International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2012)

March 2012, Volume 22, Number 4
pp. 303-317

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Hybrid Intelligent Algorithm for Dynamic Facility Layout Problem with Fuzzy Material Flow

Hasan Hosseini Nasab*, Mohsen Shahmohammadi & Ali Akbar Ghasemi

Hasan Hosseini Nasab, *Department of Industrial Engineering, Yazd University, Iran*
Mohsen Shahmohammadi, *Department of Industrial Engineering, Yazd University, Iran*
Ali Akbar Ghasemi, *Department of Industrial Engineering, Yazd University, Iran*

Keywords

Dynamic facility layout problem , Fuzzy programming , Hybrid intelligent algorithm , Fuzzy simulation Genetic algorithm

ABSTRACT

The dynamic facility layout problem involves the design of facility layouts in which the flows of materials between activities can change during a multi-period planning horizon. In the static layout problem, it is assumed that all the activities are constant. However, in today's volatile markets, the business conditions are changing. So the similar changes are imposed on the facility projects and the flows of material between activities. In this paper, a new model of the dynamic facility layout problem is studied that the flows of materials are considered as fuzzy numbers with different membership functions. For modeling the problem, the expected value, the chance programming and the probabilistic programming methods are utilized using fuzzy programming. A new method is proposed for solving the model and a numerical example is given to describe the method.

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 22, No. 4, All Rights Reserved

* **Corresponding author**. ***Hasan Hosseini Nasab***
Email: *hhn@yazduni.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۲، زمستـــان ۱۳۹۰
صفحـــه ۳۰۴-۳۱۷

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک الگوریتم هوشمند ترکیبی جهت حل مسئلۀ چیدمان پویای تسهیلات با اطلاعات جریان فازی

حسن حسینی نسب*، محسن شاه محمدی و علی اکبر قاسمی گجوان

کلمات کلیدی

مسئلۀ چیدمان پویای تسهیلات
برنامه‌ریزی فازی
الگوریتم هوشمند ترکیبی
شبیه‌سازی فازی
الگوریتم ژنتیک

چکیده:

مسئلۀ چیدمان پویای تسهیلات، شاخه‌ای از مسائل چیدمان تسهیلات است که در آن مقدار جریان مواد در دوره‌های مختلف زمانی در طول افق برنامه‌ریزی، ثابت نبوده و با تغییرات همراه است. غالب مطالعات صورت گرفته در این زمینه، با فرض معلوم و قطعی بودن اطلاعات جریان در دوره‌های مختلف زمانی، همراه بوده‌اند. حال آنکه در محیط‌های کسب و کار امروزی که پویایی و عدم قطعیت، دو جزء لاینفک آنهاست، این فرض چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. در این مقاله مسئلۀ چیدمان پویای تسهیلات، در شرایط وجود ابهام در اطلاعات جریان، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا، حجم تقاضای محصولات (و به تبع آن حجم جریان مواد) در قالب اعداد فازی، با توابع عضویت متفاوت، تعریف شده‌اند. مدل‌سازی مسئله در چارچوب برنامه‌ریزی فازی و در قالب سه مدل ارزش انتظاری، برنامه‌ریزی با قید احتمالی و برنامه‌ریزی بر مبنای شانس، انجام شده و برای حل مدل‌ها، یک الگوریتم هوشمند ترکیبی ارائه شده است. در پایان با ذکر یک مثال عددی، کارایی الگوریتم در حل مدل‌های فازی مسئلۀ چیدمان پویای تسهیلات، مورد بررسی قرار گرفته است.

۱. مقدمه

در بازارهای رقابتی امروزی، هر بنگاه صنعتی که توانایی رقابت با دیگر رقبا را نداشته باشد، محکوم به فنا است. در این راستا و به منظور افزایش قدرت رقابت، مالکان واحدهای تولیدی از دیر باز به دنبال یافتن راه‌هایی جهت کاهش هر چه بیشتر هزینه‌های تولیدی خود بوده‌اند و با توجه به اینکه فعالیت‌های مرتبط با حمل و نقل مواد در حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد از کل بودجۀ عملیاتی یک واحد تولیدی و همچنین ۱۵ تا ۷۰ درصد از کل هزینۀ تولید یک محصول را شامل می‌شود [۱]، استقرار مناسب و بهینۀ بخش‌ها و ایستگاه‌های کاری، نقش مهمی را در این زمینه بازی می‌کند. کوپمنز و بکمن این مسئله (نحوۀ استقرار بخش‌ها) را برای اولین بار تحت عنوان مسئلۀ چیدمان تسهیلات[۶] مطرح کردند [۲].

مسئلۀ چیدمان تسهیلات، در رابطه با تعیین موقعیت بخش‌ها، سلول‌ها و یا ماشین‌ها در فضای تسهیل می باشد [۳] که به عنوان یک مسئلۀ صنعتی عمومی، با هدف کمینه کردن هزینه-های جابه‌جایی مواد، بوسیلۀ تعیین نحوۀ چیدمان تسهیلات، مطرح است. پس از کوپمنز و بکمن، مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفت که در مقالات مروری کیوسیاک و هراگو [۴]، میلر و گائو [۵] و دیارا و همکاران [۶] به آن‌ها اشاره شده است.

با توجه به پارامترها و شرایط حاکم، مسئلۀ چیدمان تسهیلات از جنبه‌های مختلفی تقسیم‌بندی شده است. تقسیم‌بندی بر اساس وضعیت و چگونگی اطلاعات جریان، یکی از عمده‌ترین تقسیم-بندی‌ها را در مسئلۀ چیدمان تسهیلات ایجاد می‌کند. تغییر و یا

تاریخ وصول: ۸۹/۱۲/۹
تاریخ تصویب: ۹۰/۲/۱۱

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر حسن حسینی نسب دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، hhn@yazduni.ac.ir
محسن شاه محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، mohsen.e.shahmohammadi@gmail.com
علی اکبر قاسمی گجوان ؛ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ali_gajvan464@yahoo.com

[6]. *Facility layout problem*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

عدم تغییر اطلاعات جریان در طول افق برنامه‌ریزی، مسئله چیدمان تسهیلات را به ترتیب به دو گروه پویا و ایستا تقسیم می‌کند. همچنین وجود و یا عدم وجود ابهام در اطلاعات جریان نیز مسئله را به دو گروه احتمالی و قطعی، تقسیم می‌نماید.

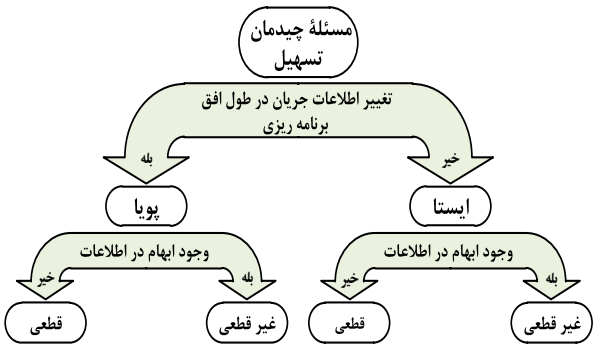
در این مقاله حالتی از مسئلهٔ چیدمان تسهیلات مورد بررسی قرار می‌گیرد که در آن، ضمن متغیر بودن اطلاعات جریان در دوره‌های مختلف زمانی (مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات)، اطلاعات مربوط به دوره‌های مختلف زمانی نیز حالت قطعی ندارند. لذا به جای استفاده از داده‌های قطعی برای نشان دادن حجم جریان مواد بین ایستگاه‌های کاری در مسئله چیدمان پویای تسهیلات، اعداد فازی به کار برده شده‌اند.

طی بررسی‌های صورت گرفته در ادبیات موضوع، چنین مسئله‌ای تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته و برای اولین بار در این مقاله مطرح گردیده است. باقیماندهٔ مقاله به اینصورت سازماندهی شده است: در بخش ۲ رویکردهای مواجه با تغییرات در اطلاعات جریان، در مسائل چیدمان تسهیلات، بیان گردیده‌اند. در بخش ۳ برخی از مفاهیم فازی مورد نیاز تشریح شده و رویکردهای مختلف برنامه‌ریزی فازی در بخش ۴ بیان شده است. الگوریتم هوشمند ترکیبی پیشنهادی برای حل مدل‌های فازی به همراه تشریح دو الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی در بخش ۵ آورده شده است. نحوهٔ استفاده از رویکردهای پیشنهادی در قالب یک مثال عددی در بخش ۶ ذکر شده و نتیجه‌گیری در بخش ۷ صورت گرفته است.

۲. رویکردهای مواجه با تغییرات در اطلاعات جریان در مسائل چیدمان تسهیلات

هر چند مبحث پویا / ایستا بودن با مبحث قطعی / احتمالی بودن دو مقوله مجزا می‌باشند، اما برخی از پژوهشگران، مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات و مسئلهٔ چیدمان تسهیلات احتمالی را به عنوان دو رویکرد مختلف برای مواجه با شرایط وجود ابهام در اطلاعات جریان، معرفی کرده‌اند [۳،۷]. به عبارتی این دو رویکرد را به عنوان دو روش موازی معرفی نموده‌اند. البته عده‌ای نیز بین این دو مبحث تمیز قائل شده‌اند. بدین معنی که یک مسئله در عین پویا بودن، می‌تواند شرایط احتمالی نیز داشته باشد [۶،۸]. شکل ۱ بیانگر این دیدگاه می‌باشد.

علی‌رغم مطالعات زیادی که در زمینهٔ مسئلهٔ چیدمان تسهیلات، در شرایط ایستایی و قطعی بودن، انجام شده است، بررسی این مسئله در شرایط پویایی و همچنین احتمالی بودن اطلاعات جریان نیز، در دو دهی اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. البته همان‌طور که پیش از این اشاره شد، اغلب پژوهشگران تنها یکی از حالات پویایی و یا احتمالی بودن را در مطالعهٔ خود لحاظ نموده‌اند. در ادامه ضمن بیان شرح مختصری از دو رویکرد فوق، برخی از مطالعاتی که در این دو زمینه صورت گرفته، ذکر می‌گردند.

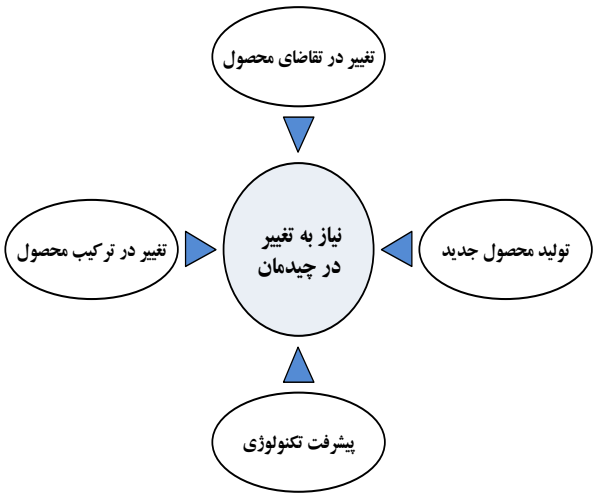


شکل ۱. تقسیم بندی مسائل چیدمان تسهیلات، از لحاظ چگونگی اطلاعات جریان

۲-۱. مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات

امروزه، با توجه به جو رقابتی حاکم بر بازارها، تسهیلات صنعتی باید توانایی نشان دادن واکنش سریع به تغییر در تقاضای محصولات، تغییر در ترکیب محصولات و تغییر نوع محصولات را داشته باشند. پیج اعلام کرده است که حدود ۴۰ درصد از فروش شرکت‌ها از محل فروش محصولات جدید است [۹]. گوپتا و سیف‌الدینی بیان داشته‌اند که در حدود یک‌سوم شرکت‌های آمریکایی در فواصل زمانی دو ساله، با تغییرات عمده در سازماندهی تسهیلات تولیدی مواجه هستند [۱۰]. شکل ۲ نشان دهندهٔ عوامل اصلی و تأثیر گذار در نیاز به تغییر چیدمان، می‌باشد. عوامل ذکر شده باعث نامناسب شدن چیدمان فعلی گردیده که می‌تواند افزایش هزینه‌های جابه‌جایی را در پی داشته باشد. این امر نیاز به تغییر در چیدمان را ایجاد می‌کند [۱۱].

البته تغییر در چیدمان زمانی توجیه خواهد داشت که کاهش مناسبی در هزینه‌های جابه‌جایی مواد را در پی داشته باشد [۷].



شکل ۲. نیاز به تغییر در چیدمان تسهیلات

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

همچنین اگر هزینه‌های تغییر چیدمان ناچیز باشد، مطرح کردن مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات بی‌معنی است. به طور کلی در مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات، هدف، ایجاد طرح‌های چیدمان برای هر دوره از افق برنامه‌ریزی است به طوری که مجموع هزینه-های جابه‌جایی مواد و هزینه‌های تغییر در چیدمان، کمینه گردد. خروجی این مسئله یک سری طرح‌های چیدمان است که هر کدام به یک دورهٔ خاص اختصاص دارند.

روزنبلات اولین کسی است که مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات را با این نام مطرح کرده است [۱۲]. وی برای حل این مسئله، یک مدل برنامه ریزی پویا توسعه داده و از الگوریتم انشعاب و تحدید برای حل آن استفاده نموده است. پس از مقالهٔ روزنبلات، چندین مقاله در تفسیر و توسعهٔ مدل وی ارائه گردید [۱۳-۱۴-۱۵]. در سال‌های ابتدایی بعد از معرفی این مسئله، بیشتر رویکردهای حل را رویکردهای دقیق تشکیل می‌دادند [۱۶-۱۷-۱۸]. کوچهار و هراگو یک الگوریتم ابتکاری به نام DHOPE را برای مسئله چیدمان پویای تسهیلات چند طبقه‌ای ارائه کردند [۱۹]. بالاکریشنان و همکاران نیز یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر تعویض جفتی پویا، که بر اساس روش ارائه شده توسط اوربان بود [۲۰]، ارائه کردند [۲۱]. برای کسب اطلاعات بیشتر در رابطه با مطالعات صورت گرفته در زمینه مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات می‌توان به مقالات مروری بالاکریشنان و چنگ [۲۲] و کناک [۷] مراجعه نمود.

در دهه‌ی اخیر، رویکردهای فرا ابتکاری و رویکردهای ترکیبی، در مواجه با مسئلهٔ چیدمان پویا، بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بایکاسوگلو و گیندی [۲۳]، مک‌کندال و همکاران [۲۴] و آشتیانی و همکاران [۲۵] مسئله را در حالت برابری بخشها و بلوکی بودن طرح استقرار، با استفاده از الگوریتم شبیه-سازی تبرید حل نموده‌اند.

برای همین مسئله، مک‌کندال و شانگ [۲۶] یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر الگوریتم مورچگان، رضازاده و همکاران [۲۷] یک الگوریتم تجمع ذرات توسعه یافته و یولوتاس و ایسلیر [۲۸]، یک الگوریتم انتخاب کلونال، ارائه کرده‌اند. دانگ و همکاران [۲۹] برای مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات در حالت هم‌اندازه نبودن بخشها و نمایش پیوستهٔ طرح چیدمان، یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر مسئلهٔ کوتاه‌ترین مسیر، ارائه نمودند. در فرضیات مدل پیشنهادی آنها، حذف و اضافه کردن ماشینها در دوره‌های مختلف نیز لحاظ شده است.

مک‌کندال و هاکوبیان [۳۰] برای رویارویی با این مسئله، با فرض هم‌اندازه نبودن بخشها و پیوسته بودن طرح، یک رویکرد ترکیبی متشکل از یک روش ابتکاری جهت تولید جواب و یک الگوریتم جستجوی ممنوع برای بهبود آن، ارائه نموده‌اند.

بالاکریشنان و همکاران در سال ۱۹۹۲، مدل زیر را برای مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات، در شرایط برابر بودن اندازهٔ بخشها و نمایش بلوکی طرح چیدمان، ارائه کردند [۱۴].

$$\mathbf{Min}\left[\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{l=1}^{N}A_{tijl}y_{tijl}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{N}C_{tijkl}X_{tij}X_{tkl}\right] \quad (۱)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^{N}X_{tij}=1 \quad ;\ \forall i,\ \forall t \quad (۱)$$

$$\sum_{i=1}^{N}X_{tij}=1 \quad ;\ \forall j,\ \forall t \quad (۲)$$

$$y_{tijl}=X_{(t-1)ij}X_{til} \quad ;\ \forall i,\ \forall j,\ \forall t \quad (۳)$$

$$X_{tij}=\{0,1\} \quad ;\ \forall i,\ \forall j,\ \forall t \quad (۴)$$

که در آن N نشان دهندهٔ تعداد موقعیت‌ها و ایستگاه‌های کاری، T نشان دهندهٔ تعداد دوره‌ها، A_{tijl} هزینهٔ جابجایی ایستگاه کاری i از موقعیت j به موقعیت l در دورهٔ t و C_{tijkl} هزینهٔ حمل و نقل مواد بین ایستگاه کاری i ، که در موقعیت j قرار دارد و ایستگاه کاری k که در موقعیت l قرار دارد، در دورهٔ t می‌باشد و به صورت $C_{tijkl}=f_{tik}\times d_{jl}\times c_{ik}$ محاسبه می شود که در آن f_{tik} حجم جریان بین دو ایستگاه کاری i و k در دورهٔ t، d_{jl} فاصله بین دو مکان j و l و c_{ik} هزینهٔ واحد بین دو ایستگاه کاری i و k است. اگر ایستگاه کاری i در دورهٔ t در موقعیت j قرار گیرد، X_{tij} برابر یک و در غیر اینصورت صفر است. همچنین اگر ایستگاه کاری i در دورهٔ t از موقعیت j به موقعیت l منتقل شود، y_{tijl} برابر یک و در غیر اینصورت صفر است.

رابطهٔ (۱) نشان دهندهٔ تابع هدف، که کمینه سازی مجموع هزینه‌های جابجایی مواد و هزینه‌های تغییر در چیدمان می باشد، است. مجموعه محدودیتهای (۲) بیانگر این مطلب است که هر ایستگاه کاری، در هر دوره تنها به یک موقعیت اختصاص یابد. همچنین مجموعه محدودیتهای(۳) تضمین می کنند که هر موقعیت، در هر دوره تنها به یک ایستگاه کاری اختصاص پیدا کند. محدودیتهای(۴) و (۵) نیز معرف متغیرهای تصمیم می باشند. در این مقاله، مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات، با همین شرایط (برابر بودن اندازهٔ بخشها و نمایش بلوکی طرح چیدمان)، به علاوهٔ فرض فازی بودن حجم جریان مواد بین ایستگاه‌های کاری (f_{tik}) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

۲-۲. مسئلهٔ چیدمان تسهیلات در حالت وجود ابهام در اطلاعات جریان

همانطور که در مقدمه نیز اشاره شد، وجود و یا عدم وجود ابهام در اطلاعات مربوط به جریان مواد در بین بخش‌ها، مسئلهٔ چیدمان تسهیلات را به دو گروه تقسیم می‌کند. هر چند بیشتر مقالات در زمینهٔ چیدمان تسهیلات، نوع قطعی مسئله را مورد توجه قرار داده‌اند، لیکن حالت عدم قطعیت در اطلاعات نیز از نظر پژوهشگران دور نمانده است [۷،۳۱]. در مسائل غیر قطعی (منظور مسائل چیدمان تسهیلات در حالت عدم قطعیت در اطلاعات جریان می‌باشد) دو هدف اصلی دنبال می شود. پایدار[1] بودن، به این معنی که تسهیل، در برابر سناریوهای مختلف تولید و تغییرات احتمالی در اطلاعات جریان، رفتار مطلوب و با ثباتی از خود نشان دهد؛ و انعطاف‌پذیری[2]، به این معنی که یک تسهیل، بدون تأثیر معنی‌داری در عملکردش، بتواند به آسانی خود را با تغییرات احتمالی هماهنگ سازد. رویکردهایی که برای حل این مسئله در نظر گرفته شده را می‌توان به دو گروه کلی رویکردهای احتمالی و رویکردهای فازی، تقسیم نمود. برای رویکردهای احتمالی می توان به مقالات براگلیا و همکاران [۳۲] و همچنین اسمیت و نورمن [۳۳] اشاره نمود که تقاضای محصولات را به صورت احتمالی و دارای توزیع نرمال، در نظر گرفته اند.

در رویکردهای احتمالی فرض بر این است که مقدار تقاضا برای یک محصول، با استفاده از اطلاعات گذشتهٔ مربوط به آن محصول، قابل پیش‌بینی بوده و با تعریف میزان تقاضا به صورت متغیرهای تصادفی، اقدام به حل مسئله می‌نمایند.این در حالی است که در بازارهای کنونی که عدم قطعیت و پویایی دو جزء لاینفک آن محسوب می‌شوند، نمی‌توان چندان به کارایی این رویکردها اطمینان صد در صد داشت. در این شرایط استفاده از رویکردهای فازی معقولانه‌تر به نظر می‌رسد.

رویکردهای فازی به کار گرفته شده برای این مسئله، شامل دو دستهٔ اصلی هستند. رویکردهایی که روابط بین بخشها را با استفاده از متغیرهای کلامی تعریف کرده‌اند [۳۴،۳۵] و رویکردهایی که اطلاعات جریان را بصورت اعداد فازی در نظر گرفته‌اند [۳۷،۳۶]. در این مقاله حجم تقاضای محصولات (و به تبع آن حجم جریان مواد بین ایستگاه‌های کاری) در هر دوره به صورت اعداد فازی (که دارای توابع عضویت متفاوتی هستند) تعریف می‌شوند.

۳. مفاهیم اولیه

نظریه فازی پس از ارائه توسط زاده [۳۸]، به سرعت مورد پذیرش قرار گرفت و گسترش و تعمیق پیدا نمود. یکی از مهمترین بخش-های نظریه فازی که برای مواجه شدن با اکثر پدیده‌های جهان واقعی (که در آنها عدم قطعیت وجود دارد)، مورد استفاده قرار می‌گیرد، تئوری امکان[3] می‌باشد. . با اینکه میزان امکان یک رویداد فازی، بسیار مهم و پرکاربرد است اما این فاکتور فاقد خاصیت خود- دوگانگی[4] است. به منظور برطرف نمودن این مشکل، لیو و لیو در سال ۲۰۰۲ اعتبار[5] یک مجموعه فازی را تعریف نمودند [۳۹]. امتیاز بزرگ این معیار داشتن خاصیت خود – دوگانگی بود. به همین سبب، نظریه اعتبار پس از ارائه بر اساس مفاهیم پایه‌ای مطرح شده در [۴۰] به سرعت گسترش یافت.

- *مجموعه فازی:* با فرض اینکه X یک مجموعهٔ مرجع باشد، $\tilde{A}$ یک زیرمجموعهٔ فازی از مجموعهٔ X است اگر به هر $x \in X$، عددی بصورت $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$، که نشان دهندهٔ درجهٔ عضویت x در $\tilde{A}$ است، تخصیص داده می شود. $\mu_{\tilde{A}}(x)$، تابع عضویت $\tilde{A}$ نامیده می‌شود.

- **عدد فازی:** یک عدد فازی مانند $\tilde{A}$، یک زیر مجموعهٔ فازی نرمال و محدب از X می‌باشد. مفهوم مجموعهٔ محدب در زیر آمده است:

$$\forall x_1 \in X,\ x_2 \in X,\ \forall \alpha \in [0,1]$$
$$\Rightarrow \mu_{\tilde{A}}(\alpha x_1 + (1-\alpha)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2))$$

نرمال بودن زیر مجموعه $\tilde{A}$، به این معنی است که فقط به ازای یک $x \in \tilde{A}$ داشته باشیم: $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$.

- **عدد فازی مثلثی:** یک عدد فازی مثلثی را می توان به صورت سه‌گانه (a, b, c) تعریف نمود. رابطهٔ (۶) نشان دهندهٔ تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

$$T(r;a,b,c) = \begin{cases} 0 & r \leq a \\ \dfrac{r-a}{b-a} & a \leq r \leq b \\ \dfrac{c-r}{c-b} & b \leq r \leq c \\ 0 & r \geq c \end{cases} \qquad (۵)$$

- **عدد فازی نرمال:** یک عدد فازی نرمال را می‌توان به صورت دو-تایی (σ , c) تعریف نمود. رابطهٔ (۷) نشان دهندهٔ تابع عضویت یک عدد فازی نرمال می‌باشد.

---

1. Robustness
2. Flexibility
3. Possibility
4. Self-dual
5. Credibility

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

$$N(r;\sigma,c)=e^{\frac{-(r-c)^2}{2\sigma^2}} \qquad (۶)$$

- **عدد فازی زنگوله شکل**[1]: یک عدد فازی زنگوله شکل را می‌توان به صورت سه‌گانه (a, b, c) تعریف نمود. رابطهٔ (۸) نشان دهندهٔ تابع عضویت یک عدد فازی زنگوله شکل می‌باشد.

$$B(r;a,b,c)=\frac{1}{1+\left|\frac{r-c}{a}\right|^{2b}} \qquad (۷)$$

فرض کنید ξ یک عدد فازی با تابع عضویت μ باشد. آنگاه برای r خواهیم داشت: $\xi \geq r$

- **اندازهٔ امکان:**

$$Pos\{\xi \geq r\}=Sup\,\mu(u) \quad , \quad u \geq r \qquad (۸)$$

- **اندازهٔ الزام**[2]:

$$Nes\{\xi \geq r\}=1-Pos\{\xi < r\}=1-\underset{u<r}{Sup}\,\mu(u) \qquad (۹)$$

- **اندازهٔ اعتبار:**

$$Cr\{\xi \geq r\}=\frac{1}{2}\left(Pos\{\xi \geq r\}+Nes\{\xi \geq r\}\right) \qquad (۱۰)$$

که در آنها u و r اعداد حقیقی هستند.

به عنوان مثال، اگر $\xi=(a,b,c)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه اندازهٔ اعتبار آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Cr(\xi \geq r)=\begin{cases}1 & r \leq a\\ \dfrac{2b-a-r}{2(b-a)} & a \leq r \leq b\\ \dfrac{c-r}{2(c-b)} & b \leq r \leq c\\ 0 & r \geq c\end{cases} \qquad (۱۱)$$

- **ارزش انتظاری یک عدد فازی:** اگر ξ یک عدد فازی باشد آنگاه ارزش انتظاری آن به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$E(\xi)=\int_0^{\infty} Cr\{\xi \geq r\}\,dr-\int_{-\infty}^{0} Cr\{\xi \leq r\}\,dr \qquad (۱۲)$$

1 . Bell shape
2. Necessity

۴. برنامه‌ریزی فازی

همانطوری که پیش از این اشاره شد، در این مقاله حجم تقاضای محصولات در دوره‌های مختلف به صورت اعداد فازی تعریف می‌شوند. لذا اگر عدد تصادفی فازی ξ_{it} را به عنوان میزان تقاضای محصول i در دوره t در نظر بگیریم، آنگاه هزینهٔ جابجایی مواد میان ایستگاه‌های کاری مختلف نیز یک عدد فازی بوده و در نتیجه هزینه کل نیز یک عدد فازی خواهد بود.

گام نخست جهت حل چنین مسئله‌ای، مدل‌سازی آن می‌باشد. به طور کلی، سه رویکرد جهت مدل‌سازی برنامه‌ریزی فازی وجود دارد که عبارتند از:

۱) مدل ارزش انتظاری[3]

۲) مدل برنامه‌ریزی با قید احتمالی[4]

۳) مدل برنامه‌ریزی بر مبنای شانس[5]. در ادامه، مسئله چیدمان پویای تسهیلات، در قالب هر یک از این سه مدل، مدل‌سازی می‌شود.

۴-۱. مدل ارزش انتظاری (EVM)

چارچوب مدل ارزش انتظاری، برای اولین بار در سال ۲۰۰۲ توسط لیو و لیو [۳۹]، با الهام از مدل ارزش انتظاری در برنامه‌ریزی احتمالی، مطرح گردید. در واقع ایده اصلی این مدل، محاسبه ارزش انتظاری هزینه، به عنوان معیار هزینه کل است. مدل برنامه‌ریزی چیدمان پویای تسهیلات، در شرایط فازی بودن میزان جریان مواد، بر مبنای مدل EVM به صورت زیر فرموله می‌گردد.

$$\begin{aligned}&\text{Min} \quad E\left[C(X,\xi)\right]\\ &=\int_0^{\infty} Cr\left\{C(X,\xi)\geq r\right\}dr-\int_{-\infty}^{0} Cr\left\{C(X,\xi)\leq r\right\}dr\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

s. t.

$$\left.\begin{aligned}&\sum_{j=1}^{N} X_{tij}=1 \quad ; \ \forall i, \ \forall t\\ &\sum_{i=1}^{N} X_{tij}=1 \quad ; \ \forall j, \ \forall t\\ &y_{tijl}=X_{(t-1)ij}X_{til} \quad ; \ \forall i, \ \forall j, \ \forall t\\ &X_{tij}=\{0,1\} \quad ; \ \forall i, \ \forall j, \ \forall t\end{aligned}\right\} \rightarrow g_i(x)\leq 0$$

در رابطهٔ (۱۴)، $E\left[C(X,\xi)\right]$ نشان دهندهٔ ارزش انتظاری هزینهٔ کل، به ازای چیدمان پویای تسهیلات X می‌باشد. بنابراین در این مدل، هدف، جستجوی بهترین چیدمانی است که به ازای آن، ارزش انتظاری هزینهٔ کل، حداقل گردد.

3. Expected Value Model (EVM)
4. Chance-Constrained Programming (CCP)
5. Dependent-Chance Programming (DCP)

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

از آنجا که مجموعه محدودیت‌های مسئله در دیگر مدل‌ها نیز یکسان هستند، لذا جهت سهولت در کار و پرهیز از دوباره نویسی، آنها را $g(x)$ می‌نامیم.

۴-۲. مدل برنامه‌ریزی با قید احتمالی (CCP)

دومین مدل برنامه‌ریزی فازی، مدل برنامه‌ریزی با قید احتمالی است که چارچوب تئوری آن توسط لیو و یامورا [۴۱] از مدل احتمالی به مدل فازی توسعه داده شد و به عنوان یکی از مدل-های برنامه‌ریزی فازی مطرح گردید.

ایده اصلی این مدل، بهینه‌سازی مقدار بحرانی یک قید احتمالی، در یک سطح اطمینان از پیش مشخص شده است. در ادامه مسئله چیدمان تسهیلات پویا بر مبنای مدل CCP مدل‌سازی شده است:

$$\min_{x} \quad \min_{f} \; f$$

$$\text{s. t.}$$
$$\mathrm{Cr}\left(C(X,\xi) \le f\right) \ge \alpha$$
$$g_i(x) \le 0$$

اگر مینیمم مقدار f ای که در رابطه $\mathrm{Cr}\left(C(X,\xi) \le f\right) \ge \alpha$ صدق می‌کند را f_α بنامیم. آنگاه هدف این مدل، دستیابی به چیدمان با حداقل مقدار f_α است.

۴-۳. مدل برنامه‌ریزی بر مبنای شانس (DCP)

سومین مدل برنامه‌ریزی فازی که برای اولین بار توسط لیو [۴۳] در محیط فازی مدل‌سازی شد، مدل برنامه‌ریزی بر مبنای شانس (DCP) است. ایده اصلی این مدل، جستجوی جوابی است که در آن شانس (یا احتمال) وقوع یک رویداد بهینه گردد. در ادامه مدلی جهت برنامه‌ریزی چیدمان پویای تسهیلات بر اساس مدل فازی DCP، ارائه شده است که هدف آن یافتن چیدمانی است که شانس بیشتر شدن هزینهٔ کل از یک مقدار مشخص (C^0) را مینیمم می‌نماید.

$$\min_{x} \quad \mathrm{Cr}\left[C(X,\xi) \ge C^0\right]$$
$$\text{s. t.}$$
$$g_i(x) \le 0$$

در بخش بعدی یک الگوریتم هوشمند ترکیبی به منظور حل مدل‌های برنامه‌ریزی فازی چیدمان (که در این قسمت مورد بررسی قرار گرفت)، معرفی و توضیح داده خواهد شد.

۵. الگوریتم هوشمند ترکیبی

روش کلاسیک حل مدل‌های برنامه‌ریزی فازی، تبدیل مدل فازی به مدل قطعی و سپس حل آن از طریق الگوریتم های قطعی مرسوم است.

اما این روش تنها در مسائل خاص و بسیار ساده موثر است. لیو [۴۴] و لیو و یامورا [۴۲] چارچوب تئوری الگوریتم هوشمند ترکیبی متشکل از الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی فازی را جهت حل مدل برنامه‌ریزی فازی ارائه دادند.

این الگوریتم توانایی حل مدل‌های بسیار پیچیده را دارد اما بزرگترین ایراد آن محاسبات طولانی آن است که خوشبختانه با توجه به پیشرفت کامپیوترهای محاسباتی این مشکل روز به روز کمرنگ‌تر می شود.

به منظور حل مدل‌های فازی مربوط به برنامه‌ریزی چیدمان پویای تسهیلات، نخست همانند مدل‌های قطعی برنامه‌ریزی چیدمان پویای تسهیلات، می‌بایست الگوریتمی جهت جستجوی چیدمان بهینه طراحی شود. بدین منظور در این مقاله از الگوریتم ژنتیک به منظور جستجوی بهترین چیدمان استفاده می‌شود. علاوه بر این، در مدل‌های فازی می‌بایست مکانیزمی جهت برآورد توابع فازی اتخاذ شود.

روش کلاسیک در برآورد این نوع توابع، تبدیل مدل فازی به مدل قطعی و سپس حل مدل قطعی به کمک روش‌های متداول است اما تبدیل مدل فازی به مدل قطعی، تنها در مسائل خاص و بسیار ساده مؤثر است و استفاده از این روش در سایر موارد، فرآیند بسیار مشکل و عملاً غیر ممکنی دارد، به خصوص زمانی که توابع عضویت مقادیر جریان مواد، دارای توابع عضویت غیر مثلثی باشند.

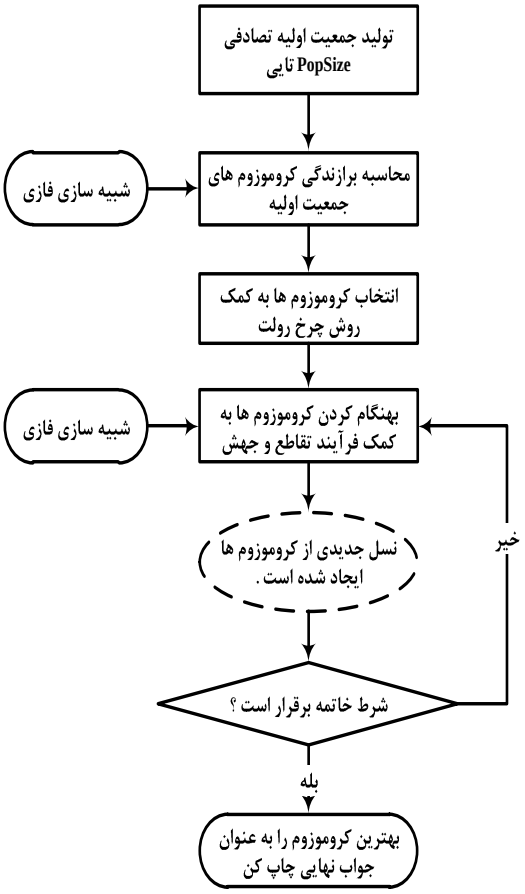
در حال حاضر تنها روش عمومی و شناخته شدهٔ رایج برای محاسبهٔ تقریبی این مقدار، استفاده از روش شبیه‌سازی فازی[1] است.

در این مقاله با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک (جهت جستجوی جواب) و الگوریتم شبیه‌سازی فازی (جهت برآورد توابع فازی)، یک الگوریتم هوشمند ترکیبی جهت حل مدل فازی برنامه‌ریزی چیدمان تسهیل پویا طراحی گردیده است. نحوه ترکیب این دو الگوریتم بدین صورت است که هر گاه در الگوریتم ژنتیک احتیاج به برآورد تابع برازندگی بود، از شبیه سازی فازی جهت محاسبه مقدار آن استفاده می‌گردد.

شکل ۳ نحوهٔ ارتباط الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی را نشان می‌دهد. سایر جزئیات مربوط به هر یک از این الگوریتم‌ها در ادامه بیان شده است.

1. *Fuzzy Simulation*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]



شکل ۳. ارتباط میان الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی در الگوریتم هوشمند ترکیبی

۵-۱. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط جان هالند [۴۵] مطرح گردید، یکی از تکنیکهای جستجو می‌باشد که از تکامل ژنتیکی و انتخاب طبیعی، الهام گرفته شده است. این الگوریتم در طیف گسترده ای از مسائل، مورد استفاده قرار گرفته است.

به‌ویژه در مسائل بهینه سازی ترکیبی که در مدت زمانی قابل قبول، جوابهای نزدیک به جواب بهینه، ایجاد می‌کند.

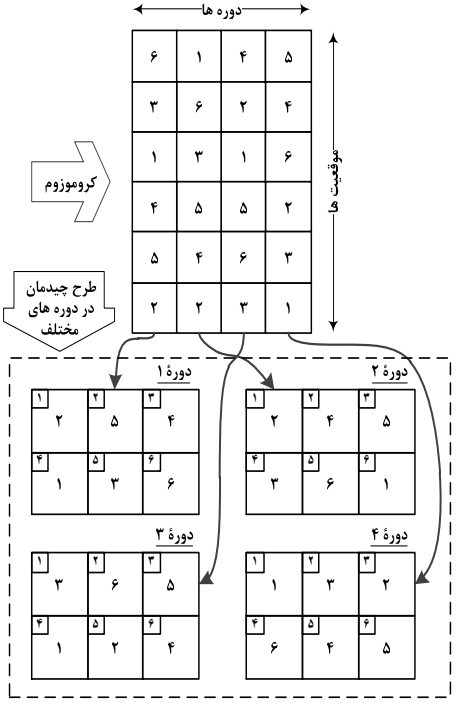
۵-۱-۱. نحوهٔ نمایش جواب

اولین گام در بکارگیری و پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، نمایش جواب‌های مسئله بصورت یک کروموزوم است. در این مقاله کروموزوم‌ها بصورت دو بعدی، که یک بعد نشان دهندهٔ دوره و بعد دیگر بیانگر موقعیت‌ها می‌باشد، تعریف می‌شوند (شکل ۴) .

۵-۱-۲. ایجاد جمعیت اولیه

برای تولید جمعیت اولیه، به تعداد Popsize ، که پارامتر اندازهٔ جمعیت در الگوریتم است، ترتیب تصادفی از ایستگاه‌های کاری تولید کرده و هر یک را به عنوان یک کروموزوم در نظر می گیریم.

لازم به ذکر است که در هر کروموزوم در جمعیت اولیه، موقعیت هر ایستگاه‌کاری، در تمامی دوره‌ها، یکسان لحاظ می‌شود (بدین معنی که نحوهٔ چیدمان ایستگاه‌های کاری، برای تمامی دوره‌های یک کروموزوم بصورت یکسان و بر اساس ترتیب تصادفی تولید شده، لحاظ می‌گردد).



شکل ۴. نحوهٔ نمایش کروموزوم

۵-۱-۳. انتخاب

در الگوریتم ارائه شده از روش چرخ رولت[۱] که یکی از متداول‌ترین روش‌های انتخاب است، جهت انتخاب بهترین کروموزوم‌ها، استفاده شده است. با توجه به اینکه در مسئله مورد بررسی، مقادیر تابع هدف دارای مقادیر نزدیک به هم هستند از روش رتبه‌بندی جهت ارزیابی کروموزوم‌ها استفاده می‌شود. طبق این روش ابتدا به هر کروموزوم یک رتبه اختصاص داده می شود (بین ۱ تا pop-size) به طوریکه به کروموزومی که دارای بیشترین ارزش انتظاری است رتبه ۱ و به کروموزومی که دارای کمترین ارزش انتظاری است رتبه سایز جمعیت اختصاص خواهد یافت. پس از رتبه بندی کروموزوم ها، تابع ارزیابی بر مبنای رتبه، که با $\mathrm{eval}(c_k)$ نمایش داده شده است، به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\mathrm{eval}(c_k) = \rho(1-\rho)^{k-1},\ k = 1,2,...,\mathrm{pop-size}$$

در رابطه فوق k رتبه کروموزوم است و یک ثابت از پیش تعیین شده در بازه (۱،۰) است. بعد از به دست آمدن تابع ارزیابی

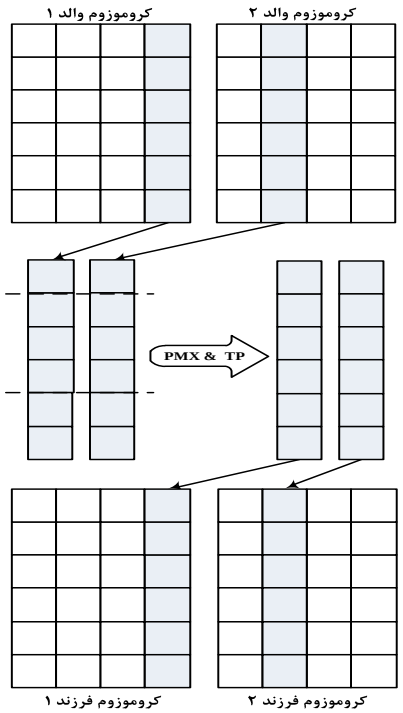
[۱] *Roulette Wheel*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

کروموزوم‌ها، به کمک روش چرخ رولت، یک جمعیت جدید به اندازه سایز جمعیت تشکیل می‌شود.

۵-۱-۴. تقاطع

در این مقاله عمل تقاطع بدین صورت انجام می‌گیرد که پس از انتخاب تصادفی دو کروموزوم به عنوان والد، از هر یک از آنها یک دوره به تصادف انتخاب می‌شود. سپس بر روی دو ترتیب حاصل، ابتدا تقاطع نگاشت ناقص[1] (PMX) و پس از آن تقاطع دو نقطه-ای[2] (TP)، صورت می‌گیرد. در پایان از بین دو کروموزوم والد و چهار کروموزوم فرزند، دو کروموزوم بهتر را نگه داشته و مابقی را حذف می‌کنیم. شکل ۵ نحوهٔ انجام عمل تقاطع را نشان می‌دهد (برای اطلاع از چگونگی انجام تقاطع‌های PMX و TP می‌توان به مراجع [۴۶،۴۷] مراجعه نمود).

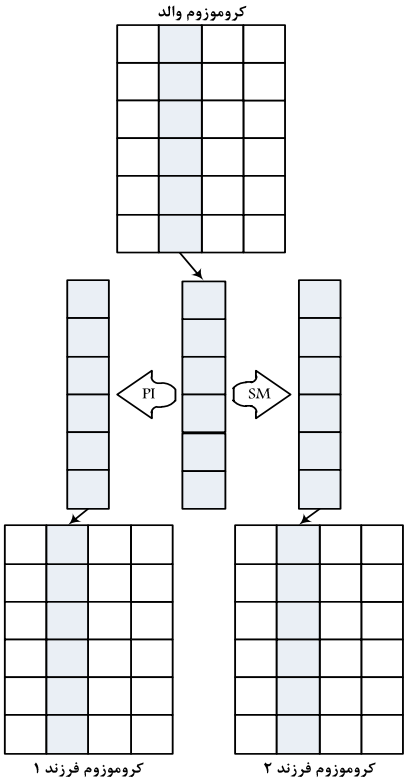


شکل ۵. روند انجام عمل تقاطع

۵-۱-۵. جهش

در این مقاله، عمل جهش به دو روش تبادل جفتی[3](PI) و حرکت انتقالی[4](SM) صورت می‌گیرد. در این راستا پس از انتخاب یک کروموزوم به صورت تصادفی به عنوان والد، یک دوره از آن نیز به صورت تصادفی انتخاب می شود. سپس دو جهش PI و SM را بر روی دورهٔ انتخابی انجام می‌دهیم. در پایان از بین کروموزوم والد و دو کروموزوم فرزند حاصله، بهترین را نگه داشته و دو تای دیگر را حذف می‌کنیم.

شکل ۶ نحوهٔ انجام عمل جهش را نشان می‌دهد (برای اطلاع از چگونگی انجام جهش‌های PI و SM می‌توان به مرجع [۴۷] مراجعه نمود).



شکل ۶. روند انجام عمل جهش

۵-۲. شبیه‌سازی فازی

همانطوری که پیش از این اشاره شد، تنها روش عمومی برای تقریب توابع فازی، شبیه‌سازی فازی می‌باشد. این روش، یکی از انواع کاربردی شبیه‌سازی مونت کارلو است که برای اولین بار در سال ۱۹۹۸ توسط لیو و یامورا معرفی گردید [۴۱] و به صورت موفقیت آمیزی توسط لیو، جهت حل مسائل بهینه‌سازی فازی به کار گرفته شد [۴۸]. علاوه بر این لیو همگرایی شبیه‌سازی فازی را اثبات نموده و کارایی آن را در تقریب اندازهٔ دقیق توابع نشان داد [۴۹].

در ادامه سه الگوریتم مبتنی بر شبیه‌سازی فازی، جهت برآورد مقادیر توابع فازی مربوط به مدل‌های توسعه داده شده در بخش ۴، ارائه می‌گردد.

به دلیل مشترک بودن دو مرحله اول در این الگوریتم‌ها، ابتدا دو مرحله مشترک توضیح داده شده و سپس مراحل باقیمانده به طور جداگانه برای هر یک از سه الگوریتم، توضیح داده خواهد شد.

1. Partially Mapped crossover (PMX)
2 Two Point crossover (TP)
3. Pairwise Interchange (PI)
4. Shift Move (SM)

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

۵-۲-۱. گام های مشترک سه الگوریتم

– **گام اول**: اعداد تصادفی w_{itj} را با شرط $\mu_{it}(w_{itj}) \geq \varepsilon$ تولید کنید. w_{itj}، j امین عدد تصادفی انتخاب شده از عدد فازی ξ_{it} (حجم تقاضای محصول i در دورهٔ t)، می‌باشد. ε نیز یک عدد حقیقی مثبت بسیار کوچک بوده و μ_{it} تابع عضویت عدد فازی ξ_{it} است). برای j داریم: $j=1,2,3,..,NS_1$ (NS_1 بیانگر تعداد تکرار شبیه-سازی است).

– **گام دوم**: به ازای هر j، یک مجموعهٔ کامل از اعداد قطعی (در اینجا w_j نامیده می‌شوند) که نشان دهندهٔ میزان تقاضای محصولات در دوره‌های مختلف می باشند، حاصل می‌شود. با استفاده از w_j ها، جدول از-به را به ازای هر j محاسبه نموده و به کمک آن هزینه کل محاسبه می‌شود $\left(w_j = \{w_{itj} \mid 0 \leq i \leq NP, 0 \leq t \leq T\}\right)$.

۵-۲-۲. شبیه سازی فازی جهت محاسبهٔ $E[C(X,\xi)]$

– **گام سوم**: مقدار E (ارزش انتظاری هزینه) را برابر صفر قرار داده و به گام بعدی بروید $(E=0)$.

– **گام چهارم**: مقدار a را برابر کوچکترین هزینهٔ به دست آمده برای هزینهٔ کل و مقدار b را برابر بزرگترین هزینهٔ به دست آمده برای هزینهٔ کل، قرار دهید.

$$a = \min_{1\leq j\leq N}\{C(X,w_j)\} \quad \& \quad b = \max_{1\leq j\leq N}\{C(X,w_j)\}$$

– **گام پنجم**: عدد r را به صورت تصادفی در بازه (a,b) تولید کرده سپس به کمک رابطه زیر مقدار $Cr\{C(X,\xi)\geq r\}$ را محاسبه نمایید.

$$Cr\{C(X,\xi)\geq r\} = \frac{1}{2}\left(\max_{1\leq j\leq NS_1}\left\{\min_{\substack{1\leq i\leq N\\ 1\leq t\leq T}}\mu_{it}(w_{itj}) \mid C(X,\xi)\geq r\right\} + 1 - \max_{1\leq j\leq NS_1}\left\{\min_{\substack{1\leq i\leq N\\ 1\leq t\leq T}}\mu_{it}(w_{itj}) \mid C(X,\xi) < r\right\}\right)$$

– **گام ششم**: $E + Cr\{C(X,\xi)\geq r\} \rightarrow E$

– **گام هفتم**: گام‌های پنجم تا ششم را NS_2 (تعداد تکرار الگوریتم برای محاسبهٔ ارزش انتظاری) بار انجام دهید و سپس به گام بعدی بروید.

– **گام هشتم**:

$$E[C(X,\xi)] = a\vee 0 + b\wedge 0 + [(E\times(b-a))/NS_2]$$

۵-۲-۳. شبیه سازی فازی جهت محاسبهٔ

$$f_{min}(\alpha) = \underset{f}{Min}\{f \mid Cr(C(X,\xi)\leq f)\geq\alpha\}$$

– **گام سوم**: حد بالایی و حد پایینی اولیه مقدار f_{min} را به روش زیر به دست آورید.

$$LB = \min_{1\leq j\leq N}\{C(X,w_j)\} \quad \& \quad UB = \max_{1\leq j\leq N}\{C(X,w_j)\}$$

– **گام چهارم**: مقدار جدید f_{min} را برابر میانگین دو مقدار حد بالایی و حد پایینی قرار دهید.

– **گام پنجم**: مقدار $Cr(C(X,\xi)\leq f)$ را از رابطه زیر محاسبه نمایید.

$$Cr(C(X,\xi)\leq f) = \frac{1}{2}\left(\max_{1\leq j\leq NS_1}\left\{\min_{\substack{1\leq i\leq N\\ 1\leq t\leq T}}\mu_{it}(w_{itj}) \mid C(X,\xi)\leq f\right\} + 1 - \max_{1\leq j\leq NS_1}\left\{\min_{\substack{1\leq i\leq N\\ 1\leq t\leq T}}\mu_{it}(w_{itj}) \mid C(X,\xi) > f\right\}\right)$$

– **گام ششم**: اگر مقدار $Cr(C(X,\xi)\leq f)$ از α بیشتر بود، حد بالا را برابر f_{min} قرار دهید، در غیر این صورت حد پایین را برابر f_{min} قرار دهید.

– **گام هفتم**: گام‌های چهارم تا ششم را تا زمانی که اختلاف میان حد بالایی و حد پایینی از یک حد مشخص از پیش تعیین شده (دقت محاسبه) بزرگتر است ادامه دهید و سپس به گام بعدی بروید.

– **گام هشتم**: مقدار f_{min} را به عنوان خروجی چاپ کنید.

۵-۲-۴. روش شبیه‌سازی فازی جهت محاسبهٔ $Cr[C(X,\xi)\geq C^0]$

گام سوم: مقدار $Cr[C(X,\xi)\geq C^0]$ به کمک رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$Cr\{C(X,\xi)\geq C^0\} = \frac{1}{2}\left(\max_{1\leq j\leq NS_1}\left\{\min_{\substack{1\leq i\leq N\\ 1\leq t\leq T}}\mu_{it}(w_{itj}) \mid C(X,\xi)\geq C^0\right\} + 1 - \max_{1\leq j\leq NS_1}\left\{\min_{\substack{1\leq i\leq N\\ 1\leq t\leq T}}\mu_{it}(w_{itj}) \mid C(X,\xi) < C^0\right\}\right)$$

۶. مثال عددی

کارخانه‌ای با شش ایستگاه کاری A تا F، شش محصول Pr.1 تا Pr.6 را در برنامهٔ تولید خود دارد. هر یک از محصولات دارای مسیر تولید خاص خود بوده که در جدول ۱ نشان داده شده است. تقاضا برای محصولات این شرکت، در دوره‌های مختلف با تغییراتی همراه است.

همچنین مقادیر تقاضا در هر دوره مقداری غیر قطعی بوده که بصورت اعداد فازی در نظر گرفته شده است. تقاضا برای سه محصول Pr.1، Pr.2 و Pr.3 بصورت اعداد فازی مثلثی، برای دو محصول Pr.4 و Pr.5 بصورت اعداد فازی نرمال و برای محصول Pr.6 در قالب اعداد فازی زنگوله شکل، در نظر گرفته شده‌اند.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

جدول ۲ مقادیر تقاضای مربوط به هر محصول، در چهار دورهٔ ۱ تا ۴ را نشان می‌دهد. هزینه‌های مربوط به جابجایی ایستگاه‌های مختلف کاری نیز در جدول ۳ آورده شده است. در ضمن هزینه-های جابجایی مواد نیز یکسان و برابر واحد، لحاظ شده است. طرح جانمایی به صورت بلوکی، با شش بلوک به ابعاد ۵×۵ در نظر گرفته شده است. قصد داریم در چارچوب مدل‌های ارائه شده در بخش ۴، این مثال را حل نماییم.

کد نویسی‌های مربوطه در محیط نرم افزار Matlab9 صورت گرفته است. پارامترهای الگوریتم ژنتیک در هر سه مدل یکسان و بدین شرح تعریف شده‌اند: اندازهٔ جمعیت برابر T*N، نرخ تقاطع برابر ۰/۸ و نرخ جهش برابر ۰/۲. شرایط خاتمه نیز تعداد ۲۰ تکرار بدون بهبود در نظر گرفته شد.

جدول ۱. مسیر تولید محصولات

محصولات	مسیر تولید
Pr. 1	F → E →B → A
Pr. 2	F → D →C → A
Pr. 3	F→ E →D → C → B → A
Pr. 4	F→ B → C → E → A
Pr. 5	F → C →B → A
Pr. 6	F→ C →D → E → B → A

جدول ۲. حجم تقاضای محصولات در دوره‌های مختلف

محصولات	دوره			
	اول	دوم	سوم	چهارم
Pr. 1	T(۳۵۰۰,۳۶۰۰,۴۰۰۰)	T(۳۵۰۰,۳۶۰۰,۴۰۰۰)	T(۲۰۰۰,۲۲۰۰,۲۵۰۰)	-
Pr. 2	T(۲۵۰۰,۲۸۰۰,۳۰۰۰)	T(۴۰۰,۵۰۰,۶۰۰)	T(۴۰۰,۵۰۰,۶۰۰)	T(۱۴۰۰,۱۵۰۰,۱۶۰۰)
Pr. 3	T(۷۰۰,۷۵۰,۹۰۰)	T(۳۵۰۰,۴۰۰۰,۴۳۰۰)	T(۱۱۰۰,۱۲۵۰,۱۳۵۰)	T(۵۰۰,۶۰۰,۷۰۰)
Pr. 4	N(۵۰,۵۶۰)	N(۲۰,۵۵۰)	N(۲۰۰,۵۵۰۰)	N(۸۰,۱۲۰۰)
Pr. 5	N(۴۰,۴۰۰)	N(۴۰,۵۰۰)	N(۴۰,۷۰۰)	N(۲۰۰,۴۰۰۰)
Pr. 6	B(۱۳۰,۱,۱۷۰۰)	B(۱۲۰,۱,۱۷۰۰)	B(۵۰,۱,۱۴۰۰)	B(۲۰۰,۱,۳۳۰۰)

جدول ۳. هزینهٔ جابجایی ایستگاه‌های کاری

	بخش‌ها					
	A	B	C	D	E	F
هزینه جابجایی	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰

۶-۱. مدل‌سازی مسئله با رویکرد مدل ارزش انتظاری EVM

اگر هدف از بررسی مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات، یافتن طرح چیدمانی با حداقل ارزش انتظاری هزینه‌های حمل و نقل مواد و جابجایی ایستگاه‌های کاری باشد، مسئله بصورت زیر مدل‌سازی می‌گردد:

$$\text{Min} \quad E\left[C(X,\xi)\right] = \int_0^{\infty} Cr\left\{C(X,\xi) \geq r\right\} dr - \int_{-\infty}^{0} Cr\left\{C(X,\xi) \leq r\right\} dr$$

s. t.

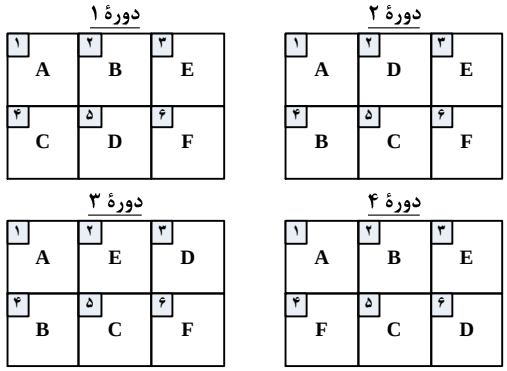
$$\sum_{j=1}^{6} X_{tij} = 1 \quad ; \quad i = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

$$\sum_{i=1}^{6} X_{tij} = 1 \quad ; \quad j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

$$y_{tijl} = X_{(t-1)ij} X_{til} \quad ; \quad i,j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

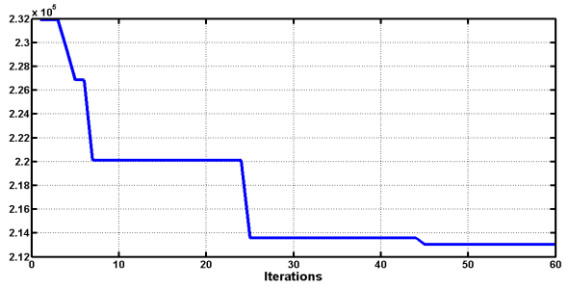
$$X_{tij} = \{0,1\} \quad ; \quad i,j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

از آنجا که تعداد موقعیت‌ها و ایستگاه‌های کاری برابر و در این مثال برابر ۶ است، مقدار N برابر ۶ و T که نشان دهندهٔ تعداد دوره‌هاست، با توجه به صورت مسئله، برابر ۴ قرار داده شده است. همانطوری که قبل از این نیز اشاره شد برای حل این مدل یک الگوریتم هوشمند ترکیبی، متشکل از الگوریتم ژنتیک و شبیه-سازی فازی توسعه داده شد. پیش از این پارامترهای الگوریتم ژنتیک مشخص و بیان گردید. برای شبیه سازی فازی نیز تعداد تکرار (NS_1) برابر ۳۰۰۰ و همچنین تکرار الگوریتم برای محاسبهٔ ارزش انتظاری (NS_2) ۲۰۰۰ در نظر گرفته شد. چیدمان پویای تسهیلات حاصل از حل الگوریتم، در شکل ۷ نشان داده شده است. مقدار ارزش انتظاری بدست آمده برای این چیدمان ۲۱۳,۰۴۰ بدست آمد. نحوهٔ همگرایی الگوریتم ژنتیک نیز در شکل ۸ قابل مشاهده است.



شکل ۷. طرح چیدمان پویای تسهیلات بر اساس مدل EVM

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]



شکل ۸. نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی (مدل EVM)

۶-۲. مدل‌سازی مسئله با رویکرد مدل برنامه‌ریزی با قید احتمالی CCP

در این مدل ابتدا برای هر طرح چیدمان، یک حداقل سطح هزینه مانند f_α، با این ویژگی که در $\alpha \times 100\%$ حالات، هزینهٔ طرح کمتر از این سطح باشد، بدست آمده و سپس طرحی که کمترین مقدار f_α را دارد، انتخاب می‌شود. مدل CCP برای مثال ذکر شده به صورت زیر می باشد:

$$\min_{X} \quad \min_{f}\ f$$

s. t.

$$Cr\left(C(X,\xi) \le f\right) \ge 0.9$$

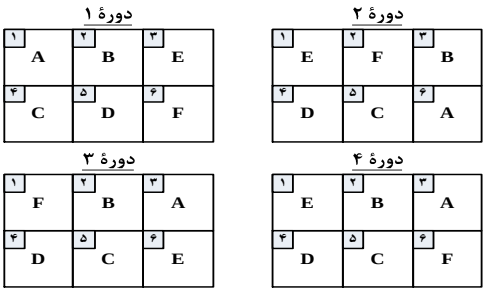
$$\sum_{j=1}^{6} X_{tij} = 1 \quad ; \quad i = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

$$\sum_{i=1}^{6} X_{tij} = 1 \quad ; \quad j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

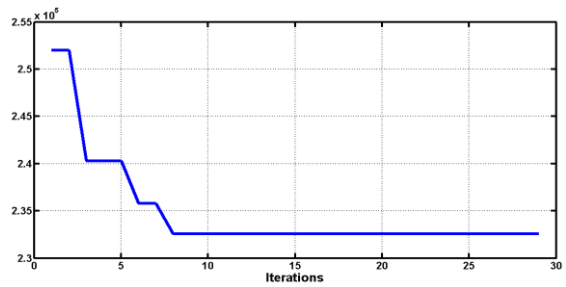
$$y_{tijl} = X_{(t-1)ij} X_{til} \quad ; \quad i,j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

$$X_{tij} = \{0,1\} \quad ; \quad i,j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

در این مثال α=۰/۹ در نظر گرفته شده و همچنین دقت محاسبه (β) برابر ۱ لحاظ گردید. تعداد تکرار شبیه سازی (NS_1) برای این مدل نیز برابر ۳۰۰۰ منظور شد. با استفاده از الگوریتم هوشمند ترکیبی، مقدار f_α برای این مثال، ۲۳۲,۵۵۰ حاصل گردید. طرح چیدمان پویای تسهیلات برای مثال مورد بررسی، تحت مدل CCP در شکل ۹ آورده شده است. همچنین شکل ۱۰، همگرایی الگوریتم پیشنهادی را تحت این مدل نشان می‌دهد.



شکل ۹. طرح چیدمان پویای تسهیلات بر اساس روش CCP



شکل ۱۰. نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی (مدل CCP)

۶-۳. مدل‌سازی مسئله با رویکرد مدل برنامه‌ریزی بر مبنای شانس DCP

در این مدل سعی در پیدا کردن چیدمانی داریم که شانس بیشتر شدن هزینهٔ آن از یک حد مشخص (C^0) کمترین مقدار را داشته باشد. لذا هدف، کمینه‌سازی این شانس می‌باشد. در این مثال C^0 برابر ۲۳۰,۰۰۰ در نظر گرفته شد.

مدل DCP برای مثال مورد بررسی در زیر آمده است:

$$\min_{X} \quad Cr\left[C(X,\xi) \ge 230{,}000\right]$$

s. t.

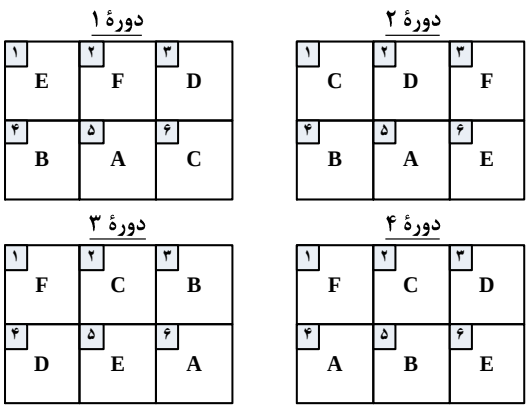
$$\sum_{j=1}^{6} X_{tij} = 1 \quad ; \quad i = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

$$\sum_{i=1}^{6} X_{tij} = 1 \quad ; \quad j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

$$y_{tijl} = X_{(t-1)ij} X_{til} \quad ; \quad i,j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

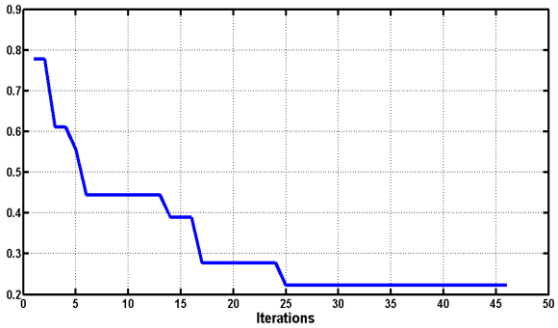
$$X_{tij} = \{0,1\} \quad ; \quad i,j = 1,2,...,6 \quad \& \quad t = 1,2,3,4$$

مقدار تابع هدف مدل، مقدار ۰/۲۲۲ حاصل شد. شکل ۱۱ طرح چیدمان پویای تسهیلات، تحت مدل DCP می‌باشد. شکل ۱۲ نیز نشان دهندهٔ همگرایی الگوریتم پیشنهادی تحت این مدل است.



شکل ۱۱. طرح چیدمان پویای تسهیلات بر اساس روش DCP

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]



شکل ۱۲. نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی (مدل CCP)

با استفاده از شبیه‌سازی فازی، برای هر طرح چیدمان (حاصل شده از سه مدل)، علاوه بر معیار مستقیمی که توسط هر مدل دنبال می‌شود، مقدار معیارهایی که در دو مدل دیگر به دنبال بهینه‌سازی آنها هستیم نیز محاسبه شده که نتایج در جدول ۴ قابل مشاهده است. به طور مثال، کمترین سطح هزینه (f_α) برای طرح چیدمان حاصل از مدل EVM (با تابع هدف کمینه‌سازی ارزش انتظاری هزینه‌ها و مقدار هدف بدست آمدهٔ ۲۱۳۰۴۰)، با α=۰/۹ برابر ۲۴۳۶۳۰ بوده و همچنین شانس بیشتر بودن هزینهٔ این طرح از مقدار ۲۳۰۰۰۰ برابر ۰/۳۳۳ می‌باشد. برای طرح‌های حاصله از دو مدل CCP و DCP نیز به همین صورت عمل شده است. همانطوری که انتظار می‌رود، هر معیار، بهترین مقدار خود را تحت مدلی که در آن به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود، کسب کرده است.

اینکه کدام مدل بایستی انتخاب شود و یا کدام یک نتیجه بهتری در بر خواهد داشت، وابسته به شرایط مسئله و نظر صاحبان امر می‌باشد. اگر صرفاً به دنبال کسب طرح چیدمانی با کمترین هزینه باشیم، مدل EVM، گزینهٔ مناسبی خواهد بود. اما در صورتی که شرایط به نحوی باشد که تحمل ریسک هزینه‌های بالا وجود نداشته باشد، آنگاه مدل DCP، از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. چرا که این مدل شانس بیشتر شدن هزینهٔ کل، از یک حد مشخص را حداقل می‌نماید.

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات مورد بررسی قرار گرفته شد. پیش فرض اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه، مشخص و قطعی بودن اطلاعات جریان مواد در طول افق برنامه-ریزی بوده است. حال آنکه با توجه به پویایی محیط‌های کسب و کار، همواره تنوع و حجم تقاضای محصولات در حال تغییر می-باشد. لذا وجود این فرض (مشخص و قطعی بودن اطلاعات جریان مواد) چندان منطقی نبوده و بدین منظور در این مقاله حجم تقاضای محصولات (و به تبع آن حجم جریان مواد) در قالب اعداد فازی در نظر گرفته شد. سپس مدل‌سازی مسئله در چارچوب برنامه‌ریزی فازی و در قالب سه مدل EVM، CCP و DCP صورت پذیرفت.

با توجه به پیچیدگی مسئله و عدم امکان تبدیل و حل مدل‌ها به مدل‌های قطعی، یک الگوریتم هوشمند ترکیبی، شامل الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی، برای حل مدل‌ها توسعه داده شد. سپس با حل یک مثال توسط رویکرد پیشنهادی کارایی الگوریتم در حل مدل‌های فازی مسئلهٔ چیدمان پویای تسهیلات، نشان داده شد. مطالعات آینده در این زمینه می‌توانند مدل ارائه شده در این مقاله را با تغییر در فرضیات مدل (نحوهٔ نمایش و اندازهٔ بخشها) توسعه دهند. همچنین استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر، نظیر الگوریتم شبیه سازی تبرید، در مدل ارائه شده می‌تواند نتایج جالبی را در بر داشته باشد.

جدول ۴. نتایج سه رویکرد مختلف

مدل به کار گرفته شده	$E\left[C(X,\xi)\right]$	$\mathrm{Min}\left\{f \mid \mathrm{Cr}\left(C(X,\xi)\le f\right)\ge\alpha\right\}$ (α=۰/۹)	$\mathrm{Cr}\left[C(X,\xi)\ge C^0\right]$ C^0(=۲۳۰۰۰۰)
EVM	**۲۱۳۰۴۰**	۲۴۳۶۳۰	۰/۳۳۳
CCP	۲۱۴۰۴۰	**۲۳۲۵۵۰**	۰/۳۸۸
DCP	۲۲۶۴۵۰	۲۵۹۲۹۰	**۰/۲۲۲**

مراجع

[1] Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., Frazelle, E., Tanchoco, J., Trevino, J. *Facilities Planning*. NY: John Wiley & Sons, Inc. 1996.

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

[3] Nayak, C.N., *Solutions to Dynamic Facility Layout Problems: Development of dynamic from Between Chart (DFBC) and its Applications to Continuous Layout Modeling*. Ph. D. Thesis, Kansas: Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Wichta State University . 2007.

[4] Kusiak, A., Heragu, S.S., The facility layout problem. European Journal of Operational Research , 29, 1987, pp. 229–251.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

[5] Meller, R.D., Gau, K.Y., *The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives*. Journal of Manufacturing Systems , 15, 1996, pp. 351–366.

[6] Drira, A., Pierreval, H., Hajri-Gabouj, S., Facility layout problems: A survey. Annual Reviews in Control , 31, 2007, pp. 255–267.

[7] Kulturel-Konak, S., *Approaches to Uncertainties in Facility Layout Problems: Perspectives at the Beginning of the 21st Century*. Journal of Intelligent Manufacturing , 18 (2), 2007, pp. 273–284.

[8] Kuppusamy, S., Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem. Master of Science Thesis, 2001 .

[9] Page, A.L., *New Product Development Survey: Performance, and Best Practices*. PDMA Conference, 1991.

[10] Gupta, T., Seifoddini, H., *Production Data Based Similarity Coefficient for Machine–Component Grouping Decisions in the Design of Cellular Manufacturing System*. International Journal of Production Research , 28 (4), 1990, pp. 1247-1269.

[11] Afentakis, P., Millen, R.A., Solomon, M.M., *Integrated Approach to Facilities Layout using Expert Systems.* International Journal of Production Research , 28 (2), 1990, pp. 311-323.

[12] Rosenblatt, M.J., *The Dynamics of Plant Layout*. Management Science , 32 (1), 1986, pp. 76-86.

[13] Balakrishnan, J., *Notes:The Dynamics of Plant Layout*. Management Science , 39 (5), 1993, pp. 654–655.

[14] Balakrishnan, J., Jacobs, F., Venkataramanan, M., *Solutions for the Constrained Dynamic Facility Layout Problem*. European Journal of Operational Research , 57, 1992, pp. 280-286.

[15] Batta, R.,. *Comments on the Dynamics of Plant Layout*. Management Science , 33 (8), 1987, 1065.

[16] Montreuil, B., Venkatadri, U., *Strategic Interpolative Design of Dynamic Manufacturing Systems Layout*. Management Science , 37 (6), 1991, pp. 682-694.

[17] Urban, T.L., *Computational Performance and Efficiency of Lower-Bound Procedures for the Dynamic Facility Layout Problem*. European Journal of Operational Research , 57, 1992, pp. 271-279.

[18] Lacksonen, T.A., Enscore, E.E. *Quadratic Assignment Algorithms for the Dynamic Layout Problem*. International Journal of Production Research , 31 (3), 1993, pp. 503–517.

[19] Kochhar, J.S., Heragu, S.S., *Facility Layout Design in a Changing Environment.* International Journal of Production Research , 37 (11), 1999, pp. 2429-2446.

[20] Urban, T.L., *A Heuristic for the Dynamic Facility Layout Problem*. IIE Transactions , 25 (4), 1993, pp. 57-63.

[21] Balakrishnan, J., Cheng, C.H., Conway, D.G., *An Improved Pair-Wise Exchange Heuristic for the Dynamic Plant Layout Problem.* International Journal of Production Research , 38 (13), 2000, pp. 3067-3077.

[22] Balakrishnan, J., Cheng, C.H., *Dynamic Layout Algorithms: A State-of-the-Art Survey*. International Journal of Management Science , 26 (4), 1998, pp. 507–521.

[23] Baykasoglu, A., Gindy, N.N., *A Simulated Annealing Algorithm for Dynamic Llayout Problem*. Computers & Operations Research , 28, 2001, pp. 1403-1426.

[24] McKendall, A.R., Shang, J., Kuppusamy, S., *Simulated Annealing Heuristics for the Dynamic Facility Layout Problem.* Computers & Operations Research , 33, 2006, pp. 2431-2444.

[25] Ashtiani, B., Aryanezhad, M.B., *Farhang Moghaddam, B., Multi-Start Simulated Annealing for Dynamic Plant Layout Problem*. Journal of Industrial Engineering International , 3 (4), 2007, pp. 44-50.

[26] McKendall, A.R., Shang, J., *Hybrid ant Systems for the Dynamic Facility Layout Problem*. Computers & Operations Research , 33, 2006, pp. 790-803.

[27] Rezazadeh, h., Ghazanfari, M., Saidi-Mehrabad, M., Sajadi, S.J., *An Extended Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for the Dynamic Facility Layout Problem.* Journal of Zhejiang University SCIENCE A , 10 (4), 2009, pp. 520-529.

[28] Ulutas, B.H., Islier, A.A., *A Clonal Selection Algorithm for Dynamic Facility Layout Problems*. Journal of Manufacturing Systems , 28, 2009, pp. 123-131.

[29] Dong, M., Wu, C., Hou, F., *Shortest Path Based Simulated Annealing Algorithm for Dynamic Facility Layout Problem under Dynamic Business Environment*. Expert Systems with Applications , 36, 2009, pp. 11221-11232.

[30] McKendall, A.R., Hakobyan, A., *Heuristics for the Dynamic Facility Layout Problem with Unequal-area Departments*. European Journal of Operational Research , 201, 2010, pp. 171-182.

[31] Sethi, A., Sethi, S., *Flexibility in Manufacturing: ASurvey.* The International Journal of Flexible Manufacturing Systems , 2, 1990, pp. 289-328.

[32] Braglia, M., Simone, Z., Zavanella, L., *Layout Design in Dynamic Environments: Strategies and Quantitative Indices.* International Journal of Production Research , 41 (5), 2003, pp. 995–1016.

[33] Smith, A.E., Norman, B.A. *Evolutionary Design of Facilities Considering Production Uncertainty*. Evolutionary design and manufacture: selected papers from ACDM 2000 (I. C. Parmee, editor) , 2000, pp. 175-186.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

[34] Raoot, A.D., Rakshit, A., *A 'Fuzzy' Approach to Facilities Layout Planning*. International Journal of Production Research , 29, 1991, pp. 835-857.

[35] Deb, S.K., Bhattacharyya, B., *Fuzzy Decision Support System for M,anufacturing Facilities Layout Planning*. Decision Support Systems , 40, 2005, pp. 305-314.

[36] Aiello, G., Enea, M.,. *Fuzzy Approach to the Robust Facility Layout in Uncertain Production Environments*. International Journal of Production Research , 39 (18), 2001, pp. 4089-4101.

[37] Cheng, R., Gen, M., Tozawa, T., *Genetic Search for Facility Layout Design under Interflows Uncertainty*. Proceedings of IEEE Conference on Evolutionary Computation , 1, 1996, pp. 400-405.

[38] Zadeh, L.A., *Fuzzy Sets*. Information and Control , 8 (3), 1965, pp. 338-353.

[39] Liu, B., Liu, Y.K., *Expected Value of Fuzzy Variable and Fuzzy Expected Value Models*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems , 10 (4), 2002, pp. 445–450.

[40] Liu, B., *Uncertainty Theory: An Introduction to its Axiomatic Foundations*. Berlin: Springer. 2004.

[41] Liu, B., Iwamura, K., *A Note on Chance Constrained Programming with Fuzzy Coefficients*. Fuzzy Sets and Systems , 100 (1-3), 1998, pp. 229_233.

[42] Liu, B., Iwamura, K., *Chance Constrained Programming with Fuzzy Parameters.* Fuzzy Sets and Systems , 94 (2), 1998, 227-237.

[43] Liu, B., *Dependent-Chance Programming with Fuzzy Decisions*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems , 7 (3), 1999, pp. 354-360.

[44] Liu, B., *Dependent-Chance Programming in Fuzzy Environments.* FuzzySets Syst , 109, 2000, pp. 97–106.

[45] Holland, J. (Ann Arbor, MI). Adaptation in Natural and Artificial Systems The University of Michigan Press. The University of Michigan Press .

[46] Zobolas, G.I., Tarantilis, C.D., *Ioannou, G., Minimizing Makespan in Permutation flow Shop Scheduling Problems using Hybrid Metaheuristic Algorithm*. Computers & Operation Research , 36, 2009, pp. 1249-1267.

[47] Jungwattanakit, J., Reodecha, M., Chaovalitwongse, P., Werner, F., *Algorithms for Flexible Flow Shop Problems with Unrelated Parallel Machines*, setup times, and dual criteria. Int J Adv Manuf Technol , 37, 2008, pp. 354–370.

[48] Liu, B., *Theory and Practice of Uncertain Programming*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2002.

[49] Liu, Y.K., *Convergent Results about the use of Fuzzy Simulation in Fuzzy Optimization Problems*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems , 14 (2), 2006, pp. 295–304.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]