپارتمان بازرسی مواد اولیه می‌بایست دقیقا در مجاورت با جایگاه دریافت قرار گیرند تا بتوانند مواد ورودی را کنترل کنند. مثالی دیگر الزام وجود دوش آب از جهت ایمنی در مجاورت دپارتمانیست که با مواد اسیدی سروکار دارد. دو دپارتمان با درجه نزدیکی E می‌بایست تا زمانی که مجاورت آنها منجر به جدایی دو دپارتمان با درجه نزدیکی A نشود، می‌بایست در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. یک مثال خوب قرار دادن محل دریافت کالا در مجاورت انبار می‌باشد. درجه نزدیکی I نمایانگر اهمیت مجاورت دو دپارتمان می‌باشد اما نه به مهمی درجات A و E. فیلیپس [16] پیشنهاد می‌دهد که برای ایجاد تصویر بهتر از شرکت، تجهیزات با تکنولوژی روز را در نزدیکی ورودی بازدیدکنندگان قرار داده شوند. دپارتمانهایی با درجه نزدیکی O احتمالا تنها به این دلیل که بصورت سنتی در کنار یکدیگر قرار می‌گرفته‌اند در مجاورت هم چیده می‌شوند. قرار دادن محوطه رستوران در کنار باشگاه ورزشی کارگران می‌تواند مثالی از این نوع درجه نزدیکی باشد. برای دپارتمانهایی با درجه نزدیکی U الزامی به مجاورت وجود ندارد. این نوع دپارتمانها به هیچ دلیلی با یکدیگر مرتبط نمی-باشند. برای مثال محل ورود کالا و دفتر مدیریت تا زمانی که محوطه مجموعه

[19] Absolutely Necessary
[20] Especially Important
[21] Important
[22] Ordinary Close
[23] Unimportant
[24] Undesirable

بسیار کوچک نباشد معمولا در کنار یکدیگر قرار نمی‌گیرند. دپارتمانهایی که دارای درجه نزدیکی X با یکدیگر هستند تحت هیچ شرایطی نمی‌بایست در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. مثالی که این نوع شرایط مجاورت را نشان دهد همان کارگاه جوشکاری و کارگاه نقاشی می‌باشند. یک جرقه کوچک جوشکاری می‌تواند منجر به آتش سوزی فاجعه‌بار در کارگاه نقاشی شود.

کدهای درجه نزدیکی را می‌توان به مقادیر عددی نیز تبدیل نمود. برای مثال می‌توان مقادیر عددی را بصورت زیر به هر یک از کدهای درجه نزدیکی تخصیص داد: 6 به A، 5 به E، 4 به I، 3 به O، 2 به U و منفی1 به X. اکثرا به کد X مقادیر منفی اختصاص داده می‌شود و دراین شرایط بسیار نادر است که چنین دپارتمانهایی در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. بر اساس این نوع درجات نزدیکی می‌توان الگوریتمی را برای تعیین چیدمان دپارتمانها طراحی نمود که به حداکثر امتیاز مجاورت دست یابد. امتیاز مجاورت بصورت مجموع امتیازات تمامی دپارتمانهایی که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌گردد:

$$\max z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} f_{ij}x_{ij} \qquad (7)$$

بصورتی که اگر دو دپارتمان i و j در مجاورت یکدیگر باشند، x_{ij} مقدار 1 و در غیر اینصورت 0 را اختیار می‌کند؛ f_{ij} نمایانگر جریان بین دپارتمانهای i و j می‌باشد.

تامپکینز و همکاران [9] یک قدم فراتر گذاشته و با تقسیم کردن کل امتیاز مجاورت چیدمان به مجموع جریان بین تسهیلات، درجه بهره‌وری را تعریف نمودند. روش محاسبه درجه بهره‌وری بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} f_{ij}x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} f_{ij}} \qquad (8)$$

4-3-1 الگورتیمهای بهینه در مقابل الگوریتمهای ابتکاری[25]

الگوریتم‌های چیدمان را می‌توان به دو دسته بهینه و ابتکاری تقسیم نمود. الگوریتم‌های بهینه همواره به دنبال رسیدن به بهترین جواب برای مسئله داده شده می‌باشند. الگوریتمهای ابتکاری بدنبال یک جواب مناسب هستند اما متعهد به بدست آوردن بهترین جواب موجود نمی‌باشند. هر دو نوع از الگوریتمهای مطرح شده نقاط ضعف و قوت مخصوص به خودرا داشته و دارای کاربردهای مخصوص به خود می‌باشند.

1-4-3-1- الگوریتمهای بهینه

الگوریتم‌های بهینه بهترین راه حل را بدست می‌آورند؛ اما با این وجود، برای مسائل NPC[26] (مسائل NP کامل) مانند QAP و سایر مسائل چیدمان، زمان محاسبات الگوریتم بهینه می‌تواند بسیار زیاد باشد و در شرایطی ممکن است سالها بطول انجامد! [12] اگر یک مسئله NPC باشد، بدین معنی است که این مسئله در زمان چندجمله‌ای[27] قابل حل نمی‌باشد. برای مسائل با اندازه کوچک، می‌توان برای یافتن بهترین جواب از الگوریتم‌های بهینه استفاده نمود اما برای مسائل با اندازه‌های بزرگ استفاده از چنین الگوریتم‌هایی عملی نمی‌باشد. از الگوریتم‌های بهینه جهت استفاده در مسائل چیدمان می‌توان به برنامه-ریزی پویا[28]، انشعاب و تحدید[29]، الگوریتم‌های تجزیه[30] و الگوریتم برش صفحه[31] اشاره کرد.

---

[25] Heuristic
[26] None-deterministic Polynomial-Time (NP-Complete)
[27] Polynomial Time
[28] Dynamic Programming

2-4-3-1 الگوریتمهای ابتکاری

بر خلاف الگوریتم‌های بهینه، هدف الگوریتم‌های ابتکاری یافتن یک جواب مناسب در یک زمان محاسباتی قابل قبول می‌باشد. در این نوع روشها ضمانتی برای جلوگیری از بدتر شدن جواب وجود ندارد. الگوریتم‌های ابتکاری با استناد بر احتمالات و استفاده از شرایط تصادفی برای حل مسائلی با ابعاد بزرگ بکار برده می‌شوند. مثالهایی از این نوع الگوریتم‌ها، الگوریتم ژنتیک[32](GA)، الگوریتم جستجوی ممنوع[33](TS)، آنیل شبیه سازی شده[34](SA) و بهینه سازی الگوریتم مورچه[35](ACO) نام برد.

سه دسته متفاوت از الگوریتم‌های ابتکاری برای حل مسائل چیدمان تسهیلات وجود دارد: الگوریتم‌های سازنده[36]، الگوریتم‌های بهبود دهنده[37] و الگوریتم‌های مرکب[38]. تعاریف این نوع از تقسیم بندی برگرفته از طراحی تسهیلات هیراگو [17] می‌باشد.

همانطور که از نام الگوریتم‌های سازنده نمایان است، این نوع الگوریتم بدون استفاده از هیچ طرح قبلی ، از ابتدا یک چیدمان برای تسهیلات ارائه می‌دهند. این نوع الگوریتم با یک فضای خالی شروع کرده و یک (یا یک مجموعه) وسیله و یا دپارتمان را پس از دپارتمان دیگر بر روی فضای خالی قرار می‌دهد تا کل چیدمان تسهیلات تکمیل گردد. تفاوت بین الگوریتم‌های سازنده مختلف بیشتر وابسته به معیارهای تصمیم‌گیری آنها می‌باشد:

- اولین دپارتمانی که در چیدمان قرار می‌گیرد
- دپارتمان و یا دپارتمانهای بعدی که به چیدمان اضافه می‌گردد
- موقعیت و محل تسهیلات در چیدمان

مسئله فروشنده دوره‌گرد یا همان TSP[39] ارائه‌ای از این نوع الگوریتم‌ها می‌باشد که در آن با اضافه کردن یک شهر پس از شهر دیگر یک راه حل برای مسئله یافت می‌شود. مسئله فروشنده دوره‌گرد، یکی از مسائل کاملا شناخته شده در زمینه الگوریتم‌های ابتکاری، این سوال را مطرح می‌کند که: « تعدادی شهر و هزینه سفر از هر شهر به شهر دیگر مشخص است، کم هزینه-ترین مسیر جهت تنها یکبار عبور از تمامی شهرها و بازگشت به شهر آغازین کدام است؟»

الگوریتم‌های بهبود دهنده بر پایه این مفهوم استوارند که با ایجاد سلسله مراتبی از بهبود در چیدمان فعلی می‌توان به چیدمان متفاوت بهتری دست یافت. این الگوریتم‌ها چیدمان اولیه را از کاربر دریافت می‌کنند، چیدمان را بهبود بخشیده و راه حل بهبود داده شده را ارزیابی می‌کنند. اگر چیدمان معیار مطلوب را برآورده کند-برای مثال بهبود مقدار تابع هدف -(OFV)[40] اصلاح و بهبود ایجاد گردیده است؛ در غیر اینصورت تغییر رد خواهد شد. این تغییرات تا زمانی که دیگر بهبودی حاصل نگردد و یا به معیار مشخصی دست یافته شود، ادامه خواهد داشت.

---

[29] Branch and Bound
[30] Decomposition Algorithm
[31] Cutting Plane Algorithm
[32] Genetic Algorithm
[33] Tabu Search
[34] Simulated Anealing
[35] Ant Colony Optimization
[36] Construction Algorithms
[37] Improvement Algorithms
[38] Hybrid Algorithms
[39] Traveling Salesman Problem
[40] Objective Function Value

تعویض دوبه‌دو[41] یک الگوریتم بهبود دهنده کاملا شناخته شده است. الگوریتم تعویض دوبه‌دو ،که با نام الگوریتم 2-opt نیز شناخته می‌شود، برای ایجاد بهبود در چیدمان بصورت سیستماتیک محل استقرار دو دپارتمان را تعویض کرده و میزان OFV را محاسبه می‌کند و سپس تصمیم گرفته می‌شود که آیا این جابجایی قبول شده و یا رد شود. این روند تا زمانی که تمامی جفت تعویض‌های ممکن برای تمامی دپارتمان‌ها آزموده شود، ادامه خواهد یافت.

الگوریتم های ترکیبی برای حل مسئله چیدمان دو و یا چند تکنیک حل را با یکدیگر ترکیب می‌کنند. برای مثال، ترکیب دو نوع الگوریتم سازنده و بهبود دهنده که به آنها اشاره شد، در این دسته از الگوریتم‌ها قرار می‌گیرد. علاوه بر این جهت، به کارگیری ترکیبی از خصوصیات روشهای حل بهینه و ابتکاری نیز در این دسته جای می‌گیرند.

4-1 تعریف کلی مسئله و هدف از انجام مطالعه

با توجه به ضرورت مطالعه در رابطه با موضوع چیدمان تسهیلات پویا و بررسی دو نوع تابع هدف مطرح شده، هدف از این رساله مطالعه مسئله چیدمان تسهیلات پویا و مدلهای موجود با چند تابع هدف، ارائه مدل ترکیبی چیدمان تسهیلات پویا با چند تابع هدف، استفاده از یک الگوریتم فرا ابتکاری جهت حل مدل ارائه شده و الگوریتمی جهت پیاده سازی مطالعات انجام شده بصورت کاربردی در صنعت می‌باشد.

مسئله مورد بررسی در این رساله، چیدمان تسهیلات پویا با چند تابع هدف می‌باشد. این مسئله بدنبال یافتن یک چیدمان مناسب برای تخصیص تعداد مشخصی دپارتمان به مکانهای موجود است در شرایطی که داده‌های اولیه مسئله بصورت قطعی بوده اما در هر دوره نسبت به دوره‌ی زمانی قبل می‌توانند متفاوت باشند. از این مسئله به عنوان چینش دوباره طراحی تسهیلات[42] نیز یاد می‌شود. هدف بدست آوردن چیدمانی است که بتواند تمامی توابع هدف مورد بررسی را بصورت همزمان به میزان مطلوب نزدیک نماید. رسیدن به این هدف با توجه به وجود تضاد در میان پارامترهای توابع هدف در شرایطی بسیار دشوار می‌گردد. با توجه به میزان پیچیدگی ذاتی این مسئله و سطح کنونی دانش موجود و مطالعات انجام گرفته در این زمینه، جهت ایجاد امکان بررسی شرایط و حل مدل، مفروضاتی را در نظر خواهیم گرفت. این مفروضات مارا در یافتن جواب مناسب در زمان قابل قبول یاری خواهد نمود.

5-1 نرم افزارهای مطرح در چیدمان تسهیلات

در این بخش مرور مختصری بر الگوریتم‌ها و بسته‌های نرم‌افزاری معروف موجود در بازار خواهیم کرد تا خوانندگان دیدگاهی از تلاشهای انجام شده در زمینه طراحی و آنالیز چیدمان تسهیلات بدست آورند .

BLOCPLAN یک نرم‌افزار طراحی شده توسط دناگی و پیر[43] [18] است که می‌تواند برای چیدمانهای تک سناریو و یا چند سناریویی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، از آن می‌توان به عنوان یک الگوریتم سازنده تصادفی و یا بهبود دهنده استفاده کرد. در این نرم‌افزار کاربر می‌تواند به یکی از سه طریق زیر داده‌های خود را وارد نماید:

1. وارد کردن داده ها با استفاده از نمودار رابطه فعالیت‌ها جهت در نظر گرفتن تابع هدف بر پایه مجاورت
2. وارد کردن داده‌ها با استفاده از ماتریس جریان جهت در نظر گرفتن تابع هدف بر پایه فاصله

[41] Pair-wise Exchange
[42] Rearrangement of Facility Design
[43] Donaghey and Pire

3. وارد کردن تعداد و نوع قطعات تولیدی و اطلاعات مربوط به مسیر تولید هر قطعه

در صورت ورود داده‌ها به صورت 2 ویا 3، نرم‌افزار داده‌های ورودی را با تقسیم کردن بیشترین جریان به 5، به نمودار رابطه فعالیت‌ها تبدیل می‌کند (کد روابط با استفاده از این روش شامل A، E، I، O و U می‌باشد و کد X مورد استفاده قرار نمی‌گیرد). کد A به عناصری تعلق می‌گیرد که بین بیشترین جریان و 5/4 آن مقدار قرار گیرد. کد E به روابطی که مقدار آنها بین 5/3 تا 5/4 بیشترین جریان قرار گیرد، اختصاص می‌یابد. همین رویکرد برای سایر کدهای رابطه‌ای I، O و U نیز استفاده می‌شود؛ بدین صورت کد I برای نمایش جریانهایی با 5/2 تا 5/3 بیشترین جریان، کد O 5/1 تا 5/2 بیشترین جریان و U برای نمایش جریانهای بین 0 تا 5/1 بیشترین جریان استفاده می‌شود.

VisFactory یک ابزار برنامه‌ریزی چیدمان CAD است که شامل چند بخش می‌باشد: FactoryFLOW، FactoryPLAN و FactoryOPT. FactoryFLOW برای بهبود بخشیدن به چیدمانهای طراحی شده توسط سایر بسته‌های نرم افزاری مانند AutoCAD استفاده می‌شود. این بخش با آنالیز، قیاس و بهبود بخشیدن به چیدمان تسهیلات مبنی بر جریان مواد، قابل استفاده در جنبه‌های کمی طراحی تسهیلات می‌باشد. FactoryPLAN یک ابزار طراحی برای آنالیز کیفی چیدمان است. این بخش بر پایه داده‌های نمودار رابطه فعالیت‌ها، به طراحی و بررسی چیدمان‌ها می‌پردازد به نحوی که از قرار گرفتن دپارتمانها با مطلوبیت مجاورت بیشتر در کنار هم اطمینان حاصل شود. FactoryOPT الگوریتم‌های 2-opt و 3-opt را برای ایجاد چیدمان‌های نزدیک به بهینه بر روی چیدمان‌های بدست آمده از بخش‌های دیگر بکار می‌برد تا بدینوسیله چیدمان تسهیلات حاصل از بخش‌های FactoryPLAN و FactoryFLOW را بهبود بخشد [19].

LayOPT یک برنامه قابل اجرا بر روی کامپیوترهای خانگی است که می‌تواند بصورت خودکار چیدمانهای تسهیلات متفاوتی را ایجاد نماید و به برنامه‌ریز تسهیلات اجازه می‌دهد تا از میان تمامی گزینه‌ها یک چیدمان بهینه محدوده‌ای[44] مناسب را انتخاب نماید. این برنامه از یک الگوریتم بهبود با یک چیدمان ورودی و هزینه‌های جریان کار خودرا آغاز کرده و با جابجا کردن دپارتمانها و برآورد هزینه، چیدمان جدیدی را ایجاد می‌کند. الگوریتم مورد استفاده LayOPT از بهینه سازی جابجایی جفتی با شیب نزولی استفاده می‌کند. برای این منظور الگوریتم جابجایی بین دو دپارتمانی را انتخاب می‌کند که بیشترین کاهش را در مقدار تابع هدف ایجاد نماید. تابع هدفی که با استفاده از این الگوریتم حداقل‌سازی می‌شود مجموع حاصلضرب جریان در فاصله بین دپارتمانهایی است که جریان بین آنها مخالف صفر باشد. این نرم‌افزار همچنین توانایی حل مسائل چیدمان تسهیلات در چند طبقه را دارا می‌باشد.

VIP-PLANOPT یک برنامه عمومی بهینه‌سازی چیدمان تسهیلات در پلان زمین است. این برنامه به منظور تولید چیدمانهای با کیفیت بالای بهینه با استفاده از یک کامپیوتر شخصی برای مسائلی با اندازه‌های مختلف و دپارتمانهای نابرابر با ابعاد ثابت و یا نسبت ابعاد متغییر طراحی گردیده است. با این وجود، هیراگو [20] با توجه به اینکه این مسئله NP-Hard می‌باشد بر وجود جواب بهینه برای مسائل با اندازه متوسط و یا بزرگ به بحث می‌پردازد. علاوه‌براین، «VIP-PLANOPT یک الگوریتم چیدمان سازنده است که با دپارتمانهای مستطیل شکل عمل می‌کند»[9]. این برنامه همچنین قابلیت بهینه سازی چیدمانهایی با ورودی و خروجی مشخص شده را نیز دارد. در سایت رسمی VIP-

[44] Sub-Optimal