



THE SOLVING HIERARCHICAL COVERING LOCATION PROBLEM WITH GRADUAL COVERING & COVERAGE RADIUS VARIABLE

Mahdi bashiri, Davood Ghasemi* & Hosein Ghazanfari

Mahdi bashiri, Associate Professor of Industrial Eng-Tehranshahed University

Davood ghasemi, MSc. of Industrial Eng-Tehran payamnour University

Hosein ghazanfari, Assistance professor of Industrial Eng-Tehran Azad University

Keywords

Hierarchical covering location,
Maximum covering,
Gradual covering,
coverage radius variable,
meta-heuristic method

ABSTRACT

Covering location problems focus on the set and maximum covering of demand points. In hierarchical systems, services augmented by facilities in different levels. Therefore, covering location problem models have particular complexity and mostly, their solution time increases according to a non-polynomial form. In another hand, according to the real-world applications some particular problems have been developed for the covering problem such as gradual covering and variable coverage radius. But according to our knowledge there are no similar studies in the hierarchical covering location problems. In this paper, a hierarchical covering location model, with the gradual covering approach and variable coverage radius is presented. Then, a meta-heuristic approach based on the Tabu Search Algorithm is presented to solve this problem. Various randomly generated examples were analyzed in this paper to show the applicability of the proposed model and the solution approach. The analysis of results confirms the validity of the proposed model and the efficiency of the solution approach.

©2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 2, All Rights Reserved



حل مساله مکانیابی پوشش سلسله مراتبی دارای پوشش تدریجی و شعاع پوشش متغیر

مهدی بشیری، داوود قاسمی* و حسین عضنفری

چکیده:

مسایل مکانیابی پوشش، بر سرویس دهی بیشینه یا کامل خدمات، به نقاط تقاضا، تمرکز دارند. در سیستم‌های سلسله مراتبی، خدمات ارائه شونده توسط تسهیلات، همانند خود تسهیلات دارای سطوح متفاوتی هستند، از این رو، مدل‌های مکانیابی پوشش این سیستم‌ها، دارای پیچیدگی خاصی بوده و لذا، اکثراً زمان حل آن‌ها با افزایش اندازه مساله، بصورت غیر چند جمله‌ای، افزایش می‌یابد. اگر چه در سیستم‌های غیر سلسله مراتبی، به منظور سازگاری اهداف مسایل مکانیابی پوشش با پیچیدگی‌های مسایل دنیای واقعی، رویکردهایی نظیر پوشش تدریجی و پوشش با شعاع متغیر پدید آمده و توسعه یافته اند، اما عدم وجود تحقیقات مشابه، در زمینه مکانیابی پوشش سیستم‌های سلسله مراتبی، غیر قابل انکار است. لذا در این مقاله، یک مدل برای مکانیابی پوشش سیستم‌های سلسله مراتبی، که دارای رویکرد پوشش تدریجی و شعاع متغیر پوشش است، ارائه می‌شود. سپس، یک رویه حل ابتکاری، مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوع، برای حل این مساله، ارائه می‌شود. برای بیان صحت عملکرد مدل و کارآمدی الگوریتم ارائه شده، مثال‌های تصادفی متنوعی، تولید و حل شده است. بررسی نتایج محاسباتی، نشان دهنده ی عملکرد مناسب مدل ارائه شده و کارآمدی روش حل، است.

کلمات کلیدی

مکانیابی پوشش سلسله مراتبی، پوشش ماکزیمم، پوشش تدریجی، شعاع پوشش متغیر، روش‌های فراابتکاری

۱. مقدمه

برنامه ریزی تسهیلات از مباحث مهم در مهندسی صنایع و مشتمل بر چهار بخش عمده مکانیابی، طراحی، مسیریابی و تخصیص می‌باشد. مکانیابی، محل قرارگرفتن تسهیلات به منظور برآورده شدن اهداف سازمان با کمترین هزینه و بالاترین کیفیت ممکن، را بررسی می‌کند [۱]. یکی از متداول ترین، مساله‌های مکانیابی تسهیلات، مساله پوشش است. این مساله به تعیین مکان تسهیلات، به منظور ارائه خدمت بهینه به نقاط تقاضا، می‌پردازد. هدف از طرح و حل مسایل پوشش، تعیین

بهینه مکان و تعداد تسهیلات، به صورتی است که؛ با کمترین هزینه ممکن همه مشتریان، از تسهیلات دایره، سرویس دهی شوند و یا با تعداد از پیش تعیین شده ای از تسهیلات، تعداد مشتریان سرویس دهی شده، بیشینه شوند. به مورد اول مسایل پوشش کامل^۱ یا SCLP و به مورد دوم پوشش ماکزیمم^۲ یا MCLP^۳ گویند [۲]. مساله SCLP، توسط تورگاس [۳] معرفی شد، که یکی از رده‌های کلاسیک، در ادبیات مکانیابی تسهیلات است. برای مرور این رده از مسایل پوشش می‌توان به تحقیقاتی مثل شیلینگ [۴]، کارنت [۵] و پلستریا [۶] اشاره کرد. مسایل MCLP، در انواع مختلفی از مطالعات با موارد متنوعی از کاربردها مطرح شده و بکار می‌رود [۷]. برای بررسی این مسایل می‌توان به تحقیقاتی نظیر مدیجو [۸]، ریوله [۹] و برمن [۱۰] اشاره کرد.

سیستم سلسله مراتبی تسهیلات، مرکب است از k سطح، که پایین ترین سطح تسهیلات را سطح ۱ و بالاترین سطح تسهیلات را سطح k می‌نامیم. در این دیدگاه، مشتریان سطح

تاریخ وصول: ۹۲/۱/۲۱

تاریخ تصویب: ۹۳/۴/۲۱

داوود قاسمی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور تهران، d.ghasemi99@yahoo.com
حسین عضنفری، استادیار دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، hghazanfari.ie@gmail.com
*نویسنده مسئول مقاله: دکتر مهدی بشیری، دانشیار دانشگاه شاهد، bashiri@shahed.ac.ir

دریافتی کند. این رویکرد را در تحقیق برمن و همکارانش [۲۲] می‌توان دقیق تر بررسی کرد. در یک اقدام دیگر با تعریف دو شعاع پوشش مجزا برای پوشش کامل و پوشش جزئی امکان تغییر شعاع پوشش در مساله فراهم شده است (درزتر [۲۳] و برمن [۲۴]).

به منظور تکمیل تحقیق‌های پیشین در زمینه پوشش با شعاع متغیر، توسط برمن و همکاران [۲۵]، یک مدل برای مساله مکانیابی پوشش با شعاع متغیر ارایه شد که خلاء بین مطالعات قبلی را جبران کرد. این مدل در واقع تلاشی در ادامه تحقیقات پیشین نظیر پلاستریا [۲۶]، فرناندز [۲۷] و آبولیین [۲۸] در زمینه مساله مکانیابی پوشش رقابتی بوده است.

اکثر تلاش‌های صورت گرفته برای سازگاری اهداف مساله پوشش با مسایل واقعی، نظیر پوشش تدریجی و پوشش با شعاع متغیر و غیره در مورد تسهیلات غیر سلسله مراتبی انجام شده اند [۲۵-۲۹]. اما این تلاش‌ها، در مورد مسایل HCLP چندان، توسعه نیافته اند. این درحالی است که کاربرد مسایل مکانیابی پوشش تسهیلات سلسله مراتبی، در دنیای واقعی، وسیع و گسترده است. [۱۲] در این تحقیق سعی شده است، اقدامات صورت گرفته در مورد مکانیابی پوشش تسهیلات غیر سلسله مراتبی، برای مسایل HCLP نیز تعمیم یابند. نتیجه تلاش‌های صورت گرفته، در قالب یک مدل جدید، از مسایل G-HCLP ارایه شده است که در یک سیستم سلسله مراتبی، علاوه بر اعمال پوشش تدریجی نقاط تقاضا، شعاع پوشش را متغیر فرض می‌کند. در ادامه یک روش حل برای مساله حاصل، ارائه می‌شود که به دلیل جدید بودن مدل، ناگزیر دارای نوآوری‌های خاص خود می‌باشد. تا هم کاربردی بودن مدل، در مسایل دنیای واقعی، به اثبات رسیده و هم نحوه عملکرد این مدل در تعیین مکان تسهیلات سلسله مراتبی مشخص شود.

در بخش ۲، این مقاله، مساله مورد نظر این پژوهش، تعریف می‌شود. بدین منظور، مساله پوشش و مبحث تسهیلات سلسله مراتبی، معرفی می‌شوند. در بخش ۳، اندیسها، پارامترها و متغیرهای مدل معرفی می‌شوند، پوشش ماکزیمم و پوشش تدریجی و پوشش با شعاع متغیر، به طور مختصر، بیان شده و در ضمن، یک مرور اجمالی بر مدل‌های ارایه شده برای مسایل مکانیابی، شامل سیستم‌های سلسله مراتبی و غیر سلسله مراتبی ارایه می‌شود، تا ضمن اشاره به خواص این مدل‌ها، مشخص شود نوآوری مدل مورد نظر این تحقیق، چیست. سپس خود مدل بیان شده است. در بخش ۴، یک روش فرا ابتکاری، برای حل مدل، بیان می‌شود و برای بررسی صحت این الگوریتم، تعداد متنوعی مثال تصادفی، حل خواهد شد. در بخش ۵، نتیجه گیری، پیشنهاد و جمع بندی موضوع، با توجه به نتایج محاسباتی مثال‌های بخش قبل، بیان شده است.

صفر تسهیلات، هستند. به عنوان مواردی از کاربردهای سیستم‌های سلسله مراتبی در مسایل دنیای واقعی، به سیستم‌های مراقبت پزشکی^۱، سیستم‌های مدیریت ضایعات جامد^۲ و سیستم‌های تولید-توزیع^۳ اشاره می‌شود [۷]. مواردی از سیستم‌های سلسله مراتبی دو سطحی و کاربرد آن‌ها را می‌توان در اسپچو [۱۱] و مندل [۱۲] مشاهده کرد. از مدل‌های گسسته این مسایل که برای تسهیلات عمومی طراحی شده است، می‌توان به تحقیق تک‌زیر [۱۳] اشاره کرد.

مسایل مکانیابی پوشش تسهیلات سلسله مراتبی، تحت عنوان HCLP^۴ شناخته می‌شوند. HCLP‌های بکاررفته در موارد مراقبت‌های پزشکی، با پذیرفتن این نکته که؛ انواع متنوعی از خدمات توسط سیستم، قابل ارایه به مشتری است، رویکرد مسایل MCLP را بکار می‌برند [۷]. اگر به نقاط تقاضا این اجازه داده بشود که هر کدام از سطوح مختلف تقاضایشان را، از هر تسهیل متناسب دریافت کنند، در این صورت مساله مکانیابی پوشش سلسله مراتبی، را تعمیم یافته^۵ یا G-HCLP گویند. سطح سلسله مراتبی تسهیلات و نقاط تقاضا در G-HCLP‌ها به خوبی معین شده هستند [۱۴]. یک طبقه بندی برای سیستم‌های سلسله مراتبی، با در نظر گرفتن رابطه بین سطوح مختلف تسهیلات، توسط نارولا [۱۵]، ارایه شده است. همچنین با تمرکز بر ویژگی‌های خاص سیستم‌های سلسله مراتبی نظیر رابطه بین نقاط تقاضا و تسهیلات، تنوع سرویس دهی و پیکره بندی فضایی سیستم، یک دسته بندی اصولی از مسایل مکانیابی تسهیلات سلسله مراتبی، توسط ساهین و همکاران [۷] ارایه شده است. همچنین برای مرور بیشتر این مبحث می‌توان به تحقیقات گالوانو [۱۶] و آرادل [۱۷] اشاره کرد.

نگرش متغیر بودن شعاع پوشش در مطالعات محققان زیادی مد نظر، قرار گرفته است. تحقیقات صورت گرفته در این موضوع، را می‌توان در دو جریان دسته بندی کرد [۱۸]. در جریان اول محققان برای همه تسهیلات، شعاع‌های پوشش متغیر، اما برابر، متصور شده اند. در این مسایل، تعدادی از شعاع‌های پوشش ممکن، در نظر گرفته می‌شود و با بهینه سازی دو تابع هدف، نسبت به انتخاب شعاع پوشش بهینه و مقدار بهینه تابع هدف، اقدام می‌شود. از جمله این تلاش‌ها می‌توان به تحقیقات داسکین [۱۹] و چورچ [۲۰] برای مساله پوشش کامل و تحقیق بتا [۲۱] برای مساله پوشش ماکزیمم مورد انتظار^۶ اشاره کرد. در جریان دوم که برای مسایل MCLP صورت گرفته است، شاهد ظهور مسایل پوشش تدریجی هستیم. در این مسایل، مقدار پوشش دریافتی از خدمات، برای هر نقطه تقاضا، به فاصله آن تقاضا، تا تسهیل مورد نظر وابسته است و چنانچه فاصله، از یک مقدار معین شده بیشتر، باشد، تنها به صورت جزئی، خدمت را

۲. تعریف مساله

مساله مد نظر، یک مساله مکانیابی پوشش سلسله مراتبی دارای رویکرد پوشش تدریجی و با شعاع پوشش متغیر است، از این رو، در این بخش، مفاهیم اصلی این مساله، به اجمال توصیف می‌شوند.

۲-۱. تعریف مساله پوشش

خیلی از مسایل تصمیم‌گیری در مورد تعداد و مکان تسهیلاتی نظیر مدارس دولتی، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های پلیس، کالج‌ها، آنتن‌های رادار و فروشگاه‌های زنجیره‌ای به عنوان مسایل پوشش‌مدلسازی می‌شوند [۲]. اگر فاصله زمانی یا متریک یک نقطه تقاضا از یک تسهیل، بیشتر از یک مقدار خاص نباشد، آن نقطه تقاضا تحت پوشش آن تسهیل است.

در مورد اهداف پوشش، سه فرض اساسی زیر، در نظر گرفته می‌شوند [۳۰].

(۱) پوشش کامل یا پوشش صفر: اگر یک تقاضا، در فاصله پوشش یک تسهیل قرار گیرد، به طور کامل پوشش می‌گیرد در غیر اینصورت، اصلا پوشش نمی‌گیرد. این فرض، به نام فرض پوشش یک یا صفر، نیز شناخته می‌شود.

(۲) پوشش اختصاصی: یک نقطه تقاضا، اختصاصا از نزدیکترین تسهیلی که درون شعاع پوشش، قرار دارد، خدمت دریافت می‌کند، لذا به تسهیلات دایر دیگر، اهمیت داده نمی‌شود.

(۳) شعاع پوشش ثابت: شعاع پوشش هر تسهیل یک مقدار ثابت و از قبل مشخص شده است.

در اکثر مسایل دنیای واقعی، هر سه فرض فوق، نقض می‌شوند، برای تشریح بیشتر، فرض کنید، فاصله پوشش تسهیلات، برای ۲۰۰۰ متر تصور شود، در این صورت، یک مشتری که در فاصله ۱۹۹۹ متری یک تسهیل است، بطور کامل پوشش می‌گیرد، اما اگر در فاصله ۲۰۰۱ متری باشد، اصلا تحت پوشش آن تسهیل، نیست. این فرض، منطقا قابل توجیه نیست. این تناقض، در ادبیات موضوع، با رویکرد پوشش تدریجی رفع می‌شود.

همچنین گاهی، تاثیر چند تسهیل واقع در اطراف یک مشتری، به مراتب از، وجود تنها یک تسهیل، که آن مشتری را در فاصله پوشش خود، سرویس دهی می‌کند، مطلوب تر است. این رویکرد نیز، در ادبیات موضوع با رویکردی تحت عنوان پوشش مشترک^۹ بیان می‌شود [۳۶]. در ضمن، در دنیای واقعی تنها فاصله متریک، بر جذب مشتری تاثیر نداشته و جذابیت‌های خود تسهیلات، نیز بر آن، تاثیر بسزایی دارند. ممکن است یک مشتری تسهیلی به فاصله ۱۹۰۰ متر را، به تسهیلی با فاصله ۴۰۰ متر، به دلیل جذابیت بیشتر، ترجیح دهد. لذا می‌توان، برای هر تسهیل یک فاصله پوشش، متناسب با امکانات آن، متصور شد، این ارتباط می‌تواند تحت عناوین محدودیت‌های مالی، وارد مدل شود، زیرا هزینه‌های مربوط به تسهیلات دارای جذابیت بالاتر، به مراتب

بیشتر است. این رویکرد، فاصله پوشش، را یک متغیر تصمیم فرض می‌کند و به رویکرد پوشش با شعاع متغیر شهرت دارد [۳۶]. در بخش‌های بعد دو تا از رویکردهای فوق الذکر، بطور دقیق تر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۲. سیستم‌های سلسله مراتبی

۲-۲-۱. انواع تسهیلات در سیستم‌های سلسله مراتبی
از نظر تنوع سرویس دهی (Service Varieties)، تسهیلات سلسله مراتبی به دو رده تسهیلات لانه ای و غیر لانه ای دسته بندی می‌شوند [۷]. تسهیلات را لانه ای گویند، هرگاه یک تسهیل سطح بالاتر، تمام خدمات سطح پایین تر، را ارایه بدهد و حداقل یک خدمت بیشتر، را نیز ارایه دهد، اما در غیر لانه ای، اینگونه نیست. در طرح نارولا [۳۱]، دسته بندی دیگری بر اساس تنوع مناطق سرویس دهی توسط تسهیلات وجود دارد. در این دسته بندی، تسهیلات به سه رده سرویس شامل محلی (Locally Inclusive Service)، سرویس شامل کلی (Globally Inclusive Service) و سرویس منحصرا متوالی (Successively Exclusive Service) رده بندی می‌شود. در نوع اول، هر تسهیل تنها، بالاترین سطح خدمات، را در اختیار مشتریان غیر واقع در آن ناحیه، قرار می‌دهد، اما در دومی، تمام سطوح خدمات، در دسترس سراسر مشتریان است و رده سوم، هر تسهیل، تنها سرویس خاص مربوط به سطح خود را به همه مشتریان، ارایه می‌دهد. در این تحقیق، سه رده بالا، به ترتیب و به اختصار با LIS، GIS و SES نشان داده شده اند.

۲-۲-۲. شاخص‌های معرف یک سیستم سلسله مراتبی
سه معیار برای طبقه بندی یک سیستم سلسله مراتبی، موجود است که عبارتند از: الگوی جریان، نوع خدمتو ساختار فضایی [۷].
(۱) الگوی جریان (Flow Pattern): جریان مشتریان و یا خدمات را از میان سطوح سلسله مراتب بررسی می‌کند. در جریان منفرد^{۱۰}: این جریان از سطح صفر شروع می‌شود و از همه سطوح می‌گذرد و به بالاترین سطح می‌رسد (یا بر عکس)، و در جریان چند گانه^{۱۱}: این جریان می‌تواند از سطح بالایی (پایینی) m ام به سطح پایین تر (بالاتر) n ام صورت پذیرد.
(۲) انواع تنوع خدمات (Service Varieties): تسهیلات یک سیستم براساس قابلیت خدمات رسانی به دو دسته لانه ای^{۱۲} و غیر لانه ای^{۱۳} دسته بندی می‌شوند که قبلا به آن اشاره شد.
(۳) پیکره بندی فضایی (Spatial Configuration): یک سیستم از نظر پیکره بندی به دو رده منسجم^{۱۴} و غیر منسجم^{۱۵}، دسته بندی می‌شود. انسجام در یک سیستم برقرار است، هرگاه تمام سایت‌های تقاضا که به یک تسهیل ویژه پایینتر اختصاص یافته اند، به یک و همان تسهیل سطح بالاتر اختصاص یابند. در غیر این صورت سیستم را غیر منسجم گویند.

مبدا و مقصد جریان، اهمیت داده می‌شود. این مدل‌ها، اکثراً دارای تابع هدف هستند. در مدل‌های تخصیص پایه به تخصیص یک تقاضا به یک تسهیل، که دارای سطحی برابر یا بالاتر از سطح تقاضا است، تمرکز می‌شود. این مدل‌ها نیز اکثراً دارای تابع هدف هستند. در مدل‌های پوشش پایه، هدف کمینه کردن تعداد تسهیلات برای ارایه سرویس به همه نقاط تقاضا، یا بیشینه کردن تعداد مشتریان تحت پوشش، با یک تعداد از قبل مشخص شده، از تسهیلات است. خلاصه ای از ویژگی‌های سیستم‌های سلسله مراتبی در جدول شماره ۱ ارائه شده است. مواردی که با * مشخص شده اند مواردی هستند که در تحقیق حاضر مد نظر گرفته شده است.

۲-۳-۲. تابع هدف در مکانیابی تسهیلات سلسله مراتبی اهداف مورد نظر از مکانیابی تسهیلات در تابع هدف مربوط به مدل آن سیستم تاثیر مستقیم دارد. برای مکانیابی سیستم‌های سلسله مراتبی سه نوع تابع هدف دیده می‌شود که عبارتند از: میانه (P-center)، مرکز (P-center) و پوشش (Covering).

۲-۲-۴. مدل سازی مساله مکانیابی سیستم‌های سلسله مراتبی

اساساً مدل‌های ارایه شده برای مکانیابی سیستم‌های سلسله مراتبی، بر سه رویکرد کلی استوارند. این سه رویکرد عبارتند از: جریان مبنا^{۱۶}، تخصیص مبنا^{۱۷} و پوشش مبنا^{۱۸}. در روش جریان مبنا، مدل سازی، با تمرکز بر جریان کالا یا خدمات بین تسهیلات سطوح مختلف صورت می‌گیرد، لذا در این مدل‌ها به

جدول ۱. دسته بندی سیستم‌های سلسله مراتبی و جایگاه این تحقیق در مطالعات مرتبط

eparchial systems Classification of hierarchical systems				
	Service Varieties:	Nested*	Non-Nested	
Facilities Category:	Service Areas:	LIS :Locally Inclusive Service	GIS* :Globally Inclusive Service	SES :Successively Exclusive Service
Hierarchical Systems Category	Flow Pattern: Spatial Configuration:	Single- Flow Coherent	Multiple-Flow* Non-Coherent	
Models Category	Flow-based	Assignment-based	Coverage-based:	SCLP MCLP*
Objective Function Category	Minisum(P-median)	Minimax(P-center)	Maxi sum*	
Cost Varieties Category	Median	Covering*	Fixed charge*	

چندگانه و منظور از S وجود جریان منفرد در سیستم است و "S/M" نشان دهنده امکان برقراری هر دو جریان می‌باشد. در ضمن "■" نشان دهنده برقرار بودن ویژگی آن ستون و "□" نشان دهنده عدم وجود آن ویژگی است و "■/□" نشان دهنده آن است که وجود یا عدم وجود این ویژگی، بطور واضح در مدل مشخص نیست. در ستون تعداد سطوح نیز، منظور از L قابل تعمیم بودن مدل برای هر تعداد دلخواهی از سطوح سلسله مراتب است.

مدل مد نظر در این پژوهش یک مدل مکانیابی سلسله مراتبی سه سطحی، پوشش پایه و از نوع پوشش ماکزیمم است، اما از یک متغیر تصمیم تخصیص پایه استفاده خواهد شد و چون تسهیلات لانه ای و از نوع GIS در نظر گرفته شده اند، لذا برای سیستم جریان چندگانه تصور شده است. به منظور بیان خلاصه ای از تحقیقات صورت گرفته در این موضوع و معرفی دقیق تر نوآوری و ضرورت انجام این مطالعه و همچنین مقایسه تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، جدول شماره ۲ ارایه شده است. در این جدول، منظور از "M" وجود جریان

جدول ۲. مطالعات مربوط به مساله مکانیابی پوشش با تمرکز بر رویکردهای مورد نظر تحقیق

نام محقق	سال	سلسله مراتبی	نوع پوشش	پوشش تدریجی	شعاع پوشش متغیر	الگوی جریان	تعداد سطوح	لانهای	انسجام	نوع سرویس*
Schilling et al. [32]	1979	■	MCLP	□	□	M	2	□/■	□/■	LIS
Charnes et al. [33]	1980	■	MCLP	□	□	M	L	■	□	LIS
Moore et al. [34]	1982	■	MCLP	□	□	M	2	□/■	□/■	GIS
Ruefli et al. [35]	1982	■	MCLP	□	□	M	L	■	□	GIS
Current et al. [36]	1986	■	MCLP	□	□	M	L	□	□	GIS
Church et al. [37]	1987	■	MCLP	□	□	M	2	□/■	□/■	GIS
Gerrard et al. [38]	1994	■	MCLP	□	□	S/M	2	■	□	LIS
Serra et al. [39]	1996	■	MCLP	□	□	M	2	□	■	LIS
Desai et al. [40]	1988	■	MCLP	□	□	S/M	L	□/■	□/■	LIS
Serra et al. [41]	1992	■	MCLP	□	□	M	L	■	□	GIS
Gerrard et al. [42]	1994	■	MCLP	□	□	M	3	■	□	GIS
Mandell et al. [43]	1998	■	MCLP	□	□	M	3	■	□	GIS
Mandell et al. [13]	1998	■	MCLP	□	□	M	1	■	□/■	LIS
Marianov et al. [44]	2001	■	SCLP	□	□	S	1	■	■	GIS
Espejo et al. [11]	2003	■	MCLP	□	□	M	3	■	□	LIS
Berman et al. [23]	2003	□	MCLP	■	□	M	L	□	□	-
Jayaraman et al. [45]	2003	■	MCLP	□	□	M	L	■	□	GIS
Drezner et al. [24]	2004	□	MCLP	■	□	M	۳	□	□	-
Jia et al. [46]	2007	□	MCLP	□	□	S/M	L	□	□	-
Berman et al. [18]	2009	□	MCLP	■	■	M	L	□	□	-
Lee et al. [14]	2010	■	MCLP	■	□	M	L	■	□	LIS
Oztekin et al. [47]	2010	□	MCLP	□	□	M	۲	□	□	-
Berman et al. [48]	2011	□	MCLP	■	□	S/M	L	□	□	-
O'Hanley et al. [49]	2011	□	MCLP	□	□	M	L	□	□	-
مدل مورد نظر این تحقیق	2013	■	MCLP	■	■	M	L	■	□	GIS

۳. معرفی مدل

۳-۱. معرفی متغیرها، پارامترها و نمادهای عمده در این تحقیق

نمادها، پارامترها و متغیرهای عمده بکار رفته در این تحقیق در ذیل معرفی می‌شوند. سایر متغیرهایی که بطور خاص در یک مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند، در زمان استفاده، معرفی و تشریح می‌شوند.

اندیسیها:

i شماره‌ده سایت‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات. $i = 1, 2, 3, \dots, n$
 j شماره‌ده نقاط (گره‌های) تقاضا. $j = 1, 2, 3, \dots, m$
 l شماره‌ده سطح تسهیلات. $l = 1, 2, 3, \dots, L$
 k شماره‌ده سطح خدمات. $k = 1, 2, 3, \dots, K$

پارامترها:

w_{ijk} میزان تقاضای گره j برای دریافت خدمت نوع k ام.
 f_{ijk} تابع نرخ پوشش که معرف نرخ پوشش عملی از تسهیل واقع در

سایت i ام برای سرویس نوع k ام برای تقاضای j ام.

d_{ij} فاصله متریک سایت i ام و گره j ام.

D برابر با حداکثر فاصله بین همه نقاط تقاضا و سایت‌ها است. $D = \max(d_{ij}) \text{ for all } i, j$

S_k فاصله پوشش کامل برای دریافت خدمت نوع k ام، این عدد برابر با حداکثر فاصله ای است که تقاضای درون آن خدمت نوع k ام را به تمامی دریافت می‌کند.

L_k فاصله پوشش جزئی برای دریافت خدمت نوع k ام، این عدد برابر با حداکثر فاصله ای است که تقاضای درون آن می‌تواند برای خدمت نوع k ام پوشش جزئی دریافت کند.

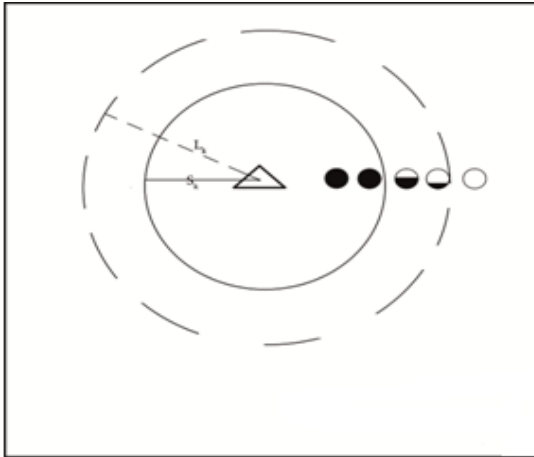
c_{ijk} مقدار پوشش عملی از سرویس نوع k ام توسط تسهیل واقع در سایت i ام به تقاضای گره j ام.

p_l تعداد مجاز تسهیلات سطح l ام.

q_l بودجه در دسترس برای تاسیس یا استقرار تسهیلات سطح l ام.
 q کل بودجه در دسترس.

F_{il} هزینه ثابت استقرار تسهیل سطح l ام در سایت i ام.

$Q_{il}(r)$ تابع هزینه تجهیز برای ارایه ی پوششی به شعاع r توسط تسهیل سطح l ام واقع در سایت i ام، این تابع یک تابع غیر نزولی است.



نمودار ۱. عملکرد تابع نرخ پوشش عملی

موارد متفاوتی از توابع نرخ پوشش در کاراسکل [۵۰] بیان شده است. بر اساس یک سری تحلیل حساسیت‌های انجام گرفته روی توابع نرخ پوشش متعارف، در این تحقیق از تابع ۱ برای محاسبه نرخ پوشش استفاده شده است [۱۴]، که در آن $0 \leq \theta \leq 1$. زیرا حساسیت این تابع نسبت به تغییرات فاصله نقاط تقاضا و تسهیلات بیشتر است و در ضمن شیب کاهشی مقادیر نرخ پوشش با افزایش فاصله‌ها در این تابع، نسبت به توابع دیگر ملایم تر است

$$f_{ijk}(d_{ij}, S_k, L_k) = \frac{1}{1 + e^{\frac{\theta(d_{ij} - (S_k + L_k))}{2}}} \quad (1)$$

با ضرب حجم تقاضای یک نقطه تقاضا در مقدار نرخ پوشش عملی مقدار پوشش عملی از آن تسهیل برای آن تقاضا مشخص می‌شود. لذا:

$$c_{ijk} = w_{jk} \cdot f_{ijk}(d_{ij}, S_k, L_k) \quad (2)$$

۳-۲-۳. اعمال رویکرد پوشش با شعاع متغیر برای تسهیلات سلسله مراتبی

در رویکرد پوشش با شعاع متغیر، شعاع پوشش، یک متغیر تصمیم است و برحسب فواصل مشتریان تا تسهیل مورد نظر، تغییر می‌کند. در این رویکرد برای هر تسهیل، علاوه بر یک هزینه ثابت، که اشاره به هزینه استقرار تسهیل دارد، یک هزینه متغیر، که مقدار آن متناسب با مقدار شعاع پوشش آن تسهیل است، نیز به هزینه‌ها اضافه می‌شود. از این رو یک تابع غیر نزولی که تابع سرمایه‌گذاری-جذابیت^{۱۹} نامیده می‌شود، نیز برای کنترل شعاع متغیر هر تسهیل متناسب با بودجه در

متغیرهای تصمیم:

حداقل شعاع پوشش لازم تسهیل سطح k ام واقع در سایت i ام r_{il}
برای ارایه سرویس متناسب با نقاط تقاضا.
هرگاه در سایت i ام یک تسهیل سطح k ام دایر شود مقدار یک می‌گیرد در غیر اینصورت صفر است. y_{il}
هرگاه تقاضای j ام برای دریافت سرویس نوع k ام به تسهیل واقع در سایت i ام تخصیص یابد مقدار یک می‌گیرد، در غیر اینصورت صفر است. x_{ijk}

۳-۲-۲. بیان مدل

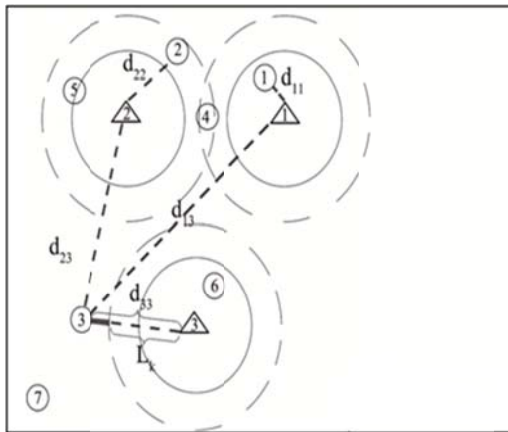
۳-۲-۱. مفروضات مدل

برای سیستم مورد نظر، علاوه بر مفروضاتی که قبلا اشاره شد، مفروضات زیر را نیز می‌پذیریم:

- بودجه کلی به مقدار q در اختیار است و همزمان برای هر سطح از تسهیلات دارای محدودیت در تعداد مجاز تسهیل هستیم. محدودیت تعداد تسهیلات به محدودیت‌های فنی در دنیای واقعی اشاره دارد که در اثر عواملی نظیر مقررات دولتی یا صنفی رخ می‌دهد و محدودیت بودجه به محدودیت‌های مالی سازمان، اشاره دارد.
- مقادیر تقاضای نقاط تقاضا برای هر سطح از خدمات با در نظر گرفتن همه تغییرات، نظیر تغییرات فصلی و روندی با استفاده از تکنیک‌های پیش‌بینی، با خطای معقولی قابل محاسبه هستند و لذا در محاسبه c_{ijk} به عنوان اعداد قطعی تصور می‌شوند.

۳-۲-۲. اعمال رویکرد پوشش تدریجی برای تسهیلات سلسله مراتبی

به منظور اعمال رویکرد پوشش تدریجی، از یک تابع غیر صعودی، استفاده می‌شود که به آن تابع پوشش جزئی یا تابع نرخ پوشش، می‌گویند. این تابع، بر حسب فاصله نقطه تقاضا و تسهیل، مقادیری بین صفر و یک تولید می‌کند. از آنجا که در رویکرد سلسله مراتبی، هر تسهیل بطور بالقوه دارای قدرت ارایه ی سطوح خاصی از سرویس است، لذا برای هر تسهیل، در هر سطح سرویس، شعاع پوشش کامل و شعاع پوشش جزئی مجزایی تعریف می‌شود. برای سرویس نوع k ام، این شعاع‌ها به ترتیب با S_k و L_k معرفی می‌شوند. مقدار نرخ پوشش عملی، از تسهیل واقع در سایت i ام به تقاضای نقطه j ام برای سرویس نوع k ام، با $f_{ijk}(d_{ij}, S_k, L_k)$ نشان داده می‌شود. در نمودار شماره ۱ نحوه عملکرد یک تابع نرخ پوشش ارایه شده است.



نمودار ۲. افزایش شعاع پوشش جزئی برای ارایه سرویس به نقاط تقاضا

در نمودار شماره ۲ نحوه اعمال رویکرد شعاع متغیر برای تسهیلات تشریح شده است، در این نمودار همه تسهیلات دارای سطح برابر و نوع تقاضای نقاط تقاضا، متناسب با این سطح از تسهیلات تصور شده اند. نزدیک ترین تسهیل به تقاضای سوم، تسهیل سوم است ولی این تقاضا، درون شعاع‌های پوشش این تسهیل، نیست ($d_{33} > L_k$)، لذا اگر این تقاضا برای دریافت خدمت به این تسهیل اختصاص یابد، تسهیل سوم، باید به مقدار $d_{33} - L_k$ شعاع پوشش جزئی خود را افزایش دهد. در حالیکه برای تقاضای چهارم، یک افزایش ناچیز در شعاع پوشش جزئی، توسط تسهیل اول یا دوم، می‌تواند، خدمت مورد نظر را فراهم آورد، اما برای تقاضای هفتم، که دارای فاصله زیادی از تسهیلات دایر است، به نظر می‌رسد افزایش شعاع پوشش جزئی دارای هزینه زیادی باشد. ممکن است این میزان هزینه از هزینه استقرار یک تسهیل جدید متناسب با سطح تقاضا، بیشتر باشد. لذا مدل، به منظور بیشینه کردن مجموع پوشش‌های عملی نقاط تقاضا و کمینه کردن هزینه‌های جاری (مجموع هزینه‌های استقرار و تجهیز تسهیلات)، با مقایسه هزینه استقرار تسهیلات جدید، در این سطح و هزینه تجهیز تسهیلات این سطح، نسبت به جایابی مکان تسهیل سوم یا افزایش شعاع پوشش جزئی تسهیل سوم و یا حتی استقرار یک تسهیل جدید، تصمیم خواهد گرفت.

فرض کنید تسهیل دایر در سایت i ام دارای قابلیت ارایه سرویس سطح k ام باشد، اگر $x_{ijk} = 1$ یعنی تقاضای گره j ام برای دریافت سطح k ام سرویس، به این تسهیل تخصیص یابد، در صورتی که: $d_{ij} \leq L_k$ نیازی به افزایش شعاع پوشش جزئی نیست. و مقدار شعاع متغیر مورد نیاز همان L_k خواهد بود. در غیر اینصورت، حداقل شعاع مورد نیاز برای ارایه این سطح از سرویس، به این مشتری برابر d_{ij} است. این روال برای

دسترس، وارد مدل می‌شود [۱۸]. در تحقیق فرناندز و همکاران [۲۷]، نشان داده شده که توابع سرمایه گذاری-جذابیت، مشتق پذیر هستند و متناسب با تعداد نقاط تقاضا، تغییر می‌کنند و تعدادی تابع نیز ارایه شده است. همچنین در [۱۸]، می‌توان چهار نوع تابع سرمایه گذاری-جذابیت، را مشاهده کرد.

برای تسهیلات سلسله مراتبی هیچ تابع سرمایه گذاری-جذابیتی تا به حال، ارایه نشده است. در این تحقیق، تابع سرمایه گذاری-جذابیت، به اختصار، تابع هزینه تجهیز، نامیده می‌شود. در مسایل پوشش که قدرت پوشش یک تسهیل، به ابعاد فیزیکی تسهیل وابسته است، استفاده از تابع رابطه ی (۳) مناسب تر است [۲۵]. در تحقیق حاضر از تابع پله ای رابطه (۴) استفاده شده است.

$$\phi(r) = C \cdot r^2 \quad (3)$$

$$\phi(r) = C \cdot [r^2] \quad (4)$$

فرض کنید در سایت i ام یک تسهیل سطح l ، دایر شده است. اگر قرار باشد که تقاضای j ام، از این تسهیل سرویس سطح k ام را دریافت کند، در اینصورت این تسهیل باید، دارای شعاع پوششی باشد که آن مشتری درون آن باشد. اگر فاصله بین آنها d_{ij} باشد، در صورتی که: $d_{ij} \leq S_k$ مشتری سرویس k ام را به تمامی دریافت خواهد کرد و اگر $S_k < d_{ij} \leq L_k$ باشد، برای دریافت پوشش جزئی دارای مشکلی نخواهد بود و نیازی به افزایش شعاع پوشش جزئی ندارد. اما در صورتیکه: $d_{ij} > L_k$ ، تسهیل، برای ارایه سرویس به مشتری، باید شعاع پوشش جزئی را افزایش دهد. این مقدار حداقل باید برابر با d_{ij} باشد. این امر نیاز به سرمایه گذاری، برای افزایش شعاع پوشش جزئی، به میزان $d_{ij} - L_k$ دارد. برای تمام سطوح سرویس مورد نیاز مشتریان تخصیص داده شده به این تسهیل، این روال، باید برقرار باشد. بنابراین حداقل مقدار شعاع پوشش جزئی مورد نیاز برای این تسهیل، برابر است با، ماکزیمم فاصله این تسهیل با تمام مشتریان تخصیص یافته به آن، برای دریافت همه سرویس‌های مورد نیاز. برای تشریح بیشتر، نمودار شماره ۲ ارایه شده است.

قضیه ۱: در تمام توابع نرخ پوشش، رابطه زیر برقرار است:

$$f_{ijk}(d_{ij}, s_k, t_{ik}) \geq f_{ijk}(d_{ij}, s_k, L_k) \quad (۹)$$

اثبات: طبق تعریف ۲ اثبات قضیه محرز است.

۳-۲-۴. معرفی مدل

مدل ارائه شده، بصورت زیر است:

P:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K [w_{jk} \cdot f_{ijk}(d_{ij}, s_k, \max(L_k, t_{ik}))] \cdot x \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^L [F_{il} \cdot y_{il} + Q_{il}(r_{il})] \leq q \quad (۱۱)$$

$$r_{il} \geq d_{ij} \cdot x_{ijk} : k \leq l \forall i, j, l \quad (۱۲)$$

$$t_{ik} \geq d_{ij} \cdot x_{ijk} \forall i, j, k \quad (۱۳)$$

$$r_{il} \leq D \forall i, l \quad (۱۴)$$

$$t_{ik} \leq D \forall i, k \quad (۱۵)$$

$$x_{ijk} \leq \sum_{l=k}^L y_{il} \forall i, j, k \quad (۱۶)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, k \quad (۱۷)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{il} \leq \sum_{l'=l}^L p_{l'} \forall l \quad (۱۸)$$

$$\sum_{l=1}^3 y_{il} \leq 1 \quad \forall i \quad (۱۹)$$

$$y_{il}, x_{ijk} \in \{0,1\} \forall i, j, k, l \quad (۲۰)$$

$$r_{il}, t_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k, l \quad (۲۱)$$

برای نوشتن مدل از یک متغیر تصمیم تخصیص مبنا، استفاده می‌شود. متغیر باینری x_{ijk} زمانی، یک است که، نقطه تقاضای z ام برای دریافت سرویس سطح k ام به تسهیل سطح z ام تخصیص یابد. در غیر اینصورت، صفر است. بنابراین، مقدار پوشش عملی برابر $C_{ijk} \cdot x_{ijk}$ خواهد بود. هدف از مساله بیشینه کردن مقادیر پوشش عملی است، لذا در (۱۰) این مقادیر را برای تمام تقاضاها و تمام خدمات دریافتی از تمام تسهیلات، بیشینه خواهند شد.

در (۱۱) با تعریف یک محدودیت بودجه ای رسماً رویکرد شعاع متغیر را در مدل اعمال می‌شود. برای ساده سازی مساله، محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) و (۱۴) و (۱۵) وارد مدل می‌شوند، که مکمل رویکرد شعاع متغیر اند، در ضمن متغیرهای تصمیم

تمام مشتریان متقاضی این سطح از سرویس، که به این تسهیل تخصیص داده شده اند، باید برقرار باشد. لذا در راستای اعمال ویژگی شعاع پوشش متغیر تعریف زیر ارائه می‌شوند.

تعریف (۱) مقدار شعاع پوشش جزئی، مورد نیاز برای هر تسهیل سطح l ام، واقع در سایت i ام، را متغیر تصمیم، فرض کرده و با r_{il} نشان داده و تعریف می‌کنیم:

$$r_{il} = \max(L_k, d_{ij} \cdot x_{ijk}) : \forall i, l, \text{ for } k = 1, 2, \dots, l, j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (۵)$$

تعریف (۲) مقدار شعاع پوشش جزئی انحصاری، برای ارائه سرویس سطح خاص k ام، به تمام نقاط تقاضایی که به تسهیل دایر در سایت i ام اختصاص می‌یابند، را با t_{ik} نشان می‌دهیم و تعریف می‌کنیم:

$$t_{ik} = \max(L_k, d_{ij} \cdot x_{ijk}) : \forall i, k, \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (۶)$$

تعریف (۳) اگر چه به نظر می‌رسد مقادیر L_k ، بر حسب صعودی باشند اما در حالت کلی، بیشترین شعاع پوشش جزئی تسهیل سطح l ام واقع در سایت i ام، را با LM_{il} نشان داده و تعریف می‌کنیم:

$$LM_{il} = \max(L_k) \forall i, l, \text{ for } k = 1, 2, \dots, l \quad (۷)$$

چنانچه برای تسهیل سطح l ام واقع در سایت i ام، رابطه $r_{il} \leq LM_{il}$ برقرار باشد، نیازی به صرف هزینه تجهیز، وجود ندارد. از آنجاکه در این تحقیق، برای محاسبه هزینه جذابیت- سرمایه گذاری تسهیلات از رابطه ۳ استفاده شده است، برای محاسبه هزینه تجهیز تسهیلات، از رابطه ی (۸) استفاده خواهیم کرد.

$$Q_{il}(r_{il}) = \phi_{il} \left(\frac{1}{2} (|r_{il} - LM_{il}| + r_{il} - LM_{il}) \right) = C_{il} \cdot \left(\frac{1}{2} (|r_{il} - LM_{il}| + r_{il} - LM_{il}) \right)^2 \quad (۸)$$

پس از اعمال پوشش با شعاع متغیر، مقدار نرخ پوشش انحصاری، از تسهیل واقع در سایت i ام به تقاضای نقطه z ام برای سرویس خاص k ام، از رابطه $f_{ijk}(d_{ij}, s_k, t_{ik})$ محاسبه می‌شود. طبق قضیه ۱ اعمال رویکرد پوشش با شعاع متغیر، باعث بهبود مقدار تابع هدف خواهد شد.

۴-۱. حل مساله P به روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوع از آنجا که زمان حل مساله فوق بر حسب ابعاد مساله بطور نمایی افزایش می‌یابد، لذا برای ابعاد متوسط و بزرگ، زمان حل، نامعقول شده و یا آنکه به دلیل محدودیت فنی سیستم، توانایی حل آن توسط نرم افزارهای حل کننده نظیر گمز، وجود ندارد. از این رو برای حل مساله، نیاز به ارایه یک روش فرا ابتکاری، غیر قابل اجتناب است. در این بخش به تشریح یک روش فرا ابتکاری برای حل مساله P پرداخته شده است.

روش فرا ابتکاری مورد استفاده در این بخش بر اساس الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی ممنوع است. بطور خلاصه این روش حل فرا ابتکاری، دارای سه فاز اصلی است، که دو فاز آن، در همه الگوریتم‌های فرا ابتکاری، مرسوم است، این دو فاز، تولید راه حل اولیه و بهبود راه حل اولیه هستند. فرآیندی که در این دو فاز انجام می‌دهیم، مشابه رویه ای است که در تحقیق لی و همکاران [۱۴]، برای حل یک مساله پوشش سلسله مراتبی ارایه شده است. بخاطر لانه ای بودن تسهیلات و وجود رویکرد شعاع متغیر در مدل، اساسا، مدل تحقیق ما، با مدل موجود در [۱۴]، متفاوت است، لذا مسیر حل این دو مدل، نمی تواند یکسان باشد. بنابر این روش حل محققان، به طور اساسی مورد تغییر واقع شده است، از جمله این تغییرات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) مدل موجود در [۱۴] دارای محدودیت‌های مالی نیست ولی مدل ما، دارای محدودیت‌های مالی است، لذا در این رویه، با توجه به محدودیت‌های مالی، تسهیلات را مستقر کرده ایم. این محدودیت‌ها به دلیل اعمال خاصیت پوشش با شعاع متغیر در مدل ظاهر شده اند که این خاصیت در [۱۴] وجود ندارد. (۲) چون ما تسهیلات را لانه ای تصور کرده ایم لذا برخلاف [۱۴]، در فاز اول از بالاترین سطح، شروع به دایر کردن تسهیلات می‌کنیم. (۳) تعاریف نرخ پوشش که قبلا به آن اشاره شد و مقدار پوشش مصنوعی، مقدار پوشش مورد انتظار و مقدار پوشش عملی که در ادامه تشریح می‌شوند، دارای تفاوت‌هایی اساسی با [۱۴] هستند. این تفاوت‌ها به دلیل آن است که ما تسهیلات را از نوع سرویس شامل کلی (GIS) پنداشته ایم، که در [۱۴]، به این ویژگی، اهمیت داده نشده است.

از آنجا که نوآوری مدل اشاره شده در مساله P ، تلفیق همزمان رویکردهای شعاع متغیر و پوشش تدریجی در سیستم‌های سلسله مراتبی است، لذا در یک فاز جدید که آن را فاز تجهیز می‌نامیم، نسبت به اعمال خاصیت پوشش با شعاع متغیر، در راه حل ناشی از دو فاز قبل اقدام می‌نماییم، اینکار باعث افزایش مقدار تابع هدف خواهد شد. همچنین فاز تجهیز، کاملا نوآوری داشته و در [۱۴] وجود ندارد. این سه فاز در ادامه تشریح می‌شوند.

t_{ik} ، r_{il} را کنترل می‌کنند. برای تولید مقادیر شدنی، کران بالای متغیرهای t_{ik} ، r_{il} برابر با D ، که حداکثر فاصله متریک بین همه نقاط تقاضا و سایت‌ها است، تعریف می‌شود. در (۱۶)، علاوه بر الزام سیستم به داشتن تسهیلات لانه ای، تضمین می‌شود که شرط پوشش تقاضای J ام برای خدمت نوع k ام از تسهیل واقع در سایت l ام، آن است که در این سایت، یک تسهیل سطح k به بالا دایر شده باشد. محدودیت (۱۷) اطمینان می‌دهد که هر مشتری برای دریافت کامل هر نوع خدمت، تنها از یک تسهیل دایر متناسب با سطح خدمت، پوشش می‌گیرد.

چون تسهیلات لانه ای هستند، در واقع تعداد $p_1 + p_2 + p_3$ تا تسهیل سطح اول و تعداد $p_2 + p_3$ تا تسهیل سطح دوم وجود دارد. لذا محدودیت (۱۸)، تعداد تسهیلات مجاز را در سطوح مختلف کنترل می‌کند. محدودیت (۱۹) تنها امکان استقرار یک سطح از سلسله مراتب را در هر سایت فراهم می‌آورد. محدودیت (۲۰) و (۲۱) متغیرهای تصمیم را کنترل می‌کنند.

مساله ناشی از روابط (۱۰) تا (۲۱) را مساله P می‌نامیم. چنانچه مقادیر بودجه در دسترس به تفکیک سطوح تسهیلات داده شوند، آنگاه می‌توان محدودیت (۱۱) را از مساله P حذف کرده و محدودیت‌های زیر را اضافه کرد:

$$\sum_{i=1}^n [F_{i1} \cdot y_{i1} + Q_{i1}(r_{i1})] \leq q_1 \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n [F_{i2} \cdot y_{i2} + Q_{i2}(r_{i2})] \leq q_2 \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^n [F_{i3} \cdot y_{i3} + Q_{i3}(r_{i3})] \leq q_3 \quad (24)$$

۴. حل مدل مکانیابی پوشش سلسله مراتبی دارای

پوشش تدریجی و شعاع متغیر (مساله P)

مساله P دارای $18mn + 16m + 3n + 4$ تا محدودیت و $9m + 3mn$ تا متغیر تصمیم است که $3m + 3mn$ تا از آن‌ها، متغیر صفر و یک هستند و بقیه، متغیرهای پیوسته و نامنفی هستند. لذا مساله P ، یک مساله برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مخلوط است. تلاش صورت گرفته برای حل مساله P در چارچوب یک روش حل ابتکاری مبتنی بر الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی ممنوع، قرار دارد، که در ذیل بیان می‌شود.

$$C_{ik} = \sum_{j=1}^m C_{ijk} \quad (26)$$

چنانچه دو سایت دارای شرایط یکسانی برای انتخاب در قدم ۵ الگوریتم بالا، باشند از معیار بزرگی پوشش عملی انحصاری، استفاده می‌کنیم. در این صورت، سایتی که دارای بزرگتری C_{ik} باشد انتخاب می‌شود. اگر دو سایت، در مقادیر C_{ik} نیز دارای شرایط یکسانی بودند انتخاب آنها به صورت تصادفی انجام می‌شود. در پایان مرحله اول متناسب با عناصر موجود در I_l^* قرار می‌دهیم: $y_{il} = 1$ یعنی یک تسهیل سطح l ام در سایت l ام خواهد شد.

۴-۱-۲. مرحله دوم، تخصیص مشتری

مجموعه تمام گره‌های تقاضا برابر $J = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ است. با انجام مرحله اول حداکثر دارای l تا مجموعه مجزا از I_l^* ها، خواهیم بود. با توجه به این که تسهیلات از نوع لانه ای هستند و مدیریت سیستم نیز معتقد به تسهیلات دارای سرویس شامل متوالی است، پس خدمت نوع k ام توسط سایت‌های موجود در $U_{k=l}^L I_k^*$ می‌توانند پوشش داده شوند. تعریف ۶) هر گره تقاضا نظیر j می‌تواند از تسهیل سطح l ام، دایر در سایت l ام، متناسب با سطح تقاضاهایش یک مقدار پوشش را دریافت کند (به شرط قرار داشتن در شعاع پوشش)، این عدد را مقدار پوشش مورد انتظار تقاضای l ام از تسهیل سطح l ام واقع در سایت l ام نامیده، با OC_{ijl} نشان داده و از رابطه زیر می‌یابیم.

$$OC_{ijl} = \sum_{k=1}^l c_{ijk} \quad (27)$$

لذا قدم‌های مرحله دوم، به شرح زیر هستند:
۱) قرار می‌دهیم: $l = 1$ مجموعه تقاضاهایی که می‌توانند از تسهیلات دایر شده سطح l خدمتی دریافت کنند را به صورت زیر تعریف می‌کنیم: $J_l = \{j \in J : OC_{ijl} > 0\}$
۲) برای همه $i \in U_{k=l}^L I_k^*$ ، $0 < i$ برای همه $i \in U_{k=l}^L I_k^*$ آنها قرار می‌دهیم: $J_{il}^* = \emptyset$ J می‌تواند با بزرگترین OC_{ijl} است را انتخاب کرده آن را از J_l حذف می‌کنیم برای l شماره l ای که متناظر با $\max\{OC_{ijl}, i \in U_{k=l}^L I_k^*\}$ است را یافته و به J_{il}^* اضافه می‌کنیم. ۵) اگر $|J_l| \neq 0$ به l می‌رویم در غیر اینصورت به $l = 1$ می‌رویم. ۶) قرار می‌دهیم $l = l + 1$ اگر $l < L$ به l می‌رویم در غیر اینصورت به $l = 1$ می‌رویم. ۷) پایان. در پایان مرحله دوم متناسب با عناصر موجود در J_{il}^* قرار می‌دهیم: $x_{ijk} = 1$ یعنی تقاضای l ام برای دریافت خدمت نوع k ام به تسهیل واقع در سایت l ام تخصیص می‌یابد.

۴-۱-۱. فاز اول: تولید راه حل اولیه

این فاز دارای دو مرحله است، در مرحله اول با یک روبه حریصانه نسبت به دایر کردن تسهیلات متناسب، اقدام می‌کنیم و در مرحله دوم نیز با یک روبه حریصانه دیگر به تخصیص مشتری به تسهیلات دایر شده در مرحله اول می‌پردازیم.

۴-۱-۱-۱. مرحله اول، دایر کردن تسهیلات

چون تسهیلات را لانه ای و سرویس شامل متوالی تصور کرده ایم و در ضمن دارای محدودیت بودجه هستیم، برای انتخاب سایت، سعی می‌کنیم که با استقرار سطح بالاتر تسهیلات، به تقاضاهای سطوح بالاتر پوشش بدهیم، زیرا تسهیلات سطح پایین تر، قادر به ارائه خدمات نوع بالاتر نیستند. تعریف ۴) مقدار مصنوعی پوشش، بیانگر پوشش بالقوه ای است که تسهیل واقع در سایت l ام و دارای سطح l ام سلسله مراتب، قادر است، به نقاط تقاضای اختصاص یافته به آن، برای سرویس‌های متناسب با سطح سلسله مراتب، ارائه دهد. مقدار مصنوعی پوشش را با TC_{il} نشان داده و تعریف می‌کنیم:

$$TC_{il} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l c_{ijk} \quad (28)$$

در ضمن فرض می‌کنیم: $I = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ همچنین، طبق محدودیت (19) مساله P ، نباید در یک سایت بیش از یک تسهیل دایر کرد. گام‌های این مرحله به شرح زیرند:

۱) قرار می‌دهیم $l = L$ اگر $q < F_{il}$ به l می‌رویم در غیر اینصورت به مرحله ۳ می‌رویم (۳) قرار می‌دهیم: $I_l^* = \emptyset$
برای هر $i \in I$ مقادیر TC_{il} را می‌یابیم سپس مجموعه $\{i \in I : TC_{il} > 0\}$ ، I_l را تشکیل می‌دهیم. ۵) از I_l عنصری که بزرگترین TC_{il} را دارد، برگزیده آن را به I_l^* به اضافه کرده و از I_l حذف می‌کنیم. ۶) قرار می‌دهیم: $q = q - F_{il}$ اگر $q < F_{il}$ به l می‌رویم در غیر اینصورت به ۹ می‌رویم (۸) قرار می‌دهیم: $l = l - 1$ اگر $l \geq 1$ به ۲ می‌رویم در غیر اینصورت به پایان. ۹) اگر $l > 1$ ، $|I_l^*| \geq p_l$ آنگاه قرار می‌دهیم $l = l - 1$ و به ۲ می‌رویم، اگر $l = 1$ ، $|I_l^*| \geq p_l$ به $l = 1$ می‌رویم، در غیر اینصورت به ۵ می‌رویم. ۱۰) پایان.

تعریف ۵) به مجموع تمام سرویس‌های سطح k ام، که عملاً توسط تسهیل دایر در سایت l ام، به تمام نقاط تقاضا ارائه شده است، مقدار پوشش عملی انحصاری سرویس k ام آن تسهیل گوئیم، آن را با G_{ik} نشان داده و از رابطه زیر می‌یابیم.

۴-۱-۲. فاز دوم، بهبود راه حل اولیه

رویکرد بهبود راه حل اولیه در این روش، مبتنی بر روش متاهوریستیک جستجوی ممنوع حریمانه است، ابتدا به تنظیمات این روش می پردازیم. برای نمایش راه حل یا کد گذاری از یک بردار به طول n که عدد هر مولفه، نشانگر سطح تسهیل قرار گرفته در آن است، استفاده می شود. مثلاً $X = (3, 2, 0, 1, 3)$ راه حلی را نشان می دهد که در سایت اول و پنجم، یک تسهیل سطح ۳ و در سایت دوم یک تسهیل سطح ۲ قرار می گیرد و در سایت سوم هیچ تسهیلی قرار نمی گیرد.

تعریف (۷) برای تسهیل دایر شده در سایت i ام، مقدار پوشش عملی، برابر است با مجموع تمام پوشش های ارائه شده، برای همه سرویس ها و به تمام نقاط تقاضا. این مقدار را با AC_i نشان داده و از رابطه زیر محاسبه می کنیم.

$$AC_i = \sum_{j \in J_{il}^*} \sum_{k=1}^L C_{ijk} \quad (28)$$

تولید همسایگی برای راه حل ناشی از فاز اول به تفکیک هر سطح، با بستن یک تسهیل دایر که در ارائه پوشش عملی، به نقاط تقاضا، ضعیف ترین است (یعنی تسهیل متناظر با کمترین مقدار AC_i) و سپس دایر کردن یک تسهیل بسته، از همان سطح در سایتی که دارای بیشترین مقدار پوشش مصنوعی است، صورت می گیرد. قبلاً گفته شد که میزان پوشش مصنوعی همان TC_{il} است. این فرایند، معادل جایجایی منطقی و غیر تصادفی دو عنصر غیر همانند، در بردار مربوط به راه حل اولیه است. در سطح l ام تسهیلات، برای طول لیست ممنوع، می توان از عدد $m_l - p_l - 1$ استفاده کرد که m_l برابر تعداد سایت های بالقوه برای استقرار تسهیلات سطح l می باشد. چون در این مدل تمام سایت ها بصورت بالقوه می توانند محلی برای استقرار هر سطحی از تسهیلات باشند، لذا برای تمام سطوح تسهیلات، m_l برابر با تعداد سایت هایی است که توسط تسهیلات دیگر اشغال نشده اند. شرط توقف جستجوی همسایگی ها، تکرار جستجوها تا $10n$ بار است. مقدار تابع هدف ناشی از راه حل بدست آمده از فاز اول، از رابطه زیر بدست می آید.

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^3 C_{ijk} \cdot X_{ijk} \quad (29)$$

از سطح بالا به پایین، به تفکیک برای هر سطح از تسهیلات، مراحل فاز دوم به صورت زیر هستند:

(۱) مقادیر تابع هدف ناشی از راه حل اولیه در فاز اول را در Z و راه حل اولیه را در S مقدار دهی می کنیم (۲) قرار می دهیم: $freq = 1$ و تا زمانی که $freq < 10n$ مراحل ۳ تا ۱۱ را ادامه می دهیم. (۳) قرار می دهیم: $s_temp = s, best_z =$ (۴) با توجه به S ، برای تمام تسهیلات دایر از نوع l که در سایت های I_l^* قرار دارند، مقادیر AC_i را می یابیم. (۵) تسهیلی که دارای کمترین مقدار AC_i است را انتخاب می کنیم (۶) از بین تسهیلات سطح l تعطیل، که قادر به ارائه پوشش به مشتریان هستند (یعنی عناصر موجود در I_l)، تسهیلی که دارای بزرگترین TC_{il} است، را انتخاب می کنیم. (۷) نتایج حاصل از مراحل ۴ و ۵ را به عنوان یک دوتایی مرتب در نظر می گیریم و در $change$ مقدار دهی می کنیم (۸) اگر $change$ لیست ممنوع بود، به ۱۱ می رویم در غیر این صورت اعداد موجود در مکان های متناظر با مراحل ۴ و ۵ در s_temp را عوض می کنیم و در ضمن $change$ را به لیست ممنوع اضافه کرده و لیست را به روز می کنیم. (۹) مرحله تخصیص مشتری را مشابه مراحل اشاره شده در بخش (۳-۲-۱) انجام می دهیم و مقدار تابع هدف یعنی Z را می یابیم. (۱۰) اگر $Z > best_z$ قرار می دهیم: $best_z = Z, best_s = s, s = s_temp$ (۱۱) قرار می دهیم Z در غیر این صورت به ۱۱ می رویم. (۱۲) $freq = freq + 1$ را معرفی می کنیم.

۴-۱-۳. فاز سوم، تجهیز تسهیلات

فاز سوم کاملاً نوآوری داشته و متناسب با نوع مدل، پیاده سازی شده است، زیرا این فاز مبتنی بر رویکرد شعاع متغیر است. می توان انجام این فاز را همزمان با فاز دوم انجام داد. انجام این فاز نیازمند بودجه ای است که ما آن را، بودجه تجهیز، می نامیم. مقداری بودجه مازاد ممکن است به هر دلیلی پدید آید، مثلاً بدلیل آنکه بودجه کل در دسترس، از هزینه های دایر کردن تسهیلات لازم، بیشتر باشد. بودجه مازاد می تواند در راستای تجهیز تسهیلات مورد استفاده قرار گیرد. تعریف (۸) مقدار بودجه ای که پس از استقرار تسهیلات، باقی می ماند، بودجه مازاد نام دارد و با q' نشان داده می شود و برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می شود.

$$q' = q - \sum_{l=1}^L \sum_{i \in I_l^*} F_{il} \quad (30)$$

علاوه بر بودجه ی مازاد، تصمیم گیر می تواند، با تعطیل کردن یک تسهیل به دلیل ضعیف بودن آن تسهیل در ارائه پوشش، یا تمرکز بر پوشش دهی سطح خاصی از تقاضا، با آزادسازی بودجه درگیر با سایر سطوح، مقداری بودجه را فراهم کرده و به

است که آن را تجهیز خواهیم کرد، تصمیم گیر می‌تواند یک یا چند تا از تسهیلات دارایمقادیر کمتر AC_i را انتخاب و تجهیز کند. قبلا، نحوه محاسبه مقدار شعاع پوشش لازم برای تجهیز تسهیلات بیان شد. فرض کنید تسهیل سطح λ م واقع در سایت λ م برای تجهیز انتخاب شود، به دلیل محدودیت‌های مالی، شعاع را تا حد خاصی می‌توان، افزایش داد.

در اینجا، الگوریتم فاز سوم برای تجهیز یک تسهیل از یک سطح خاص ارایه می‌شود که برای تمام سطوح و تمام تسهیلات به همین منوال صورت می‌پذیرد. مراحل فاز سوم به این صورت می‌باشند:

۱) مقدار بودجه تجهیز را مشخص کرده و q'' می‌نامیم. ۲) برای همه تسهیلات، مقادیر نرخ پوشش نیافته، یعنی CCR_l را مشخص می‌کنیم و تسهیلی را که دارای بیشترین مقدار CCR_l است را برای تجهیز انتخاب می‌کنیم. ۳) در سطح انتخاب شده مقادیر AC_i را یافته و تسهیل متناظر با کمترین مقدار AC_i را تجهیز می‌کنیم، یعنی با توجه به تابع هزینه تجهیز و مقدار بودجه تجهیز مقدار r_{il} را یافته و بعد از مقایسه با مقدار LM_{il} ، مطابق با توضیحات بخش‌های قبل، شعاع پوشش مورد نظر را یافته و مقدار شعاع پوشش جزیی تسهیل را تنظیم می‌کنیم. ۴) تخصیص تقاضا به تسهیلهای را نظیر مرحله دوم از فاز اول انجام می‌دهیم و مقدار تابع هدف را می‌یابیم.

۴-۲. بررسی صحت عملکرد روش حل فراابتکاری

به منظور توضیح بیشتر و بیان کارآمدی روش حل بیان شده در سه فاز بالا، تعدادی مساله تصادفی در ابعاد مختلف، تولید شده و سپس حل شده‌اند. نتایج حاصل از حل این مثال‌ها در جدول شماره ۴ ارایه شده است. همچنین این مسایل توسط نرم افزار گمز، بطور مستقیم نیز حل شده‌اند تا کارآیی رویه فرا ابتکاری مشخص تر شود. در هر بعد تعداد ۵ مساله تولید شده و میانگین مقادیر تابع هدف و زمان حل آن‌ها در این جدول، ارایه شده‌اند. همچنین اعداد به فرم: $p_1/p_2/p_3$ بیانگر تعداد تسهیلات مجاز برای سطوح ۱ و ۲ و ۳ هستند. این اعداد متناسب با ابعاد مساله بطور تصادفی انتخاب شده‌اند. در همه این مسایل تابع نرخ پوشش را تابع بیان شده در رابطه ۱ و تابع تجهیز را بر اساس تابع $\varnothing_{il}(r_{il}) = C_{il} \cdot r_{il}^2 : C_{il} > 0$ تعریف می‌کنیم. این مسایل در سیستمی با مشخصات processor: intel® core™ 2 due CPU : 2.1 GHZ, MEMORY(RAM): 2GB حل شده‌اند.

مقادیر θ و C_{il} با یک آنالیز حساسیت کوچک انتخاب شده‌اند. در ضمن مقدار اختلاف محاسباتی دو روش، از رابطه زیر محاسبه شده است که در آن Q' ، مقادیر تابع هدف ناشی

امر تجهیز تخصیص دهد. همچنین تصمیم گیر می‌تواند برای بهبود سیستم زیر مجموعه خود از مدیریت سیستم، درخواست بودجه مکمل نماید. ما همه چنین بودجه‌هایی را، بودجه تجهیز می‌نامیم.

از آنجا که در عمل، میزان تجهیزات یک تسهیل در جذب مشتری تأثیر بسزایی دارد، شعاع پوشش را نمی‌توان ثابت تصور کرد، بنابراین، رویکرد پوشش متغیر در عمل غیر قابل اجتناب است، در رویکرد شعاع متغیر، با تجهیز یک یا چند تسهیل دایر، از یک یا چند سطح، میزان پوشش عملی خدمات به مشتریان توسط تسهیلات دایر افزایش می‌یابد. این رویه باعث بهبود تابع هدف می‌شود. انتخاب سطح تسهیلی که قرار است تجهیز شود، می‌تواند متأثر از عوامل متعددی باشد که اکثرا ریشه در سلیقه‌های تصمیم گیر، دارد. مطابق با نظریه‌های پوشش سلسله مراتبی، در مسایل پوشش ماکزیمم، شعاع پوشش برای تسهیلات سطح پایین تر، باید به مراتب از شعاع پوشش تسهیلات سطوح بالاتر بیشتر باشد [۸]. بنا بر این در این فاز، می‌توان، با تمرکز بر تسهیلات سطح پایین تر، تجهیز را انجام داد. بالعکس در مورد مسایل مراقبت‌های پزشکی، تامین تسهیلات دارای سطوح بالاتر، حیاتی تر است. در ضمن چون در اینگونه موارد، تسهیلات اکثرا، لانه ای هستند، تمرکز بر تجهیز تسهیلات سطح بالاتر به طور خودکار باعث افزایش پوشش دهی به تقاضاهای پایین تر نیز می‌شود.

تعریف ۹) مقدار پوشش از دست رفته، برای هر سطح از تسهیلات دایر، برابر است با، مجموع تقاضاهای متناسب با آن سطح سلسله مراتب، که پوشش داده نشده‌اند. به تفکیک هر سطح از تسهیلات، درصد مقدار پوشش از دست رفته را از رابطه زیر پیدا می‌شود.

$$CCR_l = \left(1 - \frac{\sum_{i \in U_{k=1}^l} \sum_{j=1}^m C_{ijk} \cdot x_{ijk}}{\sum_{j=1}^m w_{jl}} \right) \times 100 \quad (31)$$

لازم به ذکر است که هر چه این مقدار بزرگتر باشد، تجهیز تسهیلات آن سطح، دارای توجیه بیشتری است. تصمیم گیر می‌تواند بر اساس یک منطق ساده، تمام سطوح دارای مقدار پوشش از دست رفته بیشتر از $\alpha\%$ را تجهیز کند و مقدار پوشش نیافتگی آن‌ها را به $\beta\%$ کاهش دهد. در هر سطحی از تسهیلات، می‌توان، یک یا چند تسهیل، را برای تجهیز انتخاب کرد. قطعا تسهیلاتی که دارای پوشش عملی کمتری هستند، برای تجهیز شدن در اولویت هستند. به منظور تشخیص اولویت تسهیلات، برای هر تسهیل دایر شده در این سطح می‌توان از مقدار AC_i استفاده کرد. کمترین مقدار AC_i معرف تسهیلی

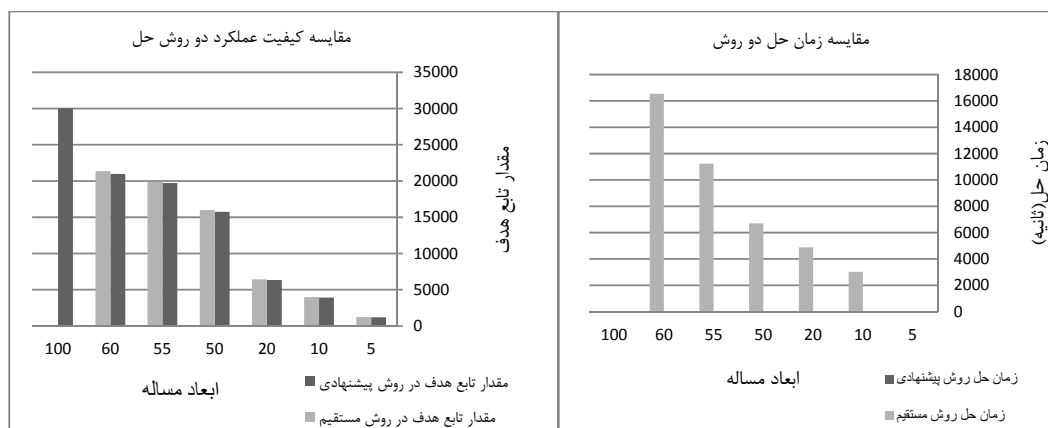
از حل مستقیم مساله P با نرم افزار گمز و حل مساله به روش فراابتکاری هستند.

$$gap(\%) = \frac{(Q - Q')}{Q} \times 100 \quad (32)$$
جدول ۳. مقایسه عملکرد روش های حل مساله P (به روش حل مستقیم و رویه فرا ابتکاری)

Problem parameters		حل مستقیم مساله P با استفاده از گمز		Suggested meta heuristic		
n	$p_1/p_2/p_3$	Q	Time(s)	Q'	Time(s)	gap (%)
5*5	1/1/1	1227	47	1215	0.001	0.9
10*10	3/2/1	3979	3012	3912.2	0.56	1.68
20*20	6/5/5	6435	4876	6338	0.56	1.51
50*50	7/6/5	15985	6706	15751	0.57	1.46
55*55	11/10/8	19870	11235	19702	0.59	0.84
60*60	12/11/10	21346	16550	20980	0.60	0.17
100*100	12/11/10	Run out of memory		30025	0.62	-

ابعاد بیشتر از 60*60 نیز به دلایل فنی، سیستم موفق به حل مساله بوسیله نرم افزار، نیست در حالیکه همان سیستم در روش فراابتکاری، برای ابعاد بزرگتر مساله نیز دارای محدودیت خاصی نیست. به منظور مقایسه بهتر عملکرد این دو روش حل، نمودارهای شماره ۳ و ۴ ارائه شده اند.

اگر چه مقادیر تابع هدف در رویه پیشنهادی دارای اختلافی تا 1.68٪ در ابعاد 10*10 مساله، نسبت به حل با استفاده از گمز، هستند، اما زمان حل در روش پیشنهادی، در همه ابعاد مساله، کمتر از یک ثانیه است، در حالیکه در روش حل مستقیم مساله P زمان حل، بسیار بیشتر است. در ضمن در

نمودارهای ۳ و ۴. مقایسه عملکرد روش های حل مساله P

تایید می نمایند. ارائه تابع هزینه تجهیز برای تسهیلات سلسله مراتبی از نوآوریهای دیگر این مقاله محسوب می شود. با توجه به نوآوری مدل که تلفیق رویکرد پوشش تدریجی و شعاع متغیر در مکانیابی پوشش تسهیلات سلسله مراتبی است، خلاء عدم وجود تحقیقات مشابه با تحقیقات فوق الذکر برای تسهیلات سلسله مراتبی احساس می شود که انجام چنین تحقیقی برای مطالعات آتی قابل توصیه است.

اگر چه برای حل انواع مسایل پوشش، از اکثر روش های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک، استفاده می شود [۵۰]، ولی برای

۵. جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهاد

در این مقاله، یک مدل برای مکانیابی پوشش سلسله مراتبی، مبتنی بر پوشش تدریجی و دارای شعاع پوشش متغیر، ارائه شد که برای هر تعدادی از سطوح تسهیلات قابل تعمیم و استفاده است. همچنین یک روش حل، بر اساس روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوع برای حل مدل پیشنهادی ارائه گردید. برای بیان صحت عملکرد روش حل، بطور جداگانه مثال های تصادفی حل شد که عملکرد روش حل را بطور نسبی

حل مدل ارائه شده در این مقاله، از یک روش ابتکاری استفاده شد، که در آن، بهبود راه حل اولیه تولید شده، مبتنی بر روش فراابتکاری جستجوی ممنوع حریمانه است. قطعاً انجام یک بررسی جامع، نظیر تحقیق صورت گرفته در [۵۱] برای مقایسه

دقیق تاثیر روش فراابتکاری بر کیفیت راه حل‌های مساله مکانیابی پوشش سلسله مراتبی که در این مقاله ارائه شده است، می‌تواند بعنوان تحقیقات آتی، فرایند حل را بهبود بخشد.

پیوست ۱. عدم قطعیت‌ها و ریسک پروژه‌های سازمان مورد مطالعه

شرح	منشأ ریسک	شرح عدم قطعیت	شرح ریسک	تأثیر ریسک
عدم قطعیت‌های ناشی از مسائل فنی، تکنولوژیکی و الزامات پروژه	<ul style="list-style-type: none"> • ضرورت به کارگیری فناوری‌های جدید • منحصر به فرد بودن پروژه 	فقدان تجربه	<ul style="list-style-type: none"> • بروز اشکالات فنی غیر منتظره در اجرای پروژه 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه • عدم دستیابی به کیفیت مورد نیاز
	<ul style="list-style-type: none"> • به کارگیری فناوری و روش‌های اجرایی جدید • عدم تجربه قبلی • پیچیدگی‌های فنی در محصول مورد انتظار از اجرای پروژه 	عدم تعریف درست محدوده پروژه	<ul style="list-style-type: none"> • تعریف نادرست از محصول پروژه و در نتیجه برنامه‌های کاری موجود 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه • عدم دستیابی به کیفیت مورد نیاز
	<ul style="list-style-type: none"> • عدم تجربه قبلی اجرای پروژه مشابه توسط کارشناسان شرکت • عدم قطعیت در متناسب بودن دانش فنی کارشناسان مرتبط با میزان دانش مورد نیاز 	عدم قطعیت در میزان دانش عمومی و تخصصی منابع انسانی	<ul style="list-style-type: none"> • بروز اشکالات فنی 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه • تغییر محدوده پروژه • عدم دستیابی به کیفیت مورد نیاز
	<ul style="list-style-type: none"> • ضرورت همگام بودن با تغییرات جهانی در صنعت مرتبط • عدم قطعیت در استراتژی‌های کلان نهادهای بالادست • عدم قطعیت در تهدیدهای خارجی 	تغییر اولویت پروژه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • تغییر اولویت پروژه‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش یا کاهش زمان و هزینه • تغییر محدوده پروژه • عدم دستیابی به کیفیت مورد نیاز
عدم قطعیت‌های مرتبط با هزینه و بودجه پروژه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • عدم دقت کافی در برآورد هزینه در اکثر پروژه‌ها • نامعلوم بودن میزان تخصیص بودجه به پروژه و زمانبندی آن 	عدم قطعیت در بودجه پروژه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش یا کاهش هزینه‌های مورد نیاز پروژه 	<ul style="list-style-type: none"> • تغییر زمان و هزینه • عدم دستیابی به کیفیت مورد نیاز • توقف یا حذف پروژه
	<ul style="list-style-type: none"> • عدم قطعیت در درآمدهای ارزی دولت • نامعلوم بودن بودجه وزارت مربوط و شرکت‌های زیرمجموعه 	تغییر در میزان بودجه سالیانه کشور و وزارت مربوط	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش یا کاهش هزینه‌های مورد نیاز پروژه 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش یا کاهش زمان و هزینه • متوقف شدن یا حذف پروژه
عدم قطعیت‌های مرتبط با سازمان پروژه	<ul style="list-style-type: none"> • محدود بودن افراد توانمند در مدیریت و اجرا • عدم تجربه قبلی 	تغییر افراد کلیدی در تیم اجرای پروژه	<ul style="list-style-type: none"> • تغییر افراد کلیدی و کاهش هماهنگی بین تیم اجرایی پروژه 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان • افزایش هزینه
	<ul style="list-style-type: none"> • عدم تناسب ساختار سازمانی موجود با ساختار پروژه ای 	عدم قطعیت در ساختار سازمانی	<ul style="list-style-type: none"> • اعمال نظر شخصی برخی از مدیران ارشد 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه
	<ul style="list-style-type: none"> • بوروکراسی فعلی سازمان و شرکتها • تعدد شرکت‌ها و سازمانهای بالادست 	عدم قطعیت در ارتباط با سازمانها	<ul style="list-style-type: none"> • عدم دسترسی به اطلاعات مورد نیاز در زمان مناسب 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه
	<ul style="list-style-type: none"> • عدم تجربه قبلی • ضرورت به کارگیری فناوری و روشهای اجرایی جدید 	عدم قطعیت در برآورد زمان پروژه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • عدم اجرای پروژه مطابق برنامه زمانبندی 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش یا کاهش زمان و هزینه

<ul style="list-style-type: none"> • ضرورت به کارگیری فناوری‌های جدید و نیاز به خرید دانش فنی مورد نیاز در برخی از پروژه‌ها • عدم تجربه قبلی و شرایط سیاسی و روابط بین المللی 	<ul style="list-style-type: none"> • عدم قطعیت در نحوه همکاری با شرکتهای خارجی 	<ul style="list-style-type: none"> • عدم دستیابی به دانش فنی مورد نیاز و تغییر استراتژی‌های قراردادی 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه • تغییر استراتژی قرارداد و عدم دستیابی به مشخصات فنی مورد انتظار 	<p>قراردادها</p>
<ul style="list-style-type: none"> • شرایط سیاسی و روابط بین المللی • تغییر استراتژی کشورهای همکار، دولت • تغییر استراتژی سایر سازمانهای مرتبط 	<ul style="list-style-type: none"> • تغییر استراتژیهای داخلی و خارجی 	<ul style="list-style-type: none"> • عدم ثبات در همکاری با کشورهای خارجی همکار 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان و هزینه • تغییر محدوده پروژه • عدم دستیابی به کیفیت 	<p>عدم قطعیت‌های مرتبط با قوانین، مقررات و قراردادها</p>
<ul style="list-style-type: none"> • تغییرات آب و هوا، طوفان، سیل و زلزله 	<ul style="list-style-type: none"> • عدم قطعیت‌های شرایط جغرافیایی 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان پروژه به دلیل ناملايمات جوی 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش زمان پروژه 	<p>عدم قطعیت‌های ناشی از روابط سیاسی و شرایط جغرافیایی</p>

پیوست ۲. فهرست ریسک‌های معمول در پروژه‌های سازمان

شرح ریسک	منابع و مراجع مورد استفاده						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱-۱ نیازها و الزامات :							
۱ عدم قطعیت در ویژگی‌های محصولات مورد نیاز	✓			✓			
۲ عدم دسترسی به داده‌ها و اطلاعات فنی	✓			✓			
۳ بی دقتی یا کم دقتی پرسنل در اجرای پروژه	✓			✓			
۴ تغییر اهداف پروژه و یا اولویت آنها	✓	✓		✓			
۵ عدم وضوح در الزامات تعیین شده توسط مشتری	✓			✓			
۶ ناپایداری خواسته‌های مشتریان	✓			✓			
۷ ناپایداری خواسته‌های سازمان بالادست	✓			✓			
۸ عدم قطعیت در خواسته‌های سازمان و شرکت‌های زیرمجموعه	✓			✓			
۹ کمیاب شدن مواد و تجهیزات مورد نیاز							✓
۱۰ تأخیر در تأیید سفارش‌های مورد نیاز				✓			✓
۱۱ خرابی ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز	✓						
۲-۱ فنی و تکنولوژی :							
۱ عدم قطعیت در مشخصات فنی	✓			✓			
۲ تغییر و یا اصلاحات طراحی در طول اجرای پروژه	✓	✓		✓			
۳ عدم قطعیت در مفروضات فنی و تکنیکی پروژه	✓			✓			
۴ ایجاد مشکل موقع به کارگیری روش‌های اجرایی جدید	✓	✓		✓			
۵ ارزیابی نادرست فناوری‌ها، روش‌ها، مراحل و وسایل ساخت	✓	✓		✓			
۶ منسوخ شدن تکنولوژی مورد استفاده							✓

							خطاهای ساخت	۷
✓		✓					عدم قطعیت در استانداردهای محصول پروژه	۸
✓		✓					عدم قطعیت در پشتیبانی فنی شرکت‌های طرف قرارداد	۹
					✓	✓	عدم قطعیت در آمدگی بهره برداری از محصول پروژه	۱۰
				✓			بهره برداری نامناسب مشتری از محصول پروژه	۱۱
✓							بروز اشکال در اثر تعجیل در شروع اجرای پروژه	۱۲
							۲. ریسک‌های هزینه، بودجه و بازار	
							۱-۲. هزینه، بودجه و تأمین مالی :	
✓							عدم عرضه صحیح اطلاعات مالی	۱
		✓	✓	✓	✓	✓	عدم قطعیت در نرخ ارز	۲
		✓	✓		✓		عدم قطعیت در نرخ تورم	۳
		✓		✓			عدم جریان نقدینگی لازم شرکت‌های پیمانکار	۴
✓		✓	✓			✓	عدم قطعیت در تخصیص به موقع بودجه	۵
✓							هزینه کردن بودجه‌ها برای دیگر مقاصد شرکت	۶
✓						✓	کاهش قیمت نفت	۷
						✓	عدم تأمین مالی پروژه توسط اسپانسرها	۸
							ریسک‌های بازار :	۲-۲
✓		✓	✓	✓	✓	✓	عدم قطعیت در دسترسی به مواد اولیه	۱
✓					✓		افزایش بیش از حد انتظار قیمت مواد و تجهیزات	۲
✓			✓	✓	✓	✓	عدم قطعیت در تقاضای مصرف کننده	۳
			✓	✓	✓	✓	افزایش یا کاهش رقابت	۴
			✓	✓	✓	✓	عدم قطعیت در همکاری فروشندگان داخلی	۵
✓			✓	✓	✓	✓	عدم قطعیت در همکاری فروشندگان خارجی	۶
		✓		✓			فروش نرفتن محصولات پروژه	۷
✓			✓	✓			انصراف مشتری‌های پروژه از خرید محصول پروژه	۸
✓							تولید محصولات مشابه با قیمت ارزان تر توسط رقبای داخلی	۹
✓							تولید محصولات مشابه با قیمت ارزان تر توسط رقبای خارجی	۱۰
							۳. ریسک‌های سازمان پروژه	
							۱-۳. مدیریت پروژه :	
✓	✓	✓	✓		✓	✓	عدم قطعیت در برآورد زمان فعالیت‌ها	۱
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	عدم قطعیت در برآورد هزینه فعالیت‌ها	۲
✓			✓		✓	✓	عدم قطعیت در برنامه کیفیت مورد نیاز محصولات	۳
✓			✓				تغییر برنامه‌های کاری	۴
✓				✓	✓		عدم کفایت یکپارچگی در تیم مدیریت پروژه	۵
✓			✓		✓		کنترل نامناسب پروژه‌ها	۶
			✓	✓	✓		ناسازگاری اهداف با یکدیگر	۷
✓							هماهنگی نامناسب با شرکت‌ها و سازمان‌های دیگر	۸
✓						✓	کناره گیری اشخاص کلیدی از پروژه	۹
✓	✓			✓	✓	✓	فقدان نیروی انسانی لازم در اجرای پروژه	۱۰
						✓	بروز تنش‌های کاری تأثیرگذار	۱۱
							ریسک‌های ساختاری :	۲-۳
✓							تغییر آیین نامه‌ها و بخش نامه‌های داخلی سازمان	۱
✓			✓	✓		✓	تغییر ساختار سازمانی	۲
✓	✓	✓		✓			ابهام در شرح وظایف و اختیارات	۳
✓			✓	✓	✓	✓	تغییر رویه‌های داخلی شرکت یا سازمان	۴

✓				✓			۵	عدم قطعیت در ثبات شغلی پرسنل شرکت
							۳-۳	اطلاعات و ارتباطات :
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۱	فقدان ارتباط یا ارتباط ناکافی میان زیر پروژهها
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۲	هماهنگی نامناسب با سایر معاونتها و بخشهای داخلی
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۳	هماهنگی نامناسب با سایر شرکت‌های زیرمجموعه سازمان
✓		✓	✓	✓	✓		۴	ارتباط نامناسب با سازمان‌ها و شرکت‌های دیگر
✓		✓	✓	✓	✓		۵	ارتباط نامناسب با شرکت‌های خارج از کشور
✓		✓	✓	✓	✓		۶	ارتباط نامناسب با کارشناسان خارج از کشور
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۷	عدم هماهنگی بین منابع انسانی مرتبط با پروژه
✓		✓	✓	✓	✓		۸	عدم دسترسی به اطلاعات مورد نیاز در زمان مورد نیاز
							۴	ریسک‌های قانونی و قراردادی
							۱-۴	قوانین و مقررات خارج از سازمان :
	✓	✓	✓	✓			۱	تغییر قوانین زیست محیطی
		✓	✓	✓			۲	تغییر رویه اخذ مجوزهای مورد نیاز
✓		✓	✓	✓			۳	تغییر آیین نامه‌ها از سوی سازمان بالادست و وزارت
		✓	✓	✓			۴	تغییر مصوبات دولت
							۲-۴	قراردادهای داخل کشور :
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۱	عدم قطعیت در توان شرکت‌های داخلی
✓				✓	✓		۲	ابهام در مفاد قرارداد و برداشت‌های متفاوت از آن
✓				✓	✓		۳	تغییر استراتژی‌های قراردادی
		✓	✓	✓	✓		۴	دعاوی پیمانکاران و شرکتهای طرف قرارداد
✓				✓	✓		۵	بی دقتی در تنظیم اسناد قراردادی
							۳-۴	قراردادهای خارج از کشور :
✓				✓	✓		۱	عدم ترخیص به موقع مواد، تجهیزات و ماشین آلات
					✓		۲	تغییر رویه‌های ترخیص کالا از گمرک
✓		✓	✓	✓	✓		۳	خرابی مواد، تجهیزات و ماشین آلات در اثر حمل
✓				✓	✓		۴	توقیف مواد و تجهیزات خریداری شده در خارج از کشور
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۵	عدم قطعیت در توان شرکت‌های خارجی
✓				✓	✓		۶	ابهام در مفاد قرارداد و برداشت‌های متفاوت از آن
✓				✓	✓		۷	تغییر استراتژی‌های قراردادی
		✓	✓	✓	✓		۸	دعاوی قراردادی شرکت‌های خارجی
✓				✓	✓		۹	بی دقتی در تنظیم اسناد قراردادی
							۵	ریسک‌های سیاسی و جغرافیایی
							۱-۵	ریسک‌های سیاسی و کشوری :
✓	✓			✓	✓		۱	تغییر استراتژی‌های کلان کشورهای همکار
✓			✓	✓	✓		۲	عدم ارتباط خوب با افراد مؤثر در داخل کشور
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۳	دیگته شدن برخی نظرها از خارج سازمان
✓				✓	✓		۴	احتمال خریدهای اجباری و سفارش شده
✓							۵	تحریم
✓							۶	تهدید
✓	✓	✓	✓	✓	✓		۷	تغییر استراتژی‌های دولت
✓		✓	✓	✓	✓		۸	تغییر وزیر یا وزرای مربوط به پروژه
✓		✓	✓	✓	✓		۹	تغییر استراتژی سایر سازمانهای دولتی
							۲-۵	شرایط جغرافیایی :
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۱	شرایط نامناسب آب و هوا

✓	✓	عدم قطعیت در کیفیت خاک	۲
✓	✓	✓	✓
	✓	طوفان، سیل و زلزله	۳
		✓	✓
		ریسک‌های ناشی از سختی کار محیطی و منطقه ای	۴

[6] Plastria F. Continuous covering location problems. In Z. Drezner, H. W. Hamacher (Eds.), Facility location: Applications and theory (2002), pp. 37–79.

[7] Sahin G, Sural H. A review of hierarchical facility location models, Computers & Operations Research, (2007), Vol. 34, No. (8), pp. 2310–2331.

[8] Megiddo N, Zemel E, Hakimi S. L. The maximum coverage location problems, SIAM Journal of Algebraic and Discrete Methods, (1983), Vol. 4, pp. 253–261.

[9] ReVelle C. The maximum capture or 'sphere of influence' location problem: Hotelling revisited on a network, Journal of Regional Science, (1986), Vol. 26, pp. 343–357.

[10] Berman, O. The p-maximal cover – p-partial center problem on networks, European Journal of Operational Research, (1994), Vol. 72, pp. 432–442.

[11] Espejo LGA, Galvao RD, Boffey B. Dual-based heuristics for a hierarchical covering location problem, Computers and Operations Research, (2003), Vol. 30, No. (2), pp. 165–180.

[12] Mandell MB. Covering models for two-tiered emergency medical services systems, Location Science, (1998), Vol. 6, No. (1), pp. 355–368.

[13] Teixeira JC, Antunes AP. A hierarchical location model for public facility planning, European Journal of Operational Research, (2008), Vol. 185, No. (1), pp. 92–104.

[14] Jung Man Lee, Young Hoon Lee. Tabu based heuristics for the generalized hierarchical covering location problem, Computers & Industrial Engineering, (2010), Vol. 58, pp. 638–645.

[15] Narula SC. Hierarchical location-allocation problems: a classification scheme, European Journal of Operational Research, (1984), Vol. 15, No. (1), pp. 93–99.

پی‌نوشت

1. Set Covering Location Problem
2. Maximum Covering Location Problem
3. Health-care systems
4. Solid waste management systems
5. Production-distribution systems
6. Hierarchical Covering Location Problem
7. Generalized Hierarchical Covering Location Problem
8. MEXCP: Maximum Expected Covering Problem
9. Cooperative coverage
10. Single-Flow
11. Multiple-Flow
12. Nested
13. Non-Nested
14. Coherent
15. Non-Coherent
16. Flow-based
17. Assignment-based
18. Coverage-based
19. Attachment-Investment

مراجع

- [1] Bashiri M, Hoseini Jou SA, Hoseini Zhad, SJ. Facility Planning (Location & Layout), Shahed University, (2008).
- [2] Francis RL, White JA. Facility layout and location an analytical approach (1st ed.), Englewood Cliffs, NJ, US: Prentice-Hall, (1974).
- [3] Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman, L. The location of emergency services facilities, Operations Research, Vol. 19, pp. 1363-1373.
- [4] Schilling DA, Jayaraman V, Barkhi R. A review of covering problem in facility location, Location Science, (1993), Vol. 1, No. (1), pp. 25–55.
- [5] Current JR, O'Kelly M. Locating emergency warning sirens, Decision Sciences, (1995), Vol. 23, No. (1), pp. 221–234.

- Mathematical Programming, (2004), Vol. 100, pp. 247–265.
- [27] Fernandez J, Pelegrin B, Plastria F, Toth B. Solving a huff-like competitive location and design model for profit maximization in the plane, *European Journal of Operational Research*, (2007), Vol. 179, pp. 1274–1287.
- [28] Aboolian R, Berman O, Krass D. Competitive facility location and design problem, *European Journal of Operational Research*, (2008), Vol. 182, pp. 40–62.
- [29] Zarinpur N, Shavandi H, Bagherinejad J. Extension of the Maximal Covering Location-Allocation Model for Congested System in the Competitive and User-Choice Environment, *IJIEPM*, (2012), Vol. 22, No. (4), pp. 393-404.
- [30] Berman O, Drezner Z, Krass D. Generalize coverage: New developments in covering location models, *Computer & Operations research*, (2010), Vol. 37, pp. 1675-1687.
- [31] Schilling D, Elzinga DJ, Cohon J, Church R, ReVelle C. The team/fleet models for simultaneous facility and equipment siting, *Transportation Science*, (1979), Vol. 13, pp. 163–75.
- [32] Charnes A, Storbeck J. A goal programming model for the siting of multilevel EMS systems, *Socio-Economic Planning Science*, (1980), Vol. 14, pp. 155-161.
- [33] Moore GC, ReVelle C. The hierarchical service location problem, *Management Science*, (1982), Vol 28(7), pp. 775–780.
- [34] Ruefli TW, Storbeck J. Behaviorally linked location hierarchies, *Environment and Planning*, (1982), Vol. 9, pp. 257–268.
- [35] Current JR, ReVelle CS, Cohon JL. The hierarchical network design problem, *European Journal of Operation research*, (1986), Vol. 27, pp. 57-66.
- [36] Church RL, Eaton DJ. Hierarchical location analysis using covering objectives. In: Ghosh A, Rushton G. (Eds.), *Spatial Analysis and Location–Allocation Models*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, (1987), pp. 163–185.
- [16] Galvao RD, Espejo LGA, Boffey B. A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the municipality of Rio de Janeiro, *European Journal of Operational Research*, (2002), Vol. 138, No. (3), pp. 495–517.
- [17] Aardal K, Labbe M, Leung J, Queyranne M. On the two-level uncapacitated facility location problem, *INFORMS Journal on Computing*, (1996), Vol. 8, No. (3), pp. 289–301.
- [18] Berman O, Drezner Z, Krass D. The variable radius covering problem, *European Journal of Operational Research*, (2009), Vol. 196, pp. 516-525.
- [19] Daskin MS, Stern EH. A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment, *Transportation Science*, (1981), Vol. 15, pp. 137–152.
- [20] Church R, Eaton DJ., Hierarchical location analysis using covering objectives, In: Gosh A, Rushton G, editors. *Spatial analysis and location–allocation models*, New York: Van Nostrand Reinhold, (1987).
- [21] Batta R, Dolan J, Krishnamurthy N. The maximal expected covering location problem: Revisited, *Transportation Science* (1989), Vol. 23, pp. 277–287.
- [22] Berman O, Krass D. The generalized maximum covering location problem, *Computers & Operation Research*, (2002), Vol. 29, pp. 563-581.
- [23] Berman O, Krass D, Drezner Z. The gradual covering decay location problem on a network, *European Journal of Operational Research*, (2003), Vol. 151, pp. 474-480.
- [24] Drezner Z, Wesolowsky GO, Drezner T. The gradual covering problem, *Naval Research Logistics*, (2004), Vol. 51, pp. 841–855.
- [25] Berman O, Drezner Z, Krass D. The variable radius covering problem, *European Journal of Operational Research*, (2009), Vol. 196, pp. 516-525.
- [26] Plastria F, Carrizosa E. Optimal location and design of a competitive facility,

- Operational Research Society, (2011), Vol 208, pp. 233–238.
- [47] O’Hanley JR, Church RL. Designing robust coverage networks to hedge against worst-case facility losses’, *European Journal of Operational Research*, (2011), Vol. 209, pp. 23–36.
- [48] Karasakal O, Karasakal EK. A maximal covering location model in the presence of partial coverage, *Computers and Operations Research*, (2004), Vol. 31, pp. 1515–1526.
- [49] Eydi A, Mirakhorli A. Hybrid Heuristic Method Based on Genetic Algorithm for the Hub Covering Problem under Fuzzy Environment, *IJIEPM*, (2012), Vol. 23, No. (2), pp. 161-173.
- [50] Zare Mehrjerdi Y, Rasay H. Comparison of Metaheuristic Techniques for Portfolio Optimization under Semi-Variance Risk Criterion using t-test, *IJIEPM*, (2013), Vol. 24, No. (2), pp. 141-153.
- [37] Gerrard RA, Church RL. A generalized approach to modeling the hierarchical maximal covering location problem with referral, *Papers in Regional Science*, (1994), Vol. 73, pp. 425–453.
- [38] Serra D. The coherent covering location problem, *The Journal of the Regional Science Association International*, (1996), Vol. 75, pp. 79-101.
- [39] Desai A, Storbeck J. Characterization of the constraint in successively inclusive location hierarchies, *Environment and Planning*, (1988), Vol. 15, pp. 131-141.
- [40] Serra D, Marianov V, ReVelle C. The maximum capture hierarchical problem, *European Journal of Operational Research*, (1992), Vol. 62, No. (3), pp. 363-371.
- [41] Gerrard RA, Church RL. A generalized approach to modeling the hierarchical maximal covering location problem with referral, *Papers in Regional Science*, (1994), Vol. 73, pp. 425-453.
- [42] Marianov V, Serra D. Hierarchical location-allocation models for congested systems, *European Journal of Operational Research*, (2001), Vol. 135, pp. 195-208.
- [43] Jayaraman V, Gupta R, Pirkul H. Selecting hierarchical facilities in a service-operations environment, *European Journal of Operational Research*, (2003), Vol. 147, No. (3), pp. 613-628.
- [44] Jia H, Ordonez F, Dessouky MM. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies, *Computers and Operations Research*, (2007), Vol. 52, pp. 257–276.
- [45] Oztekin A, Pajouh FM, Delen D, Swim LK. An RFID network design methodology for asset tracking in healthcare, *Decision Support Systems*, (2010), Vol. 49, pp. 100–109.
- [46] Berman O, Wang J. The minmax regret gradual covering location problem on a network with incomplete information of demand weights, *European Journal of*