مجله علمی-پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل»
سال دوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰: ص ۱۶۷- ۱۶۱

# مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی تسهیلات حساس با ملاحظه اصل پراکندگی

**مهدی کرباسیان[۱*]، مهدی دشتی[۲]، احمدرضا اسداللهی[۳]**

۱- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان
۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد تهران
۳- کارشناس ارشد، دانشکده مجازی، دانشگاه اصفهان
(دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۰۹، پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۱۰)

**چکیده**

یکی از اهداف تعریف شده در علم مکان‌یابی، حداکثرسازی پراکندگی است. در این‌گونه مسائل، هدف حداکثرسازی فاصله بین تسهیلات با توجه به محدودیت‌های موجود می‌باشد. این مسائل در مواردی چون مکان‌یابی ایستگاه‌های رادیویی، مدارس، نمایندگی‌های فروش و به طور کلی مکان‌یابی تسهیلات حساس و مهم با درنظر گرفتن اصول پدافند غیرعامل کاربردهای زیادی دارند. از سوی دیگر، تسهیلاتی که بر اساس اصول پدافند غیرعامل باید نسبت به یکدیگر پراکنده شوند، باید در مکان‌هایی که استقرار می‌یابند بتوانند ماموریت خود را به درستی انجام دهند و ضریب خطای آنها کاهش یابد. برای درنظر گرفتن این موضوع (کارآیی نقاط کاندید و کاهش ضریب خطا)، پیشنهاد می‌شود از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شود. در این مقاله مدل جدید چند هدفه‌ای برای مکان‌یابی تسهیلات حساس و مهم با درنظر گرفتن اصول پدافند غیرعامل و کارآیی نقاط کاندید ارائه می‌شود که این مدل با روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل شده است.

**کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، پراکنده‌سازی تسهیلات، تحلیل پوششی داده‌ها، برنامه‌ریزی آرمانی فازی.**

# A Combination Model of DEA and Facility Location Model for Important Facilities Considering Dispersion Principle

**M. Karbasian[1*], M. Dashti [2], A. R. Asadollahi [3]**

Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology

*(Received:02/28/2011 , Accepted:11/01/2011 )*

**Abstract**

*One of the objectives defined in the facility location problem is the maximum dispersing facility location. In these issues, the goal is maximizing the distance between the facilities according to the available constraints. In some cases these issues use the location of radio stations, schools, sales representatives and general location with sensitive facilities which have much application in passive defense principles. On the other hand, the facilities operating one principle of passive defense should be dispersed. Therefore, they should be established in a place where they can gain their mission correctly. As a result, the coefficient errors are reduced. Considering this issue (coefficient of performance and reduced error of candidate points), we suggest Data Envelopment Analysis with the criteria to choosing locations with efficient distribution model. So, in this paper a new multi-objective model for locating critical and important facilities considering passive defense principles is presented.*

**Keywords**: Passive Defense, Dispersion Facilities, Data Envelopment Analysis, Fuzzy Goal Programming.

[1] Corresponding author E-mail: mkarbasi@mut-es.ac.ir


Archive of SID
www.SID.ir

## ۱. مقدمه

مکان‌یابی یکی از شاخه‌های مهندسی صنایع است که توجه به آن سبب کاهش هزینه‌ها و موفقیت واحدهای صنعتی می‌شود. مکان‌یابی مراکز (مکان‌یابی ساختمان‌ها و ...) را انتخاب مکان برای یک یا چند مرکز، با در نظر گرفتن سایر مراکز و محدودیت‌های موجود می‌دانند به‌گونه‌ای که هدف ویژه‌ای بهینه شود. این هدف می‌تواند هزینه حمل و نقل، ارائه خدمات عادلانه به مشتریان، در دست گرفتن بزرگ‌ترین بازار و غیره باشد.

تا آنجا که ممکن است باید از ایجاد تاسیسات حیاتی و حساس در دشت‌های مسطح یا نسبتا هموار اجتناب کرد، زیرا تاسیسات احداث شده در چنین محل‌هایی را نمی‌توان از دید دشمن مخفی کرد. ایجاد تاسیسات حیاتی و حساس در کنار بزرگراه‌ها، جاده‌های اصلی، کنار سواحل دریا، رودخانه‌ها و نزدیکی مرزها موجب سهولت شناسایی و هدف‌یابی آسان آنها توسط دشمن می‌گردد. مطالعات مرسوم «مکان‌یابی صنعتی» به انتخاب مناسب‌ترین مکان برای استقرار یک پروژه صنعتی مشخص می‌پردازد. شاخص‌های ویژه مکان‌یابی (منطبق بر پدافند غیرعامل) به‌صورت زیر می‌باشند:

۱- ماموریت[1]: امکان اجرای ماموریت در مکان تعیین شده باشد.

۲- پراکندگی[2]: گسترش، باز و پخش نمودن و تمرکززدایی نیروها، تجهیزات، تاسیسات یا فعالیت‌های خودی، به منظور تقلیل آسیب‌پذیری آن‌ها در مقابل تهدیدات، به‌طوریکه مجموعه‌ای از آن‌ها هدف واحدی را تشکیل ندهند.

۳- شکل عوارض و محیط[3]: مکان انتخابی به‌گونه‌ای باید باشد که احداث تاسیسات و استقرار تجهیزات تا جایی که ممکن است باعث به‌هم خوردگی شکل طبیعی زمین نشده، ضمن هم‌رنگی با عوارض محیطی (روستایی، کویری، کوهستانی، جنگلی، شهری) حفظ شود.

به‌عنوان مثال، در هنگام ساخت پالایشگاه، محل ذخیره سوخت به ویژه بنزین به نوعی انتخاب می‌گردد که در صورت برخورد یک موشک یا بمب به آن و تخریب مخزن، تمامی پالایشگاه به آتش کشیده نشود، یا هنگام طراحی و ساخت جاده برای نقاط کلیدی مسیر از قبیل تونل و پل‌های بزرگ و اساسی مسیرهای جایگزین تعیین می‌شود، یا مجتمع‌های دفاعی به گونه‌ای مکان‌یابی می‌گردند که در صورت اصابت موشک و بمب به آنها آلودگی ناشی از آنها محیط زیست و مناطق اطراف را آلوده ننماید.

انجام مطالعات مکان‌یابی درست و مناسب، علاوه بر تاثیر اقتصادی بر عملکرد واحد صنعتی، اثرات اجتماعی، محیط‌زیستی، فرهنگی و اقتصادی در منطقه محل احداث خود خواهد داشت که نیازمند تخصص‌هایی از جمله: تحقیق در عملیات، روش‌های تصمیم‌گیری، جغرافیا (زمین‌شناسی و آب و هوا)، اقتصاد مهندسی، علوم کامپیوتر، ریاضی، بازاریابی، طراحی شهر و موارد گوناگون دیگری است. در ضمن ویژگی‌های منطقه‌ای نیز به عنوان عوامل کلیدی موثر در تعیین محل در مسایل مکان‌یابی محسوب می‌شوند.

## ۲. بررسی مدل‌های پراکندگی موجود

یکی از اهداف تعریف شده در علم مکان‌یابی، حداکثرسازی پراکندگی است. تسهیلات می‌توانند برای یک پهنه وسیع شامل دور نگه‌داشتن رقبا در یک سیستم یکسان نمایندگی (فرانشیز)، پراکنده‌سازی تسهیلات بازپروری بزهکاران نسبت به مراکز جمعیتی و مکان‌یابی نیروگاه‌های اتمی به طوریکه حداکثر امنیت فراهم شود، پراکنده شوند. به‌علاوه، معمول‌ترین کاربرد مدل‌های پراکندگی برای مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب و مکان‌یابی تسهیلات بر مبنای اصول پدافند غیرعامل است[۲و۱].

در موضوع مکان‌یابی، تسهیلات به دو دسته تسهیلات مطلوب و نامطلوب تقسیم می‌شوند. تسهیلات نامطلوب نیز به دو دسته تسهیلات مهلک و مضر تقسیم شده است. تسهیلات مهلک[4] تسهیلاتی هستند که بعضی خطرات جانی را برای جمعیت به همراه دارند. نمونه‌هایی از تسهیلات مهلک عبارتند از: نیروگاه‌های ذغال سنگی، نیروگاه‌های اتمی، مکان‌های ذخیره زباله‌های خطرآفرین، تانک‌های ذخیره نفت، ذاغه‌های مهمات، محل دفن و مکان‌های سوزاندن زباله‌ها. تسهیلات مضر[5] نیز تسهیلاتی هستند که به نظر نمی‌رسد خطرات جانی برای جمعیت ایجاد کنند، اما ممکن است نتایج زیان‌آور اجتماعی و اقتصادی مرتبط با مکان و عملیات را داشته باشند. نمونه‌هایی از تسهیلات مضر عبارتند از: زندان‌ها، فعالیت‌های تولیدکننده با صدای زیاد، مراکز خدمات عمومی و مراکز توانبخشی[۳].. مضر بودن ممکن است به خاطر عدم سازگاری بین تسهیل و جمعیت محلی بر مبنای تضاد ایدئولوژیکی و رفتاری باشد. گاهی تسهیلات نامطلوب ممکن است هم ویژگی‌های تسهیلات مضر و هم تسهیلات مهلک را داشته باشند[۵و۴].

از چندین روش شناخته شده برای تعیین مقدار بهینه پراکندگی، ممکن است یک روش انتخاب شود. ارکات و نیومن[6] در سال ۱۹۹۰ بین مدل‌های پراکندگی، بر مبنای روش تعریف حداکثر پراکندگی مقایسه‌هایی انجام داده‌اند[۶]. آنها یک نامگذاری قراردادی ۳ جزئی برای تمایز بین انواع مختلف پراکندگی به‌کار گرفتند. در این قرار داد، اولین جزء برای همه مدل‌ها Max می‌باشد که نشان می‌دهد تمام مدل‌ها به دنبال حداکثر کردن مقدار پراکندگی بین مکان‌های انتخاب شده می‌باشند. جزء دوم و سوم می‌توانند Sum یا Min باشند.

[1] Mission
[2] Dispersion
[3] Terrain Pattern
[4] Noxious
[5] Obnoxious
[6] Erkut, Neuman

Archive of SID

www.SID.ir

در جزء دوم عملگر Sum یک ارتباط با عملکرد کلی سیستم را نشان می‌دهد، در حالی‌که عملگر Min یک ارتباط برای عملکرد بدترین مورد را نشان می‌دهد. در جزء سوم Sum یا Min به ارتباطات بین تسهیلات مورد نظر برای هر تسهیل اشاره می‌کند. وقتی که عملگر Min استفاده می‌شود، تابع هدف توسط حداقل فاصله بین هر تسهیل و هر یک از همسای‌های خود محدود می‌شود. عملگر Sum مجموع فاصله بین تسهیل و سایر تسهیلات را محدود می‌کند. به عبارت دیگر، علائم و اختصارات بیان می‌کنند که می‌خواهند جمع یا حداقل (عملگر سوم) جمع یا حداقل فواصل بین تسهیلات (عملگر دوم) را حداکثر (عملگر اول) کنند. در ادامه به معرفی انواع مسائل پراکندگی تسهیلات پرداخته می‌شود.

### ۲-۱. مسئله پراکندگی MaxMinMin

اولین مورد مسئله MaxMinMin است که به دنبال حداکثر کردن فاصله بین ۲ تسهیل مکان‌یابی شده، می‌باشد. این مسئله در ادبیات موضوع به‌عنوان مسئله p پراکندگی معرفی شده است و ابتدا به عنوان یک تعمیم از مسئله p مرکز می‌باشد[۷و۸]. فرمول‌بندی‌های اضافه‌تری برای این مدل همراه با مثال‌هایی از کاربردها و روند حل آنها در ادبیات موضوع وجود دارد[۹]. در این مسئله فرض بر این است که مراکز کاندیدی برای نصب تسهیلات وجود دارد. هدف پیدا کردن P نقطه می‌باشد، به‌گونه‌ای که مینیمم فاصله بین محل قرارگیری تسهیلات، حداکثر شود. به عبارت دیگر فرد تصمیم‌گیر با داشتن تعداد تسهیلات و نقاط کاندید، نقاطی را انتخاب می‌کند که مینمم فاصله بین محل قرارگیری تسهیلات، حداکثر شود[۱۰].

### ۲-۲. مسئله پراکندگی MaxSumMin

تعریف دوم برای حداکثر پراکندگی تحت عنوان مسئله MaxSumMin در نظر گرفته می‌شود. این مسئله به دنبال پیدا کردن یک مجموعه پراکنده شده به شکل حداکثر است که با استفاده از جمع حداقل فاصله‌های بین تسهیلات مکان‌یابی شده انجام می‌گیرد. این مسئله در ادبیات موضوع، به عنوان مسئله p پدافند تعریف شده است و در مکان‌یابی تسهیلات براساس اصول پدافند غیرعامل کاربرد دارد[۷]. اندازه‌گیری عملکرد هنوز نیز بر مبنای حداقل فاصله بین یک تسهیل و هر یک از همسایه‌های خود می‌باشد.

### ۲-۳. مسئله پراکندگی MaxMinSum

هدف MaxMinSum با دو هدف قبلی متفاوت است، زیرا تنها حداقل فاصله بین یک تسهیل و نزدیک‌ترین همسایه‌اش را در نظر نمی‌گیرد، بلکه به‌جای آن، فاصله بین آن تسهیل و تمام تسهیلات دیگر را اندازه‌گیری می‌کند. این فاصله تحت عنوان فاصله قطبی[1] در نظر گرفته می‌شود. مسئله MaxMinSum در ادبیات موضوع شناخته شده نبود تا اینکه توسط ارکات و نیومن مورد بررسی قرار گرفت[۷].

### ۲-۴. مسئله پراکندگی MaxSumSum

هدف چهارم، متداول‌ترین روش اندازه‌گیری پراکندگی را مورد بررسی قرار می‌دهد که تاکنون ارائه شده است. مسئله MaxSumSum مفهوم فاصله قطبی را با مسئله MaxMinSum بر مبنای مفهوم حداکثرسازی جمع همه فواصل قطبی برای هر تسهیل به اشتراک می‌گذارد.

هم‌چنین تنها برای حداکثر کردن کوچک‌ترین مقدار این فواصل قطبی تلاش می‌کند. این مسئله ابتدا به‌عنوان یک بسط از مسئله ماکزیمم میانه یک تسهیل در شبکه شناخته شد و مسئله p-maxian نامیده شد که این مدل به‌عنوان یک تلاش برای مکان‌یابی p تسهیل به‌طور هم‌زمان به دور از یک دسته از نقاط و هم‌چنین به دور از همدیگر بررسی شده است[۱۱]. در مجموع مدل‌های پراکندگی ارائه شده توسط کوین و کورتین بر مبنای اهداف مختلفی پایه‌گذاری شده‌اند. در این مدل‌ها فرض بر این است که تسهیلات موجود وجود ندارند، درحالیکه در شرایط واقعی چنین نیست. به منظور رفع این نقصان، در مدل‌های پیشنهادی نقاط موجود نیز در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که ملاحظه شد از بین چهار مسئله پراکندگی، مسئله پراکندگی MaxSumMin برای مکان‌یابی تسهیلات براساس اصول پدافند غیرعامل کاربرد دارد (اصل پراکندگی در پدافند غیرعامل). اما پراکندگی یکی از شاخص‌های ویژه مکان‌یابی (منطبق بر پدافند غیرعامل) است و دو شاخص دیگر یعنی ماموریت و شکل عوارض و محیط در مدل‌های مکان‌یابی پراکندگی لحاظ نشده‌اند. برای افزودن این شاخص‌ها، می‌توان از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در غالب سنجش کارآیی هر مکان کاندید با یک سری ورودی و خروجی‌ها، استفاده نمود.

در سال‌های اخیر در اغلب کشورهای جهان برای ارزیابی عملکرد نهادها و دیگر فعالیت‌های رایج در زمینه‌های مختلف، کاربردهای متفاوتی از تحلیل پوششی داده‌ها[2] دیده شده است. علت مقبولیت DEA نسبت به سایر روش‌ها، امکان بررسی روابط پیچیده و اغلب نامعلوم بین چندین ورودی و خروجی است که در این فعالیت‌ها وجود دارد. هم‌چنین در طول سه دهه اخیر نیز مدل‌های مختلف DEA معرفی شده است. در ادامه به معرفی مدل تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها که در مدل‌های پیشنهادی استفاده شده است، پرداخته می‌شود و از توضیح دادن سایر مدل‌های DEA خودداری می‌شود.

[1] Hub Distance

[2] Data Envelopment Analysis (DEA)

Archive of SID

www.SID.ir

## ۳. تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها

در تحلیل پوششی داده‌ها، با فرض این که یک سیستم (واحد تصمیم‌گیری) تعدادی ورودی را به تعدادی خروجی تبدیل می‌کند، کارآیی به عنوان نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی سعی می‌شود کارآیی یک واحد نسبت به واحدهای دیگر ماکزیمم شود. باید توجه داشت که واحدهای مورد ارزیابی باید کاملا هم‌ارز باشند، به این معنی که دارای ورودی‌ها و خروجی‌های کاملا مشابه باشند[۱۳و۱۲]. گاهی به علت ازدیاد تعداد واحدهای تصمیم‌گیری، باید تعداد زیادی مدل برنامه‌ریزی خطی نوشت که پروسه حل مسئله بسیار وقت‌گیر خواهد بود، برای حل این مشکل، کلیمبرگ[1] در سال ۲۰۰۸ مدلی ارائه نمود که در آن متغیر جدیدی به نام $d_r$ (سطح ناکارآیی rامین واحد تصمیم‌گیر) تعریف و آن را در تابع هدف قرار داد[۱۴]. به این مدل، مدل تجمیع هم‌زمان می‌گویند که به‌صورت زیر است:

$$\max = \sum_{r=1}^{n}(1-d_r) \qquad (۱)$$

St:

$$\sum_{i=1}^{I} V_{ri} I_{ir} = 1 \qquad \forall r \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{J} U_{rj} O_{jr} + d_r = 1 \qquad \forall r \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J} U_{rj} O_{jr} - \sum_{i=1}^{I} V_{ri} I_{ir} \le 0 \qquad \forall r, \forall k \ (k \ne r) \qquad (۴)$$

$$U_{rj}, V_{ri} \ge \varepsilon \qquad \forall j, i, r \qquad (۵)$$

در این مدل، $O_{jr}$ نشان دهنده jامین خروجی واحد r و $I_{ir}$ نشان دهنده iامین ورودی واحد r است. متغیرهای مسئله، $d_r$، $U_{rj}$ و $V_{ri}$ هستند که به ترتیب نشان دهنده عدم کارآیی rامین واحد تصمیم‌گیر (DMU)، وزن خروجی jام و وزن ورودی iام واحد r می‌باشند.

## ۴. ارائه مدل ترکیبی جدید پراکندگی و تجمیع هم‌زمان

با بررسی مدل‌های ارائه شده در بخش‌های ۲ و ۳ و کاربرد هرکدام از مدل‌ها، کمبود یک مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی تسهیلات حساس با ملاحظه اصل پراکندگی احساس می‌شود، زیرا در مدل مکان‌یابی که براساس اصل پراکندگی است، کارآیی نقاط در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه فقط مشخصه مختصاتی هر مکان در انتخاب شدن یا نشدن آن براساس اصل پراکندگی موثر است. از این‌رو، برای در نظر گرفتن کارآیی نقاط باید از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و از بین مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، باید از مدل تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمود، زیرا این مدل کارآیی تمام نقاط کاندید را به‌صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد. هدف این مدل انتخاب p مکان از بین n محل کاندید است به‌گونه‌ای که حداقل فاصله بین آنها حداکثر و مکان‌هایی با کارآیی بالا انتخاب شود. در این قسمت مدل ترکیبی MaxMinMin، تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها و پوشش با درنظر گرفتن تسهیلات موجود، ارائه می‌شود. قبل از آن به معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم پرداخته می‌شود.

اندیس‌ها:

K = {1, . . . , n}، مجموعه نقاط کاندید است.

I = {1, . . . , m}، مجموعه ورودی‌های هر مکان کاندید (واحدهای تصمیم‌گیری) است.

J = {1, . . . , s}، مجموعه خروجی‌های هر مکان کاندید (واحدهای تصمیم‌گیری) است.

پارامترها:

$d_{kl}$: فاصله بین مکان $k$ و $l$ $((k,l) \in K)$

$M$: یک عدد دلخواه بزرگ که اغلب بزرگتر از بیشترین فاصله بین نقاط کاندید است

$\varepsilon$: عدد مثبت بسیار کوچک

$I_{ik}$: مقدار iامین ورودی مکان kام $(i \in I, k \in K)$

$O_{jk}$: مقدار jامین خروجی مکان kام $(j \in J, k \in K)$

P: تعداد تسهیلاتی که باید مکان‌یابی شوند

متغیرهای تصمیم:

$x_k$: یک متغییر صفر و یک می‌باشد (اگر تسهیل در مکان k قرار گیرد برابر با ۱، در غیر این صورت صفر است)

$e_k$: میزان عدم کارآیی مکان (واحد تصمیم گیری) kام

$V_{ki}$: وزن iامین ورودی مکان kام،

$U_{kj}$: وزن jامین خروجی مکان kام،

$D_k$: حداقل فاصله مکان کاندید kام از سایر تسهیلات مستقر شده

لازم به ذکر است در مدل ذیل، محدودیت‌های ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶ نسبت به مدل‌های تحقیقات پیشین جدید می‌باشند.

$$Max \sum_{k=1}^{n} D_k \qquad (۶)$$

$$Max \sum_{k=1}^{n} (1-e_k) \qquad (۷)$$

St:

$$D_k \le M x_k, \quad 1 \le k \le n, \qquad (۸)$$

$$D_k \le d_{kz} + M(1-x_z), \quad 1 \le k < z \le n, \qquad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^{m} V_{ki} I_{ik} = x_k \qquad \forall k \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{j=1}^{s} U_{kj} O_{jk} + e_k = x_k \qquad \forall k \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{j=1}^{s} U_{kj} O_{jz} - \sum_{i=1}^{m} V_{ki} I_{iz} \le 0 \qquad \forall k; \forall z (k \ne z) \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_k = p \qquad (۱۳)$$

[1] Klimberg

Archive of SID

www.SID.ir

$$U_{kj} \geq \varepsilon x_k \qquad \forall j,k \tag{۱۴}$$
$$V_{ki} \geq \varepsilon x_k \qquad \forall i,k \tag{۱۵}$$
$$U_{kj} O_{jk} \leq x_k \qquad \forall j,k \tag{۱۶}$$
$$x_k = 0,1 \qquad k = 1,\ldots,n$$

تابع هدف (۶) مجموع حداقل فاصله‌های بین تسهیلات مستقر شده را بیشینه می‌نماید. تابع هدف (۷) بیان می‌کند که مجموع کارآیی مکان‌های کاندید (واحدهای تصمیم‌گیری) باید حداکثر شود. محدودیت‌های (۸) تا (۹) مقدار حداقل فاصله بین تسهیلات را برای هر تسهیل تعیین می‌کند. مقدار $D_k$ برابر است با حداقل فاصله مکان کاندید kام از سایر تسهیلات مستقر شده. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که مقدار $D_k$ همواره برابر با صفر است، اگر تسهیلی در مکان kام قرار نگیرد ($x_k$=0). محدودیت (۹) تضمین می‌کند که مقدار $D_k$ یا مساوی با فاصله بین مکان kام و نزدیک‌ترین همسایه‌اش باشد ($x_z$=0). محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که مجموع موزون ورودی‌های واحدهای تصمیم‌گیر (DMU) kام برابر با متغیر صفر و یک $x_k$ باشد. این رابطه برای تمام واحدهای تصمیم‌گیر باید لحاظ شود. محدودیت (۱۱) میزان عدم کارآیی را به ازای مجموع موزون خروجی‌های DMU kام را نشان می‌دهد. این رابطه نیز برای تمام واحدهای تصمیم‌گیر باید لحاظ شود. محدودیت (۱۲) نشان می‌دهد که مجموع موزون خروجی‌ها باید کمتر از مجموع موزون ورودی‌های متناظر خودش باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که تعداد P تسهیل در مکان‌های کاندید قرار خواهند گرفت. محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) تضمین می‌کنند که وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها غیرمنفی باشند. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که خروجی موزون برای هر مکان و هر نوع خروجی، کمتر یا مساوی با متغییر صفر و یک باشد.

## ۵. یکپارچه‌سازی اهداف توسط FGP[1]

برنامه‌ریزی آرمانی اولین بار توسط کوپر و کارنز[2] در سال ۱۹۶۱ ارائه گردید. تصمیم‌گیرندگان برای اهداف خود سطوح تمایل قابل قبولی قرار می‌دهند و سعی می‌کنند تا حد امکان به آنها دست یابند. هدف برنامه ریزی آرمانی، حداقل نمودن انحرافات ما بین اهداف به‌دست آمده و سطوح تمایل قابل قبول است. در فرمولاسیون مرسوم برنامه-ریزی آرمانی، اهداف به صورت قطعی و دقیق مشخص شده‌اند، در نتیجه تصمیم‌گیرنده قادر است به طور دقیق مقادیر اهداف را برای مسائل تصمیم‌گیری تعیین کند. در حقیقت ممکن است بسیاری از سطوح تمایل غیردقیق و مبهم در مسائل تصمیم‌گیری همچون " تا حدودی بزرگ‌تر"، " اساسا کوچک‌تر" و یا "در حدود" وجود داشته باشند. هدف مبهم $g_k$ ناشی از درک مبهم تصمیم‌گیرندگان از ذات اهداف مورد بررسی می‌باشد. اگر سطح تمایل غیردقیق برای هر هدف بیان گردد، مسئله برنامه‌ریزی آرمانی به مسئله برنامه‌ریزی آرمانی فازی تبدیل می‌گردد. مجموعه جواب $X$ زمانیکه سطح تمایل $g_k$ برای هدف kام قرار داده شود، برای مسئله برنامه‌ریزی آرمانی فازی به دست می‌آید.

$$f_x(x) \gtrsim g_k \quad (f_x(x) \lesssim g_k) \quad k = 1,2,\ldots,n \tag{۱}$$
$$Subject\ to\ X \in F$$

مدل برنامه‌ریزی آرمانی با استفاده از رویکرد *Max-Min* به‌صورت ذیل بیان می‌گردد (زیمرمن، ۱۹۷۸)[3] [۱۵]:

$$Maximize \quad \lambda \tag{۲}$$
$$Subject\ to \quad \lambda - \mu_k(f_k(x)) \leq 0, \quad k = 1,2,\ldots,n \tag{۳}$$
$$X \in F$$

$\lambda$ یک متغیر پیوسته افزایشی است. $\mu_k(f_k(x))$ تابع عضویت هدف kام به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\mu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1, & f_k(x) \geq g_k, \\ \dfrac{(f_k(x)-l_k)}{g_k-l_k}, & l_k \leq f_k(x) \leq g_k \quad \forall f_x(x) \gtrsim g_k \\ 0, & f_k(x) \leq l_k. \end{cases} \tag{۴}$$

$$\mu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1, & f_k(x) \leq g_k, \\ \dfrac{(u_k(x)-f_k(x))}{u_k-g_k}, & g_k \leq f_k(x) \leq u_k \ \forall f_x(x) \lesssim g_k \\ 0, & f_k(x) \geq u_k. \end{cases} \tag{۵}$$

$l_k$ و $u_k$ به ترتیب حدود پایین و بالا برای آرمان kام هستند. *FGP* تکنیکی است که تا به حال به طور گسترده برای حل مسائل تصمیم-گیری چند هدفه و چند معیاره کاربرد داشته است[۱۶].

مدل ارائه شده در بخش ۴ در قالب روش FGP به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Maximize \quad \lambda \tag{۶}$$
St:
$$\lambda - \mu_1 \leq 0 \tag{۷}$$
$$\lambda - \mu_2 \leq 0 \tag{۸}$$
$$\mu_1 = \frac{(f_1-l_1)}{g_1-l_1} \tag{۹}$$
$$\mu_2 = \frac{(f_2-l_2)}{g_2-l_2} \tag{۱۰}$$
$$f_1 = Max \sum_{k=1}^{n} D_k \tag{۱۱}$$
$$f_2 = Max \sum_{k=1}^{n} (1-e_k) \tag{۱۲}$$
$$D_k \leq M x_k, \quad 1 \leq k \leq n, \tag{۱۳}$$
$$D_k \leq d_{kz} + M(1-x_z), \quad 1 \leq k < z \leq n, \tag{۱۴}$$

[1] Fuzzy Goal Programming
[2] Charnes
[3] Zimmermann

Archive of SID

www.SID.ir

$$\sum_{i=1}^{m} V_{ki} I_{ik} = x_k \qquad \forall k \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{s} U_{kj} O_{jk} + e_k = x_k \qquad \forall k \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{j=1}^{s} U_{kj} O_{jz} - \sum_{i=1}^{m} V_{ki} I_{iz} \le 0 \qquad \forall k; \forall z (k \ne z) \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_k = p \qquad (۱۸)$$

$$U_{kj} \ge \varepsilon x_k \qquad \forall j,k \qquad (۱۹)$$

$$V_{ki} \ge \varepsilon x_k \qquad \forall i,k \qquad (۲۰)$$

$$U_{kj} O_{jk} \le x_k \qquad \forall j,k \qquad (۲۱)$$

$$x_k = 0,1 \qquad k = 1,...,n$$

## ۶. مثال عددی

با توجه به کاربردهای مدل پراکندگی در مسائل پدافند غیرعامل، می‌توان این مدل را برای تعیین محل مخازن سوخت به‌کار برد و با کمک تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، موثرترین نقاط را انتخاب نمود. برای مشاهده نتایج و عملکرد مدل ترکیبی، مثالی را در نظر گرفته می‌شود که در آن هدف انتخاب ۵ مکان برای ساخت مخازن سوخت است. برای این منظور ۱۰ مکان کاندید وجود دارند.

از سوی دیگر برای هر مکان کاندید یک ورودی و سه خروجی به منظور سنجش کارآیی در نظر گرفته شده است. فواصل بین مکان‌های کاندید در جدول (۱) و ورودی و خروجی‌های هر مکان کاندید (واحد تصمیم‌گیری) در جدول (۲) قابل مشاهده است. ورودی و خروجی‌های این مثال به صورت زیر تعریف شده‌اند: (مدل تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها درصدد کاهش ورودی و افزایش خروجی است، به عبارت دیگر در این مدل باید معیارهایی به عنوان ورودی هر مکان قرار داده شود که درصدد کاهش آنها بوده و معیارهایی به عنوان خروجی در نظر گرفته شود که هدف افزایش آنها است.)

ورودی(۱): هزینه استقرار مخزن در هر مکان

خروجی(۱): میزان سودآوری مخزن در هر مکان

خروجی(۲): میزان ضریب امنیت مخزن در هر مکان

خروجی(۳): میزان ضریب دسترسی به مخزن در هر مکان در شرایط اضطراری به منظور بررسی خروجی مدل‌های ارائه شده در بخش ۴، این مثال با فرض‌های فوق با رویکرد FGP حل شده است. نتایج حل مدل MaxSumMin و تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. رویکرد حل FGP یک روش حل دقیق است و این مدل با نرم‌افزار LINGO 8.0 حل شده است.

**جدول ۱.** فواصل بین مکان‌های کاندید برای احداث مخزن

| مکان کاندید | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۴۷ | ۷۱ | ۳۱ | ۴۶ | ۸۹ | ۹۷ | ۲۹ | ۶۴ | ۵۹ |
| ۲ | ۴۷ | ۰ | ۴۳ | ۷۱ | ۲۷ | ۴۷ | ۶۰ | ۲۳ | ۷۲ | ۵۵ |
| ۳ | ۷۱ | ۴۳ | ۰ | ۸۰ | ۲۶ | ۲۹ | ۲۸ | ۶۱ | ۵۰ | ۲۹ |
| ۴ | ۳۱ | ۷۱ | ۸۰ | ۰ | ۵۸ | ۱۰۴ | ۱۰۷ | ۵۸ | ۵۱ | ۵۷ |
| ۵ | ۴۶ | ۲۷ | ۲۶ | ۵۸ | ۰ | ۴۶ | ۵۱ | ۳۸ | ۴۶ | ۲۷ |
| ۶ | ۸ | ۴ | ۲ | ۱۰ | ۴ | ۰ | ۱۷ | ۷ | ۷ | ۵ |
| | ۹ | ۷ | ۹ | ۴ | ۶ | | | ۰ | ۹ | ۸ |
| ۷ | ۹ | ۶ | ۲ | ۱۰ | ۵ | ۱۷ | ۰ | ۸ | ۷ | ۵ |
| | ۷ | ۰ | ۸ | ۷ | ۱ | | | ۲ | ۴ | ۵ |
| ۸ | ۲ | ۲ | ۶ | ۵۸ | ۳ | ۷۰ | ۸۲ | ۰ | ۷ | ۶ |
| | ۹ | ۳ | ۱ | | ۸ | | | | ۶ | ۳ |
| ۹ | ۶ | ۷ | ۵ | ۵۱ | ۴ | ۷۹ | ۷۴ | ۷ | ۰ | ۲ |
| | ۴ | ۲ | ۰ | | ۶ | | | ۶ | | ۱ |
| ۱۰ | ۵ | ۵ | ۲ | ۵۷ | ۲ | ۵۸ | ۵۵ | ۶ | ۲ | ۰ |
| | ۹ | ۵ | ۹ | | ۷ | | | ۳ | ۱ | |

**جدول ۲.** ورودی و خروجی‌های نرمال شده هر مکان کاندید (واحد تصمیم‌گیری)

| مکان کاندید | ورودی(۱) | خروجی(۱) | خروجی(۲) | خروجی(۳) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵۰ | ۶۹ | ۳۷ | ۷ |
| ۲ | ۴۰ | ۴۶ | ۶۰ | ۲۷ |
| ۳ | ۸۶ | ۶۱ | ۸۷ | ۶۶ |
| ۴ | ۷۳ | ۱۸ | ۹۳ | ۹۸ |
| ۵ | ۵۱ | ۵۳ | ۴ | ۶۳ |
| ۶ | ۷ | ۷۳ | ۳۸ | ۵۱ |
| ۷ | ۸۵ | ۹۵ | ۹۶ | ۵۲ |
| ۸ | ۳۰ | ۳۶ | ۹۱ | ۹۹ |
| ۹ | ۴ | ۸۷ | ۷۱ | ۸ |
| ۱۰ | ۱۰۰ | ۵۲ | ۹۷ | ۱۰ |

**جدول ۳.** نتایج حل مدل MaxSumMin و تجمیع هم‌زمان تحلیل پوششی داده‌ها

| مکان‌های انتخاب شده | پراکندگی | مجموع کارآیی | مقدار تابع هدف | مقادیر $\lambda_k$ |
|---|---|---|---|---|
| ۳-۴-۶-۹-۸ | ۱۷۰۹.۷۷۱ | ۷۸۰۰۰۰۶ | ۰.۹۸۴۳۲۴۲ | ۰.۹۸۴۳۲۴۲ |

Archive of SID

www.SID.ir

## ۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی جامع و چند هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات بر اساس اصول پدافند غیرعامل ارائه گردید. این مدل این قابلیت را دارد که تسهیلات را اساس اصول پدافند غیرعامل به صورتی مکان‌یابی کند که دارای بیشترین پراکندگی بوده و از سوی دیگر، مکان‌هایی انتخاب شوند که اگر تسهیلی در آن قرار گیرد، بیشترین کارآیی خود را داشته باشد. پس از معرفی مدل جدید پیشنهادی، مثالی برای تعیین محل مخازن سوخت در نظر گرفته شد و مدل جدید با این مثال و رویکرد FGP حل و نتایج آن ارائه گردید که نشان می‌دهد مدل ارائه شده کارآیی و پراکندگی را به‌صورت هم‌زمان بیشینه نموده است. این مدل برای مسائل دنیای واقعی به‌خصوص تعیین مکان تسهیلات حساس و مهم با درنظر گرفتن اصول پدافند غیرعامل کاربرد زیادی دارد. پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی از روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری استفاده شود.

## ۸. مراجع


[1]. Drezner, Z.; Wesolowsky, G. O. "Location of Multiple Obnoxious Facilities."; Transportation Science 1985, 19(3), 193–202.

[2]. Drezner, Z.; Wesolowsky, G. O. "Obnoxious Facility Location in the Interior of a Planar Network."; Journal of Regional Science 1996, 35(4), 675–88.

[3]. Murray, A. T.; Church, R. L.; Gerrard, R. A.; Tsui, W. S. "Impact Models for Siting Undesirable Facilities."; Papers in Regional Science 1998, 77(1), 19–36.

[4]. Sorensen, J. H.; Soderstrom, J.; Carnes, S. A. "Sweet for the Sour: Incentives in Environmental Mediation."; Environmental Management 1984, 8(4), 287–94.

[5]. Melo, M. T.; Niekel, S. F.; Saldanha, G. "Facility Location and Supply Chain Management- A Review."; EJOR 2011, 38-49.

[6]. Erkut, E.; Neuman, S. "Comparison of Four Models for Dispersing Facilities."; INFOR 1990, 29(2), 68–86.

[7]. Moon, I. D.; Chaudhry, S. S. "An Analysis of Network Location Problems with Distance Constraints."; Management Science 1984, 30(3), 290–307.

[8]. Shier, D. R. "A Min–Max Theorem for p-Center Problems on a Tree."; Transportation Science 1977, 11(3), 243–52.

[9]. Kuby, M. J. "Programming Models for Facility Dispersion: The p-Dispersion and Maximum Dispersion Problems."; Geographical Analysis 1987, 19(4), 315–29.

[10]. Zanjirani Farahani, R.; Hekmatfar, M. "Facility Location Concepts, Models, Algorithms and Case Studies."; Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Berlin, 2009.

[11]. Church, R. L.; Garfinkel, R. "Locating an Obnoxious Facility on a Network."; Transportation Science 1978, 12, 107–18.

[12]. Thomas, P.; Chan, Y. "Obnoxious-Facility Location and Data-Envelopment Analysis: A Combined Distance-Based Formulation."; European Journal of Operational Research 2002, 141(3), 495-514.

[13]. Azadeh, A.; Ghader, S. F.; Nasrollah, M. R. "Location Optimization of Wind Plants in Iran by an Integrated Hierarchical Data Envelopment Analysis."; Renewable Energy 2011, 36-49.

[14]. Klimberg, R. K.; Ratick, S. J. "Modeling Data Envelopment Analysis (DEA) Efficient Location/Allocation Decisions."; Computers & Operations Research 2008, 35, 457- 474.

[15]. Zimmermann, H. J. "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions."; Fuzzy Sets and Systems 1978, 1, 45–55.

[16]. Tamiz, M. D.; Romero, C. "Goal Programming for Decision Making: An Overview of the Current State-of-the-Art."; European Journal of Operational Research 1998, 111, 567-581.


Archive of SID

www.SID.ir