



مکان یابی تسهیلات متحرک در مدیریت شهری پایدار

مسعود واسعی

گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

چکیده

موضوع مکان یابی تسهیلات متحرک در مدیریت شهری پایدار اهمیت بسزایی دارد. با توجه به رشد سریع جمعیت شهرها و نیازهای متنوع شهروندان، نیاز به راهکارهای نوآورانه در حوزه مدیریت شهری برای ارائه خدمات بهینه به شهروندان و بهبود کیفیت زندگی در محیط شهر، به مسئله مکان یابی تسهیلات متحرک توجه ویژه ای شده است. مکان یابی تسهیلات متحرک به معنای تعیین مکان مناسب برای مکان گذاری وسایل و تجهیزات شهری متحرک مانند ایستگاه‌های اتوبوس، تاکسی، پارکینگ های سیار و دیگر امکانات عمومی است. با استفاده از روش‌های مکان یابی تسهیلات متحرک، می توان بهینه سازی نقشه بندی شهری، کاهش ترافیک و آلودگی هوا، بهره وری بیشتر از زمان و انرژی، سهولت دسترسی به خدمات و حمل و نقل عمومی، سازگاری با محیط زیست و افزایش استفاده از حمل و نقل عمومی را بهبود بخشید. بنابراین، مباحث مکان یابی تسهیلات متحرک در مدیریت شهری پایدار دارای اهمیت بسیاری است و انجام تحقیقات در این زمینه می تواند بهبود چشمگیری در سیستم های حمل و نقل و مدیریت شهری به همراه داشته باشد.

کلمات کلیدی: مکان یابی، تسهیلات متحرک، مدیریت شهری، پایداری

۱. مقدمه

مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌های شهری را برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. مکان‌یابی خدمات علاوه بر تأثیرگذاری بر هزینه‌ها، در کارایی، بهره‌برداری و نیز کیفیت آن‌ها مؤثر است. مسائل مکان‌یابی در فضای گسسته شامل تعیین مکان یک یا چندین تسهیل در یک یا چند مکان بالقوه است تا هزینه تأمین نیازهای مشتریان را کمینه کند. به علت ظرفیت محدود تسهیلات، مساله تخصیص اغلب باید در ارتباط با مساله مکان‌یابی حل شود. مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص^۱ هم‌زمان به دنبال تعیین مکان بهینه تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات منتخب هستند. به عبارتی، مساله مکان‌یابی-تخصیص، استقرار مجموعه‌ای از تسهیلات جدید است به گونه‌ای که هزینه حمل‌ونقل از تسهیلات به مشتریان حداقل شود و تعداد بهینه‌ای از تسهیلات برای ارضای تقاضای مشتریان، در منطقه موردنظر مستقر شود. اهداف، محدودیت‌ها و متغیرهای مسائل مکان‌یابی با توجه به هدف مکان‌یابی و نوع مساله مورد بررسی متفاوت است. تسهیلات به عنوان نهادی در نظر گرفته می‌شوند که به نوعی خدماتی به مردم ارائه می‌کنند. برخی از تسهیلات ممکن است به یک ساختمان محدود شوند (مدارس و بیمارستان‌ها) و یا ممکن است مکان ثابتی داشته باشند (جاده‌ها)؛ در حالی که تسهیلات دیگر می‌توانند به منظور تأمین تقاضای مردم در گردش باشند (مانند وسایل نقلیه). در این مسائل سه نوع تقاضا تعریف می‌شود. تقاضای اختصاص نیافته (تقاضایی که در شعاع پوشش تسهیل مورد نظر قرار گرفته و ارضا می‌گردد)، تقاضای اختصاص یافته تحت پوشش (تقاضایی که در شعاع پوشش تسهیل مورد نظر قرار گرفته و ارضا می‌گردد)، تقاضای اختصاص یافته پوشش نیافته (تقاضایی که در شعاع پوشش تسهیل قرار دارد اما ارضا نشده است).

۲- اهداف مسائل مکان‌یابی

مسائل مکان‌یابی، اهداف متفاوتی دارند. نوع هدف، در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مکان‌یابی نقش مهمی دارد. اهداف مسائل مکان‌یابی با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی و برحسب نوع تابع هدف، در سه دسته قرار می‌گیرند.

- **اهداف کششی:** این مسائل قدیمی‌ترین نوع مسائل مکان‌یابی هستند. در این نوع مسائل، هدف حداقل کردن فاصله بین تسهیلات و مشتریان می‌باشد.
- **اهداف فشاری:** این مسائل در اوایل دهه ۱۹۷۰ مطرح و بعدها به مکان‌یابی مضر^۲ معروف گشتند. این نوع مسائل مکان‌یابی مراکز نامطلوب (مانند مراکز دفن زباله) را در نظر می‌گیرند و به دنبال حداکثر کردن فاصله مراکز جدید از مراکز موجود هستند.
- **اهداف متعادل:** هدف در این نوع مسائل ایجاد تعادل در مسافت بین مراکز و مشتریان می‌باشد.

۳- دسته‌بندی مسائل مکان‌یابی

مسائل مکان‌یابی را می‌توان با توجه به رویکردهای متفاوتی طبقه‌بندی نمود. یکی از این رویکردها، توجه به فضای مورد بررسی می‌باشد که این مسائل را به سه دسته مسائل مطرح شده در فضای پیوسته^۳، گسسته^۴ و شبکه^۵ تقسیم می‌نماید. همچنین می‌توان مسائل مکان‌یابی را براساس تعداد مراکز خدماتی موردنیاز به منظور احداث، تقسیم‌بندی کرد؛ که در این صورت مسئله

¹ Location-Allocation

² Noxious Location Models

³ continuous

⁴ discrete

⁵ network



مکان‌یابی به دو دسته یک‌مرکزی^۶ و چندمرکزی^۷ تقسیم می‌شود. اما اصلی‌ترین و رایج‌ترین طبقه‌بندی در حیطه مسائل مکان‌یابی-تخصیص، مرتبط با رویکرد تقسیم‌بندی براساس نوع تابع هدف می‌باشد که صرف‌نظر از جزییات مسئله و تنها با در نظر گرفتن هدف کلی مکان‌یابی صورت می‌گیرد.

• مسئله میانه

این نوع مسائل، به دنبال یافتن مکان P عدد تسهیل هستند به طوری که مجموع فواصل مراکز تقاضا و تسهیلات، حداقل شود. در مسئله میانه، اگر فضای مورد بررسی پیوسته باشد، بهینه‌سازی سخت بوده و در دسته مسائل چندجمله‌ای غیرقطعی^۸ قرار می‌گیرد. در صورتی که تسهیلات بتوانند در N نقطه از پیش تعیین شده مستقر شوند، تعداد حالات ممکن به $\binom{N}{P}$ محدود شده و مسئله ساده‌تر می‌گردد.

• مسئله مرکزی

مسئله P مرکز در فرم ریاضی به یک مسئله کم‌ترین بیش‌ترین تبدیل می‌گردد. یعنی برای کمینه کردن بیش‌ترین فاصله هر نقطه تقاضا و نزدیک‌ترین تسهیل، جست و جو می‌شود. اگر مکان تسهیل محدود به نقاط شبکه باشد، مسئله از نوع مسئله مرکز در گره^۹ می‌باشد. در صورتی که تسهیل بتواند در هر جای شبکه قرار گیرد، مسئله از نوع مسئله مرکز آزاد^{۱۰} است. در مسئله نوع دوم به دلیل آزادی بیش‌تر در استقرار تسهیل، راه‌حل مسئله بهتر و تابع هدف کوچک‌تر از نوع اول است.

• مسئله پوشش

در مسائل پوشش، تقاضا هنگامی پوشش یافته در نظر گرفته می‌شود که تسهیلات در شعاع پوشش قرار گیرند. مسائل پوشش به دو دسته مسئله مکان‌یابی پوشش مجموعه^{۱۱} و مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش^{۱۲} تقسیم‌بندی می‌شوند. در مسئله پوشش مجموعه، هدف تعیین مکان مناسب تسهیلات جهت کمینه کردن هزینه است تا به سطح معینی از پوشش دست یابد. بدین معنی که فاصله پوشش، از پیش تعیین شده و ثابت است ولی تعداد تسهیلات در صورت لزوم می‌تواند برای حفظ فاصله پوشش، افزایش یابد. اگر فاصله پوشش نسبت به فواصل بین نقاط تقاضا کوچک باشد، برآورده کردن شرط پوشش منجر به استفاده تعداد زیادی از تسهیلات می‌شود. چنانچه نقاط دور از تسهیلات، تقاضای کمی داشته باشند نسبت هزینه به سود در پوشش چنین تقاضاهایی بسیار بالاست. این مسئله می‌تواند برای تخمین تعداد تسهیلات لازم برای رسیدن به سطح خاصی از پوشش مورد استفاده قرار گیرد. مسئله حداکثر پوشش با تعداد ثابتی از تسهیلات، برای بیشینه کردن پوشش در فاصله معین به کار می‌رود. برای حل این مسائل، از الگوریتم‌های دقیق، ابتکاری و فراابتکاری استفاده می‌شود. از میان الگوریتم‌های دقیق، روش شاخه و کران بیش‌تر به کار رفته است. با توجه به اینکه این مسائل از نوع چندجمله‌ای غیرقطعی هستند، در ابعاد بزرگ از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود.

۴- طبقه بندی مقالات

در ادامه مطالعاتی که در حوزه مکان‌یابی-تخصیص انجام گرفته است را مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای مثال، سید حبیب و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه خود یک مدل زنجیره تأمین چنددوره چند هدفه یکپارچه ارائه می‌دهند. برای نزدیک کردن مدل به مسائل دنیای واقعی، از یک برنامه‌ریزی موجودی و مکان به‌طور همزمان استفاده شده است. مدل پیشنهادی دارای یک ساختار برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) است. اهداف مدل کاهش هزینه و به حداقل رساندن نرخ پرنشدن

⁶ Single Source

⁷ Multi Source

⁸ Non-deterministic polynomial-complete (NP-complete)

⁹ vertex center problem

¹⁰ absolute center problem

¹¹ Location Set Covering Problem (LSCP)

¹² Maximum Coverage Location Problem (MCLP)



تقاضای مناطق مشتری است. قسمت کاهش هزینه شامل مقادیر هزینه حمل مواد اولیه از تأمین کنندگان به کارخانجات، محل کارخانه، هزینه نگهداری موجودی در کارخانجات، هزینه توزیع از کارخانجات به انبارها یا مراکز توزیع (DC) و هزینه حمل از DC به مناطق مشتری است. سرانجام، از آنجا که ادبیات SC فاقد الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه کارآمد مبتنی بر جواب پارتو (MOEA) است، نسخه چند هدفه جدید الگوریتم بهینه سازی (MOBBO) به ادبیات SC اضافه می‌شود. کارایی الگوریتم از طریق مقایسه آن با الگوریتمی موجود به نام (MOHS) نشان داده می‌شود. کاراتاش (۲۰۱۷)، در این مقاله یک مسأله موقعیت مکانی چند هدفه را ارائه می‌دهد که شامل امکاناتی با پوشش تدریجی، پوشش تقاضای همکارانه و پوشش متغیر است. اهداف در این مسأله شامل به حداقل رساندن انحراف از نیازهای سطح پوشش تقاضا، بودجه اختصاص یافته و ظرفیت‌های تسهیلات هستند. پوشش تدریجی، هزینه‌های متغیر تسهیلات و ظرفیت‌های تسهیلات به‌عنوان فاکتورهای غیرخطی در نظر گرفته می‌شوند. مسأله تخصیص-مکان تسهیلات ابتدا به‌عنوان یک برنامه غیرخطی عدد صحیح چند هدفه (INLP) مدل‌سازی می‌شود. سپس، بعد از تبدیل مسأله در یک ساختار شبکه یک برنامه خطی عدد صحیح چند هدفه (ILP) معادل آن ایجاد می‌شود. با هدف دستیابی به جواب‌های با کیفیت بالا در زمان محاسبه معقول، یک روش حل ترکیبی INLP-ILP پیشنهاد شده است. آزمایشات گسترده محاسباتی بر روی داده‌های تولید شده به‌طور تصادفی برای مسائل در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ انجام شده است. نتایج دقیق ارائه شده است، و روش ترکیبی INLP-ILP نشان داده شده است که کارآمد است. **فائزی رازی (۲۰۱۸)**، در این مقاله خود، به‌جای استفاده از رویکرد کلاسیک در مسأله انتخاب مکان با چند معیار، رویکرد جدیدی مبتنی بر انتخاب نمونه کارها ارائه داده است. ابتدا شاخص‌های موثر بر انتخاب ایستگاه‌های کاندید جمع‌آوری شده است. در این مطالعه، از مدل K-means برای خوشه‌بندی ایستگاه‌های کاندید استفاده شده است همچنین، تعداد بهینه خوشه‌ها از طریق شاخص سیلوئت^{۱۳} محاسبه شده است. کارایی هر خوشه با استفاده از مدل تجزیه و تحلیل پوشش داده‌ها (DEA) ورودی محور که توسط چارنز، کوپر و رودز ارائه شده، تعیین شده است. برای انتخاب یک ترکیبی بهینه از رتبه و فاصله ایستگاه‌های کاندید، از یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک دو هدفه استفاده شده است. جواب‌های پارتو برای مدل دو هدفه با استفاده از روش IWO محاسبه شده‌اند. اگرچه از روش پیشنهادی برای انتخاب ایستگاه‌های تعمیر و نگهداری در یک شرکت پالایشگاه نفت در نظر گرفته شده است، اما می‌توان از آن در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کرد. **اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۹)**، در این مقاله، یک مدل تخصیص مکان ثابت با ظرفیت ثابت ارائه شده است. امکانات پشتیبان برای تجهیزات به منظور غلبه بر مختل شدن شبکه در کنار تجهیزات و امکانات در نظر گرفته شده‌اند تا از خرابی شبکه به دلیل اختلال تصادفی جلوگیری کنند. این مسئله به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی صحیح غیرخطی فرموله شده است. سپس، فرم خطی معادل آن ارائه می‌شود. الگوریتم تجزیه لاگرانژ (LDA) برای حل موارد در مقیاس بزرگ توسعه یافته است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی در مقایسه با رویکردهای مرسوم حل مسأله، در مواجهه با حل مسأله در ابعاد بزرگ قابلیت قابل قبولی دارد. علاوه بر این، برتری مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل‌های کلاسیک تأیید می‌شود. **هونگ و جئونگ (۲۰۱۹)**، در این مقاله یک روش ابتکاری برای یافتن طرح‌های کارآمد برای تخصیص مکان تسهیلات (FLA)، با استفاده از یکپارچه‌سازی تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و یک روش مدل برنامه‌ریزی چند هدفه (MOP) ارائه شده است. تصمیمات FLA پایه و اساسی را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین کارا در بسیاری از کاربردهای عملی فراهم می‌کند. رویه پیشنهادی در این مقاله برای مسائل FLA که در آن اهداف مختلف و متناقض با یکدیگر وجود دارد، در نظر گرفته می‌شود. این روش مستلزم این است که معیارهای عملکردی متناقض با هم که به‌عنوان ورودی طبقه‌بندی شده‌اند، به حداقل برسند و همچنین میزان خروجی‌ها به حداکثر مقدار ممکن برسد. حل یک مسأله MOP پاسخ‌های گوناگونی برای مسأله FLA ایجاد می‌کند. DEA این پاسخ‌ها را ارزیابی می‌کند تا برای هر پاسخ نمره کارایی نسبی ایجاد کند. سپس، با استفاده از روش‌های رتبه‌بندی DEA، همه پاسخ‌های مسأله FLA از کاراترین تا ناکاراترین در چندین گروه طبقه‌بندی می‌شوند. یک



مطالعه موردی موردی برای نشان دادن اثربخشی و کارآیی روش یکپارچه‌سازی پیشنهادی ارائه شده است. مشاهده شده است که رویکرد ترکیبی در این مقاله عملکرد خوبی دارد. در جدول ۱، مقالات موجود در ادبیات براساس جزئیات در نظر گرفته شده در هر کدام از آنها طبقه‌بندی شده‌اند.



جدول ۱- طبقه‌بندی مقالات ادبیات

نوع	نوع	نوع	نوع	نوع	نوع
اهداف مسئله	نوع تصمیم	قطعی	روش حل		

تحقیق



فراابتکاری			ابتکاری	دقیق	غیرقطعی			قطعی	مسیریابی	تخصیص		مکان‌یابی	حداقل‌سازی				حداکثرسازی					
MOHS	IWO	MOBBO			امکانی	روباست	تصادفی			چندگانه	تکی		ورودی	جلوگیری از اخلال تصادفی	هزینه	عدم پوشش	درآمد	پوشش	خروجی			
×		×	×	×				×				×			×	×				چند هدفه	سید حبیب و همکاران (۲۰۱۴)	۱
				×				×				×			×	×				چند هدفه	کاراتاش (۲۰۱۷)	۲
	×		×	×				×				×	×						×	چند هدفه	فائزی و همکاران (۲۰۱۸)	۳
				×				×				×		×						تک هدفه	اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۹)	۴
				×				×				×	×						×	چند هدفه	هونگ و جئونگ (۲۰۱۹)	۵



۵- توصیف مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات

مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات جهت یافتن بهترین مکان برای قرارگیری تسهیلات، با توجه به اهداف از پیش تعیین شده به کار می‌روند. چندین روش برای حل مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات وجود دارد؛ مانند مسأله میانه و مسئله حداکثر پوشش. به علت حجم زیاد اطلاعات شامل اطلاعات مسیر وسایل نقلیه و جمعیت شناور، این دو مدل به صورت جداگانه در نظر گرفته شده‌اند تا مقایسات کاربردی‌تری صورت بگیرد. همچنین به سیاست‌گذاران برای انتخاب مکان‌های ایستگاه وسایل نقلیه کمک می‌کند. براساس این مدل‌ها، اگر سیاست‌گذاران به دنبال حداقل هزینه باشند از مدل میانه و اگر خواستار استفاده بیش‌تر کاربران از این سیستم هستند از مدل حداکثر پوشش استفاده می‌نمایند. جهت تشریح مدل ریاضی پایه، به تعریف اندیس‌ها، پارامترها، متغیرها می‌پردازیم.

• اندیس‌ها و مجموعه‌ها

$i = \{1, \dots, n\}$	i : اندیس مرتبط با نقاط تقاضا
$j = \{1, \dots, m\}$	j : اندیس مرتبط با نقاط عرضه

• پارامترها

d_{ij} :	فاصله اقلیدسی بین نقطه i و نقطه j
D :	محدوده‌ای که در آن نقطه تقاضا می‌تواند توسط نقطه عرضه پوشش داده شود.
N_i :	تعداد نقاط عرضه‌ای (j) که در فاصله D از نقطه تقاضای i قرار دارند.
μ_i :	تعداد جمعیت شناور در نقطه تقاضای i (مقدار تقاضا)
p :	تعداد ایستگاه‌ها

• متغیرهای تصمیم

در مدل میانه

x_{ij}	۱ اگر تقاضای i به ایستگاه j اختصاص یابد ۰ در غیر این صورت
y_j	۱ اگر ایستگاه j در نقطه j احداث گردد. ۰ در غیر این صورت

در مدل حداکثر پوشش

x_i	۱ اگر تقاضای i ارضا شود ۰ در غیر این صورت
y_j	۱ اگر ایستگاه j در نقطه j احداث گردد. ۰ در غیر این صورت

✓ مدل میانه

در این مسئله، هدف حداقل‌سازی مجموع فواصل تسهیلات و مراکز تقاضا می‌باشد. مدل ریاضی به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{Minimize: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mu_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Such that



$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (\text{for all } i) \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad (\text{for all } i, j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = p \quad (\text{for all } i) \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_j = (0, 1)$$

رابطه ۱ تابع هدف را نمایش می‌دهد که مسافت سفر هر فرد را حداقل می‌نماید. محدودیت ۲ نشان‌دهنده محدودیت تخصیص تکی است. بدین معنا که کاربران نقطه i فقط از یک محل عرضه یا ایستگاه می‌توانند استفاده کنند. محدودیت ۳ بیان می‌کند که در صورتی تقاضای سایت i توسط محل عرضه j ارضا می‌شود که ایستگاهی در نقطه j احداث گردد. و در نهایت رابطه ۴ مرتبط با محدودیت تعداد ایستگاه‌ها می‌باشد.

✓ مدل حداکثر پوشش

هدف این مسئله حداکثرسازی تقاضایی است که توسط p عدد ایستگاه برآورده می‌شود.

$$\text{Maximize: } \sum_{i=1}^n \mu_i x_i \quad (5)$$

Such that

$$\sum_{j \in N_i} y_j \geq x_i \quad (\text{for all } i) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (\text{for all } i, j) \quad (7)$$

$$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq D\} \quad (\text{for all } i) \quad (8)$$

$$x_i, y_j = (0, 1)$$

رابطه ۵ بیانگر حداکثرسازی ناحیه پوشش تسهیلات است. در محدودیت ۶ به این نکته اشاره شده است که حداقل یک ایستگاه به فاصله D از نقطه تقاضای i باید وجود داشته باشد تا تقاضای i برطرف شود. رابطه ۷ نشان‌دهنده محدودیت تعداد ایستگاه‌هاست. هم‌چنین محدودیت ۸ بیان‌گر تعداد محل‌های عرضه‌ای است که از نقطه تقاضای i فاصله‌ای کمتر از D دارند.

۶- تحلیل مقالات

سید حبیب و همکاران (۲۰۱۴)، در این تحقیق یک مدل یکپارچه ارائه می‌شود تا برخی از شکاف‌های ادبیات را پر کند. برای این کار، از آنجا که در ادبیات زنجیره تأمین، به ویژه برای مسأله برنامه‌ریزی تولید-توزیع، تحقیقات کمتری در مورد فرض مجاز کمبود مطالعه کرده‌اند، این مورد در این مقاله در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، برخی دیگر از اصطلاحات موجودی کالا، به‌عنوان جریان اصلی هر مدل زنجیره تأمین، در قسمت‌های موجودی چند دوره‌ای یکپارچه چند دوره‌ای مدل توسعه یافته است. علاوه بر این، برای واقعی‌تر ساختن مدل، برنامه‌ریزی مکان تأسیسات را نیز در بر می‌گیرد. ساختار نهایی این مدل به-عنوان یک مسأله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) است. علاوه بر این، از آنجا که ادبیات فاقد الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه کارآمد مبتنی بر جواب پارتو (MOEA) است، یک نسخه چند هدفه جدید از الگوریتم بهینه‌سازی (MOBBO) به ادبیات زنجیره تأمین معرفی می‌شود. سرانجام، این الگوریتم با الگوریتمی موجود به نام MOHS مقایسه می‌شود. هم‌چنین نتایج از طریق آزمون‌ها، جداول و شکل‌های مختلف آماری و غیر آماری ارزیابی می‌شود. مزیت اصلی این مقاله در تکمیل خلا ادبیات مربوطه است. علاوه بر این در نظر گرفتن رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه، برنامه‌ریزی قطعی و هم‌چنین مقایسه روش چند هدفه پیشنهادی در مقابل روش بهینه‌سازی موجود از جمله مزیت‌های دیگر این تحقیق محسوب می‌شود.

کاراتاش (۲۰۱۷)، ابتدا یک مدل برنامه غیرخطی عدد صحیح چندهدفه (INLP) برای مسأله مکانیابی تسهیلات توسعه می‌دهد. سپس مسأله را به‌صورت ساختار شبکه نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که INLP می‌تواند به‌عنوان یک برنامه خطی عدد صحیح چند هدفه (ILP) نشان داده شود که کیفیت راه‌حل به‌دست آمده نسب به هزینه زمان محاسبات اضافی بهبود بخشیده

شود. سرانجام، یک روش حل ترکیبی INLP-ILP در این مقاله ارائه داده می‌شود که قادر است راه‌حل‌های با کیفیت بالا با زمان محاسبات کوتاه‌تر را ارائه دهد. چارچوب مدل‌سازی ارائه شده در این مقاله شامل مفروضات منطقی‌تر و واقع‌بینانه‌تر از رویکرد کلاسیک MCLP است. علاوه بر این، روش راه‌حل پیشنهادی جدید است به این معنا که این دو مدل تحلیلی را برای بهره‌مندی از جنبه‌های قوی آنها، یعنی سرعت محاسبه INLP و عملکرد با کیفیت راه‌حل ILP ادغام می‌کند. وجه برتری این مقاله در نظر گرفتن برنامه‌ریزی‌های محاسباتی دقیق و چندهدفه است. به طور کلی مزیت‌های اصلی این مقاله عبارت‌اند از: یک مسأله مکانیابی چند هدفه با چندین ویژگی معرفی شده است، پوشش تدریجی، پوشش همکارانه و پوشش متغیر در نظر گرفته شده است، انحرافات مرتبط با هزینه، عملکرد پوشش و ظرفیت به حداقل می‌رسد، یک برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح و یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح معادل آن ساخته شده است و همچنین، یک روش حل برنامه ترکیبی غیرخطی و خطی پیشنهاد شده است. اما برای تکمیل کار به منظور نشان دادن قابلیت مدل برنامه‌ریزی ساخته شده بهتر بود از روش‌های فراابتکاری نیز استفاده می‌شد.

فائزی رازی (۲۰۱۸)، یک روش جدید ترکیبی مبتنی بر الگوریتم‌های داده‌کاوی، بهینه‌سازی چند معیاره و تصمیم‌گیری چند هدفه برای انتخاب نمونه کارهای بهینه از مکان‌های نگهداری کاندید ارائه شده است. برای این منظور، شاخص‌های مؤثر بر انتخاب مکان‌های کاندید نگهداری شناسایی شدند. ایستگاه‌های نگهداری با استفاده از الگوریتم داده‌کاوی K-means در چهار خوشه قرار گرفتند. دلیل انتخاب چهار خوشه نتیجه روش شاخص Silhouette در تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها بود. مزیت خوشه‌بندی ایستگاه‌های نگهداری با استفاده از الگوریتم K-means این است که امکان انتخاب ایستگاه‌های نگهداری مختلف را فراهم می‌کند. هر خوشه مورد ارزیابی و رتبه‌بندی از طریق مدل ورودی-محور DEA-CCR قرار گرفت. کارایی هر ایستگاه تعمیر و نگهداری به‌طور جداگانه با استفاده از مدل ورودی-محور DEA-CCR مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه صفر و یک برای تجزیه و تحلیل بهینه رتبه و مسافت جواب‌های پارتو ایجاد شد. راه‌حل‌های پارتو برای رتبه و فاصله با استفاده از الگوریتم WIO مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ارائه یک روش ترکیبی برای انتخاب مکان‌های نگهداری از میان مکان‌های کاندید مزیت اصلی این مقاله به‌شمار می‌رود. علاوه بر این، توجه به برنامه‌ریزی‌های چندهدفه و همچنین به کاربستن الگوریتم خوشه‌بندی K-means داده‌کاری جز نوآوری‌های تحقیق محسوب می‌شود. اما با این حال، علی‌رغم مدل‌های متنوع و پرکاربرد در DEA از مدل بسیار ابتدایی و قدیمی CCR استفاده شده است. ضعف عمده مدل‌های CCR در این است که امتیاز کارایی را بسیار خوشبینانه اندازه‌گیری می‌کنند. بنابراین، این عامل سبب می‌شود تا بسیاری از واحدهایی که حتی ناکارا هستند را در قالب واحد کارا در نظر بگیرد.

در مقاله **اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۹)**، با توجه به سخت شدن مسأله تسهیلات و پشتیبان‌گیری از امکانات برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه، یک مسأله تخصیص مکان تسهیلات را با احتمال بروز اختلال در تسهیلات مطالعه شده است. ایجاد بهبود قابلیت اطمینان در شبکه را در این مقاله می‌توان در دو دسته اصلی طبقه‌بندی کرد. در مورد اول، تسهیلات شبکه معمولاً در معرض خطراتی از قبیل حملات عمدی و برنامه‌ریزی شده قرار می‌گیرند، که در اینصورت اتخاذ تصمیم مناسب با استفاده از مدل‌های تئوری بازی در دو سطح یا سه سطح انجام می‌شوند. در این حالت، تصمیم مناسب در مورد تخصیص منابع محافظتی برای محافظت از شبکه‌های دارای تسهیلات اتخاذ می‌شود. در مورد دوم، امکانات با اختلال تصادفی روبرو می‌شوند. این مدل در مورد مکان تسهیلات و تخصیص آن به مشتریان تصمیم می‌گیرد تا کل هزینه پیش‌بینی شده را به حداقل برساند. این مقاله علی‌رغم اینکه ایده منحصر بفرد جلوگیری از اختلال در تسهیلات در آن نظر گرفته شده است که نقطه قوت این مقاله در مقابل سایر مقالات ادبیات موضوع می‌باشد، اما با دخالت دادن موارد دیگر می‌توانست کامل‌تر شود. برای مثال، خلا در نظر گرفتن چند هدف با توجه به اینکه در ادبیات به آن نیز اشاره شده است، می‌توانست موضوع را کامل‌تر کند. همچنین، در نظر گرفتن یک روش فراابتکاری همچون ژنتیک یا روش‌هایی که در ادبیات موضوع به آنها اشاره شده است، با ایجاد مقایسه‌ای بین جواب‌های قطعی و فراابتکاری به جذابیت کار اضافه کند.

در مقاله هونگ و جئونگ (۲۰۱۹)، از روش تحلیل پوششی داده (DEA) برای ارزیابی راه‌حل‌های ارائه شده استفاده شده است. مدل‌های DEA بازدهی نسبی واحدهای قابل مقایسه را ایجاد می‌کنند که در اصطلاح آنها را واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) می‌نامند، که ورودی‌ها مصرف می‌شوند تا خروجی‌ها تولید شوند. برای نشان دادن کارایی نسبی برای هر DMU، مدل‌های DEA نمره کارایی تولید می‌کنند که به‌عنوان نسبت مجموع خروجی‌های وزنی به مجموع وزنی ورودی‌ها تعریف می‌شود. هدف این مقاله ارائه و نشان دادن چگونگی ترکیب روش‌های DEA و چندهدفه MOP برای تصمیمات و الگوهای کارآمد FLA برای کمک به پزشکان و همچنین تصمیم‌گیرندگان مسئول برنامه‌های تصمیم‌گیری استراتژیک و عملیاتی است. برای ترکیب DEA و MOP تمام معیارهای عملکرد را در قالب ورودی یا خروجی طبقه‌بندی می‌کنیم تا مشکل FLA را به‌عنوان یک مدل MOP فرموله کنیم. سپس ما برای مقادیر مختلف وزن با توجه به معیارهای عملکرد، مدل را حل می‌کنیم. با در نظر گرفتن هر گزینه جایگزین تولید شده برای مجموعه‌ای از وزن معین به‌عنوان DMU، ما تمام گزینه‌های جایگزین را با استفاده از روش DEA ارزیابی می‌کنیم تا کارایی هر گزینه جایگزین را پیدا کنیم و کارآمدترین طرح‌های FLA را شناسایی کنیم. به این ترتیب، تصمیم‌گیرندگان تصمیمات کارآمد و قوی FLA را بدون هیچ گونه قضاوت ذهنی ارزیابی و شناسایی می‌کنند. به‌علاوه، به محض اینکه تصمیم‌گیرندگان الگوهای کارآمد FLA را از طریق روش پیشنهادی شناسایی کنند، می‌توانند تصمیمات عملیاتی خود را بدون از بین بردن کارایی به شدت تحت اختلالات غیرمنتظره تغییر دهند. مزیت این مقاله توجه به ذات چندهدفه بودن مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها است. زیرا همواره این مدل‌ها به دلیل اینکه رابطه کارایی که از نسبت خروجی‌ها به ورودی‌ها محاسبه می‌شود به دنبال محاسبه امتیاز کارایی از طریق افزایش خروجی یا کاهش ورودی است. بنابراین عموماً در مدل‌های DEA با دو هدف اساسی سروکار داریم. بنابراین، بکار بردن روش DEA با این مفهوم در این مقاله ایده کاملاً هوشمندانه‌ای است. زیرا علاوه بر اینکه به چند هدف توجه می‌گردد، با در نظر گرفتن آن به کاربرد DEA در ادبیات موضوع نیز نشان داده می‌شود. اما بهتر بود در کنار استفاده از این روش، از روش‌های فراابتکاری نیز استفاده می‌شد تا قابلیت مدل در مقایسه با آنها نشان داده شود. البته استدلال این است که نویسنده این مقاله از خاصیت فراتخمینی مدل‌های DEA آگاه بودند، لذا به همین دلیل تنها به کار بستن آن در یک مطالعه موردی بسنده کردند.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا با برنامه‌ریزی‌های مربوط به مسأله مکان‌یابی تسهیلات آشنا شویم. رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح عموماً در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به بررسی مقالات مطالعه شده، هدف مسأله مکان‌یابی پیدا کردن مکان و تعداد مناسب تسهیلات و نیز مسیرهای توزیع و برنامه زمان‌بندی وسایل نقلیه می‌باشد. در حوزه مکان‌یابی مسائل در سه دسته میانه، مرکزی و پوشش تقسیم‌بندی می‌شود. ماهیت مسائل میانه به گونه‌ای است که مکان تسهیلات را به‌طوری که مجموع فواصل مراکز تقاضا و تسهیلات، حداقل شود را پیدا کند. در مسئله نوع دوم به دلیل آزادی بیش‌تر در استقرار تسهیلات، راه‌حل مسأله بهتر و تابع هدف کوچک‌تر از نوع اول است. در مسئله پوشش نیز مجموعه، هدف تعیین مکان مناسب تسهیلات جهت کمینه کردن هزینه است تا به سطح معینی از پوشش دست یابد. با استفاده از این سیستم توزیع که در انواع مسائل صنعتی و خدماتی و ... کاربرد دارد می‌توان تا حد قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های حمل و نقل صرفه جویی ایجاد کرد. در ادامه به بررسی مسائل مکان‌یابی - تسهیلات پرداخته خواهد شد. اول آن که مسأله مطرح شده مسأله‌ای کاربردی است و توفیق در دستیابی به جواب‌های بهتر سبب صرفه‌جویی اقتصادی می‌گردد، و دوم آن که حل مسأله به سبب درجه سختی بسیار بالای آن، مسأله‌ای چالش برانگیز به حساب می‌آید.



مراجع

- Esfandiyari, Z., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2019). Resilient network design in a location-allocation problem with multi-level facility hardening. *Scientia Iranica*, 26(2), 996-1008.
- Hong, J. D., & Jeong, K. Y. (2019). Combining data envelopment analysis and multi-objective model for the efficient facility location-allocation decision. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(2), 315-331.
- Razi, F. F. (2019). A hybrid DEA-based K-means and invasive weed optimization for facility location problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(3), 499-511.
- Rahmati, S. H. A., Ahmadi, A., & Karimi, B. (2014). Facility Location and Inventory Balancing in a Multi-period Multi-echelon Multi-objective Supply Chain: An MOEA Approach. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 7(16), 83-99.
- Karatas, M. (2017). A multi-objective facility location problem in the presence of variable gradual coverage performance and cooperative cover. *European Journal of Operational Research*, 262(3), 1040-1051.