



## Solving Multiobjective Dynamic Facility Layout Problem Using a Hybrid Local Search-Simulated Annealing Algorithm

N. Nahavandi\*, A. Maddahi & E. Masehian

*Nasim Nahavandi, Corresponding Author, Assistant Professor of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University. [n\\_nahavandi@modares.ac.ir](mailto:n_nahavandi@modares.ac.ir)  
Alireza Maddahi, Msc Student of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University. [alireza.maddahi@modares.ac.ir](mailto:alireza.maddahi@modares.ac.ir)  
Ellips Masehian, Assistant Professor of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University, [masehian@modares.ac.ir](mailto:masehian@modares.ac.ir)*

### Keywords

Multiobjective Optimization,  
Dynamic Facility Layout Problem,  
Local Search,  
Simulated Annealing,  
Pareto Solutions

### ABSTRACT

*Dynamic facility layout problem (DFLP) is locating departments in different time zones where the location of each department may be varied at the beginning of each period. Traditionally, this problem is constructed based on the minimization of total handling cost, while more objectives could be considered in designing an efficient layout, like activity relationship, department closeness and etc. In this article DFLP is considered by two objectives: minimization of the total handling cost and maximization of total activity relationships. This problem is then solved by a new hybrid heuristic algorithm using local search supplemented by simulated annealing. This algorithm is so powerful to generate pareto solutions in such a way that both of convergence and diversity properties are evident.*

© 2013 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 24, No. 1, All Rights Reserved

\*  
**Corresponding author.** Nasim Nahavandi  
Email: [n\\_nahavandi@modares.ac.ir](mailto:n_nahavandi@modares.ac.ir)

## حل مسئله چیدمان پویای تسهیلات با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم پیوندی جستجوی محلی و شبیه‌سازی تبرید

نسیم نهاوندی\*، علیرضا مداحی و الیپس مسیحی

### کلمات کلیدی

بهینه‌سازی چندهدفه، مسئله چیدمان پویای تسهیلات، جستجوی محلی، شبیه‌سازی تبرید، جواب‌های پارتو

### چکیده:

مسئله چیدمان پویای تسهیلات عبارت است از یافتن استقرار دپارتمان‌ها در سطح کارخانه برای دوره‌های زمانی مختلف به طوری که موقعیت دپارتمان‌ها از یک دوره به دوره دیگر می‌تواند تغییر کند. به طور سنتی این مسئله بر اساس کمینه کردن مجموع هزینه حمل و نقل میان دپارتمان‌ها ساختار یافته است. در حالی که اهداف و عوامل دیگری می‌توانند در طراحی چیدمان دخیل باشند. در این مقاله مسئله چیدمان پویای تسهیلات با دو تابع هدف کمینه کردن مجموع هزینه حمل و نقل و بیشینه نمودن مجموع رابطه فعالیت‌ها مدلسازی شده است. حل این مسئله به وسیله یک الگوریتم پیوندی جستجوی محلی و شبیه‌سازی تبرید انجام می‌گردد. الگوریتم پیشنهادی توانایی بالایی در تولید جواب‌های پارتو دارد، به طوری که هر دو ویژگی همگرایی و تنوع در کیفیت جواب‌های بدست آمده مشهود می‌باشد.

### ۱. مقدمه

مسئله چیدمان در بسیاری از سیستم‌های تولیدی به کار می‌رود. به طور معمول، مسئله چیدمان قرار دادن تسهیلات (اعم از دپارتمان‌ها و ماشین آلات) در فضای کارخانه می‌باشد. از آن جا که نحوه چیدمان بر هزینه حمل و نقل اثر گذاشته و معمولاً این هزینه اصلی‌ترین هزینه در سازمان‌های تولیدی است، چیدمان کارا نقش به سزایی در عملکرد سازمان خواهد داشت. هزینه حمل و نقل ۲۰ تا ۵۰ درصد کل هزینه‌های عملیاتی و همچنین ۱۵ تا ۷۰ درصد هزینه تولید یک محصول را در بردارد. این هزینه بر

اساس جریان مواد میان دپارتمان‌ها و فاصله میان آن‌ها محاسبه می‌شود و بهترین گزینه، چیدمانی است که بتواند کمترین هزینه حمل و نقل را داشته باشد [۱].

یکی از سری مسائلی که در حوزه چیدمان تسهیلات مطرح می‌شود، مسئله چیدمان پویای تسهیلات است. اغلب این فرض وجود داشته است که جریان مواد میان دپارتمان‌ها ثابت بوده و چیدمان طراحی شده برای مدت زمان طولانی در سازمان قابل اجرا خواهد بود. اما با توجه به فضای رقابتی بازار و تغییر در سلیقه مشتریان، پویایی یک عنصر اجتناب ناپذیر در صنعت امروزی به‌شمار می‌رود، که در نتیجه شرکت‌های تولیدی باید بتوانند پاسخگوی آن باشند. با توجه به این مطلب، می‌توان دریافت که چیدمان تسهیلات برای نیازهای کوتاه مدت می‌تواند هزینه‌های حاصل از چیدمان اولیه را به‌طور چشمگیری در بلند مدت افزایش دهد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که در نظر گرفتن فاکتور پویایی در چیدمان تسهیلات بسیار ضروری و پر اهمیت است [۲،۳].

مسئله چیدمان پویای تسهیلات، مسئله یافتن جایگاه دپارتمان‌ها در سطح کارخانه برای دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد، با این

تاریخ وصول: ۹۰/۲/۱۸

تاریخ تصویب: ۹۰/۵/۳۰

\*نویسنده مسئول مقاله: دکتر نسیم نهاوندی، استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، n\_nahavandi@modares.ac.ir

علیرضا مداحی، دانشجوی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، alireza.maddahi@modares.ac.ir

الیپس مسیحی، استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، masehian@modares.ac.ir

رابطه فعالیت‌ها در دپارتمان‌ها، بیشینه کردن نسبت رضایت در ابعاد دپارتمان‌ها و غیره [۹]. بنابراین منطقی آن است که چیدمانی انتخاب نمود که بتواند تمام معیارهای مهم در طراحی را مدنظر قرار دهد.

بهینه‌سازی چندهدفه رشد چشمگیری در مسائل مربوط به مهندسی، علم مدیریت و اقتصاد داشته است [۱۱،۱۰]. پیچیدگی حل مسائلی که در بهینه‌سازی چندهدفه مطرح می‌شوند، با توجه به سائز مسئله و تعداد توابع هدف، اهمیت روزافزونی پیدا نموده است.

جواب بهینه در بهینه‌سازی چندهدفه برخلاف مسائل بهینه‌سازی تک هدفه، تنها یک جواب (یا چند جواب با مقادیر مساوی تابع هدف) نیست؛ بلکه به دنبال دسته‌ای از جواب‌ها می‌باشد که در اصطلاح به آن‌ها جواب‌های ناچیره یا پارتو<sup>۲</sup> گفته می‌شود. یک جواب ناچیره، نقطه‌ای است که نمی‌توان نسبت به آن‌ها نقطه‌ای پیدا نمود که حداقل در یکی از توابع هدف بهبود ایجاد کند و در مابقی توابع هدف حداقل به خوبی آن نقطه باشد. به عبارت دیگر بهبود در یک تابع هدف به مثابه بدتر کردن حداقل یک تابع هدف دیگر است [۱۱،۱۲].

حل مسائل چیدمان با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه، توسط روش‌های دپارتمان‌ها را برای توابع هدف مدنظر قرار داد. او با یک تابع هدف وزنی متشکل از هر دو عامل مسئله را حل نمود. ملکوتی و دی‌سوزا [۱۴] مسئله تخصیص درجه دوم را با سه عامل جریان مواد، رابطه فعالیت‌ها و زمان فرآیند محصول مدلسازی کرد.

دیگر مقالات ارائه شده در این زمینه با فرض فازی مدلسازی شده اند [۱۵،۱۶،۱۷].

با مرور ادبیات بر روی زمینه بهینه‌سازی چند هدفه در مسائل چیدمان، مشاهده شد که تاکنون مسئله چیدمان پویای تسهیلات با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه حل نشده است. در این مقاله این مسئله با دو عامل هزینه و رابطه فعالیت‌ها به وسیله الگوریتم فراابتکاری پیوندی جستجوی محلی و شبیه سازی تبرید به منظور یافتن نقاط ناچیره استفاده می‌شود. در بخش دوم مدلسازی مسئله با فرض تساوی مساحت دپارتمان‌ها ارائه می‌گردد و در بخش سوم روش پیشنهادی به تفصیل بیان خواهد شد. در بخش چهارم چهار مثال عددی استفاده شده برای مسئله ارائه خواهد شد و در بخش پنجم به نتیجه‌گیری پرداخته خواهد شد.

فرض که در هر دوره زمانی جریان مواد میان دپارتمان‌ها می‌تواند تغییر کند، به طوری که مجموع هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی دپارتمان‌ها در دوره‌های زمانی کمینه شود.

فرضیات اصلی در مسئله چیدمان پویا به صورت زیر می‌باشد:

- دپارتمان‌ها در طول هر دوره زمانی ثابت هستند، اما ممکن است از یک دوره به دوره دیگر تغییر نمایند.
- مقادیر جریان مواد بین دپارتمان‌ها و همچنین هزینه جابجایی دپارتمان‌ها در طول دوره‌های زمانی معین و متغیر هستند.
- هر آنچه که باعث شود جریان مواد در طول زمان تغییر کند می‌تواند سبب استفاده از مدل چیدمان پویای تسهیلات شود. برخی از این موارد به شرح زیر است [۴،۵]:

- تغییر در طراحی محصولات موجود
  - اضافه کردن محصولی جدید یا حذف کردن محصولی قدیمی
  - جایگزینی تجهیزات موجود تولید
  - کوتاه شدن چرخه عمر محصول
  - تغییر در مقدار تولید و برنامه زمانبندی مرتبط با آن
- به طور عمومی مسائل چیدمان به عنوان مسائل پیچیده شناخته شده‌اند و درجه پیچیدگی شان از نوع NP-hard می‌باشد [۶]. اگر بخواهیم مسئله چیدمان پویا را توسط روش‌های دقیق حل کنیم، بایستی تمام حالت‌های ممکن در نظر گرفته شده و بهترین حالت انتخاب شود. مسئله تخصیص درجه دوم<sup>۱</sup> نیز از همین دسته است و از آنجا که چیدمان پویا با فرض تساوی دپارتمان‌ها بسیار پیچیده‌تر از مسئله تخصیص درجه دوم می‌باشد، جز مسائل NP-hard قرار می‌گیرد [۷].

اگر مساحت  $N$  دپارتمان برابر با یکدیگر فرض شود،  $N!$  جایگشت برای هر دوره زمانی وجود دارد، که با در نظر گرفتن  $T$  دوره زمانی، در مجموع  $M = (N!)^T$  حالت وجود خواهد داشت. به عنوان مثال، اگر  $N = ۱۵$  و  $T = ۵$  باشد در مجموع حدود  $۳,۸ \times ۱۰^{۶۰}$  حالت وجود دارد که عددی بسیار بزرگ بوده و ارزیابی کلیه حالات آن ناممکن می‌باشد [۸].

همانطور که اشاره شد رویکرد سنتی تصمیم‌گیری برای مسائل چیدمان تنها بر اساس یک معیار با یک تابع هدف بر اساس کمینه کردن کل هزینه حمل و نقل می‌باشد. اما برای ایجاد یک چیدمان مناسب، تنها کمینه نمودن هزینه حمل و نقل نیست که اهمیت دارد، بلکه بسیاری اهداف از عوامل کمی و کیفی دیگری وجود دارند که در ایجاد یک چیدمان خوب تاثیرگذار هستند.

برخی از این اهداف عبارتند از کمینه کردن فاصله دپارتمان‌هایی که نیاز است نسبت به هم نزدیک باشند، بیشینه نمودن فاصله دپارتمان‌هایی که نیاز است از یکدیگر دور باشند، بیشینه نمودن

<sup>2</sup> Non-dominated or Pareto Solutions

<sup>1</sup> Quadratic Assignment Problem (QAP)

## ۲. مدل‌سازی مسئله

مفروض مهم این مسئله است که مساحت دپارتمان‌ها با هم برابرند. همانطور که در بخش قبلی اشاره شد، در این مقاله از دو معیار برای بهینه‌سازی مسئله چیدمان پویای تسهیلات استفاده شده است: ۱- جریان مواد و هزینه جابه‌جایی دپارتمان‌ها از یک دوره به دوره دیگر ۲- رابطه فعالیت‌ها. لذا دو تابع هدف برای مسئله چیدمان پویای تسهیلات متصور می‌باشد:

### ۲-۱. کمینه نمودن جریان مواد

از آن جا که جریان مواد در چیدمان پویا برای هر افق زمانی تغییر می‌کند این هزینه بر اساس دوره‌های زمانی نوشته می‌گردد:

$$\text{Minimize } f_1 = \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N A_{ijl}^t \cdot Y_{ijl}^t + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N C_{ijkl}^t \cdot X_{ij}^t \cdot X_{kl}^t \quad (1)$$

که عبارت اول هزینه جابه‌جایی دپارتمان‌ها و عبارت دوم هزینه حمل و نقل در  $T$  دوره زمانی را نشان می‌دهد. در این جا  $Y_{ijl}^t$  متغیر صفر و یک است: اگر دپارتمان  $i$  در ابتدای دوره زمانی  $t$  از مکان  $j$  به مکان  $l$  جابجا شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد داشت.

متغیر  $X_{ij}^t$  نیز متغیر صفر و یک می‌باشد: اگر دپارتمان  $i$  در ابتدای دوره زمانی  $t$  به مکان  $j$  تخصیص باید مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد داشت.  $N$  تعداد دپارتمان‌ها،  $T$

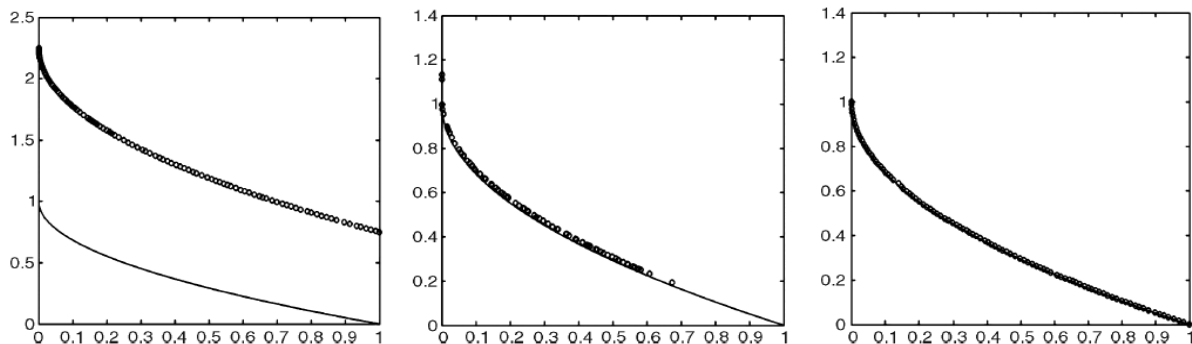
تعداد دوره‌های زمانی،  $C_{ijkl}^t$  هزینه قرارگیری دپارتمان  $i$  در مکان  $j$  و قرارگیری دپارتمان  $k$  در مکان  $l$  در دوره زمانی  $t$  بوده، و  $A_{ijl}^t$  هزینه جابجایی دپارتمان  $i$  از مکان  $j$  به مکان  $l$  در دوره زمانی  $t$  می‌باشد.

### ۲-۲. بیشینه نمودن رابطه فعالیت‌ها

رابطه فعالیت‌ها بین دپارتمان‌ها بر اساس روابط کیفی بنا نهاده‌اند. برخی از دپارتمان‌ها لازم است که در کنار یکدیگر باشند. مثلاً بهتر است که دپارتمان مهندسی در کنار دپارتمان تولید باشد تا نظارت تسهیل گردد. هم‌چنین برخی از دپارتمان‌ها با وجود جریان مواد میان یکدیگر، به علت مسائل امنیتی لازم باشد که از هم دور باشند. به طور مثال لازم است که انبار مواد اولیه از کارگاه جوشکاری و ریخته‌گری دور باشد، تا احتمال آتش‌سوزی وجود نداشته باشد. رابطه فعالیت‌ها به صورت جدول شماره یک بیان می‌گردد. هم‌چنین برای کمی کردن این روابط از یک سری امتیاز بهره گرفته شده است.

### جدول ۱. رابطه فعالیت‌ها و امتیاز متناظر با آن

امتیاز ( $r$ )	رابطه فعالیت	نشان
۴	مطلقاً لازم	A
۳	اهمیت خاص	E
۲	مهم	I
۱	معمولی	O
۰	غیرمهم	U
-۱	نامطلوب	X



شکل ۱. مثالی از جبهه پارتو تولید شده توسط سه الگوریتم متفاوت که همگرایی و تنوع متفاوتی ایجاد نموده‌اند

که  $W_{ijkl}^t$  عبارت است از:

$$W_{ijkl}^t = \begin{cases} r_{ik} & \text{if } j \text{ and } l \text{ are neighbours} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

بنابراین تابع هدف رابطه فعالیت‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۱۳]:

$$\text{Maximize } f_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N W_{ijkl}^t \cdot X_{ij}^t \cdot X_{kl}^t \quad (2)$$

شماره یک این دو ویژگی را به خوبی نشان می‌دهد. نمودار سمت چپ نشان می‌دهد که الگوریتم، تنوع مطلوبی از جواب‌های پارتو ارائه داده است، اما نتوانسته به سمت جواب‌های پارتو واقعی همگرا شود. نمودار وسط توصیفی معکوس با نمودار سمت چپ دارد. یعنی جواب‌ها به سمت نقاط پارتو میل نموده‌اند اما پراکندگی مناسبی حول این نقاط ندارند. این در حالی است که الگوریتم استفاده شده در نمودار سمت راست هر دو ویژگی مطلوب را دارا می‌باشد [۱۱].

الگوریتم پیشنهادی بر اساس پیوند دو الگوریتم فراابتکاری جستجوی محلی و شبیه‌سازی تبرید بنا شده است. کلیت الگوریتم بدین ترتیب است که ابتدا سه جواب اولیه تولید می‌شود. دو جواب از این جواب‌ها بر اساس حل دو مسئله تک هدفه زیرتولید شده‌اند که این کار توسط الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوعه [۸] انجام می‌پذیرد:

$$(1) \quad \begin{aligned} & \text{Min: } f_1 \\ & \text{s.t. } g(x) \leq 0 \end{aligned}$$

$$(2) \quad \begin{aligned} & \text{Max: } f_2 \\ & \text{s.t. } g(x) \leq 0 \end{aligned}$$

(۹)

و جواب سوم نیز به صورت تصادفی تولید می‌گردد. سپس تمام همسایگی‌های نقطه سوم که با جابه‌جایی‌های دو تایی بدست آمده‌اند، انتخاب شده و به سه نقطه قبلی اضافه می‌گردند. پس از آن با توجه به مقادیر توابع هدف بدست آمده از این جواب‌ها تمام نقاط چیره حذف می‌شوند که در نتیجه تنها نقاط پارتو باقی می‌مانند (مرحله جستجوی محلی). در مرحله بعد یک نقطه به تصادف از میان تمام نقاط ناچیره انتخاب می‌شود.

به طوری که  $r_{ik}$  امتیاز فعالیت میان دو دپارتمان  $i$  و  $k$  است، که بر اساس جدول یک در نظر گرفته خواهد شد. از این رو مدل‌سازی مسئله به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$\text{Minimize } F(x) = (f_1(x), -f_2(x)) \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^N X_{ij}^t = 1, \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij}^t = 1, \quad j = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6)$$

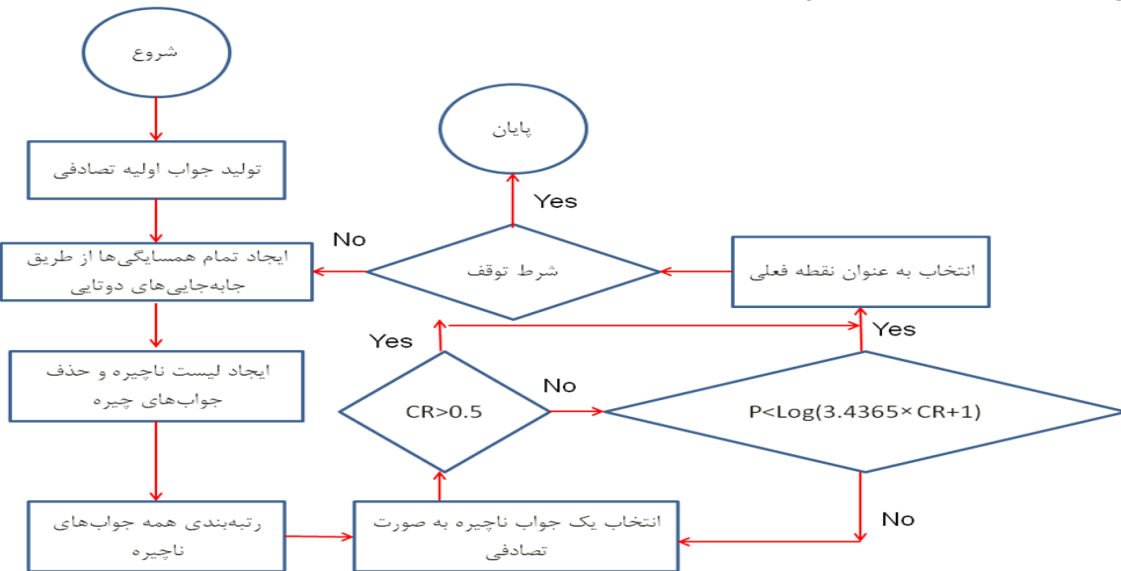
$$Y_{ij}^t = X_{ij}^{t-1} \cdot X_{ij}^t \quad (7)$$

$$(8)$$

در اینجا تابع محدودیت (۵) نشان می‌دهد که هر مکان تنها به یک تسهیل باید تخصیص داده شود و محدودیت (۶) بیان می‌کند که هر تسهیل تنها می‌تواند به یک مکان اختصاص داده شود. هم چنین محدودیت (۷) نشان می‌دهد زمانی هزینه جابه‌جایی دپارتمان اعمال می‌شود که دپارتمان از دوره  $t-1$  به دوره  $t$  جابه‌جایی داشته باشد.

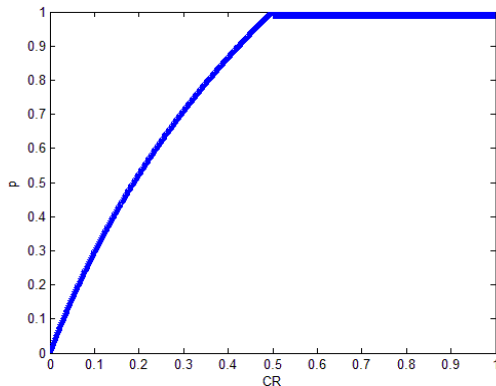
### ۳. الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله

در دهه‌های اخیر روش‌های فراابتکاری متعددی برای یافتن جواب‌های ناچیره گسترش یافته است. دسته‌جواب‌های پارتو که به جبهه پارتو معروف است باید دو ویژگی مهم داشته باشند: ۱- همگرایی به سمت جواب‌های پارتو ۲- تنوع جواب‌ها [۱۱]. شکل



شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

مقدار احتمال بر اساس یک تابع لگاریتمی به صورت  $\log((3.4365 \times CR) + 1)$  تعیین می‌گردد. خاصیت این تابع این است که به ازای مقدار صفر، احتمال صفر و به ازای مقدار ۰/۵، احتمالی برابر با یک ایجاد خواهد نمود. تابع احتمال انتخاب بر اساس تمام مقادیر CR در شکل شماره سه نشان داده شده است.



شکل ۳. تابع احتمال بر حسب CR

مراحل اجرای الگوریتم به صورت گام به گام به شکل زیر است

۱. تولید یک جواب اولیه تصادفی به عنوان نقطه شروع و دو جواب اولیه بر اساس حل دو مسئله تک‌هدفه فرمول (۹) به وسیله الگوریتم [۸] و ایجاد لیست ناچیره شامل این سه نقطه.
۲. تولید تمام همسایگی‌های نقطه فعلی بر اساس جابه جایی‌های دوتایی و اضافه کردن آن‌ها به لیست ناچیره.
۳. حذف جواب‌های چیره در لیست ناچیره و رتبه‌بندی جواب‌های ناچیره.
۴. انتخاب یک جواب تصادفی از لیست ناچیره.
۵. انتخاب جواب تصادفی جدید به عنوان جواب فعلی در صورتی که مقدار تابع CR این جواب در فرمول (۱۰) از ۰/۵ بیشتر باشد و رفتن به مرحله ۸، و رفتن به مرحله ۶ اگر نباشد.
۶. ایجاد یک نقطه تصادفی بین صفر و یک بر اساس توزیع یکنواخت پیوسته.
۷. انتخاب جواب تصادفی جدید به عنوان جواب فعلی در صورتی که عدد تصادفی تولیدشده در مرحله ۶ از مقدار تابع  $\log((3.4365 \times CR) + 1)$  کمتر باشد و رفتن به مرحله ۸، و بازگشت به مرحله ۴ اگر نباشد.
۸. اگر شرط توقف، که بر حسب تعداد ۱۰۰۰ بار اجرای الگوریتم است، برقرار شود الگوریتم متوقف می‌گردد و گرنه بازگشت به مرحله ۲.

اگر فاصله نرمال شده این نقطه تا نقطه ایده‌آل، که با CR نشان داده شده است، زیاد باشد، این نقطه به عنوان جواب بعدی برای تکرار انتخاب شده و مراحل بالا برای یافتن جواب‌های پارتو و حذف جواب‌های چیره ادامه می‌یابد؛ اما اگر فاصله نقطه انتخاب شده تا نقطه ایده‌آل کم باشد، این نقطه با یک احتمالی پذیرفته می‌گردد (مرحله شبیه‌سازی تبرید). خاصیت روش پیشنهادی در آن است که عملیات متمرکزسازی<sup>۱</sup> و متنوع‌سازی<sup>۲</sup> را به موازات یکدیگر انجام می‌دهد. مرحله جستجوی محلی تمام نقاط همسایگی را بازدید می‌نماید و بهترین‌ها را از لحاظ چیرگی انتخاب می‌کند و از این رو فاز همگرایی صورت می‌پذیرد و مرحله شبیه‌سازی تبرید در وهله اول جواب‌هایی که به نقطه ایده‌آل دور هستند را به عنوان نقطه بعدی انتخاب می‌کند چون احتمال رسیدن این نقاط به نقاط پارتو بهتر بیشتر است؛ و در ثانی نقاط نزدیک به جواب ایده‌آل را که امکان بهبود یافتنشان برای رسیدن به نقاط پارتو کمتر است، با احتمال کمتری می‌پذیرد تا عملیات متنوع‌سازی به منظور رسیدن به تنوع در جواب‌های پارتو تکمیل شود. شکل شماره دو فلوچارت این الگوریتم را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد.

در این الگوریتم دو نکته وجود دارد که باید ذکر شود. نکته اول رتبه‌بندی جواب‌های ناچیره است که بر اساس فاصله آن‌ها تا نقطه ایده‌آل انجام می‌پذیرد. نقطه ایده‌آل نقطه‌ای است که از لحاظ تمام توابع هدف بهترین باشد و معمولاً نقطه‌ای شدنی نیست. از آنجا که تابع هدف اولی کمینه‌سازی و تابع هدف دوم بیشینه‌سازی می‌باشد، مقدار CR برای هر نقطه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

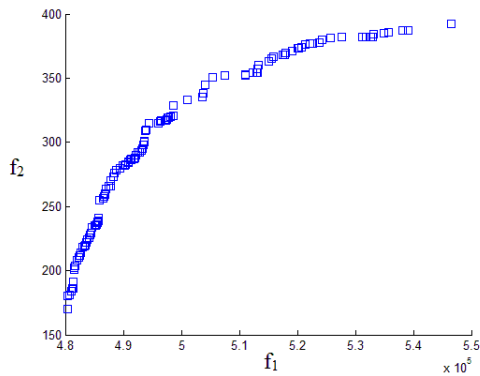
$$CR = \left( \frac{1}{2} \times \frac{f^{(1)} - f_{\min}^{(1)}}{f_{\max}^{(1)} - f_{\min}^{(1)}} \right) + \left( \frac{1}{2} \times \frac{f_{\max}^{(2)} - f^{(2)}}{f_{\max}^{(2)} - f_{\min}^{(2)}} \right) \quad (10)$$

مقدار CR بین صفر و یک قرار دارد. هر چه قدر مقدار CR کمتر باشد، مشخص است که به نقطه ایده‌آل نزدیکتر می‌باشد و هر چه قدر به یک نزدیک شود، بیان‌کننده این است که جواب از نقطه ایده‌آل دورتر است و لذا با در نظر گرفتن همسایگی‌های این نقطه امکان بیشتری برای رسیدن به جواب‌های پارتو بهتر و بیشتر وجود خواهد داشت.

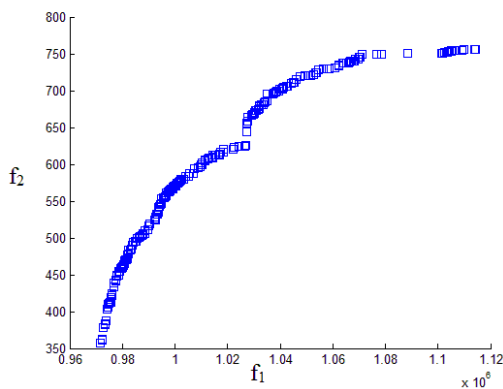
نکته دوم انتخاب نقطه بعدی برای بررسی همسایگی آن است. در این جا یک نقطه تصادفی از بین نقاط پارتو فعلی انتخاب می‌شود. اگر مقدار CR این نقطه از ۰/۵ بیشتر بود، این نقطه انتخاب می‌شود؛ وگرنه این نقطه با احتمال کمی انتخاب می‌شود که این

<sup>1</sup> Intensification

<sup>2</sup> Diversification



شکل ۶. نقاط پارتو برای مسئله P17



شکل ۷. نقاط پارتو برای مسئله P28

جدول شماره دو مشخصات نتایج به دست آمده را به تفصیل بیشتری بیان می‌نماید.

با توجه به شکل‌های ۴ تا ۷ و جدول شماره دو می‌توان به قدرت الگوریتم پیشنهادی در تولید جواب‌های پارتو پی برد. این بدان علت است که الگوریتم پیشنهادی هر دو رویکرد متمرکزسازی و متنوع‌سازی را به صورت همزمان انجام می‌دهد، به طوری که جواب‌های پارتو بیشتر و بهتر در هر مرحله تولید می‌گردد، که مطابقاً دو ویژگی همگرایی و تنوع جواب را در خود دارد.

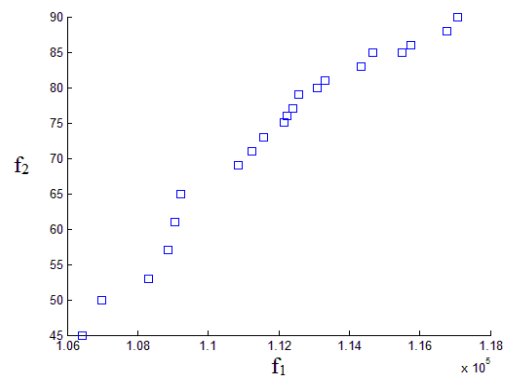
شماره مسئله	N	T	M	نقطه ایده‌آل (f1, f2)	تعداد نقاط پارتو	زمان حل (s)
P1	۶	۵	$1/9 \times 10^{14}$	(۱۰۶۴۱۹، ۹۰)	۲۱	۱۰
P9	۶	۱۰	$3/7 \times 10^{28}$	(۲۱۴۳۱۳، ۱۸۰)	۱۶۸	۳۰
P17	۱۵	۵	$3/8 \times 10^{60}$	(۴۸۰۴۵۳، ۳۶۰)	۱۱۸	۳۰۰
P28	۱۵	۱۰	$1/4 \times 10^{121}$	(۹۷۱۷۲۰، ۷۲۰)	۲۳۹	۱۲۰۰

### ۵. نتیجه‌گیری

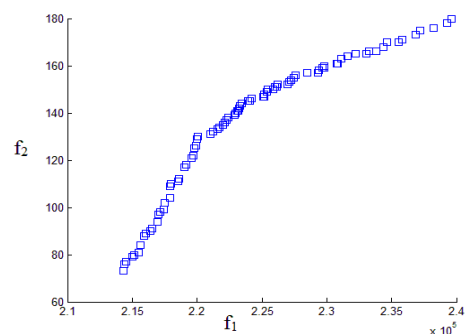
در این مقاله حل مسئله چیدمان پویای تسهیلات با رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه ارائه شد. کمینه نمودن هزینه حمل و نقل و بیشینه نمودن مجموع رابطه فعالیت‌ها دو تابع هدفی بودند که یکی عامل کمی و دیگری عامل کیفی را مد نظر قرار داده و در

### ۴. حل عددی

در این بخش چهار مسئله با الگوریتم پیشنهادی حل خواهد شد. مسائل شاخص<sup>۱</sup> در چیدمان پویای تسهیلات توسط بالاکریشن و چنگ در سال ۲۰۰۰ پیشنهاد شد [۱۸]. این مسائل شامل ۴۸ مسئله چیدمان پویا با تعداد دپارتمان‌های ۶، ۱۵، ۳۰ و تعداد دوره‌های زمانی ۵ و ۱۰ ارائه گردیده‌اند (۸ مسئله برای هر حالت). در این جا مسائل P1، P9، P17، P28 برای حل انتخاب شده‌اند، که به ترتیب دارای  $1/9 \times 10^{14}$ ،  $3/7 \times 10^{28}$ ،  $3/8 \times 10^{60}$  و  $1/4 \times 10^{121}$  حالت می‌باشند. مسائل P1 و P9 دارای ۶ دپارتمان و مسائل P17 و P28 دارای ۱۵ دپارتمان هستند. هم‌چنین مسائل P1 و P17 دارای ۵ دوره و مسائل P9 و P28 دارای ۱۰ دوره زمانی می‌باشند. رابطه فعالیت‌ها برای جفت مسائل P1، P9، P17 و P28 به صورت تصادفی ایجاد شده که به صورت ماتریسی در پیوست ارائه شده است. شرط توقف در این الگوریتم‌ها تعداد تکرار می‌باشد که برابر با ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. شکل‌های شماره ۴ تا ۷ نتایج حل این مسائل با الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این اشکال نقاط پارتو به صورت مربع‌های آبی رنگ در نظر گرفته شده‌اند. مسائل در محیط نرم‌افزار MATLAB و با کامپیوتری که دارای پروسسور 2.21 GHz CORE i3 با مقدار حافظه RAM، 4GB می‌باشد، اجرا شده است.



شکل ۴. نقاط پارتو برای مسئله P1



شکل ۵. نقاط پارتو برای مسئله P9

<sup>۱</sup> Benchmark

- Search Algorithm and Electre Method*", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 22, No.5-6, 2006, pp.447-455.
- [10] Stadler, W., *Application of Multicriteria Optimization in Engineering and the Sciences*. In Multiple Decision Criteria Making: Past Decade and Future Trends. Greenwich, 1984.
- [11] Talbi, E., G., *"Metaheuristics"*, John Wiley & Sons, 2009.
- [12] Ehrgott, M., *"Multicriteria Optimization"*, Springer Verlag, Sept. 2000.
- [13] Rosenblatt, M.J., *"The Facility Layout Problem: a multi-Goal Approach"*, International Journal of Production Research, Vol. 17, No.4, 1979, pp.323-332.
- [14] Malakooti, B., D'Souza G.I., *"Multiple Objective Programming for the Quadratic Assignment Problem"*, International Journal of Production Research, Vol.25, No.2, 1987, pp.285-300.
- [15] Deb, S.S., Bhattacharyya, B., *"Facilities Layout Planning Based on Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Methodology"*, International Journal of Production Research, Vol.41, No.18, 2003, pp.4487-504.
- [16] Dweire, F., Meier F, A., *"Application of Fuzzy Decision-Making in Facilities Layout Planning"*, International Journal of Production Research, Vol.34, No.11, 1996, pp.3207-25.
- [17] Deb, S.S., Bhattacharyya, B., *"Fuzzy Decision Support System for Manufacturing Layout Planning"*, Decision Support Systems, Vol. 40, No.2, 2005, pp.305-14.
- [18] Balakrishnan, J., Cheng, C.H., *"Genetic Search and the Dynamic Layout Problem"*, Computers and Operations Research, Vol. 27, No. 6, 2000, pp. 587-593.

تابع چندهدفه مورد بررسی قرار گرفتند. الگوریتم حل یک الگوریتم پیوندی بر اساس دو روش فراابتکاری جستجوی محلی و شبیه‌سازی تبرید برای اولین بار ارائه شد. به صورت تئوری، الگوریتم پیشنهادی قادر به انجام دو عملیات متمرکزسازی و متنوع‌سازی به منظور یافتن جواب‌های پارتو می‌باشد تا بتواند دو عامل مهم همگرایی و تنوع را در جبهه پارتو ایجاد نماید. بدین ترتیب الگوریتم پیشنهادی بر روی چهار مسئله شاخص موجود در ادبیات چیدمان پویای تسهیلات اجرا گردید. نتایج عددی و اشکال نقاط پارتو در این مسائل نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی دارای توانایی تولید دسته جواب‌های پارتو با دو ویژگی همگرایی و تنوع می‌باشد.

## مراجع

- [۱] مداحی، علیرضا، مسیحی، الیپس، ذگردی، سیدحسام الدین، "حل مسئله چیدمان پویای تسهیلات به روش جستجوی ممنوعه با رویکرد انطباقی"، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، مهر ۱۳۸۹.
- [2] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., Trevino, J., *"Facilities Planning"*, John Wiley & Sons, 1996.
- [3] Baykasoglu, A., Dereli, T., Sabuncu, I., *"An Ant Colony Algorithm for Solving Budget Constrained and Unconstrained Dynamic Facility Layout Problems"*, OMEGA, Vol. 34, No. 4, 2006, pp. 385-396.
- [4] McKendall Jr, A.R., Shang, J., Kuppusamy, S., *"Simulated Annealing Heuristics for the Dynamic Facility Layout Problem"*, Computers and Operations Research, Vol. 33, No. 8, 2006, pp. 2431-2444.
- [5] McKendall Jr., A.R., Hakobyan, A., *"Heuristics for the Dynamic Facility Layout Problem with Unequal-Area Departments"*, European Journal of Operational Research, Vol. 201, No. 1, 2010, pp. 171-182.
- [6] Shore, R.H., Tompkins, A., *"Flexible Facilities Design"*, AIIE Transactions, Vol. 12, No. 2, 1980, pp. 200-205.
- [7] Garey, M.R., Johnson, D.S., *"Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness"*, WH Freeman, 1979.
- [8] Kulturel-Konak, S., *"Approaches to Uncertainties in Facility Layout Problems: Perspectives at the Beginning of the 21st Century"*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 18, No. 2, 2007, pp. 273-284.
- [9] Aiello, G., Enea, M., Galante, G., *"A Multi-Objective Approach to Facility Layout Problem by Genetic"*



## پیوست

## رابطه فعالیت‌ها برای جفت مسائل P9، P1 و P28، P17

جدول پ ۱. رابطه فعالیت‌ها مربوط به مسائل P1 و P9

دپارتمان	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	-	E	X	I	I	A
۲	E	-	I	E	O	O
۳	X	I	-	E	X	X
۴	I	E	E	-	U	O
۵	I	O	X	U	-	E
۶	A	O	X	O	E	-

جدول پ ۲. رابطه فعالیت‌ها مربوط مسائل P17 و P28

دپارتمان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	-	U	X	O	A	A	O	E	U	A	I	U	X	I	U
۲	U	-	X	X	E	E	E	U	A	I	X	O	I	I	O
۳	X	X	-	X	A	A	O	I	U	X	I	E	E	A	O
۴	O	X	X	-	X	O	I	I	X	X	O	E	U	I	X
۵	A	E	A	X	-	E	I	O	O	A	A	O	I	A	I
۶	A	E	A	O	E	-	I	O	U	I	U	U	A	X	I
۷	O	E	O	I	I	I	-	I	E	U	X	A	O	I	A
۸	E	U	I	I	O	O	I	-	A	A	E	I	I	O	E
۹	U	A	U	X	O	U	E	A	-	E	A	E	A	O	A
۱۰	A	I	X	X	A	I	U	A	E	-	U	O	X	E	U
۱۱	I	X	I	O	A	U	X	E	A	U	-	E	E	I	U
۱۲	U	O	E	E	O	U	A	I	E	O	E	-	A	U	U
۱۳	X	I	E	U	I	A	O	I	A	X	E	A	-	E	U
۱۴	I	I	A	I	A	X	I	O	O	E	I	U	E	-	U
۱۵	U	O	O	X	I	I	A	E	A	U	U	U	U	U	-

