مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره اول (پیاپی ۷۶)،بهار ۰۲، ص ص ۱۵۵-۱۳۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

یک روش برنامه‌ریزی فازی نوتروسوفیک برای حل مساله چیدمان استوار تسهیلات تحت عدم قطعیت

عفت جبارپور[1*]
۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱۰ مرداد ۱۴۰۱
پذیرش مقاله: ۱۲ دی ۱۴۰۱

چکیده
چیدمان تسهیلات مساله‌ای است که به نحوه چیدمان دپارتمان‌ها در منطقه کاری می‌پردازد. به دلیل تنوع مسایل چیدمان، تاکنون تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام گرفته است. غالب مطالعات صورت گرفته در این زمینه، با فرض معلوم و قطعی بودن پارامترها، همراه بوده‌اند. حال آن‌که در محیط‌های کسب و کار امروزی که عدم قطعیت، جزء لاینفک آنهاست، این فرض چندان منطقی به نظر نمی‌رسد از این رو در این مقاله با در نظر گیری این موضوع به مدل‌سازی یک مساله چند هدفه چیدمان استوار تسهیلات با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامتر هزینه و جریان انتقال پرداخته شده است. اهداف شامل، کمینه‌سازی هزینه استقرار تجهیزات و انتقال و بیشینه‌سازی سطح استفاده از تجهیزات در هر دپارتمان است. برای کنترل پارامترهای غیرقطعی از روش برنامه‌ریزی استوار فازی استفاده شده است. از آنجایی که مساله چیدمان تسهیلات و تخصیص دپارتمان‌ها به هر بخش سالن یک مساله پیچیده است، برای حل مساله از روش فازی نوتروسوفیک استفاده شده است. در انتها با حل یک مثال عددی به بررسی کارایی روش فازی نوتروسوفیک و تحلیل حساسیت بر روی پارامترها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: چیدمان استوار تسهیلات، برنامه ریزی فازی نوتروسوفیک، روش استوار فازی.

۱ مقدمه
به منظور کارآمد کردن سیستم‌های تولیدی و خدماتی، آنها نبایست فقط مجبور باشند که مسایل سیاست‌های عملیاتی و برنامه‌ریزی بهینه را در نظر بگیرند؛ بلکه همچنین می‌بایست خوب طراحی شوند. بهترین کار انتخاب یک چیدمان مناسب در مرحله طراحی کارخانه است [۱]. تعیین مکان استقرار هریک از تسهیلات، اغلب به عنوان مساله چیدمان تسهیلات شناخته شده است. تسهیل می‌تواند یک واحد تولیدی، ساختمان اداری و یا ماشین‌های درون کارخانه باشد. انتخاب محل مناسب برای تسهیلات تاثیر قابل توجهی بر هزینه‌های تولید، کار

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: ejabarpoor@yahoo.com

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

در جریان، زمان تولید و بهره‌وری سیستم‌های تولیدی دارد. ۲۰ تا ۴۰ درصد هزینه‌های عملیاتی و ۱۵ تا ۷۰ درصد کل هزینه‌های سیستم تولیدی مربوط به هزینه‌های حمل و نقل می‌باشد [۲]. این امر سبب می‌شود که در صورت عدم بهینه بودن چیدمان تسهیلات مختلف مبالغ هنگفتی صرف حمل و نقل مواد و در نتیجه افزایش هزینه‌های سیستم گردد. بنابراین توسعه مدل‌های ریاضی و الگوریتم‌های بهینه‌یابی برای مساله چیدمان تسهیلات همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. مساله چیدمان تسهیلات اغلب به شکل مساله تخصیص نمایی مدل می‌شود که در آن هدف قرار دادن تسهیلات با اندازه‌های برابر در موقعیت‌های از پیش تعریف شده است. برابر در نظر گرفتن اندازه تسهیلات می‌تواند مساله را از مسایل دنیای واقعی دور کند [۳].

مساله چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر، مربوط به تعیین آرایش تعدادی دپارتمان با مساحت‌های متفاوت در فضای مشخص می‌باشد، به طوری که تحت تعدادی محدودیت، تابع هدف خاصی بهینه شود. این تابع هدف می‌تواند بسته به هدف اصلی مجموعه کمینه‌سازی هزینه، مسافت، زمان و یا بیشینه‌سازی ارتباطات مطلوب بین دپارتمان‌ها باشد [۴]. طرح چیدمان انتخاب‌شده برای یک واحد، روابط بین فعالیت‌هایی که همراه با انتقال مواد/خدمات هستند را مشخص می‌کند [۵]. لذا چیدمان تسهیلات و فعالیت‌های مربوط به جابه‌جایی مواد کاملا با هم در ارتباط هستند و مستقیما بر یکدیگر اثر مستقیم دارند. در این میان آنچه حایز اهمیت است، روابط بین تسهیلات و یا دپارتمان‌های یک واحد تولیدی می‌باشد که بایستی دوری و یا نزدیک بودن به یکدیگر در نظر گرفته شود [۶]. چنانچه دو تسهیل و یا دپارتمان بیشتر ارتباط نزدیکی با یکدیگر را داشته باشند، معقول است جهت کاهش هزینه‌های انتقال مواد /خدمات این دو تسهیل در کنار یکدیگر قرار گیرند [۷]. یک طرح چیدمان مناسب می‌تواند هزینه‌های کل جابجایی مواد و فواصل بین محل‌های قرارگرفتن تسهیلاتی را که با هم مواد/خدمات مبادله می‌کنند و نیز چرخه زمان تولید را حداقل سازد. بنابراین برای ایجاد یک طرح چیدمان جدید، در نظر گرفتن جابجایی مواد امری کاملا اجتناب‌ناپذیر است [۸]. طرح چیدمان مناسب صرفا نبایستی بر اساس معیارهای هزینه باشد. دسترسی به سطح تجهیزات مناسب در هر دپارتمان منجربه افزایش بهره وری منابع انسانی حاضر در آن دپارتمان می‌شود. از این رو بایستی به یک چیدمان مناسب دست یافت که در آن با کمترین هزینه، بهترین سطح تجهیزات استقرار یابد [۹].

اهمیت در نظرگیری چیدمان درست تسهیلات یک واحد منجربه افزایش کارایی آن سیستم خواهد شد. از این رو در این مقاله با در نظر گیری این موضوع به مدل‌سازی یک مساله چندهدفه چیدمان استوار تسهیلات با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در پارامتر هزینه و جریان انتقال پرداخته شده است. از این رو اهداف مهمی که در این مقاله دنبال‌شده است شامل، کمینه‌سازی هزینه استقرار تجهیزات و انتقال و بیشینه‌سازی سطح استفاده از تجهیزات در هر دپارتمان است. استقرار تجهیزات و چیدمان دپارتمان‌ها با هزینه‌هایی مواجه است که در این مقاله هزینه و جریان انتقال مواد نیز به صورت غیرقطعی برای چیدمان تسهیلات در نظر گرفته شده است. برای کنترل پارامترهای غیر قطعی از روش برنامه‌ریزی استوار فازی استفاده شده است. از آنجایی که مساله چیدمان تسهیلات و تخصیص دپارتمان‌ها به هر بخش سالن یک مساله پیچیده است، برای حل مساله از روش فازی نوتروسوفیک

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

استفاده شده است. این روش به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندهدفه برای تعیین بهترین جواب کارا در تعادل توابع هدف به‌کار گرفته شده است.

۲ پیشینه تحقیق

در این بخش به بررسی مرور ادبیات تحقیق و بررسی شکاف تحقیقاتی مساله پرداخته شده است. سمرقندی و همکاران [۱۰] یک مساله با چیدمان تک ردیفی با تسهیلات دارای اندازه نابرابر را با استفاده از یک الگوریتم جستجوی ممنوع دارای حافظه انطباقی برای روش‌های تنوع و تشدید، برای یافتن راه حل‌های موجود در همسایگیِ راه حل خوب و راه حل‌هایی که هنوز یافته نشده‌اند، حل کردند. جیانگ و نی [۱۱] یک روش مدلسازی را توسعه دادند که به واسطه آن چیدمان تسهیلات در کارخانجات و در زمان واقعی، به راحتی میسر می‌گشت. این مدل بر اساس الگوریتم ژنتیک و با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی عمل می‌کند. ژو و سونگ [۱۲] مساله چیدمان تسهیلات را در حالت پویا و با درنظرگرفتن اندازه تسهیلات نابرابر بررسی کردند. آنها هزینه جابجایی بین ماشین‌ها را به شکل پارامترهای فازی لحاظ کردند و تسهیلات را به شکل اشکال دوبعدی تصور کردند. سپس مساله پیشنهادی را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات بهینه کردند. در نهایت کارایی الگوریتم پیشنهادی بااستفاده از یک مطالعه موردی بررسی و اثبات شد. وانگ و همکاران [۱۳] یک روش حل مسایل چیدمان تسهیلات دو ردیفه پویا با ترکیب الگوریتم AS و برنامه ریزی ریاضی پیشنهاد دادند که در نهایت مشخص شد این روش قابلیت تعیین راه حل بهینه برای مسایل با اندازه کوچک و نیز تعیین یک روش واقعی برای مسایل با سایزهای واقعی را دارد.

آلوتاس و ایزلر [۱۴] تحقیقی در یک کارخانه تولید کفش جهت حل مساله چیدمان تسهیلات پویا توسط و با هدف کمینه کردن مجموع مواد حمل شونده و نیز هزینه‌های بازچیدمان با در نظرگیری چند دوره کاری، انجام دادند. بدین ترتیب یک الگوریتم مبتنی بر کلونی مورچگان برای حل مساله چیدمان تسهیلات پویا پیشنهاد شد که نهایتا در مقایسه با آزمایش‌ها و نتایج عددی که حاصل شد روش پیشنهادی از عملکرد مناسب‌تری برخوردار بود. آزودو و همکاران [۱۵] مساله مکان یابی تسهیلات با اندازه‌های نابرابر را به اهداف حداقل‌رساندن هزینه‌های جابه جایی مواد و هزینه‌های بازپرداخت به حداکثر رساندن میزان هم افزایی کمینه بودن عدم تعادل بین بخش‌ها و مکان‌ها بررسی و حل کردند. پاس و همکاران [۱۶] دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک ترکیبی برای حل مساله چیدمان تسهیلات با اندازه‌های نابرابر ارایه دادند. الگوریتم‌های پیشنهادی با روش‌های موجود در ادبیات مقایسه شد و نتایج محاسباتی نشان داد که الگوریتم ژنتیک ترکیبی به جواب های باکیفیت‌تر در زمان کمتر دست پیدا می‌کند.

لیو و همکاران [۱۷] مدلی از مساله چیدمان تسهیلات یک فضای نابرابر پویا ارایه دادند. در این راستا یک الگوریتم نمونه‌برداری ابتکاری و چند استراتژی ابتکاری را برای حل این مساله ترکیب کردند. برای جلوگیری از همپوشانی تسهیلات و کاهش فضای خالی در بین تسهیلات، استراتژی فشاری اعمال گردید. آنها الگوریتم پیشنهادی را در چهار گروه موردی آزمایش کردند. نتایج محاسباتی نشان داد که الگوریتم پیشنهادی در حل

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

DFLP منطقه نابرابر موثر است. توران اوغلو و همکاران [۱۸] بررسی مساله چیدمان تسهیلات پویا که یک مساله NP-Hard است، پرداختند و در این راستا، استفاده از بهینه‌سازی تغذیه باکتری (BFO) برای DFLP را معرفی کردندکه در آن الگوریتم ترکیبی جدیدی برای حل DFLP پیشنهاد دادند. آنها در مطالعه ذکرشده، کاربرد BFO در DFLP نشان دادند. نتایج تجربی نشانگر اثربخشی الگوریتم پیشنهادی بودند.

گوان و همکاران [۱۹] یک مساله طرح جدید تسهیلات چندکارگاهی جدید ارایه کردند و آن را به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، با سه هدف فرموله نمودند. آنها یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه با یک رویکرد دو مرحله‌ای تعبیه‌شده و روش رمزگذاری ذرات منفرد و استراتژی جایگذاری را ارایه کردند. مقایسه با سایر روش‌ها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی نتایج بسیار بهتری را به‌دست آورده است. گارسیا هرناندز و همکاران [۲۰] در بررسی یک مساله چیدمان تسهیلات یک فضای نابرابر، الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی صخره‌های مرجانی را مورد استفاده قرارداده‌اند. آنها جزییات اجرای الگوریتم را ارایه داده و نتایج آزمایشات مختلف را در چندین نمونه UA-FLP با اندازه و تنظیمات مختلف ارایه کردند. نمونه اولیه پیاده‌سازی‌شده به عنوان یک برنامه وب توسط ۱۷ مساله شناخته‌شده آزمایش شد. نتایج به‌دست آمده عملکرد عالی الگوریتم پیشنهادی در حل UA-FLP را تایید کردند.

لیو و همکاران [۲۱] در مطالعه‌ای با عنوان، استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان چند هدفه برای حل مساله چیدمان تسهیلات یک فضای نابرابر، یک الگوریتم ACO چندهدفه پیشنهاد نمودند و از استراتژی ابتکاری برای تبدیل مساله محدود به یک مساله غیرمحدود استفاده کردند. آنها برای به‌دست آوردن راه حل‌های عملی، یک جستجوی محلی و تغییر شکل دپارتمان ها را اعمال کرده و برای به دست آوردن راه‌حل‌های بهینه پارتو از بهینه‌سازی پارتو استفاده کردند. گارسیا هرناندز و همکاران [۲۲] در مقاله‌ای یک رویکرد جدید برای حل مساله چیدمان تسهیلات در یک فضای نابرابر (UA-FLP) را، مبتنی بر یک الگوریتم جدید ترکیبی ارایه کردند. آنها دو نسخه از روش پیشنهادی را با در نظرگرفتن دسته‌بندی‌های اندازه کوچک، متوسط و بزرگ، در ۲۲ مورد آزمایش نمودند. از مقایسه نتایج تجربی به‌دست آمده با الگوریتم‌های قبلی استخراج شد که هر دو نسخه الگوریتم پیشنهادی، عملکردی عالی در حل موارد UA-FLP، در همه اندازه‌های دسته‌بندی‌شده را داشتند.

لیو و همکاران [۲۳] یک مساله چیدمان تسهیلات تک ردیفه طراحی کردند و از یک الگوریتم بهبودیافته آتش بازی برای حل آن استفاده نمودند. آزمایشات محاسباتی نشان داد که الگوریتم پیشنهادی در حل مساله بهتر از الگوریتم‌های موجود عمل می‌کند. داهبک [۲۴] در مقاله‌ای به مدل‌سازی یک مساله چندردیفه از مساله چیدمان تسهیلات پرداخت. وی برای این منظور یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط طراحی نمود. احمدی و اردستانی [۲۵] در مقاله‌ای به مدل‌سازی یک مساله چیدمان تسهیلات نابرابر پرداختند. آنها در این مقاله برای کاهش مسافت دپارتمان‌ها از هم از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده نمودند.

در جدول ۱ به بررسی کلی خلاصه‌ای از مقالات منتشرشده و ویژگی مقالات پرداخته شده است.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

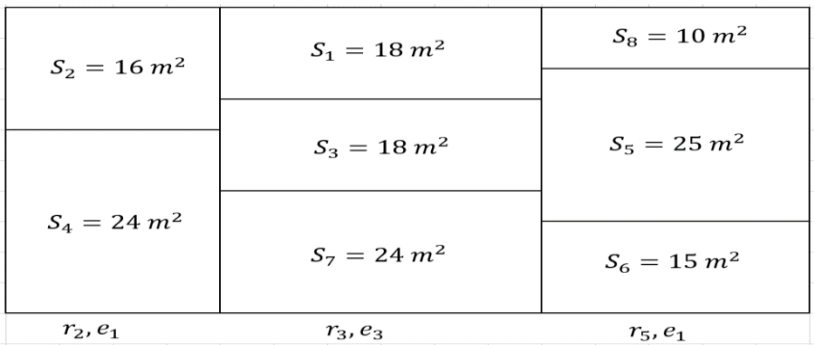
[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

جدول ۱. خلاصه ای از مقالات منتشرشده در حوزه چیدمان تسهیلات

نویسنده	سال	تابع هدف	قطعی/غیرقطعی	روش کنترل پارامتر	روش حل	دپارتمان نابرابر
پـــــــاس و همکاران	۲۰۱۷	کمینه‌سازی مسافت	قطعی	-	GA	*
توران اوغلو	۲۰۱۸	کمینه‌سازی هزینه	قطعی		BFO	-
لیو و همکاران	۲۰۱۹	کمینه‌سازی هزینه	قطعی	-	ACO	*
گارسیا هرناندز و همکاران	۲۰۲۰	کمینه‌سازی مسافت	قطعی	--	Hybrid algorithm	*
احمـــــدی و اردستانی	۲۰۲۱	کمینه‌سازی مسافت	قطعی	-	SA	*
داهبک	۲۰۲۱	کمینه‌سازی مسافت	قطعی	-	Cplex	-
لیو و همکاران	۲۰۲۱	کمینه‌سازی مسافت	قطعی	-	Firework	-
مقاله حاضر		۱- کمینه‌سازی زمان انتقال ۲- بیشینه‌سازی تعداد تجهیزات	غیرقطعی(هزینه و جریان انتقال)	روش استوار فازی	فازی نوتروسوفیک	*

۳ بیان مساله

مساله چیدمان استوار تسهیلات یکی از مهم‌ترین موضوعات در برقراری هر سایتی است که باستی به آن توجه ویژه شود. از این رو در این بخش به مدل‌سازی مساله چیدمان استوار تحت عدم قطعیت پارامتر هزینه و جریان انتقال پرداخته شده است. شکل ۱ نمونه‌ای از چیدمان دپارتمان‌ها در بخش‌های مختلف یک سالن را نشان می‌دهد. در این شکل هشت دپارتمان با مساحت فضای مورد نیاز وجود دارد که در حین چیدمان بر اساس حداقل و حداکثر ابعاد قابل تغییر بایستی فضای دپارتمان در یکی از بخش‌ها چیدمان گردد. با این حال امکان تغییر ابعاد دپارتمان در حین چیدمان وجود دارد و تنها مساله حایز اهمیت تخصیص مساحت مورد نیاز هر دپارتمان است. علاوه بر این هر یک از سالن‌ها، شامل مجموعه ای از دپارتمان‌ها می‌باشد که بایستی از یک نوع سطح تجهیز تخصیص داده شده استفاده نمایند. استفاده از تجهیزات مطلوب، منجربه افزایش هزینه‌های چیدمان استوار تسهیلات می گردد.



شکل ۱. نمایی از مساله چیدمان تسهیلات استوار

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که دپارتمان‌های ۲ و ۴ به بخش ۲ با سطح تجهیزات ۱؛ دپارتمان‌های ۱، ۳، ۷ به بخش ۳ با سطح تجهیزات ۳ و دپارتمان های ۸، ۵ و ۶ به بخش ۵ با سطح تجهیزات ۱ تخصیص‌یافته است.

با توجه موارد بیان‌شده در فوق، هدف اصلی در این تحقیق دستیابی به یک چیدمان استوار مطلوب، تخصیص دپارتمان‌ها به هر بخش و انتخاب سطح تجهیزات مناسب برای دپارتمان‌های تخصیص‌یافته به هر بخش است. لذا جهت مدل‌سازی مساله، مفروضات زیر بایستی در نظر گرفته شود:

۱- هزینه انتخاب تجهیزات و امکانات هر بخش رابطه مستقیمی با نوع تجهیزات انتخاب شده دارد.
۲- دپارتمان‌ها بایستی به نحوی جایابی شوند که مجموع عرض دپارتمان‌ها در هر بخش با عرض سالن یکسان باشد.
۳- همپوشانی بین دپارتمان‌ها وجود ندارد.
۴- نقطه شروع چیدمان (۰،۰) مبدا مختصات می‌باشد.
۵- هر بخش مجاز به انتخاب یک سطح امکانات و تجهیزات می‌باشد.
۶- دپارتمان‌ها نباید از طول و عرض مجاز تجاوز کنند.
۷- هزینه و جریان انتقال مواد بین دپارتمان‌ها به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است.

با توجه به مفروضات فوق، مدل چند هدفه چیدمان استوار تسهیلات در بخش بعدی مدل‌سازی شده است. لذا مجموعه، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مدل به شرح زیر بیان شده است.

مجموعه‌ها

I مجموعه دپارتمان‌ها $m,n=\{1,2,\ldots,I\}$

J مجموعه بخش‌ها $r,s=\{1,2,\ldots,J\}$

E مجموعه سطح تجهیزات $e=\{1,2,\ldots,E\}$

پارامترها

W طول کل سالن در طول محور xها

H عرض کل سالن در طول محور yها

A_m مساحت مورد نیاز برای دپارتمان m

α_m نسبت طول به عرض برای دپارتمان m

S_m^{max} حداکثر طول مجاز برای دپارتمان m $S_m^{max}=\min\left\{H,\sqrt{A_m\alpha_m}\right\}$

S_m^{min} حداقل طول مجاز برای دپارتمان m $S_m^{min}=\sqrt{\frac{A_m}{\alpha_m}}$

$\tilde{t}$ هزینه انتقال غیر قطعی جریان مواد بین دپارتمان‌ها

F_{re} هزینه چیدمان دپارتمان در بخش r با سطح تجهیزات e

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

MC_{re} تعداد تجهیزات و امکانات به کار رفته در بخش r با سطح تجهیزات e

$\tilde{f}_{mn}$ جریان انتقال مواد بین دپارتمان m و n

متغیرهای تصمیم‌گیری

B_r طول بخش r

L_{mr} طول دپارتمان m بخش r

H_m عرض دپارتمان m در طول محور y

(x_m, y_m) مختصات مرکز دپارتمان m در چیدمان

$D^x_{mn} = |x_m - x_n|$ فاصله بین مرکز دپارتمان m و n در طول محور xها

$D^y_{mn} = |y_m - y_n|$ فاصله بین مرکز دپارتمان m و n در طول محور yها

I_{mr} ۱ می‌گیرد اگر دپارتمان m به بخش r تخصیص یابد و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

U_{re} ۱ می‌گیرد اگر بخش r با سطح تجهیزات e به کارگرفته شود و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

Y_{mn} ۱ می‌گیرد اگر دپارتمان m بالای دپارتمان n در بخش یکسان باشد و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

٤ مدل چیدمان استوار تحت شرایط عدم قطعیت

$$Min\, Z_1 = \sum_{r\in J}\sum_{e\in E} F_{re}.U_{re} + \sum_{m\in I}\sum_{\substack{n\in I \\ n>m}} \tilde{f}_{mn}.\tilde{t}.\left(D^x_{mn} + D^y_{mn}\right) \quad (۱)$$

$$Max\, Z_2 = \sum_{r\in J}\sum_{e\in E} MC_{re}.U_{re} \quad (۲)$$

s.t.

$$D^x_{mn} \geq x_m - x_n, \ \forall n > m \quad (۳)$$

$$D^x_{mn} \geq x_n - x_m, \ \forall n > m \quad (۴)$$

$$D^y_{mn} \geq y_m - y_n, \ \forall n > m \quad (۵)$$

$$D^y_{mn} \geq y_n - y_m, \ \forall n > m \quad (۶)$$

$$\sum_{r\in J} I_{mr} = 1, \ \forall m \quad (۷)$$

$$B_r = \frac{1}{H}\sum_{m\in I} I_{mr} A_m, \ \forall r \quad (۸)$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

$$S_m^{min} I_{mr} \le B_r \le S_m^{max} + W\left(۱ - I_{mr}\right), \ \forall m,r \quad (۹)$$

$$x_m \ge \sum_{s \le r \in J} B_s - ۰/۵ B_r - \left(W - S_m^{min}\right)\left(۱ - I_{mr}\right), \ \forall m,r \quad (۱۰)$$

$$x_m \le \sum_{s \le r \in J} B_s - ۰/۵ B_r + \left(W - S_m^{min}\right)\left(۱ - I_{mr}\right), \ \forall m,r \quad (۱۱)$$

$$\frac{L_{mr}}{A_m} - \frac{L_{nr}}{A_n} - \max\left\{\frac{S_m^{max}}{A_m}, \frac{S_m^{max}}{A_n}\right\}\left(۲ - I_{mr} - I_{nr}\right) \le ۰, \ \forall r, n > m \quad (۱۲)$$

$$\frac{L_{mr}}{A_m} - \frac{L_{nr}}{A_n} + \max\left\{\frac{S_m^{max}}{A_m}, \frac{S_m^{max}}{A_n}\right\}\left(۲ - I_{mr} - I_{nr}\right) \ge ۰, \ \forall r, n > m \quad (۱۳)$$

$$\sum_{m \in I} L_{mr} = H . \sum_{e \in E} U_{re}, \ \forall r \quad (۱۴)$$

$$\sum_{e \in E} U_{re} \le ۱, \ \forall r \quad (۱۵)$$

$$S_m^{min} I_{mr} \le L_{mr} \le S_m^{max} I_{mr}, \ \forall l, r \quad (۱۶)$$

$$\sum_{r \in J} L_{mr} = H_m, \ \forall m \quad (۱۷)$$

$$y_m - ۰/۵ . H_m \ge y_n + ۰/۵ . H_n - H\left(۱ - Y_{mn}\right), \ \forall m \ne n \quad (۱۸)$$

$$Y_{mn} + Y_{nm} \le ۱, \ \forall n > m \quad (۱۹)$$

$$Y_{mn} + Y_{nm} \ge I_{mr} + I_{nr} - ۱, \ \forall n > m, r \quad (۲۰)$$

$$۰/۵ . H_m \le y_m \le H - ۰/۵ . H_m, \ \forall m \quad (۲۱)$$

$$B_r, L_{mr}, H_m, x_m, y_m, D_{mn}^x, D_{mn}^y \ge ۰ \quad (۲۲)$$

$$I_{mr}, U_{re}, Y_{mn} \in \{۰, ۱\} \quad (۲۳)$$

رابطه (۱) در صدد کمینه‌سازی هزینه کل انتقال جریان مواد بین دپارتمان‌ها و انتخاب سطح تجهیزات استفاد شده می‌باشد. رابطه (۲) در صدد بیشینه‌سازی تجهیزات و امکانات تخصیص‌یافته به بخش‌های مختلف سالن می‌باشد. روابط (۳) تا (۶) توابع فواصل خط شکسته موجود در تابع هدف را خطی‌سازی می‌کند. رابطه (۷) تضمین می‌کند که هر دپارتمان تنها بایستی به یک بخش تخصیص یابد. روابط (۸) و (۹) عرض هر بخش را بر اساس حداقل و حداکثر مجاز تغییرات طول دپارتمان‌ها مشخص می‌کند. روابط (۱۰) و (۱۱) مختصات مرکز دپارتمان‌ها را در طول محور x مشخص می‌کند. روابط (۱۲) تا (۱۴) طول هر دپارتمان تخصیص‌یافته به هر بخش را محاسبه می‌کند. رابطه (۱۵) تضمین می‌کند که هر بخش حداکثر از یک سطح تجهیزات و امکانات بایستی استفاده کند. روابط (۱۶) و (۱۷) عرش هر دپارتمان را در طول محور y مشخص می‌کند. روابط (۱۸) تا (۲۱) مختصات مرکز دپارتمان‌ها را در طول محور y مشخص می‌کند. روابط (۲۲) و (۲۳) نوع و جنس متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

از آنجایی که در مدل فوق، پارامترهای هزینه و جریان انتقال به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. لذا جهت کنترل پارامترهای مدل از روش استوار فازی استفاده شده است. لذا با توجه به مفروضات بیان‌شده،

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

پارامترهای غیرقطعی تحت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده‌اند. روابط زیر مدل کنترل‌شده مساله را با روش استوار فازی نشان می‌دهد:

$$Min\, Z_1 = E[Z_1] + \xi(Zmax - Zmin) + \eta \sum_{m\in I}\sum_{\substack{n\in I \\ n>m}} \left[f_{mn}^3 - (1-\alpha) f_{mn}^2 - \alpha f_{mn}^3 \right] \quad (۲۴)$$

s.t.

(۲۵)

$$E[Z_1] = \sum_{r\in J}\sum_{e\in E} F_{re}.U_{re} + \sum_{m\in I}\sum_{\substack{n\in I \\ n>m}} \left[\alpha.f_{mn}^3 + (1-\alpha).f_{mn}^2 \right].\left(\frac{t^1 + 2t^2 + t^3}{4} \right).\left(D_{mn}^x + D_{mn}^y \right)$$

$$Zmax = \sum_{r\in J}\sum_{e\in E} F_{re}.U_{re} + \sum_{m\in I}\sum_{\substack{n\in I \\ n>m}} \left[\alpha.f_{mn}^3 + (1-\alpha).f_{mn}^2 \right].t^3.\left(D_{mn}^x + D_{mn}^y \right) \quad (۲۶)$$

$$Zmin = \sum_{r\in J}\sum_{e\in E} F_{re}.U_{re} + \sum_{m\in I}\sum_{\substack{n\in I \\ n>m}} \left[\alpha.f_{mn}^3 + (1-\alpha).f_{mn}^2 \right].t^1.\left(D_{mn}^x + D_{mn}^y \right) \quad (۲۷)$$

$$Eq(2) - Eq(23) \quad (۲۸)$$

در رابطه (۲۴)، عبارت اول به مقدار مورد انتظار تابع هدف اول با استفاده از مقادیر متوسط پارامترهای غیرقطعی مدل اشاره دارد. عبارت دوم به هزینه جریمه برای انحراف بیش از مقدار مورد انتظار تابع هدف اول (استواری بهینگی) اشاره می‌کند. جمله سوم نیز هزینه کل جریمه انحراف از جریان انتقال مواد (پارامتر غیرقطعی) را نشان می‌دهد. ازاین‌رو، پارامتر ξ ضریب وزنی تابع هدف، η هزینه جریمه عدم برآورد جریان مواد می‌باشد. پارامتر α به‌عنوان حداقل درجه اطمینان در مقدار سطوح فازی اعداد را نشان می‌دهد که بایستی عددی مابین ۰/۱ و ۰/۹ باشد.

۵ برنامه‌ریزی فازی نوتروسوفیک

مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه از شایع‌ترین نوع مدل‌های ریاضی هستند که دارای اهداف متضاد و متناقضی هستند. در این گونه مسایل هدف دستیابی به مقدار بهینه تمامی توابع هدف متضاد به طور هم‌زمان است. در این گونه مسایل تصمیم‌گیرنده با ارایه یک وزن مطلوب $\beta \in [0,1]$ به هر تابع هدف، اهمیت ترجیحات خود را بیان می‌کند، به طوری که با بالا بودن مقدار وزن β در یک تابع هدف، ترجیحات تصمیم‌گیرنده در آن تابع هدف بالاتر است. با توسعه روش برنامه‌ریزی فازی شهودگرایانه، اسمارانتاچ [۲۶] روش برنامه‌ریزی فازی نوسروسوفیک را بررسی کرد که دارای سه مجموعه عضویت است: حقیقت (درجه تعلق)، عدم تعیین (درجه تعلق تا حدودی) و دروغ (درجه عدم تعلق). با توجه به روش توسعه‌یافته برنامه‌ریزی فازی نوتروسوفیک، در این مقاله به حل مدل چدمان استوار تسهیلات با دو تابع هدف متضاد پرداخته شده است. از این‌رو هر تابع هدف دارای سه تابع عضویت

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

حقیقت، عدم تعیین و دروغ می باشد. بنابراین روش برنامه ریزی فازی نوتروسوفیک نقش مهمی در بهینه‌سازی مسایل چندهدفه با در نظر گرفتن افکار خنثی دارد.

یک مدل چندهدفه با توابع هدف متضاد در نظر بگیرید که در آن (D) مجموعه تصمیمات فازی، (G) مجموعه توابع هدف فازی و (C) محدودیت‌های فازی را نشان می‌دهد. بنابراین مجموعه تصمیمات فازی به صورت $D = G \cap C$ نشان داده می‌شود. مجموعه تصمیمات نوتروسوفیک فازی (D_n) به همراه مجموعه توابع هدف فازی نوتروسوفیک (G_o) و مجموعه محدودیت‌های فازی نوتروسوفیک (C_m) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$D_n = \left(\prod_{o=1}^{O} G_o\right)\left(\prod_{m=1}^{M} C_m\right) = \left(w, P_D(w), Q_D(w), R_D(w)\right)$$

$$\text{s.t.}$$

$$P_D(w) = \left\{\begin{array}{l} \min PG_o(w),\ \forall o \in O \\ \text{s.t.} \\ PC_m(w),\ \forall m \in M \end{array}\right\}$$

$$Q_D(w) = \left\{\begin{array}{l} \max QG_o(w),\ \forall o \in O \\ \text{s.t.} \\ QC_m(w),\ \forall m \in M \end{array}\right\} \qquad (۲۹)$$

$$R_D(w) = \left\{\begin{array}{l} \max RG_o(w),\ \forall o \in O \\ \text{s.t.} \\ RC_m(w),\ \forall m \in M \end{array}\right\}$$

در معادله فوق، $P_D(w)$ تابع عضویت حقیقت؛ $Q_D(w)$ تابع عضویت عدم تعیین و $R_D(w)$ تابع عضویت دروغ تحت تصمیمات فازی نوتروسوفیک D_n می‌باشد. هر کدام از توابع عضوت فوق دارای کران بالا و پایین می باشند که به صورت رابطه زیر برای کلیه توابع عضویت به‌دست می‌آید:

$$U_o = \max\left(Z_o(X)\right) \qquad (۳۰)$$
$$L_o = \min\left(Z_o(X)\right)$$

از این رو می‌توان کران بالا و پایین تابع عضویت فازی نوتروسوفیک را به ترتیب برای حقیقت، عدم تعیین و دروغ به شرح زیر محاسبه کرد.

$$U_o^P = U_o,\quad L_o^P = L_o \qquad (۳۱)$$
$$U_o^Q = L_o^P + a_o,\quad L_o^Q = L_o$$
$$U_o^R = U_o^P,\quad L_o^R = L_o^P + b_o$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

در رابطه فوق a_o و b_o یک مقدار از پیش‌تعریف‌شده بین ۰ و ۱ می باشد. با توجه به مواد فوق، تابع عضویت خطی برای یک چارچوب فازی نوتروسوفیک به شرح زیر است:

$$D_n = \left(\prod_{o=1}^{O} G_o\right)\left(\prod_{m=1}^{M} C_m\right) = \left(w, P_D(w), Q_D(w), R_D(w)\right) \quad (۳۲)$$

s.t.

$$P_o\left(Z_o(X)\right) = \begin{Bmatrix} ۱ & if \quad Z_o(X) < L_o^P \\ \dfrac{U_o^P - Z_o(X)}{U_o^P - L_o^P} & if \quad L_o^P \le Z_o(X) \le U_o^P \\ ۰ & if \quad Z_o(X) > U_o^P \end{Bmatrix}$$

$$Q_o\left(Z_o(X)\right) = \begin{Bmatrix} ۱ & if \quad Z_o(X) < L_o^Q \\ \dfrac{U_o^Q - Z_o(X)}{U_o^Q - L_o^Q} & if \quad L_o^Q \le Z_o(X) \le U_o^Q \\ ۰ & if \quad Z_o(X) > U_o^Q \end{Bmatrix}$$

$$R_o\left(Z_o(X)\right) = \begin{Bmatrix} ۱ & if \quad Z_o(X) > U_o^R \\ \dfrac{Z_o(X) - L_o^R}{U_o^R - L_o^R} & if \quad L_o^R \le Z_o(X) \le U_o^R \\ ۰ & if \quad Z_o(X) < L_o^R \end{Bmatrix}$$

بنابراین مدل نهایی چیدمان استوار تسهیلات با روش برنامه‌ریزی فازی نوتروسوفیک بر اساس روابط فوق به شرح زیر می‌باشد:

$$Max \sum_{o=۱} \left(\mu_o + \vartheta_o - \delta_o\right) \quad (۳۳)$$

s.t.

$$P_o\left(Z_o(X)\right) \ge \mu_o, \quad \forall o$$
$$Q_o\left(Z_o(X)\right) \ge \vartheta_o, \quad \forall o$$
$$R_o\left(Z_o(X)\right) \le \delta_o, \quad \forall o$$
$$\mu_o \ge \vartheta_o, \quad \forall o$$
$$\mu_o \ge \delta_o, \quad \forall o$$
$$۰ \le \delta_o + \mu_o + \vartheta_o \le ۳, \quad \forall o$$
$$\delta_o, \mu_o, \vartheta_o \in (۰,۱)$$
$$Eq(۲۴-۲۸).$$

٦ تجزیه و تحلیل مساله

در این بخش به بررسی یک مساله نمونه سایز کوچک با ۶ دپارتمان، ۵ بخش و ۳ نوع تجهیزات و امکانات

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

پرداخته شده است. با توجه به به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی فازی نوتروسوفیک برای حل مدل دوهدفه، ابتدا به بررسی تک تک توابع هدف مساله با نرم افزار GAMS و تابع عضویت هر یک از توابع هدف پرداخته‌شده است. جدول ۲ حدود بازه‌ای پارامترهای مساله را بر اساس تابع توزیع یکنواخت نشان می‌دهد.

جدول ۲. حدود بازه‌ای داده‌های قطعی و غیرقطعی مساله

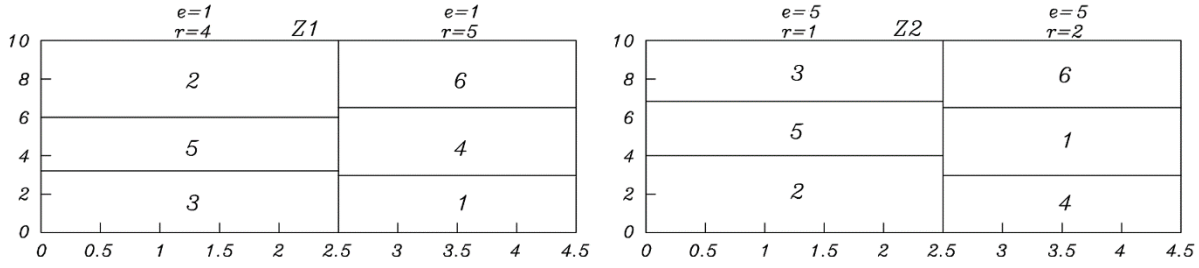
پارامتر قطعی	حدود بازه‌ای	پارامتر قطعی	حدود بازه‌ای
W	۱۵	F_{re}	$\sim U[۹۰۰\ ۱۲۰۰]$
H	۱۰	MC_{re}	$\sim U[۱۰۰۰\ ۴۰۰۰]$
A_m	$\sim U[۶\ ۱۰]$	α_m	۲
پارامتر غیر قطعی	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
$\tilde{t}$	$\sim U[۲۰\ ۳۰]$	$\sim U[۳۰\ ۴۰]$	$\sim U[۴۰\ ۵۰]$
$\tilde{f}_{mn}$	$\sim U[۱۰\ ۱۵]$	$\sim U[۱۵\ \ ۲۰]$	$\sim U[۲۰\ ۲۵]$

با توجه به غیرقطعی بودن مدل پیشنهادی، برای تجزیه و تحلیل نتایج از مقدار نرخ عدم قطعیت $\alpha = ۰/۵$ استفاده شده است. بر این اساس جدول ۳ مقادیر بهینه توابع هدف به‌دست آمده و همچنین تابع عضویت آنها را با استفاده از روش فازی نوتروسوفیک نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقدار بهینه توابع هدف و تابع عضویت آنها

تابع هدف	L_o^P	U_o^P	L_o^Q	U_o^Q	L_o^R	U_o^R	Z^*
اول	۱۴۴۳۳۹/۷۴	۱۴۴۳۳۹/۷۴	۱۴۴۳۳۹/۷۴	۱۵۳۲۸۳/۱۵	۱۵۳۲۸۳/۱۵	۱۴۴۳۳۹/۷۴	۱۴۴۳۳۹/۷۴
دوم	۷۵۰۵	۷۵۰۵	۷۵۰۵	۹۲۳۰	۹۲۳۰	۷۵۰۵	۷۵۰۵

بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌گردد، بهترین مقدار تابع هدف اول **۱۴۴۳۳۹/۷۴**و بهترین مقدار تابع هدف دوم **۷۵۰۵** می‌باشد. شکل ۲ چیدمان بهینه هر یک از توابع هدف را با روش بهینه‌سازی انفرادی نشان می‌دهد.

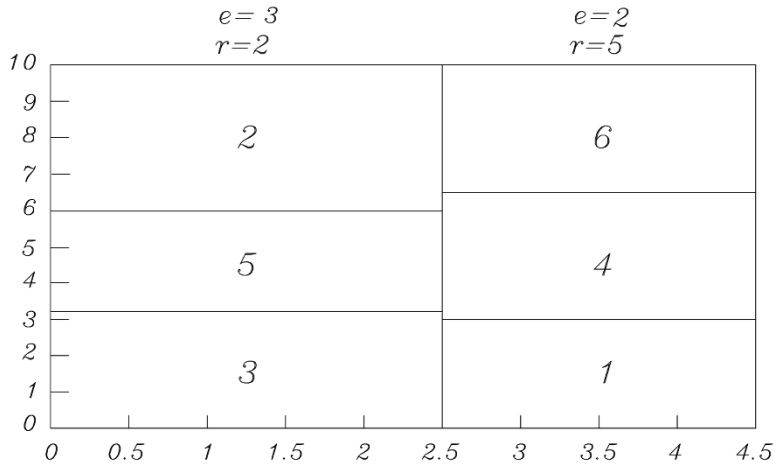


شکل ۲. چیدمان بهینه حاصل از حل تابع هدف اول و دوم

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

هدف اصلی در چیدمان شکل (۲-الف) کاهش هزینه انتقال جریان بین دپارتمان ها و هدف اصلی در چیدمان شکل (۲-ب) بیشینه کردن سطح استفاده از تجهیزات می‌باشد. با توجه به نتایج شکل ۲ مشاهده می‌شود، با هدف کاهش هزینه‌ها، از سطح تجهیزات اول برای سالن های ۴ و ۵ استفاده شده است. در حالی که برای بیشینه‌سازی سطح تجهیزات از سطوح ۵ تجهیزات برای سالن‌های شماره ۱ و ۲ استفاده شده است. از آنجایی که هدف بهینه‌سازی هم‌زمان دو تابع هدف با روش فازی نوتروسوفیک است، شکل ۳ چیدمان حاصل از حل مدل با روش فازی نوتروسوفیک را به عنوان بهینه‌ترین جواب کارا نشان می‌دهد.



شکل ۳. چیدمان جواب کارای مساله با روش فازی نوتروسوفیک

مطابق با شکل ۳ بهترین مقدار تابع هدف اول برابر با ۱۴۴۳۹۸/۲ و بهترین مقدار تابع هدف دوم برابر با ۴۰۷۵ به‌دست آمده است. بر این اساس مشاهده می گردد سطح تجهیزات ۳ به بخش ۲ و سطح تجهیزات ۲ به بخش ۵ تخصیص یافته است. در ادامه به تحلیل حساسیت مساله تحت دو پارامتر نرخ عدم قطعیت و عرض سالن پرداخته شده است. مثال عددی قبل با فرض نرخ عدم قطعیت برابر ۰/۵ مدل سازی و حل شده است. در جدول ۴ به بررسی تغییرات تابع هدف اول و دوم تحت نرخ های مختلف عدم قطعیت از ۰/۱ تا ۰/۹ پرداخته شده است.

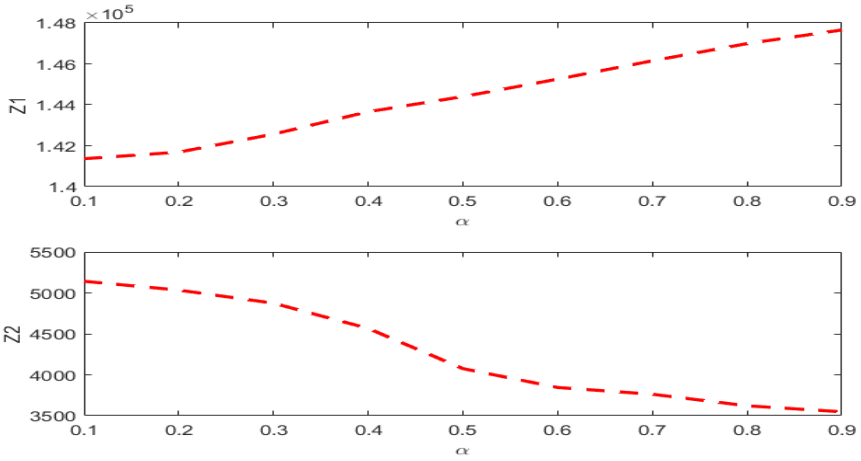
جدول ٤. مقدار توابع هدف مساله به ازای نرخ های مختلف عدم قطعیت

α	تابع هدف اول	تابع هدف دوم
۰/۱	۱۴۱۳۶۴/۲	۵۱۴۲
۰/۲	۱۴۱۶۸۵/۳	۵۰۳۴
۰/۳	۱۴۲۵۶۴/۵	۴۸۷۴
۰/۴	۱۴۳۶۵۹/۶	۴۵۶۶
۰/۵	۱۴۴۳۹۸/۲	۴۰۷۵
۰/۶	۱۴۵۲۵۱/۴	۳۸۴۵
۰/۷	۱۴۶۱۴۷/۵	۳۷۶۲
۰/۸	۱۴۶۹۸۷/۲	۳۶۲۱
۰/۹	۱۴۷۶۵۴/۳	۳۵۴۸

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

مطابق با جدول ۴ مشاهده می‌گردد با افزایش نرخ عدم قطعیت، به دلیل افزایش جریان انتقال مواد، هزینه‌های مرتبط با حمل و نقل افزایش یافته است. از سوی دیگر به جهت تعادل در هزینه‌ها و سطح تجهیزات استفاده شده، از سطح تجهیزات پایین‌تر استفاده شده است. شکل ۴ روند تغییرات توابع هدف را به ازای تغییرات نرخ عدم قطعیت نشان می‌دهد.



شکل ٤. مقدار تابع هدف مساله به ازای نرخ های مختلف عدم قطعیت

در تحلیل دیگر به بررسی تاثیر کاهش عرض سالن بر روی هزینه‌های چیدمان و سطح تجهیزات استفاده شده پرداخته شده است. جدول ۵ مقدار توابع هدف مساله به ازای تغییرات در عرض سالن نشان می‌دهد.

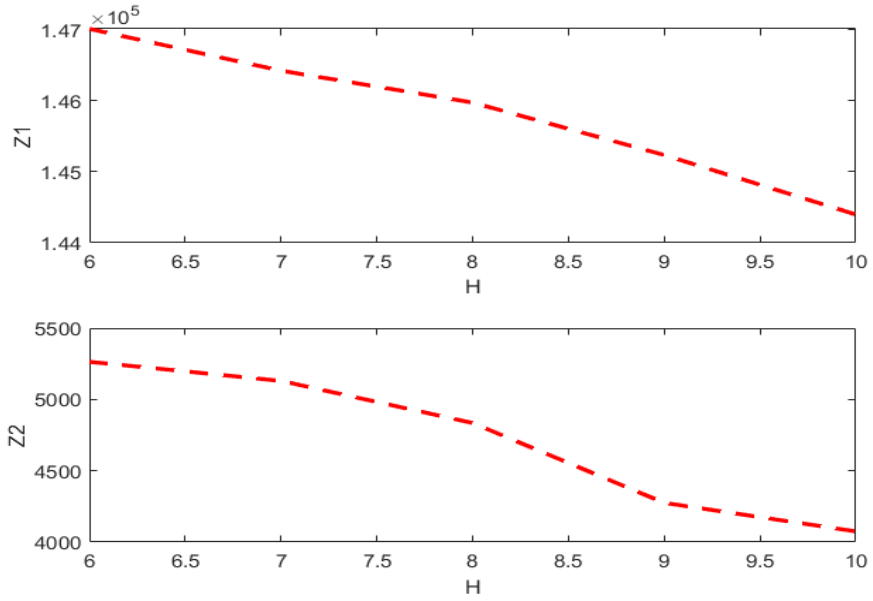
جدول ۵. مقدار توابع هدف مساله به ازای تغییرات در عرض سالن

H	تابع هدف اول	تابع هدف دوم
۶	۱۴۷۰ ۱۲/۳	۵۲۶۴
۷	۱۴۶۴۲۳/۴	۵۱۳۰
۸	۱۴۵۹۷۴/۵	۴۸۳۵
۹	۱۴۵۲۳۶/۱	۴۲۷۵
۱۰	۱۴۴۳۹۸/۲	۴۰ ۷۵

با توجه به نتایج جدول ۵ مشاهده می‌شود با کاهش عرض سالن، تعداد بخش‌های سالن افزایش‌یافته و فواصل بین دپارتمان‌ها افزایش‌یافته است. از این رو هزینه‌های انتقال جریان مواد نیز افزایش‌یافته است. با افزایش تعداد سالن‌ها، تعداد تجهیزات تخصیص‌یافته به کل دپارتمان ها نیز افزایش یافته است. شکل ۵ نیز روند تغییرات توابع هدف را به ازای تغییرات در عرض سالن نشان می‌دهد.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]



شکل ۵. مقدار تابع هدف مساله به ازای تغییرات در عرض سالن

۷ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف مساله چیدمان تسهیلات ، تعیین کارآمدترین چیدمان تسهیلات در یک سیستم است. اکثر مطالعات صورت گرفته در خصوص چیدمان تسهیلات با فرض معلوم و قطعی‌بودن پارامترها، همراه بوده‌اند. در دنیای واقعی بسیاری از پارامترها ماهیت غیرقطعی و تصادفی دارند. نظر به این که بسیاری از تصمیمات بلندمدت و استراتژیک بر اساس این پارامترها متکی است، با قطعی فرض نمودن آنها ممکن است جواب بهینه مساله در شرایط واقعی موجه نباشد و یا هنگام پیاده‌سازی با خطا همراه باشد .از این رو در این مقاله با در نظرگیری این موضوع به مدل‌سازی یک مساله چندهدفه چیدمان استوار تسهیلات با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامتر هزینه و جریان انتقال پرداخته شده است. اهداف شامل، کمینه‌سازی هزینه استقرار تجهیزات و انتقال و بیشینه‌سازی سطح استفاده از تجهیزات در هر دپارتمان است. برای کنترل پارامترهای غیرقطعی از روش برنامه‌ریزی استوار فازی استفاده شده است. از آنجایی که مساله چیدمان تسهیلات و تخصیص دپارتمان‌ها به هر بخش سالن یک مساله پیچیده است، برای حل مساله از روش فازی نوتروسوفیک استفاده شده است.

نتایج محاسباتی حاصل از حل مساله نشان می‌دهد به دلیل تناقض در توابع هدف، با افزایش تعداد تجهیزات استفاده شده، هزینه‌های کل افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، با افزایش نرخ عدم قطعیت، به دلیل افزایش جریان انتقال مواد، هزینه‌های مرتبط با حمل و نقل افزایش‌یافته است. از سوی دیگر به جهت تعادل در هزینه ها و سطح تجهیزات استفاده شده، از سطح تجهیزات پایین‌تر استفاده شده است. از سوی دیگر در تحلیل تغییرات عرض سالن، مشاهده شد با کاهش عرض سالن، تعداد بخش‌های سالن افزایش‌یافته و فواصل بین دپارتمان‌ها افزایش‌یافته است. از این رو هزینه های انتقال جریان مواد نیز افزایش‌یافته است. با افزایش تعداد سالن‌ها، تعداد تجهیزات تخصیص‌یافته به کل دپارتمان‌ها نیز افزایش‌یافته است. برای مطالعه بیشتر پیاده‌سازی سایر

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

رویکردهای بهینه‌سازی استوار جهت مدلسازی چیدمان تسهیلات و نیز پیاده‌سازی مدل در یک مطالعه‌ی موردی واقعی برای ایجاد درک بهتر از مساله می‌تواند مورد توجه محققان قرار گیرد.

منابع

[1] Hadi Vincheh, A., Mohammad Ghasemi, A. (2009). A non-linear weight optimization model to rank different layout models in the facility layout design problem. Journal of operations research in its applications (applied mathematics) - Lahijan Azad University, 6(23), 51-60. (In Persian).

[2] Faraji, H., Naderi, B. (2016). Development of an efficient method to optimize the dynamic facility layout problem with budget constraints. Journal of operations research in its applications (applied mathematics) - Lahijan Azad University, 12(4), 115-99. (In Persian)

[3] McKendall Jr, A. R., Shang, J. (2006). Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem. Computers & Operations Research, 33(3), 790-803.

[4] Aiello, G., La Scalia, G., Enea, M. (2012). A multi objective genetic algorithm for the facility layout problem based upon slicing structure encoding. Expert Systems with Applications, 39(12), 10352-10358.

[5] Pourvaziri, H., Pierreval, H., Marian, H. (2021). Integrating facility layout design and aisle structure in manufacturing systems: Formulation and exact solution. European Journal of Operational Research, 290(2), 499-513.

[6] Anjos, M. F., & Vieira, M. V. (2017). Mathematical optimization approaches for facility layout problems: The state-of-the-art and future research directions. European Journal of Operational Research, 261(1), 1-16.

[7] Allahyari, M. Z., & Azab, A. (2018). Mathematical modeling and multi-start search simulated annealing for unequal-area facility layout problem. Expert Systems with Applications, 91, 46-62.

[8] Liu, S., Zhang, Z., Guan, C., Zhu, L., Zhang, M., & Guo, P. (2020). An improved fireworks algorithm for the constrained single-row facility layout problem. International Journal of Production Research, 1-19.

[9] Anjos, M. F., & Vieira, M. V. (2020). Mathematical optimization approach for facility layout on several rows. Optimization Letters, 1-15.

[10] Samarghandi, H., & Eshghi, K. (2010). An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem. European Journal of Operational Research, 205(1), 98-105.

[11] Jiang, S., & Nee, A. Y. C. (2013). A novel facility layout planning and optimization methodology. CIRP Annals, 62(1), 483-486.

[12] Xu, J., & Song, X. (2015). Multi-objective dynamic layout problem for temporary construction facilities with unequal-area departments under fuzzy random environment. Knowledge-based systems, 81, 30-45.

[13] Wang, S., Zuo, X., Liu, X., Zhao, X., & Li, J. (2015). Solving dynamic double row layout problem via combining simulated annealing and mathematical programming. Applied Soft Computing, 37, 303-310.

[14] Ulutas, B., & Islier, A. A. (2015). Dynamic facility layout problem in footwear industry. Journal of manufacturing systems, 36, 55-61.

[15] Azevedo, M. M., Crispim, J. A., & de Sousa, J. P. (2017). A dynamic multi-objective approach for the reconfigurable multi-facility layout problem. Journal of manufacturing systems, 42, 140-152.

[16] Paes, F. G., Pessoa, A. A., & Vidal, T. (2017). A hybrid genetic algorithm with decomposition phases for the unequal area facility layout problem. European Journal of Operational Research, 256(3), 742-756..

[17] Liu, J., Wang, D., He, K., & Xue, Y. (2017). Combining Wang–Landau sampling algorithm and heuristics for solving the unequal-area dynamic facility layout problem. European Journal of Operational Research, 262(3), 1052-1063.

[18] Turanoğlu, B., & Akkaya, G. (2018). A new hybrid heuristic algorithm based on bacterial foraging optimization for the dynamic facility layout problem. Expert Systems with Applications, 98, 93-104.

[19] Guan, C., Zhang, Z., Liu, S., & Gong, J. (2019). Multi-objective particle swarm optimization for multi-workshop facility layout problem. Journal of Manufacturing Systems, 53, 32-48.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]

[20] García-Hernández, L., Salas-Morera, L., Garcia-Hernandez, J. A., Salcedo-Sanz, S., & de Oliveira, J. V. (2019). Applying the coral reefs optimization algorithm for solving unequal area facility layout problems. Expert Systems with Applications, 138, 112819.
[21] Liu, J., & Liu, J. (2019). Applying multi-objective ant colony optimization algorithm for solving the unequal area facility layout problems. Applied Soft Computing, 74, 167-189.
[22] García-Hernández, L., Salas-Morera, L., Carmona-Muñoz, C., Garcia-Hernandez, J. A., & Salcedo-Sanz, S. (2020). A novel island model based on coral reefs optimization algorithm for solving the unequal area facility layout problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 89, 103445.
[23] Liu, S., Zhang, Z., Guan, C., Zhu, L., Zhang, M., & Guo, P. (2021). An improved fireworks algorithm for the constrained single-row facility layout problem. International Journal of Production Research, 59(8), 2309-2327.
[24] Dahlbeck, M. (2021). A mixed-integer linear programming approach for the T-row and the multi-bay facility layout problem. European Journal of Operational Research.
[25] Ahmadi-Javid, A., & Ardestani-Jaafari, A. (2021). The unequal area facility layout problem with shortest single-loop AGV path: how material handling method matters. International Journal of Production Research, 59(8), 2352-2374.
[26] Smarandache, F. (1999). A unifying field in Logics: Neutrosophic Logic. In Philosophy (pp. 1-141). American Research Press.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.139]