Modeling and solving the dynamic modular capacitated maximal covering location problem

Jafar Bagherinejad *
Associate professor, Department of industrial engineering, Alzahra University, Tehran, Iran, jbagheri@alzahra.ac.ir
Mahdi Bashiri
Associate professor Department of industrial engineering, Shahed University, Tehran, Iran, m.bashiri@gmail.com
Roqayeh Alizadeh
M.Sc. Student of Industrial engineering, Alzahra University, Tehran, Iran, alizadehroqayeh@gmail.com

Abstract:

Maximal covering location problem is one of the most important network location problems that is used in various applications. To improve the application of the maximal covering location problem (MCLP), several capacitated MCLP models were proposed. However, most of these models assume only one fixed capacity level for facilities. This assumption may limit the application of the capacitated MCLP. In this paper, a dynamic modular capacitated maximal covering location problem (DMCMCLP) is proposed and formulated that the limited capacities of facilities is designed into two levels of determining allocated modules and their sizes for facilities at each potential site. To evaluate the performance of DMCMCLP, a numerical example has been solved and DMCMCLP is compared with dynamic maximal covering location problem (DMCLP). The results confirm superiority of the proposed model comparing to the DMCLP model. Moreover the sensitivity analysis confirm the performance accuracy of the proposed model.

Keywords: Location problem, Maximal covering, Modularity, Variable capacity, Dynamic

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* Corresponding author

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۸، پیاپی ۱۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶
دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹
صص: ۱۱۴-۹۹

مدل‌سازی و حل مسأله حداکثر پوشش ماژولار پویا با ظرفیت‌های محدود متغیر

جعفر باقری‌نژاد[۱*]، مهدی بشیری[۲]، رقیه عالی‌زاده[۳]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران، jbagheri@alzahra.ac.ir
۲- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، m.bashiri@gmail.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران، alizadehroqayeh@gmail.com

چکیده: مسأله مکان‌یابی حداکثر پوشش یکی از مهم‌ترین مسائل مکان‌یابی شبکه است که برای کاربردهای مختلف آن، مدل‌های متنوعی از مسأله حداکثر پوشش، نظیر درنظرگرفتن محدودیت‌های ظرفیتی تسهیلات ارائه شده‌اند؛ اما تمامی این مدل‌ها فقط یک سطح ظرفیت ثابت برای تسهیلات استقراریافته در نظر می‌گیرند که این نوع مدل‌سازی باعث کاهش کارایی مدل مکان‌یابی حداکثر پوشش می‌شود. در این مقاله، مسأله مکان‌یابی حداکثر پوشش محدود ماژولار پویا ارائه و مدل‌سازی شده است که ظرفیت تسهیلات در دو سطح «تعیین ماژول‌های تخصیصی به تسهیل» و «تعیین سایز هریک از ماژول‌ها» طراحی و مدل‌سازی می‌شود. جهت بررسی کارایی مدل ارائه‌شده، یک مثال عددی حل شده و مدل مسئله با مدل مسأله مکان‌یابی حداکثر پوشش پویا مقایسه شده است. نتایج بررسی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی با برخورداری از مفهوم ماژولاریتی، نسبت به مدل حداکثر پوشش پویا از کارایی بالاتری برخوردار است. همچنین تحلیل حساسیت انجام‌شده بر پارامترهای مسئله، صحت عملکرد مدل را تأیید می‌کند.

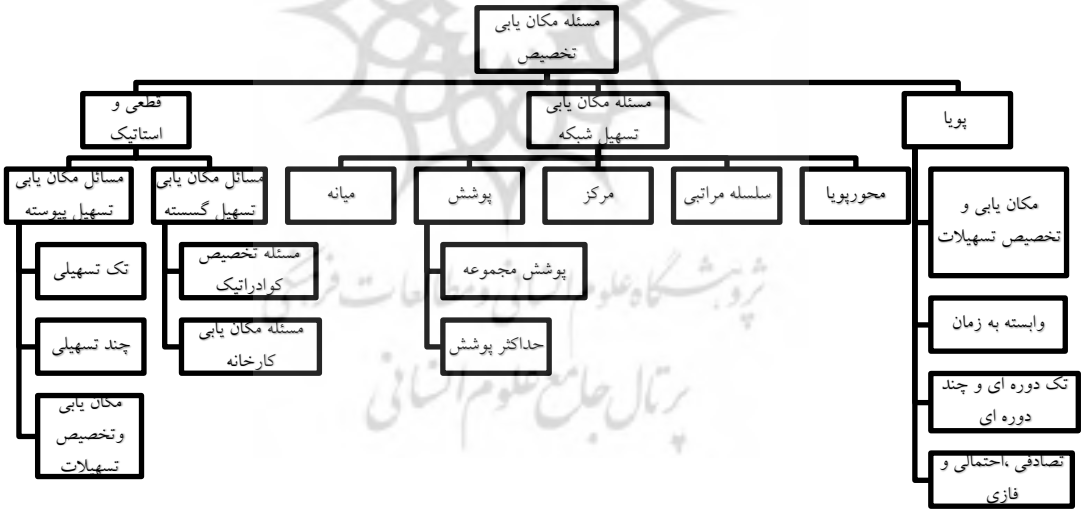
واژه‌های کلیدی: : مسأله مکان‌یابی، پوشش حداکثری، تسهیلات ماژولار، ظرفیت محدود متغیر، پویا

---

*نویسنده مسؤول

۱- مقدمه

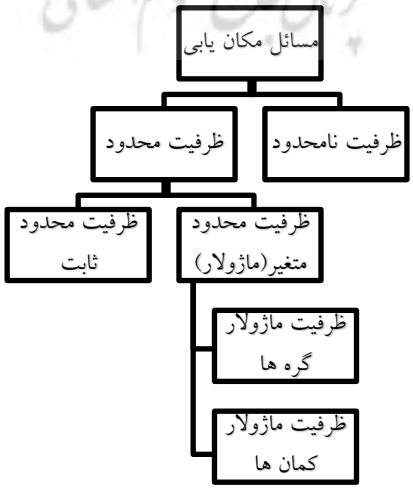
مسائل مکان‌یابی امروزه کاربرد بسیاری در حل مسائل روزمره دارند. این‌گونه مسائل در مکان‌یابی بسیاری تسهیلات از مدرسه، ایستگاه‌های پلیس، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و غیره گرفته تا دیگر مسائل از قبیل موارد نظامی و مکان‌یابی محورها کاربرد دارند. مسائل مکان‌یابی در یک طبقه‌بندی اولیه شامل مسائل مکان‌یابی قطعی و استاتیک، مکان‌یابی پویا و مکان‌یابی شبکه می‌شود. در مسائل مکان‌یابی قطعی همهٔ پارامترها معلوم و استاتیک است و مسائل گوناگونی را دربرمی‌گیرد که به‌طور کلی می‌توان آن را به دو گروه مسائل پیوسته و گسسته طبقه‌بندی کرد. مسائل مکان‌یابی شبکه نیز شامل مسائل میانه، مرکز، پوشش، محور و سلسله‌مراتبی هستند (داسکین و اونر[1]،۱۹۹۸). شکل شمارهٔ (۱) برگرفته از مقالهٔ بلوری عربانی[2] و زنجیرانی فراهانی[3] (۲۰۱۲) این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. البته این طبقه‌بندی به این معنا نیست که مسئله‌ای نمی‌تواند به‌طور هم‌زمان متعلق به دو یا بیشتر از دو گروه باشد. یکی از مسائل مهم شبکه، مسأله پوشش حداکثری است که در آن به دنبال حداکثرکردن پوشش تقاضاها است در حالی که تعداد تسهیلات جهت استقرار از پیش تعیین شده است. این مسئله با توجه به کاربردهایی که در زمینه‌های مختلف دارد بسیار قابل‌توجه و پرکاربرد است و پژوهشگران بسیاری آن را بررسی کرده‌اند و به تکمیل و توسعهٔ این مدل پرداخته‌اند.



شکل ۱- طبقه‌بندی مسائل مکان‌یابی از نظر ماهیت مدل‌های مختلف موجود

در دنیایی که پیشرفت دانش در آن باعث ایجاد پیچیدگی‌های بسیاری شده، انسان جهت غلبه بر این پیچیدگی‌ها دست به ساده‌سازی این عوامل زده و نگرشی جدید در برخورد با آنها به وجود آورده است. به این نگرش که امروزه برای مدل‌سازی در بیشتر علوم استفاده می‌شود، ماژولاریزه‌کردن می‌گویند. از نظر مهندسی، ماژولاریته کارهای متفاوتی انجام می‌دهد از جمله اینکه پیچیدگی سیستم را قابل مدیریت می‌کند. همچنین ماژولاریته باعث انجام کارهای موازی می‌شود (بالدوین و کلارک[4]، ۲۰۰۰).

ماژولاریزه‌کردن در علوم مختلف از قبیل علوم طبیعی و بیولوژیکی، علم رایانه، عمران و معماری، شبکه‌ها، هنر، روباتیک و غیره کاربرد دارد. مفهوم ماژولاریته در مسائل مکان‌یابی هم موردتوجه است و در این‌گونه مسائل اغلب ظرفیت‌ها هستند که به‌صورت محدود و ماژول‌بندی‌شده در نظر گرفته می‌شوند که این ظرفیت‌ها می‌توانند ظرفیت گره‌ها باشند و یا مربوط به ظرفیت کمان‌ها در شبکه باشند. شکل شمارهٔ (۲) طبقه‌بندی مسائل مکان‌یابی را از دیدگاه محدودیت ظرفیت‌ها نشان می‌دهد. با توجه به مفهوم ماژولاریته و نقش آن در مدل‌سازی و شبیه‌سازی بهتر پدیده‌ها در این مقاله به دنبال به‌کارگیری این مفهوم در مسأله مکان‌یابی پوشش حداکثری هستیم. به‌علاوه مسأله موردپژوهش این تحقیق در فضای پویا تعریف شده است. مسأله موردپژوهش دارای کاربردهای مهمی است از قبیل مکان‌یابی بیمارستان‌ها که جهت توصیف مثالی از کاربرد این مدل می‌تواند به کار رود. بیمارستان دارای بخش‌های خدمت‌رسانی مختلفی است از قبیل بخش اورژانس، بخش MRI، بخش رادیولوژی، بخش جراحی و غیره و هرکدام از این بخش‌های مختلف یکی از ماژول‌های تشکیل‌دهندهٔ تسهیل هستند. هر ماژول نیز اندازه‌های مختلف دارد که با توجه به تقاضای دریافت‌کنندگان خدمت باید اندازهٔ بهینهٔ ماژول‌ها در تسهیلات (بیمارستان‌ها) مستقر شوند. به‌علاوه با توجه به نوع ماژول‌ها برخی از آنها می‌توانند در طول دوره‌های مختلف در میان تسهیلات ردوبدل شوند تا بتوان از آنها بیشترین استفاده را کرد که کاهش هزینه را نیز به‌همراه خواهد داشت. در مقالهٔ حاضر، این مسئله مدل‌سازی می‌شود، یک مثال عددی مرتبط حل می‌شود و سپس مدل مسئله با مدل مسأله حداکثر پوشش پویا مقایسه می‌شود و همچنین قدرت مدل و نحوهٔ تغییر جواب‌های مسئله با توجه به تغییر پارامترهای مدل بررسی می‌شود. نحوهٔ سازمان‌دهی مقاله به‌صورت زیر است: در بخش دوم ادبیات موضوع مقاله مرور می‌شود. در بخش سوم مدل مسئله ذکر خواهد شد و در بخش چهارم مثال عددی حل می‌شود و پاسخ‌های مسئله با پاسخ‌های مسأله حداکثر پوشش پویا مقایسه می‌شود. در بخش پنجم با انجام تغییراتی در پارامترهای مدل، حساسیت مدل تحلیل می‌شود، درنهایت در بخش آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادهای مربوطه آورده شده است.



شکل ۲- طبقه‌بندی مسائل مکان‌یابی از نظر محدودیت ظرفیت‌ها

۲- مرور ادبیات

مسأله مکان‌یابی پوشش مجموعه[۵] که تورگاس[٦] و همکاران در سال ۱۹۷۱ تعریف کرده‌اند، اولین و پایه‌ای‌ترین مسأله مکان‌یابی خدمات اورژانس است که می‌تواند به‌عنوان ریشهٔ مسائل مکان‌یابی پوشش تلقی شود. این مسئله به دنبال کمینه‌کردن تعداد تسهیلات اورژانس موردنیاز جهت پوشش‌دادن کل تقاضا بود که پوشش نقاط تقاضا فقط زمانی محقق می‌شود که فاصلهٔ بین آن نقطه و تسهیل کمتر از فاصلهٔ ازپیش‌تعیین‌شده به‌عنوان شعاع پوشش باشد. چرچ و رول[۷] یک مدل دوگان برای مسأله پوشش مجموعه توسعه دادند. آنها یک فرمولاسیون برنامه‌ریزی خطی پیشنهاد دادند که پوشش کل تقاضای موزون را با تعداد تسهیل ثابت بیشینه می‌کرد. دوگان مسئله به نام مسأله مکان‌یابی پوشش حداکثری شناخته می‌شود و توجهات زیادی را به خود جلب کرده است (چرچ و رووله،۱۹۷٤).

یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در میان مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات، مدل مسائل پوششی است. با اینکه این مدل‌ها جدید نیستند، همیشه مورد توجه محققان بوده‌اند که این توجه به‌دلیل کاربرد آنها در مسائل واقعی زندگی به‌خصوص تسهیلات اورژانس و خدمات است. اسچلینگ[۸] و همکاران در سال ۱۹۹۳ مدل‌هایی را که از مفهوم پوشش استفاده می‌کنند، به دو طبقهٔ عمده تقسیم‌بندی کردند: ۱) مسأله پوشش مجموعه که در آن پوشش نقاط تقاضا مطلوب مسئله بوده و ۲) مسأله مکان‌یابی پوشش حداکثری(MCLP[۹]) که در آن پوشش نقاط تقاضا بهینه‌سازی می‌شود. محققان هرکدام از مسائل را ازلحاظ ساختار توپولوژیکی، طبیعت تقاضاها، ویژگی تسهیلاتی که باید مستقر شوند، کاربرد مسائل در بخش‌های عمومی و خصوصی و همچنین روش‌های حل بررسی کرده‌اند (اسچلینگ و همکاران، ۱۹۹۳).

اخیراً نیز فراهانی و همکاران (۲۰۱۲) مسائل مکان‌یابی پوششی را به‌طور جامع‌تر بررسی و مطالعه کرده‌اند که بیشتر تمرکز آنها بر مقالات پژوهشی منتشرشده پس از مقالهٔ اسچلینگ و همکاران(۱۹۹۳) بوده است. آنها این طبقه از مسائل را نه‌تنها براساس دو گروه عمده (پوشش مجموعه و پوشش حداکثری) بررسی کرده‌اند، بلکه سایر مسائل جدید در حوزهٔ مسائل پوشش را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. آنها سپس با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعهٔ مدل‌های پوششی به بیان خلأهای تحقیقاتی موجود در این زمینه پرداخته‌اند که نیاز به مطالعهٔ تسهیلات با ظرفیت محدود و همچنین وجود انواع مختلف تسهیلات از این موارد است (فراهانی و همکاران،۲۰۱۲)؛ در مقالهٔ حاضر سعی شده است این خلأهای تحقیقاتی در نظر گرفته شود. بیشتر مقالاتی که مسأله مکان‌یابی پوشش حداکثری را مطالعه کرده‌اند، این مسئله را فقط برای یک دورهٔ زمانی بررسی کرده‌اند. در مقالهٔ فاضل زرندی و داوری (۲۰۱۳)، مسأله مکان‌یابی پوشش حداکثری پویا(DMCLP[۱۰]) به‌عنوان یک خلأ تحقیقاتی، بیان و بررسی شده است. این مسئله سپس با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، حل شده است (فاضل زرندی و داوری،۲۰۱۳).

همان‌طور که در مقدمه گفته شد نگرش ماژولاریته در مباحث مکان‌یابی را نیز پژوهشگران مطالعه و بررسی کرده‌اند. اولین مقاله‌ای را که مبحث ماژولاریته را در زمینهٔ مسائل مکان‌یابی تسهیل وارد کرد، کوریا و کپتیوو[۱۱] نوشتند. در این مقاله مسأله مکان‌یابی ظرفیت محدود ماژولار[۱۲] مورد توجه قرار گرفته که متشکل از یافتن مکان و ظرفیت تسهیلات به‌گونه‌ای است که

بتوان یک مجموعه از مشتریان را با مینیمم‌سازی کل هزینه، خدمت‌دهی کرد. هر مشتری تقاضای مربوط به خود را دارد و ظرفیت هر تسهیل باید از یک مجموعهٔ گسسته و متناهی ظرفیت‌های موجود انتخاب شود. محدودبودن ظرفیت هر تسهیل بدین صورت در نظر گرفته شده است که ظرفیت‌های متفاوتی برای تسهیلات ممکن هست و هر تسهیل دارای حد بالا و حد پایین خدمت‌دهی است. کاربردهای عملی این مسئله می‌تواند در مکان‌یابی انبارها، مراکز آموزشی، خدمات درمانی و یا انواع دیگر خدمات عمومی یافت شود. برای مسأله مکان‌یابی ظرفیت محدود ماژولار، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مختلفی ارائه شده است. محققان کران‌های بالا و پایین را روی مقدار بهینه مسئله توسعه دادند و نتایج محاسباتی با مسائل تستی که به‌طور تصادفی تولید شده بود ارائه شده است (کوریا و کپتیوو، ۲۰۰۳).

با نگاهی به ادبیات مسأله مکان‌یابی که نگرشی ماژولار دارد می‌توان این مسائل را در دو گروه طبقه‌بندی کرد: گروه اول مسائلی که در آنها مفهوم ماژولاریته در گره‌های شبکه اتفاق می‌افتد و دوم گروهی که در آنها ماژولاریته در کمان‌های شبکه بررسی می‌شود. جدول شمارهٔ (۱) مسائل مطالعه‌شده در هرکدام از این طبقه‌بندی‌ها را به‌طور خلاصه نمایش می‌دهد.

از جمله دیگر مسائل مکان‌یابی که نگرش ماژول‌بندی توانسته است در مدل‌سازی آنها مؤثر واقع افتد، مسأله مکان‌یابی محور است. کارلو و یمن در مقالهٔ خود مسأله مکان‌یابی محور را که در آن کمان‌ها دارای ظرفیت محدود ماژولار هستند، بررسی و مطالعه کرده‌اند. این مقاله در ارتباط با یک مسأله مکان‌یابی محور است که برگرفته از طراحی شبکه‌های مخابراتی است. مسئله از دو جنبه با مسائل مکان‌یابی کلاسیک محور متفاوت است: اول اینکه هزینهٔ استفاده از یک کمان خطی نیست و شکلی پله‌ای دارد (هزینه ماژولار است) و دوم ظرفیت محورها محدود در نظر گرفته شده است. در این مقاله روش حل دقیق و نیز ابتکاری ارائه شده است. این روش‌ها مقایسه شده و در یک روش متمرکز ابتکاری ترکیب شده است (یمن و کارلو[۱۳]، ۲۰۰۵).

یمن در مقاله‌ای دیگر تحلیل چندوجهی برای مسأله مکان‌یابی محور با ظرفیت محدود و ماژولار را که قبلاً مطالعه کرده بود ارائه کرد. درواقع وی در این کار پژوهشی خود بیشتر به جنبه‌های طراحی شبکه‌ای مسأله مکان‌یابی محور که در آن ظرفیت‌ها محدود هستند، پرداخته و با تحلیل چندوجهی که ارائه داده است، در پی مدل‌سازی راحت‌تر این مسئله است (یمن، ۲۰۰۵) .

شاید به‌جرئت بتوان گفت که مسائل مکان‌یابی تسهیل ماژولار در شبکه‌های مخابراتی بیشترین توسعه و کاربرد را داشته‌اند. در مقاله‌ای که آدیس و همکارانش نوشته‌اند بر مسأله مکان‌یابی تسهیل با ساختار شبکه‌های مخابراتی بحث می‌شود که ماژولاربودن تسهیلات به این صورت است که در آن دو مجموعهٔ مختلف تسهیلات وجود دارد، تسهیلات میانی و تسهیلات اصلی که گره‌های تقاضا ابتدا به تسهیلات میانی متصل می‌شوند و سپس تسهیلات میانی به تسهیلات اصلی وصل می‌شوند (آدیس، کارلو و کاسل[۱۴]، ۲۰۱۱).

کوریا و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مقالهٔ خود یک تکنیک فرمول‌بندی تفکیکی در قالب مسأله مکان‌یابی تسهیلات با هزینه‌های ارتباطی ماژولار را مطالعه کرده‌اند. مسأله مطالعه‌شده در این مقاله برخاسته از قالب مسأله مکان‌یابی تسهیلات است و

با توجه به کاربردهای واقعی آن صورت گرفته است. هزینه‌های مربوط به کمان بین تسهیلات و مشتریان بسیار پیچیده‌تر از حالت خطی است که اغلب در ادبیات دیده می‌شود. اهمیت درنظرگرفتن هزینه‌های توزیعی عمومی به‌طور مثال برخاسته از شرایطی است که وسایل مختلف حمل‌ونقل برای تحویل کالا از تسهیلات مختلف به مشتریان وجود دارد؛ به عبارت دیگر، می‌توان گفت که کمان بین مشتری و تسهیل، ممکن است متشکل از ترکیبی از ماژول‌ها یا ظرفیت‌های مختلف باشد. به‌طور مثال هنگامی که انواع مختلف وسیلهٔ نقلیه وجود دارد که تأمین‌کنندهٔ مشتریان هستند، اگر بیش از یک کامیون از یک نوع اندازه وجود داشته باشد با شرایطی روبه‌رو هستیم که کمان‌ها ظرفیت محدود ماژولار دارند (کوریا،گوویا و سالدانها[۱۵]، ۲۰۱۰).

جدول۱- خلاصه‌ای از مطالعات انجام‌شده در حوزه تسهیلات ماژولار در ادبیات مکان‌یابی

نام نویسندگان و سال انتشار		کوریاو کپتیوو(۲۰۰۳)	یمن و کارلوو(۲۰۰۵)	یمن(۲۰۰۵)	کوریا و همکاران(۲۰۱۰)	آدیس و همکاران(۲۰۱۱)	مدل مقاله حاضر
کاربرد مسئله		مسأله مکان‌یابی(LP)	مکان‌یابی محور در شبکه مخابراتی	مکان‌یابی محور در شبکه مخابراتی	مکان‌یابی با هزینه‌های توزیعی ماژولار	مکان‌یابی دوسطحی شبکه مخابراتی	مکان‌یابی حداکثر پوشش
نام مخفف مسئله		MCLP[۱۶]	HMLC	HML	-	TLCFLP	DMCMCLP
نوع ظرفیت محدود		(N)*	(A)**	(UN)***	(A)	(N)	(N)
تابع هدف	نوع (Min/Max)	Min	Min	Min	Min	Min	Max
	مجموع تقاضای پوشش‌یافته						✓
	هزینهٔ استقرار تسهیل			✓	✓	✓	✓
	هزینهٔ استقرار ماژول‌ها	✓		✓	✓	✓	✓
	هزینهٔ حمل‌ونقل	✓			✓		
	هزینهٔ عملیاتی تسهیل	✓				✓	
	هزینهٔ نصب کمان‌ها		✓	✓			
محدودیت‌ها	پاسخگویی کامل تقاضاها	✓			✓		
	استقرار یک تسهیل در هر گره	✓					✓
	تخصیص هر گره فقط به یک تسهیل		✓	✓		✓	✓
	ظرفیت تسهیلات		✓		✓	✓	✓
	ظرفیت ماژول‌ها	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	امکانات نصب‌شده در ماژول					✓	
	تعداد تسهیلات بالقوه						✓
پویا درنظرگرفتن محیط		×	×	×	×	×	✓
روش حل		LR	روش دقیق و ابتکاری	-	LR	Branch and Price	

*N: گره‌های ماژولار،**A : کمان‌های ماژولار، ***UN: گره‌های ماژولار بدون محدودیت ظرفیت.

توجه فزاینده و علاقهٔ پژوهشگران به مسائل مکان‌یابی به‌دلیل کاربردهای آنها در مسائل دنیای واقعی است، با این حال مدل‌های ارائه‌شده با مسائل واقعی فاصلهٔ زیادی دارد و هنوز جای کار فراوانی در این زمینه مشاهده می‌شود (برمن[۱۷] و همکاران، ۲۰۱۰). در هیچ‌کدام از مسائل مطرح‌شده در بالا با مفهوم ماژولاریتی، مسأله پوشش حداکثری به‌طور اختصاصی مطالعه نشده است؛ بنابراین این سؤال جای طرح دارد که مسأله پوشش حداکثری با به‌کارگیری مفهوم ماژولاریته و طراحی ماژول‌هایی با ظرفیت محدود چه نوع ویژگی‌هایی دارد. همچنین در ادبیات موضوع، طراحی ماژولار به‌صورت تک‌لایه‌ای انجام شده است در حالی که در مدل مسأله حاضر علاوه بر اینکه تسهیلات مجموعه‌ای از ماژول‌ها هستند، خود این ماژول‌ها نیز اندازه‌های مختلف دارند که این نوع طراحی تسهیلات به واقعیت نزدیک‌تر است و باعث کاهش هزینه‌ها و همچنین افزایش انعطاف‌پذیری می‌شود. به‌علاوه مسأله موردبررسی در این مقاله با درنظرگرفتن پویایی تقاضاها، به دنبال انطباق هر چه بیشتر مدل با مسأله دنیای واقعی است. در بخش بعد مدل‌سازی ارائه شده است.

۳- مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی پوشش حداکثری ماژولار پویا با ظرفیت محدود(DMCMCLP[۱۸])

برای مدل‌سازی مسئله به تعریف پارامترهای زیر نیاز داریم:

$i=\{1,2,....,n\}$: مجموعه مکان تسهیلات بالقوه

$j=\{1,2,...,m\}$: مجموعه نقاط تقاضا

$l=\{1,2,...,L\}$: مجموعه ماژول‌های در دسترس

$K_l=\{1,2,\dots,k_l\}$: مجموعه سایزهای ماژول نوع l ام

$t=\{1,2,...,T\}$: مجموعه دوره‌های موجود

O: فاصله (یا زمان) استاندارد برای پوشش

N_i : $\{j|d_{ij}\le O\}$ مجموعه نقاط تقاضایی که در فاصله‌ای کمتر از O از تسهیل i ام قرار دارند.

b_{lK_l}: کران پایین ارائهٔ خدمت ماژول نوع l ام با سایز k

B_{lk_l}: کران بالای ارائهٔ خدمت ماژول نوع l ام با سایز k ام

q: تعدادکل تسهیلات موجود

β_i: ظرفیت ارائهٔ خدمت تسهیل نوع i ام

α_j: عایدی حاصل از پوشش نقطه تقاضای j ام

c_{lk_l}: هزینهٔ ثابت استقرار ماژول نوع l با سایز k

F_i: هزینهٔ ثابت استقرار تسهیل نوع i

d_{ij} :فاصلهٔ نقطهٔ تقاضای j از تسهیلی که در مکان i ام مستقر شده است.

a_{jlt} : مقدار تقاضای مشتری j از خدمتی که ماژول نوع l در دوره t ارائه می‌دهد.

متغیرهای تصمیم

$z_i=$ { 1 اگر تسهیلی در مکان i مکان یابی شود ; 0 در غیراینصورت }

$y_{ilk_lt}=$ { 1 اگر ماژولی از نوع l با سایز k به تسهیل i ام در دوره t اختصاص یابد . ; 0 در غیراینصورت }

x_{ijlt} : { برابربا 1 اگر تقاضای نقطه j توسط ماژول l واقع در تسهیل i ام در دوره tام پاسخگویی شود ; 0 در غیر صورت این }

مدل مسئله DMCMCLP به‌صورت زیر است:

$$Max\ z = \sum_{i\in N_i}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\alpha_j a_{jlt}\,x_{ijlt} - \sum_{i\in I}F_i\,z_i - \sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{k_l\in K_l}\sum_{t\in T}c_{lk_l}y_{ilk_lt} \quad (۱)$$

$$\sum_{k_l\in K_l} y_{\mathrm{ilk_lt}} \geq \mathrm{x_{ijlt}} \qquad \forall j,i,l,t \quad (۲)$$

$$z_i \geq y_{ilk_lt} \qquad \forall i,k_l,l,t \quad (۳)$$

$$\sum_{k_l\in K_l} y_{\mathrm{ilk_lt}} \leq 1 \qquad \forall \mathrm{i,l,t} \quad (۴)$$

$$\sum_j a_{jlt}\,x_{ijlt} \geq \sum_{k_l} b_{lk}y_{ilk_lt} \qquad \forall l,i,t \quad (۵)$$

$$\sum_j a_{jlt}\,x_{ijlt} \leq \sum_{k_l} B_{lk}y_{ilk_lt} \qquad \forall l,i,t \quad (۶)$$

$$\sum_l\sum_j a_{jlt}x_{ijlt} \leq \beta_i z_i \qquad \forall i,t \quad (۷)$$

$$\sum_i z_i \leq q \quad (۸)$$

$$y_{ilk_lt}, x_{ijlt}, z_i = 0\ or\ 1 \quad (۹)$$

تابع هدف (۱) به دنبال بیشینه‌کردن عایدی پوشش تقاضاهایی است که در فاصلهٔ پوشش قرار گرفته و همچنین کمینه‌کردن هزینه‌های استقرار تسهیلات و ماژول‌ها است. محدودیت (۲) و (۳) بیان می‌کند تا زمانی که تسهیلی در مکان i قرار داده نشود و همچنین ماژولی از نوع l در آن مستقر نشده باشد، مشتری jام نمی‌تواند از آنها خدمت دریافت کند. محدودیت (٤) بیان می‌کند بیشتر از یک ماژول از یک نوع نمی‌تواند در مکان i قرار گیرد. محدودیت شمارهٔ (۵) و (٦) بیان می‌کنند تقاضاهایی که به ماژول نوع l با سایز k در تسهیل i تخصیص می‌یابند باید بین حد پایین ظرفیت آن ماژول و حد بالای آن ماژول باشد. مدل مسئله همان‌طور که گفته شد به یافتن مکان تسهیلاتی می‌پردازد که مکان آنها ثابت است و هرکدام از این تسهیلات می‌توانند دارای بخش‌های مختلفی باشند. ماژول‌ها گاه می‌توانند با توجه به ماهیتی که دارند به‌دلیل کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری در میان تسهیلات مختلف با توجه به تقاضاها جابه‌جا شوند. به‌علاوه ماژول‌هایی که در هر تسهیل استقرار می‌یابند ظرفیت‌های متفاوتی دارند. به‌طور مثال فرض کنید ماژول نوع l دارای سه اندازه مختلف است. اگر تقاضای مشتریان برای این ماژول ۱ واحد تا ٤ واحد باشد آنگاه اندازهٔ ۱ این ماژول در تسهیل مستقر خواهد شد، اگر تقاضا ۵ تا ۱۲ واحد باشد اندازهٔ ۲ این ماژول و اگر ۱۳ تا ۱۷ واحد باشد اندازهٔ سوم این ماژول در مکان تسهیل تعیین‌شده ایجاد خواهد شد. محدودیت‌های (۵) و (٦) وظیفهٔ انتخاب اندازهٔ ماژول‌ها با توجه به مقدار تقاضای موجود را دارند. محدودیت (۷) بیان می‌کند مجموع تقاضای اختصاص‌یافته به یک تسهیل نباید از ظرفیت آن تسهیل تجاوز کند. محدودیت شمارهٔ (۸) بیان می‌کند تعداد کل تسهیلات کوچک‌تر و مساوی q باشد و مجموعه محدودیت‌های (۹) مربوط به محدودیت‌های عدد صحیح متغیرها است.

٤- بررسی مثال عددی

در این بخش با توجه به مدل معرفی‌شده در بالا برای مسأله موردنظر، مثال عددی طراحی و در نرم‌افزار GAMS با حل‌کنندهٔ Cplex حل می‌شود تا به بررسی جواب‌ها و نحوهٔ کار مدل مسئله پرداخته، سپس مدل مسأله DMCLP ارائه شد و مثال عددی حل‌شده با آن مدل با پاسخ‌های به‌دست‌آمده از مدل اصلی این مقاله مقایسه خواهد شد، همچنین تحلیل حساسیت روی پارامترهای مدل مسئله نیز بررسی خواهد شد. جهت بررسی مدل موردنظر، فرض کنید به دنبال مکان‌یابی سه بیمارستان در منطقهٔ شهری شامل ۵۰ نقطهٔ تقاضا (مشتری) در سه دورهٔ زمانی، که می‌توانند دارای ٤ بخش (ماژول) مختلف رادیولوژی، MRI، اطفال و اورژانس (آمبولانس) باشند، هستیم. از طرفی بخش رادیولوژی و اورژانس دارای سه اندازه و بخش‌های MRI و اطفال دارای دو نوع اندازه هستند (اندازه را می‌توان به‌صورت مساحت موردنیاز، تجهیزات موردنیاز و تعداد کارکنان و متخصصان موردنیاز برای انجام وظایف در هرکدام از بخش‌ها تعریف کرد).

تعداد بیمارستان‌ها جهت مکان‌یابی یعنی پارامتر q را برابر با ۳، عایدی تمام نقاط تقاضا (بیماران) را برابر با ۱ (از آنجا که در احداث تسهیلاتی مانند بیمارستان و تسهیلات مشابه هدف اصلی درآمدزایی نیست این پارامتر صرفاً جهت همجنس‌ساختن عبارت‌های تابع هدف به کار می‌رود) و فاصلهٔ پوشش یعنی پارامتر O، ٦ واحد در نظر گرفته شده است. با حل مدل با استفاده از پارامترهای داده‌شده نتایج به این صورت حاصل می‌شود که ۳ بیمارستانی که در پی یافتن مکان آنها هستیم در مکان‌های ۷ و ۲۸ و ۳۸ مستقر می‌شوند و مقدار تابع هدف ۹۲ به دست می‌آید. هنگامی که یکی از بیمارستان‌ها را در مکان‌های ۷ و۲۸ و ۳۸ مستقر کنیم این بیمارستان‌ها در سه دورهٔ زمانی متفاوت می‌تواند مجموعه نقاط تقاضای متفاوتی را تحت پوشش قرار دهد که اطلاعات مکان‌هایی که تسهیلات مکان‌یابی شده می‌توانند در سه دورهٔ زمانی مختلف تحت پوشش قرار دهند در شکل شمارهٔ (٤) مشاهده می‌شود.

اما بخش‌هایی که باید در هرکدام از بیمارستان‌ها ایجاد شوند به‌صورت زیر است. در بیمارستان مستقرشده در مکان شمارهٔ ۷: در دورهٔ اول بخش رادیولوژی و MRI هردو با اندازهٔ ۲ و بخش اورژانس با اندازهٔ ۳. در دورهٔ دوم باید رادیولوژی با سایز ۱ و بخش‌های MRI، اطفال و اورژانس با اندازهٔ ۲ ایجاد شوند. در دورهٔ سوم نیز مانند دورهٔ اول باید بخش‌های رادیولوژی و MRI با اندازهٔ ۲ و اورژانس با اندازهٔ ۳ ایجاد شوند. در بیمارستان ایجادشده در مکان ۲۸: در هر سه دورهٔ زمانی باید بخش رادیولوژی با اندازهٔ ۳، MRI با اندازهٔ ۲، بخش اطفال با اندازهٔ ۲ و اورژانس با اندازهٔ ۳ ایجاد شوند. در بیمارستان ایجادشده در مکان شمارهٔ ۳۸: در دورهٔ اول بخش‌های MRI و اطفال با اندازهٔ ۲ و اورژانس با اندازهٔ ۳ ایجاد شود. در دورهٔ زمانی دوم بخش‌های MRI و اطفال با اندازهٔ ۲ و اورژانس با اندازهٔ ۳ باید ایجاد شوند. همچنین در دورهٔ سوم بخش رادیولوژی با اندازهٔ ۳، MRI با اندازهٔ ۲ و اورژانس با اندازهٔ ۳ باید ایجاد شوند.

نکتهٔ گفتنی در اینجا این است که هنگامی که بخشی (ماژولی) در یک دورهٔ زمانی ایجاد می‌شود و در دورهٔ زمانی دیگر وجود ندارد، می‌توان با این تصمیم به شیوه‌های مختلفی برخورد کرد. به‌طور مثال می‌توان از امکانات مختلف آن برای سایر بخش‌ها استفاده کرد، اگر آن ماژول امکان جابه‌جایی داشته باشد، مانند اغلب تجهیزات پزشکی امروزه که پورتابل هستند، آن را در بیمارستان دیگری استفاده کرد و یا اینکه می‌توان درنهایت تنها از قسمتی از ظرفیت آن بهره گرفت که این‌گونه تصمیمات باید با توجه به ماهیت تسهیلات و ماژول‌ها و صلاح‌دیدهای مدیریتی گرفته شوند.

٤-١- مقایسهٔ مدل DMCLP و مدل DMCMCLP

فاضل زرندی و همکاران در مقاله خود ویرایشی جدید از مسأله مکان‌یابی حداکثر پوشش را با عنوان مسأله مکان‌یابی حداکثر پوشش پویا بزرگ‌مقیاس ارائه دادند که مسأله مکان‌یابی حداکثر پوشش را برای دوره‌های زمانی چندگانه در نظر می‌گیرد و در آن روش‌های بهینهٔ مکان‌یابی تعداد تسهیل مشخص برای m دورهٔ زمانی مدنظر است. مدل مسأله DMCLP را می‌توان برای کاربردهای گوناگون از قبیل مکان‌یابی ایستگاه‌های پلیس‌راه، ایستگاه‌های اورژانس جاده‌ای و دیگر کاربردهای مختلف استفاده کرد. در ادامه مدل مسئله معرفی‌شده و با حل مثال عددی گفته‌شده در بالا و مقایسهٔ آن با مدل مسأله این مقاله در پی مقایسهٔ این دو مدل هستیم. پارامترهای به‌کاررفته در مدل DMCLP مشابه پارامترهای مدل این مقاله هست به این تفاوت که پارامتر a_{jt} بیانگر مقدار تقاضای گره jام در دورهٔ t ام است. متغیرهای تصمیم نیز به‌صورت زیر هستند.

x_{it} : متغیری باینری که مقدار ۱ می‌گیرد اگر تسهیلی در مکان iام در دورهٔ زمانی tام مستقر شود و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

y_{jt} : متغیری باینری که مقدار ۱ می‌گیرد اگر نقطه تقاضای jام در فاصله‌ای کمتر از O از حداقل یک تسهیل قرار گرفته باشد و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

مدل مسأله DMCLP

$$\max z = \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} a_{jt}y_{jt} \qquad (۱۰)$$

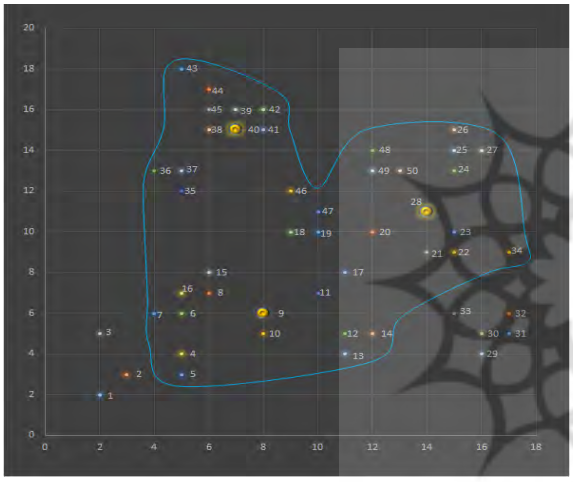
$$s.t: \sum_{i\in I_j} x_{it} \geq y_{jt} \qquad \forall j,t \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{t\in T} x_{it} = q \qquad (۱۲)$$

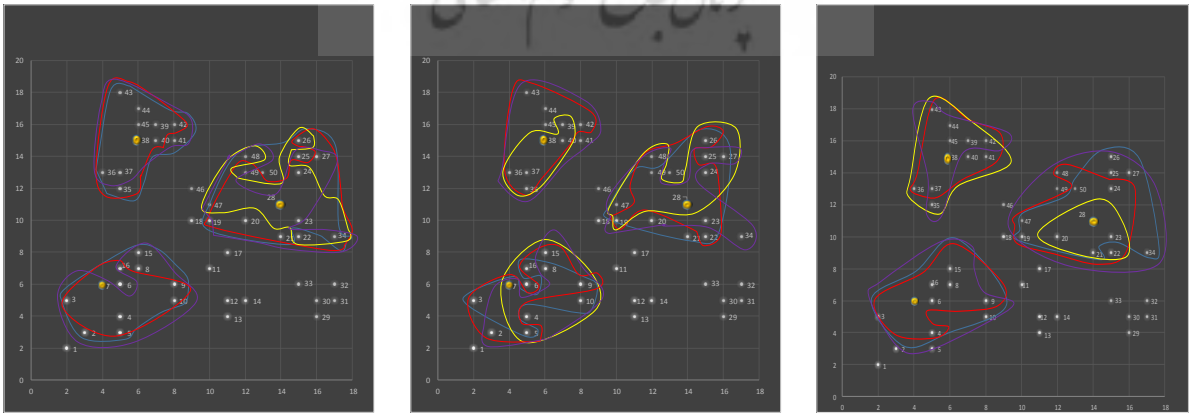
$$x_{it} \in \{0,1\}, 0 \leq y_{jt} \leq 1 \qquad (۱۳)$$

تابع هدف شمارهٔ (۱۰) کل تقاضای پوشش‌یافته را بیشینه می‌کند. مجموعه محدودیت‌های شمارهٔ (۱۱) بیان می‌کند تا زمانی که حداقل یک تسهیل در فاصلهٔ کمتر از O از نقطه تقاضای j قرار نگیرد، این نقطه خدمت‌دهی نمی‌شود. محدودیت شمارهٔ (۱۲) تعداد کل تسهیلات مکان‌یابی‌شده در کل دوره‌های زمانی را برابر q قرار می‌دهد. محدودیت شمارهٔ (۱۳) نیز مربوط به ماهیت متغیرهای تصمیم هستند. مثال عددی گفته‌شده در بالا برای هر دو مدل حل‌شده و نتایج آن را در شکل‌های (۳) و (٤) مشاهده می‌کنیم. در شکل‌های مربوط به مسأله DMCMCLP خطوط آبی مربوط به محدوده‌ای است که بخش رادیولوژی پوشش می‌دهد، خطوط قرمز مربوط به بخش MRI، زرد مربوط اطفال و رنگ بنفش مربوط به اورژانس است. همچنین مکان استقرار بیمارستان‌ها را با

دایره‌های توپر زردرنگ نشان داده‌ایم. مقدار تابع هدف متناظر مسئله DMCMCLP بسیار بهتر از مقدار تابع هدف مسئله DMCLP به دست می‌آید (چون در تابع هدف مسئله DMCLP هزینه‌های استقرار وجود ندارد؛ بنابراین در تابع هدف DMCMCLP نیز این هزینه‌ها را جهت مقایسهٔ دو مدل در نظر نگرفته‌ایم). با توجه به نقاط پوشش‌یافته و جواب‌های مسئله مشاهده می‌شود که مدل DMCLP در دوره‌های مختلف زمانی تغییری در تسهیلات (بیمارستان) استقراری و نقاط پوشش‌یافته ندارد و جواب‌های مسئله برای هر سه دورهٔ زمانی یکسان است در صورتی که با توجه به دینامیکی‌بودن ماهیت مدل مسئله انتظار می‌رفت حداقل برخی پاسخ‌ها در دوره‌های مختلف متفاوت باشند. از طرف دیگر در پاسخ‌های مسأله DMCLP برخی نقاط می‌توانند توسط دو بیمارستان پوشش داده شوند که این موضوع باعث می‌شود که تخصیص‌های غیرلازمی صورت گیرند؛ اما مهم‌ترین موضوع در مقایسهٔ دو مدل این است که در مدل DMCLP با توجه به اینکه ماژول‌بندی وجود ندارد؛ بنابراین باید تمام ماژول‌های موجود را بدون توجه به اینکه آیا تقاضایی برای آن وجود دارد یا نه استقرار داد در صورتی که ممکن است با این کار بخشی از پتانسیل تسهیل بی‌استفاده بماند و این موضوع خود باعث تحمیل هزینه‌های اضافی استقرار می‌شود. در صورتی که در مدل DMCMCLP با ماژول‌بندی ظرفیت تسهیلات و همچنین با سایزبندی این ماژول‌ها توانستیم این‌گونه هزینه‌ها را کاهش دهیم که این موضوع در واقعیت نیز در طراحی تسهیلات در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳- نقاط پوشش‌یافته توسط مدل DMCLP در هر سه دوره



(الف) دوره اول (ب) دوره دوم (ج) دوره سوم

شکل ٤- نقاط پوشش‌یافته توسط مدل DMCMCLP در دوره‌های مختلف

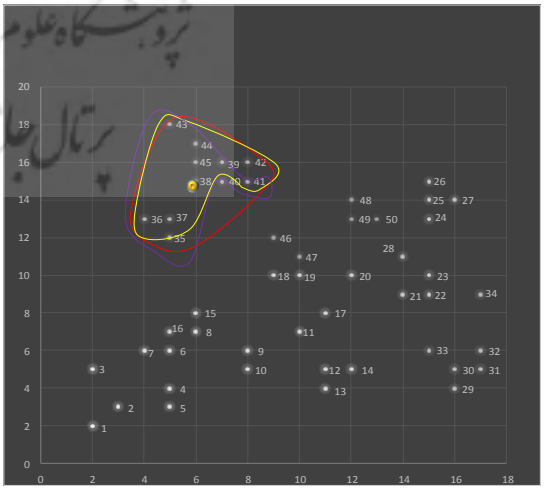
٤-۲- تأثیر تغییر پارامترها بر نتیجه مسئله

در مدل‌های برنامه‌ریزی، پارامترها نقش تعیین‌کننده‌ای در جواب نهایی دارند. به‌طوری که تغییر آنها می‌تواند نتایج جدیدی را حاصل شود. برخی پارامترها مانند هزینهٔ استقرار، فاصله بین نقاط تقاضا و مقدار تقاضای نقاط تأثیرات واضحی دارند که نیاز به بررسی ندارند؛ اما برخی دیگر از پارامترها که بر جواب بهینه تأثیر مستقیم‌تری دارند جای بحث و بررسی بیشتری دارند که در این بخش تأثیرات تغییر این پارامترها را بررسی خواهیم کرد.

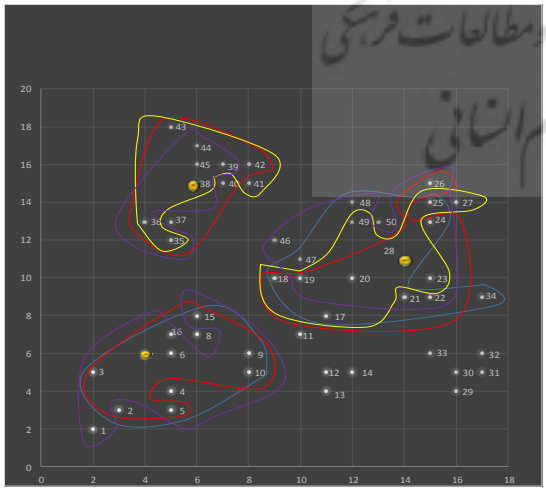
٤-۲-۱- تغییر در شعاع پوشش

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار پارامتر شعاع پوشش یا فاصله خدمت‌دهی یعنی O هست که باید نحوه‌ی تأثیرگذاری این پارامتر بررسی شود. افزایش یا کاهش شعاع پوشش باعث ایجاد تغییر در تمامی متغیرها و مقدار تابع هدف می‌شود. به‌طور مثال اگر مقدار فاصله پوشش را از ٦ به ۷ تغییر دهیم مقدار تابع هدف به مقدار ۱۷۵ افزایش پیدا می‌کند و تمامی متغیرها به‌جز متغیر z_i تغییر می‌کنند. با کاهش فاصله از ٦ به ۵ نیز مشاهده می‌شود که مسئله فقط یک بیمارستان را در مکان‌های ۳۸ مستقر می‌کند و بیمارستان‌های مستقرشده در مکان ۷ و۲۸ از بین می‌رود. به علاوه، دیگر متغیرها هم تغییر می‌یابند. شکل شمارهٔ (۵) نشان‌دهندهٔ نقاط پوشش‌یافته است هنگامی که فاصلهٔ پوشش ۷ واحد و ۵ واحد است. نکته اینکه این شکل‌ها را به‌دلیل کمبود فضا فقط برای دورهٔ اول رسم کرده‌ایم.

جهت بررسی دقیق‌تر تأثیر شعاع پوشش، مدل مسئله در دو حالت حل شد. حالت اول با درنظرگرفتن ظرفیت نامحدود برای بیمارستان‌ها و بخش‌ها (این ظرفیت نامحدود را می‌توان با حذف محدودیت‌های مربوطه به دست آورد و یا با ضرب‌کردن عددی در سمت راست این محدودیت‌ها می‌توان به این هدف دست یافت) و حالت دوم با درنظرگرفتن ظرفیت محدود. در هرکدام از حالات از شعاع پوشش ١٦ شروع کرده و به تدریج شعاع پوشش را کاهش داده و مقدار تابع هدف به‌دست‌آمده را ثبت کرده‌ایم.



(الف) شعاع پوشش برابر ۵ واحد

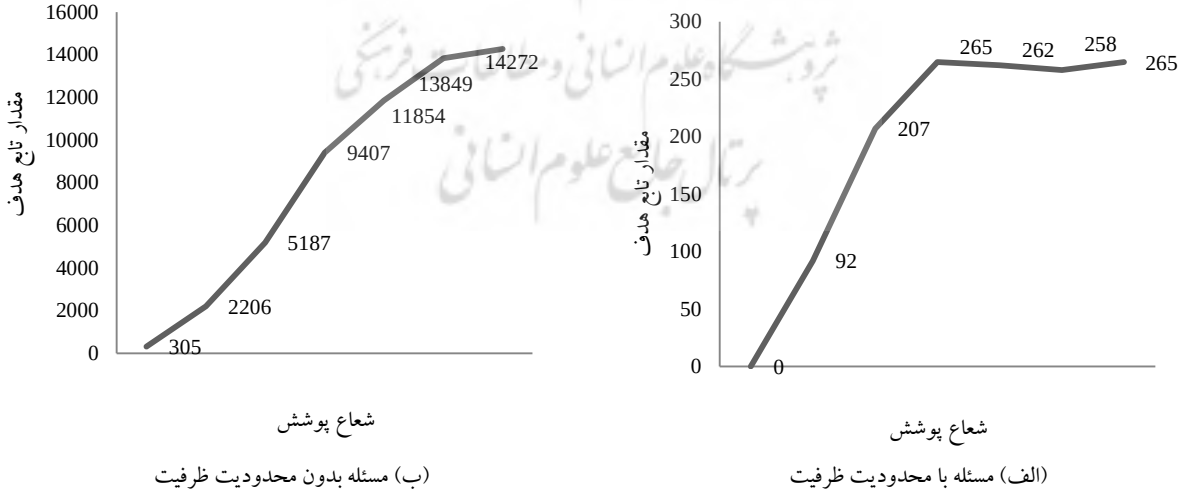


(ب) شعاع پوشش برابر ۷ واحد

شکل ۵- نقاط تقاضای پوشش‌یافته با فاصلهٔ پوشش مختلف. (الف): شعاع پوشش ۵ واحد. (ب): شعاع پوشش ۷ واحد

شکل شمارهٔ (٦) این نتایج را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل (٦) مشاهده می‌شود هنگامی که ظرفیت بخش‌ها و بیمارستان‌ها (ماژول‌ها و تسهیلات) را نامحدود در نظر می‌گیریم با افزایش شعاع پوشش مقدار تابع هدف هم افزایش می‌یابد. با حل مسأله موردنظر نیز مشاهده می‌شود که با افزایش شعاع پوشش رفته رفته نقاط تقاضا، تحت پوشش بیش از یک تسهیل قرارمی‌گیرند. همچنین در این حالت هیچ محدودیتی برای ظرفیت بیمارستان‌ها وجود ندارد و هر بیمارستان می‌تواند تا بی‌نهایت نقطه تقاضا را پوشش دهد. شکل (٦-الف) که مربوط به همان مسئله اما در حضور محدودیت‌های ظرفیت است مشاهده می‌شود که افزایش شعاع پوشش تا شعاع ۱۲ واحد باعث افزایش در تابع هدف می‌شود و پس از آن مقدار تابع هدف تغییرات بسیار ناچیزی را نشان می‌دهد که این مسئله مؤید این موضوع است که در حضور محدودیت‌های ظرفیت افزایش تدریجی شعاع پوشش همواره افزایش تابع هدف را در پی ندارد و این محدودیت‌های ظرفیت هستند که مانع این افزایش می‌شوند.

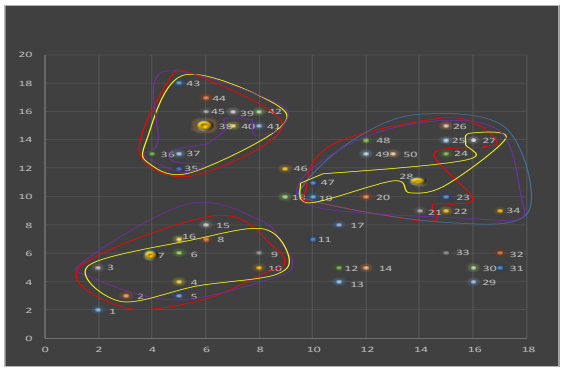
٤-۲-۲- تغییر در کران‌های بالا و پایین ظرفیت ماژول b_{lk_l} و B_{lk_l} از جمله مهم‌ترین پارامترهایی هستند که جواب متغیرهای x_{ijlt} و y_{ilk_lt} به‌شدت به آنها وابسته است. در این قسمت با افزایش و کاهش‌دادن این پارامترها می‌خواهیم تأثیر آنها را بر جواب‌های مثال عددی بررسی کنیم. با افزایش ۲۰درصدی کران‌ها مشاهده می‌شود که تعداد نقاط بیشتری تحت پوشش قرار می‌گیرند. همچنین کاهش ۲۰درصدی ظرفیت نیز موجب کاهش تعداد نقاط پوشش‌یافته می‌شود. شکل (۷) جواب‌های مسئله را برای افزایش کران‌های ظرفیت ماژول‌ها نشان می‌دهند. هنگامی که کران‌ها کاهش ۲۰درصدی دارند تمام متغیرها مقدار صفر می‌گیرند یعنی هیچ تسهیلی مستقر نمی‌شود و هیچ ماژولی مکان‌یابی نشده و در نتیجه هیچ تقاضایی خدمت‌دهی نمی‌شود.



(الف) مسئله با محدودیت ظرفیت

(ب) مسئله بدون محدودیت ظرفیت

شکل ٦- تغییرات تابع هدف به‌ازای افزایش شعاع پوشش در دو حالت (الف) با محدودیت ظرفیت و (ب) بدون محدودیت ظرفیت تسهیلات



شکل ۷- جواب مسئله MCMCLP با افزایش ۲۰ درصدی کران ظرفیت‌ها

جدول شماره (۲) خلاصه‌ای از نتایج تحلیل حساسیت‌های انجام‌شده را نشان می‌دهد.

جدول۲- خلاصهٔ نتایج به‌دست‌آمده از تغییر برخی پارامترها بر جواب‌های مسئله DMCMCLP

تغییر صورت‌گرفته	تابع هدف	درصد نقاط پوشش‌یافته	تعداد تسهیل مستقرشده
افزایش شعاع پوشش از ٦ به ۷ واحد	۱۷۵	٪۸۲	۳
کاهش شعاع پوشش از ٦ به ۵	۳	٪۲۲	۱
افزایش ٪۲۰ کران‌های بالا و پایین	٤۳٤	٪۷٤	۳
کاهش ٪۲۰ کران‌های بالا و پایین	۰	۰	۰
افزایش تعداد اندازه ماژول‌ها	۲۲٦	٪۵۲	۲
افزایش تعداد تسهیلات	-۲۷۵	٪۷۸	٤
افزایش یک‌واحدی عایدی پوشش تقاضاها	۳۳۸٦	٪۷٤	۳

٤-۲-۳- افزایش تعداد اندازه‌های ماژول‌ها

در مثال عددی برای بخش‌های رادیولوژس و اورژانس سه اندازه و برای بخش‌های MRI و اطفال دو اندازه در نظر گرفته شده بود. با اضافه‌کردن یک اندازهٔ دیگر به بخش‌ها (دقت شود که ظرفیت‌ها محدود می‌ماند فقط ظرفیت‌ها به‌طور مثال در بخش رادیولوژی به جای شکسته‌شدن به ۳ قسمت به ٤ قسمت شکسته می‌شود) مشاهده می‌شود که جواب‌های مسئله تغییر می‌کند و تسهیلات و ماژول‌های متفاوتی ایجاد خواهند شد. تأثیر این تغییرات بر مقدار تابع هدف و هزینه‌ها به این صورت است که این تغییر باعث افزایش مقدار تابع هدف می‌شود و همچنین تقسیم‌بندی بیشتر در اندازه‌های ماژول‌ها باعث افزایش دقت در انتخاب اندازهٔ ماژول‌های استقراری می‌شود و این عامل می‌تواند هزینه‌های استقرار را بهتر مدیریت کند و باعث کاهش هرچه بیشتر هزینه‌ها شود.

٤-۲-٤- تغییر تعداد تسهیلات جهت استقرار

یکی دیگر از پارامترهای مسئله مقدار q یعنی تعداد بیمارستان‌ها جهت استقرار هست. چون این پارامتر در محدودیت شمارهٔ ۷ آمده و تأثیر آن از این محدودیت ناشی می‌شود اگر مقدار این پارامتر را به عدد ٤ افزایش دهیم مشاهده می‌کنیم که مسئله همان جواب‌های قبلی را نتیجه می‌دهد اما اگر علامت محدودیت را به = تغییر دهیم و q را برابر ٤ قرار دهیم نقطهٔ شمارهٔ ٤۱ هم به مکان تسهیلات اضافه شده و مقدار تابع هدف ۲۷۵- می‌شود. همچنین متغیرهای دیگر یعنی x_{ijlt} و y_{ilk_lt} تغییر می‌کنند. این موضوع نشان‌دهندهٔ این نکته است که تعداد تسهیلات بالقوه جهت استقرار باید متناسب با تعداد نقاط تقاضا باشد و افزایش تعداد تسهیلات جهت استقرار گرچه تعداد نقاط تقاضای بیشتری را می‌تواند پوشش دهد، هزینه‌های دیگری را تحمیل می‌کند که

این هزینه‌ها در مقایسه با افزایش تعداد نقاط پوشش‌یافته مقرون‌به‌صرفه نیست، همان‌طور که مشاهده می‌شود در این مثال نیز باعث کاهش بسیار زیادی در تابع هدف شده است.

٤-٢-٥- افزایش عایدی حاصل از پوشش نقاط تقاضا

α_j یکی دیگر از پارامترهای مهم و تأثیرگذار است و تغییر آن به‌شدت بر مقدار بهینه تأثیر می‌گذارد، طوری که افزایش این پارامتر از ۱ به ۲ به‌ازای تمام نقاط تقاضا باعث افزایش مقدار تابع هدف از ۹۲ به ۳۳۸٤ می‌شود و افزایش آن به مقدار ۳ واحد به‌ازای تمام نقاط تقاضا سودی برابر با ٦٨٢٠ واحد را به‌همراه خواهد داشت.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله نتایج پژوهشی دربارهٔ مدل مسئله حداکثر پوشش را که دارای ظرفیت‌های محدود ماژولار برای تسهیلات هستند، منعکس می‌کند که با درنظرگرفتن ظرفیت تسهیلات به‌صورت ماژولار سعی در افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش هزینه‌ها دارد؛ به علاوه، مدل مسئله با درنظرگرفتن دوره‌های زمانی مختلف دارای ویژگی پویایی نیز هست. جهت مقایسهٔ کارایی، مدل مسئله با مدل مسئله حداکثر پوشش پویا مقایسه شد و با حل مثال عددی یکسان برای هر دو مسئله، مشاهده شد که مدل پیشنهادی DMCMCLP می‌تواند کارایی بیشتری را در مقایسه با مدل پایهٔ DMCLP داشته باشد. این نتایج در صورتی حاصل شده که مدل DMCMCLP تعداد محدودیت‌های بیشتری نسبت به مدل DMCLP دارد. همچنین جهت اطمینان از صحت مدل این مقاله با ایجاد تغییراتی در پارامترهای مختلف آن تحلیل حساسیت انجام شد که نتایج نشان‌دهندهٔ عملکرد موفقیت‌آمیز مدل است.

References

Addis, B., Carello, G., & Cesel. (2011). "Exactly Solving a Two-Level Location Problem with Modular Node Capacities". /.*DOI 10.1002/.net.20486*, 161-179.

Baldwin, C., & Clark, K. (2000). Design Rules, Volume 1, The Power of Modularity. Cambridge MA: MIT Press.

Berman, O., Drezner, Z., & Krass, D. (2010). "Generalized coverage: New developments in covering location models". *Computers & Operations Research*,37(10), 1675˚1687.

Bolori Arabani,A., Zanjirani Farahani, R. (2012). "Facility location dynamics: An overview of classifications and applications". *Computers & Industrial Engineering*,62, 408˚420

Church, R., & ReVelle, C. (1974). "The maximal covering location problem". *Papers of the Regional Science Association*, 101-118.

Correia, I., Gouveia, L., & Saldanha. (2010). "Discretized formulations for capacitated location problems with modular distribution costs". *European Journal of Operational Research* 204, 237˚244.

Correia, I., & Captivo, M. (2003). "A Lagrangean heuristic for a modular capacitated location problem". *Annals of Operations Research*, 122(1), 141-161.

Correiaa, I., & Captivob, M. E. (2006). "Bounds for the single source modular capacitated plant location problem". *Computers & Operations Research* 33, 2991˚3003.

Daskin, M., & Owner, S. H. (1998). "Strategic facility location: A review". *European Journal of Operational Research*,111, 423±447.

Fazel Zarandi, M., & Davari, S. (2013). "The large-scale dynamic maximal covering location problem". *Mathematical and Computer Modelling* 57, 710˚719.

Schilling, D. A., Jayaraman, V., & Barkhi, R. (1993). "A review of covering problem in

facility location". *Location Science*, 1(1), 25˚ 55.

Yaman, H. (2005). "Polyhedral Analysis for the uncapacitated hub location problem with modular arc capacities". *SIAM J.Discrete Math* Vol. 19, No. 2, 501˚522.

Yaman, H., & Carello, G. (2005). "Solving the hub location problem with modular link capacities". *Computers & Operations Research*, 32, 3227˚3245.

Zanjirani Farahani, R., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M., Goh, M. (2012). "Covering problems in facility location: A review". *Computers & Industrial Engineering*, 62, 368˚407.

[1]- Daskin and Owner
[2]- Bolori Arabani
[3]- Zanjirani Farahani
[4]- Baldwin and Clark
[5]- Set covering problem
[6]- Toregas
[7]- Church and ReVelle
[8]- Schilling
[9]- Maximal covering location problem
[10]- Dynamic maximal covering location problem
[11]- Correia and Captivo
[12]- Modular Capacitated Location Problem
[13]- Yaman & Carello
[14]- Addis, Carello and Cesel
[15]- Correia, Gouveia and Saldanha
[16]- Modular Capacitated location problem
[17]- Berman
[18]- Dynamic modular capacitated maximal covering location problem

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی