

A Combined Model for Locating Critical Centers (HAPIT)

M. S. Jabalameli*, K. Shahanaghi, R. Hosnavi & M. R. Nasiri

M. S. Jabalameli, Associated Prof. at Industrial engineering Dept., Iran University of Science & Technology, Narmak, Tehran, Iran,

K. Shahanaghi, Assistant Prof. at Industrial engineering Dept., Iran University of Science & Technology,

R. Hosnavi, Associated Prof. at Malek Ashtar University of Technology,

M. R. Nasiri, Industrial engineering Dept., Iran University of Science & Technology

Keywords

Passive Defense,
Critical Centers,
Locating,
Numerical Taxonomy,
Analytical Network Process

ABSTRACT

The most important goals in marring of a country is to destroy it's military and industrial centers. One of the most important and essential measures for preventing the vital damages to these centers or limiting them is to locate accurately these vital and critical industries. Accurate and material location of these centers is one of the most important measures which lead to decrease of future considerable related costs and to increase securely index of them. Therefore by increasing the passive defense capability of these centers the enemy's attacks possibility and destruction effects of possible attacks will be decreased. Through this study a combined model for locating of critical centers is suggested by identifying the effective factors in locating of these critical military centers and emphasizing of passive defense. In developing of the model, Hybrid model, Analytical network process, P-dispersion mathematical model, and an Improved numerical Taxonomy clustering technique (HAPIT) are used. It has been tried that these centers to be considered through three aspects of common, undesirable and military facilities.

© (نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید) شماره ۴، جلد ۲۰، ۱۳۸۸

ارائه مدل ترکیبی مکان یابی تسهیلات حساس

محمدسعید جبل عاملی، کامران شهانقی، رضا حسنوی و محمدرضا نصیری

چکیده:

مهمترین اهداف در ضربه زدن به یک کشور نابودی مراکز حساس نظامی و صنعتی آن می باشد. از مهم ترین و ضروری ترین اقدامات برای جلوگیری از خسارتهای حیاتی به این مراکز و یا محدود کردن آن، مکان یابی صحیح آنها می باشد. مکان یابی درست و اصولی مراکز حساس نظامی یکی از مهمترین اقداماتی است که موجب کاهش قابل توجه هزینه های بعدی مرتبط با فعالیتهای

کلمات کلیدی

پدافند غیرعامل،
مراکز حساس،
مکان یابی،
تاکسونومی عددی بهبودیافته،
فرآیند تحلیل شبکه های

تاریخ وصول: ۸۸/۶/۲۲

تاریخ تصویب: ۸۸/۱۱/۱۹

دکتر محمدسعید جبل عاملی، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت / ایران. jabal@iust.ac.ir

دکتر کامران شهانقی، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت / ایران،

رضا حسنوی، دانشیار، دانشگاه مالک اشتر.

محمدرضا نصیری، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت / ایران. Mr_nasiri@ind.iust.ac.ir

پیشامدهای مربوط به این مراکز خواهد بود و با افزایش قابلیت پدافند غیرعامل، ضریب امنیتی را افزایش و احتمال حملات دشمنان و اثرات تخریبی حملات احتمالی را به شدت کاهش می دهد. در این مقاله، ضمن شناسایی عوامل موثر در مکان یابی این مراکز با تاکید بر عامل پدافند غیرعامل، مدل ترکیبی مکان یابی تسهیلات حساس جهت مکان یابی آنها ارائه گردیده است. در توسعه این مدل از مدل هیبریدی، فرآیند تحلیل شبکه ای، روش دسته بندی تاکسونومی عددی بهبود یافته و مدل ریاضی ایجاد پراکندگی بین تسهیلات استفاده شده است. در این مدل، مراکز حساس از سه جنبه تسهیلات عمومی، تسهیلات نامطلوب و تسهیلات حساس مورد توجه قرار می گیرند.

۱. مقدمه

نظریه مکان یابی اولین بار توسط فان تانن[۱] در سال ۱۸۲۶ میلادی و در زمینه فعالیت های کشاورزی ابداع گردید و اولین چهارچوب علمی این نظریه به طور رسمی توسط آلفرد وبر در سال ۱۹۰۹ معرفی شد. او مساله مکان یابی یک انبار واحد را با هدف مینیمایز کردن مجموع فواصل سفر بین انبار و مجموعه ای از مشتریان مورد بررسی قرار داد[۲]. از آن زمان تاکنون مطالعات متعدد و متنوعی در خصوص مکان یابی انجام شده است.

در دهه ۶۰، مطالعاتی در زمینه مکان یابی شروع شد که تا حدودی با کاربردهایی که تا آن زمان مطرح بودند متفاوت می نمود؛ از جمله این موارد، مکان یابی سایت های دفع ضایعات جامد بود[۲]. اکثر مدل های مکان یابی مربوط به مکان یابی تسهیلاتی از قبیل مراکز آموزشی، مراکز فروش و مراکز اورژانس می باشند. در مورد همه این تسهیلات که اصطلاحاً، تسهیلات مطلوب نامیده می شوند سعی می شود مکان آنها تا حد امکان نزدیک به ساکنین که متقاضیان استفاده از خدمات و محصولات این تسهیلات هستند در نظر گرفته شود[۳].

تعداد دیگری از تسهیلات از قبیل سایت های دفع زباله و ضایعات، محل های انباشت زباله و ضایعات، کارخانجات شیمیائی، راکتورهای هسته ای، تاسیسات نظامی و کارخانجات تولید کننده محصولات نظامی می باشند که به علت تولید آلودگی و نیز در معرض خطر قرار دادن ساکنین اطراف، تسهیلات نامطلوب بوده و سعی می شود تا حد امکان دور از ساکنین، تاسیس شوند[۳]. اگر چه این تسهیلات نامطلوب، در کل برای جامعه، لازم و ضروری می باشند منتهی مکان ایجاد آنها ممکن است با عدم موافقت جدی مردم مواجه شود و البته مخالفت آنها نیز منطقی می باشد. در این زمینه می توان به کارهای کلبوک و سیسیلیا[۴] و کاگامی یاما[۵] اشاره نمود.

مسائل تسهیلات نامطلوب، مسائلی هستند که هدف آنها ماکزیمم کردن مینیمم مجموع یا مینیمم متوسط زمان/هزینه سفر می باشد و در این مورد می توان مشخصاً به سه نوع مدل فرعی که در مقالات مختلف، مد نظر قرار گرفته است اشاره نمود. اولین مدل، مدل مکان یابی حداکثر مجموع^۱ است که مربوط به مساله مکان یابی

یک مرکز خدمت دهی واحد روی یک شبکه، بمنظور ماکزیمم کردن مجموع و یا میانگین (وزین یا غیر وزین) فاصله سفر بین مرکز خدمت دهی و یک مجموعه از نقاط تقاضای منفصل می باشد. در این مورد می توان به کارهای مینیه کا[۱۹۸۳]، چرچ و گارفینکل[۱۹۷۸]، درزنر و وسولوسکی[۱۹۸۵] اشاره نمود. در این مدل که در مکان یابی مراکزی مانند زندان ها، نیروگاه ها و محل های تخلیه زباله به کار می رود هدف، دور کردن این مکان ها از نقاط تقاضاست. در واقع در این مدل، P مرکز به گونه ای مکان یابی می شوند که کل فاصله وزین مراکز تخصیص داده شده به این نقاط حداکثر شود.

دومین مدل، مدل مکان یابی حداکثر حداقل^۲ است. هدف این مدل، ماکزیمم کردن مینیمم فاصله بین مرکز خدمت دهی و نقاط تقاضا می باشد. در این مورد می توان به کارهای کولشرستا[۱۹۸۴] و مینیه کا[۱۹۸۳] اشاره نمود. مدل سوم، مدل مکان یابی P-dispersion است که هدف آن، مکان یابی P تسهیل بر روی یک شبکه بمنظور ماکزیمم کردن مینیمم فاصله بین هر جفت از تسهیلات می باشد. در این مورد می توان کارهای مون و چادری[۱۹۸۴]، چاندراسکاران و داوتی[۱۹۸۱] را نام برد. در این مدل فاصله بین تسهیلات مطرح است و هدف، حداکثر کردن حداقل فاصله بین هر جفت از تسهیلات می باشد. رایج ترین کاربرد این مدل در مکان یابی پایگاه های نظامی است که با افزایش فاصله بین آنها، حمله و از کار انداختن همزمان آنها مشکل تر خواهد شد[۶].

ارکات و نیومن[۲] بر نیاز به رویکردهای چندهدفه برای مکان یابی تسهیلات نامطلوب تاکید می کنند و چنین بیان می کنند که: "مدلهای فعلی می توانند جهت تولید تعداد کمی از سایت های نامزد شده به کار روند، ولیکن انتخاب نهائی یک سایت، مساله ای پیچیده تر بوده و بدین منظور، حتماً باید از ابزار تصمیم گیری چند هدفه استفاده شود." داسکین[۷] و جانگ[۸]، نه تنها بر ضرورت نیاز به چند معیاره در مسائل مکان یابی تسهیلات نامطلوب تاکید می کنند بلکه این واقعیت را بیان می کنند که توجه ضعیفی توسط محققین به این مسائل شده است و تحقیقات کمی در این شاخه امیدبخش انجام شده است.

² Maximin(anti-center or distant point)

¹ Maxisum(anti-median)

شوند؛ فلذا در مکان‌یابی آنها به اصول پدافند غیرعامل که از انهدام آسان این مراکز توسط دشمنان پیشگیری می‌کند توجه ویژه‌ای می‌شود.

به دلیل اینکه این گونه مراکز دارای طبقه‌بندی‌های اطلاعاتی و امنیتی می‌باشند مطالعات انجام شده در خصوص مکان‌یابی آنها نیز از این قاعده مستثنی نبوده و مطالعات منتشر شده در این زمینه، بسیار محدود و مختصر می‌باشند. در این مورد می‌توان به مقاله زنجیرانی فراهانی و اصغری [۱۷]، در خصوص مکان یابی مراکز توزیع محصولات نظامی اشاره نمود که در آن از ترکیب تصمیم‌گیری چندمعیاره (روش تاپسیس) و تکنیک‌های پوشش در مدلی سلسله مراتبی استفاده گردیده است.

بطور کلی در خصوص مکان یابی صنایع نظامی، سه هدف اصلی می‌تواند مطرح باشد.

هدف اول، مکان‌یابی این تسهیلات بعنوان یک تسهیل صنعتی عمومی می‌باشد و تسهیلات به گونه ای مکان‌یابی می‌شوند که با بالاترین کارایی بتوانند به فعالیت خود ادامه دهند. هدف دوم، مکان‌یابی این تسهیلات بعنوان یک تسهیل نامطلوب می‌باشد و تسهیلات به گونه ای مکان‌یابی می‌شوند که در صورت تهاجم به این تسهیلات، کمترین تهدید متوجه ساکنین اطراف آنها باشد. هدف سوم نیز مکان‌یابی این تسهیلات براساس عامل خوددفاعی بودن آنهاست و تسهیلات به گونه ای مکان‌یابی می‌شوند که مانع دسترسی آسان دشمن به آنها و نابودی شان گردد.

این مقاله در خصوص ارائه مدلی برای مکان یابی تسهیلات حساس و مشخصاً صنایع نظامی در شهرهای پرجمعیت و صنعتی می‌باشد. مدل ارائه شده در این مقاله، تسهیلات را درون سلولهایی با اندازه ها و فواصل یکسان مکان یابی می‌کند. برای ارزیابی وضعیت سلولها در ارتباط با معیارهای مکان یابی از اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود.

در این مدل، برای تحقق هدف اول، هدف دوم و بخشی از هدف سوم از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل هیبریدی استفاده می‌شود؛ با استفاده از مدل ریاضی P-dispersion نیز سعی می‌شود تا با ایجاد پراکندگی بین صنایع نظامی و کاهش آسیب پذیری آنها هدف سوم، تحقق یابد. همچنین با توجه به تعدد سلولهای مکانی و تسهیلات مورد نظر جهت استقرار در چنین مسائلی، نیاز به استفاده از تکنیک های دسته بندی وجود دارد، بدین منظور از تکنیک تاکسونومی عددی بهبودیافته استفاده می‌شود.

در ادامه و در بخش دوم، به تشریح مدلهای استفاده شده در این مدل ترکیبی پرداخته می‌شود. در بخش سوم، مدل ترکیبی پیشنهادی تشریح می‌گردد. در بخش چهارم به حل مثالی موردی با کمک مدل و بررسی نتایج و تحلیل حساسیت پرداخته می‌شود. در بخش آخر نیز یافته ها، فواید مدل ارائه شده و پیشنهادات برای کارهای آتی ارائه می‌گردد.

از جمله کارهای انجام شده در مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب چندمعیاره و چندهدفه بر روی شبکه ها که بعد از دهه ۸۰ شروع شده اند و چندان غنی نیز نمی‌باشند عبارتند از پیشنهاد یک مدل چند هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب با در نظر گرفتن اهداف درختی^۱ توسط راتیک و وایت در سال ۱۹۸۸ [۹]، ارائه یک مدل مکان‌یابی/مسیریابی ترکیبی توسط لیست و میرچندانی در سال ۱۹۹۱ [۱۰]، ارزیابی مینیم سازی هزینه ها در مقابل مخالفت عمومی در مکان‌یابی یک ایستگاه انتقال ضایعات جامد توسط رحمان و کوبی در سال ۱۹۹۵ [۱۱]، ارائه یک مدل چند هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات دفع ضایعات و حمل و نقل ضایعات در طول خطوط یک شبکه با لحاظ کردن چهار هدف جیانیکوس در سال ۱۹۹۸ [۱۲]، بررسی مکان‌یابی یک تسهیل مزاحم^۲ بر روی یک شبکه عمومی با استفاده از دو هدف ماکزیمم کردن مینیم فاصله وزین از نقطه‌ای تا رئوس و ماکزیمم کردن مجموع فواصل وزین بین نقطه و رئوس، توسط جانگ و مالاچری نودیس در سال ۲۰۰۱ [۱۳]، مدل سازی مساله مکان‌یابی یک تسهیل نیمه مزاحم^۳ مانند یک مساله دو معیاره^۴ در هر دو حالت سطح و شبکه توسط اسکریور و آندرسون در سال ۲۰۰۱ [۱۴]، ارائه یک مدل مکانیابی تسهیل نامطلوب چندمعیاره بر روی شبکه های با چندین وزن بر روی گره‌ها و چندین طول بر روی یالها با ترکیب معیارهای حد/کثر حد/قل^۵ و حد/کثر مجموع^۶ بوسیله یک پارامتر λ توسط کلبروک و سیسیلی در سال ۲۰۰۵ [۳].

علاوه بر استفاده از روش های کمی، مدل های ریاضی و سایر تکنیک‌ها، محیط تصمیم نیاز به تعدیلات دیگری دارد که مستلزم در نظر گرفتن عوامل مشهود و نامشهود با استفاده از تکنیک‌های مرتبط می‌باشد.

نیاز به در نظر گرفتن چنین عواملی، باعث توسعه مدل هیبریدی، توسط براون و گیسون [۱۵] و بوبا و سرین [۱۶] در دهه ۸۰ میلادی شد. این مدل پایه، عوامل مشهود و نامشهود را به سه دسته اصلی عوامل بحرانی، عوامل کیفی، عوامل کمی تقسیم می‌کند. عوامل بحرانی، عواملی هستند که در تصمیم‌گیری ها در مورد انتخاب مکان یک تسهیل، تعیین‌کننده ارزش بررسی آن مکان جهت احداث می‌باشند.

یکی از مصادیق تسهیلات نامطلوب، صنایع نظامی می‌باشند که بعنوان مهمترین تسهیلات حساس محسوب می‌شوند. این تسهیلات، علاوه بر دارا بودن خصوصاتی از تسهیلات عمومی و تسهیلات نامطلوب، دارای ویژگی نظامی نیز می‌باشند. این ویژگی موجب می‌شود تا این مراکز به اهداف دشمنان در حملات احتمالی تبدیل

¹ Tree objectives

² obnoxious

³ semi-obnoxious

⁴ bicriterian

⁵ maximin

⁶ maxisum

$$X = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,m} \\ X_{2,1} & & & \\ \vdots & & & \\ X_{n,1} & & & X_{n,m} \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (1)$$

در این ماتریس، $X_{n,m}$ بیانگر امتیاز شاخص m ام از بخش n ام می باشد. ارتباط هر بخش با عوامل اصلی بررسی شده و میزان برخورداری بودن از عامل فوق به صورت $X_{n,m}$ در ماتریس فوق وارد می شود.

گام ۲: بی مقیاس نمودن ستون های ماتریس (شاخص ها)

با توجه به اینکه این شاخص ها دارای مقیاس های متفاوتی هستند، برای مطالعه صحیح آنها لازم است که مقیاس آنها را به روش نرمال سازی از بین برد و از مقیاس استاندارد واحد استفاده نمود. برای ایجاد اعضای ماتریس جدید، طبق مراحل زیر عمل می شود:

۱. میانگین مقادیر هر ستون طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,j} \quad (2)$$

۲. انحراف معیار مقادیر هر ستون طبق فرمول زیر بدست می آید:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{i,j} - \bar{X}_j)^2}{n}} \quad (3)$$

۳. مقادیر نرمالایز شده با استفاده از فرمول زیر بدست می آید:

$$D_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_j}{S_j} \quad (4)$$

۴. ماتریس بی مقیاس شده نهایی به شکل زیر خواهد بود:

$$D_{i,j} = \begin{bmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} & \dots & D_{1,m} \\ D_{2,1} & & & \\ \vdots & & & \\ D_{n,1} & & & D_{n,m} \end{bmatrix} \quad (5)$$

در ماتریس D جمع هر ستون برابر صفر و انحراف معیار آن برابر یک می باشد.

۲. معرفی مدل های مورد استفاده

۲-۱. فرآیند تحلیل شبکه^۱

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۲، فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)^۳، تاپسیس و غیره روش های کاربردی در تصمیم گیری می باشند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۷۰ توسط ساعتی پیشنهاد شد و کاربردهای متعددی از آن تاکنون مورد بحث قرار گرفته است. این روش و کاربرد آن بر سه اصل برپایی یک ساختار و قالب سلسله مراتبی برای مساله، برقراری ترجیحات از طریق مقایسات زوجی و برقراری سازگاری منطقی از اندازه ها استوار است [۱۸].

با وجود کاربردهای فراوانی که روش فرآیند سلسله مراتبی داشته است لازمه داشتن یک ساختار سلسله مراتبی، بستگی نداشتن ارجحیات ممکن از یک سطح موجود به عناصر سطوح پایین تر و مستقل بودن از آنها می باشد و در غیراینصورت، سیستم تصمیم گیری فوق، غیرسلسله مراتبی و با بازخور تلقی خواهد شد. پیشنهاد ساعتی برای اینگونه موارد که بعنوان مثال، گزینه ها و معیارها متقابلاً بر یکدیگر وابسته می باشند استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای می باشد [۱۸].

با توجه به موارد ذکر شده و بدلیل لزوم ایجاد بازخور و روابط متقابل بین گزینه ها و معیارها در این تحقیق، از روش فرآیند تحلیل شبکه ای استفاده می شود. این امر منجر به استخراج اوزان و امتیازات دقیق تر برای معیارها و گزینه ها خواهد شد.

۲-۲. روش دسته بندی تاکسونومی عددی بهبود یافته

آنالیز تاکسونومی برای طبقه بندی های مختلف در علوم به کار برده می شود. نوع خاص آن، تاکسونومی عددی می باشد که بنابر تعریف، ارزیابی عددی شباهت ها و نزدیکی ها بین واحدهای تاکسونومیک (موضوعات مورد مطالعه) و درجه بندی آن عناصر به گروه های تاکسونومیک است. روش تاکسونومی عددی در تحقیق نصیری [۱۹] مورد نقد و اصلاح قرار گرفته است. در این تحقیق از روش تاکسونومی عددی بهبود یافته که در تحقیق نصیری [۱۹] ارائه شده است استفاده می شود. مراحل روش تاکسونومی عددی بهبود یافته [۱۹] به شرح زیر می باشد:

گام ۱: تشکیل ماتریس شاخص ها:

هر سطر این ماتریس به یکی از بخش های باقیمانده ($i=1, \dots, n$) مربوط می باشد و ستون های آن نیز متناظر با معیارهای مورد مطالعه ($j=1, \dots, m$) می باشد. این ماتریس، n سطر و m ستون خواهد داشت.

² Analytical Hierarchy Process

³ Analytical Network Process

$$MaxD \quad (8)$$

st :

$$\sum_{j \in J} x_j = P \quad (9)$$

$$D + (M - d_{ij})x_i + (M - d_{ij})x_j \leq 2M - d_{ij}, \quad (10)$$

$$\forall i, j \in J, i < j \quad (11)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \quad (12)$$

M مقدار بزرگ ثابت، D حداقل فاصله بین هر زوج از تسهیلات، P تعداد تسهیلات مورد نظر جهت استقرار در هر ناحیه و X_j ، متغیرهای مساله می‌باشند. محدودیت (۱۱) به منظور تعیین و حداکثر کردن فاصله بین هر زوج از تسهیلات می‌باشد. اگر هر کدام از متغیرهای x_i یا x_j صفر باشد این محدودیت معنی ندارد و اگر $x_i = x_j = 1$ آنگاه $d_{ij} \leq [21]$. محدودیت (۱۲) نیز بیان می‌کند که متغیرها از نوع صفر یا یک^۱ هستند.

۳. مدل پیشنهادی

مدل ارائه شده به صورت الگوریتمی چند مرحله‌ای می‌باشد. طرح شماتیک مدل مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است. در مرحله اول، عوامل موثر در مکان یابی صنایع نظامی، محدوده مکانی مساله و تسهیلات مورد نظر جهت استقرار، تعریف و مشخص می‌شوند؛ محدوده مکانی جهت سهولت بررسی به صورت سلولهای هم اندازه، شبکه بندی می‌شود. با توجه به وسعت بالای محدوده مکانی و تعداد بالای سلولهای ایجاد شده و همچنین تعداد بالای صنایع نظامی، در مرحله دوم، به کمک عوامل شناسایی شده و با استفاده از روش تاکسونومی عددی بهبود داده شده، سلولهای مکانی و صنایع نظامی، دسته بندی می‌شوند. پس از این مرحله تا انتهای مرحله چهارم، بررسی‌ها بر روی دسته‌های مکانی نماینده و صنایع نماینده انجام می‌شود. در مرحله سوم، وضعیت موجود دسته‌های مکانی نماینده و وضعیت مورد نیاز صنایع نظامی نماینده از نظر عوامل موثر در مکان‌یابی و با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، ارزیابی می‌شود. در مرحله چهارم، براساس امتیازات و رتبه‌های بدست آمده در مرحله چهارم، صنایع نماینده به ترتیب اولویت‌ها و امتیازات به دسته‌های مکانی نماینده، تخصیص می‌یابند.

سرانجام در مرحله پنجم و به دنبال مشخص شدن محل استقرار صنایع نماینده در بخش‌های مکانی نماینده، به کمک مدل ریاضی P-dispersion که مخصوص مکان یابی مراکز نظامی می‌باشد

گام ۳: محاسبه اختلاف میان بخش‌ها و تشکیل ماتریس فاصله‌های بین بخش‌ها

با استاندارد شدن ماتریس، اختلاف میان هر دو بخش a و b ($d_{a,b}$) طبق فرمول (۸) محاسبه می‌شود:

$$d_{a,b} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (D_{a,j} - D_{b,j})^2} \quad (6)$$

با محاسبه فاصله بین بخش‌ها، ماتریس فاصله میان بخشهای مختلف به صورت ذیل تشکیل می‌شود:

$$d_{n \times n} = \begin{bmatrix} d_{1,1} = 0 & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ d_{2,1} & & & \\ \vdots & & & \\ d_{n,1} & & & d_{n,n} = 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

این ماتریس قرینه می‌باشد و از آنجایی که میان یک بخش و خودش اختلافی وجود ندارد، عناصر قطری این ماتریس برابر صفر خواهند بود.

گام ۴: یافتن بخش‌های مشابه (همگن)

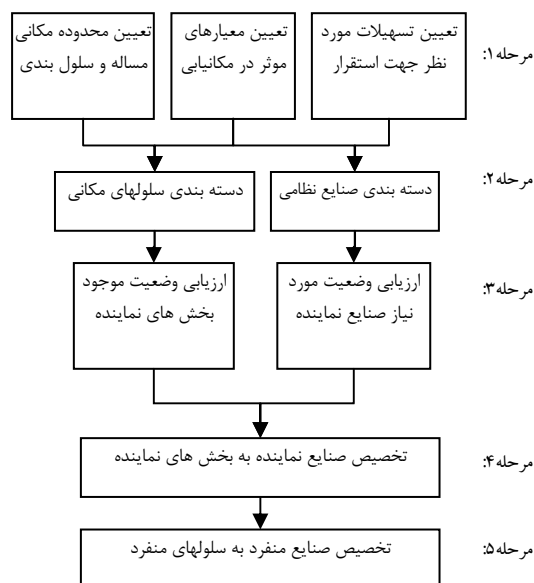
در هر ردیف از ماتریس d می‌توان کمترین فاصله میان دو بخش را تعیین نمود که نشان دهنده شباهت (نزدیکی) دو بخش نسبت به یکدیگر می‌باشد. بر خلاف روش تاکسونومی عددی معمولی، نصیری [۱۹]، در این مرحله بجای محاسبه متوسط کوچکترین فاصله‌های هر ردیف و انحراف معیار آنها و تعریف فاصله همگن بودن براساس آنها، همگن بودن بخش‌ها براساس صفر بودن فاصله بین دو بخش تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، بخش‌هایی که اختلاف بین آنها در ماتریس فاصله بین بخشها صفر می‌باشد بخش‌های همگن خواهند بود.

۲-۳. مدل ریاضی P-dispersion

مدلهای ریاضی با کمک گیری از ابزار بهینه سازی ریاضی به تعیین دقیق مکان‌های بهینه می‌پردازند و یک حل مناسب اولیه را ایجاد می‌نمایند. مدلی که در اینجا استفاده می‌شود مدل P-dispersion است که با توجه به مهمترین ماهیت تسهیلات مورد بررسی که ماهیت نظامی بودن آنها می‌باشد انتخاب شده است. برخلاف بسیاری از مدلها، که کاهش فاصله بین نقاط تقاضا و تسهیلات، مطلوب می‌باشد، در این مدل فاصله بین تسهیلات مطرح است و هدف حداکثر کردن حداقل فاصله بین هر جفت از تسهیلات است [۶]. با به کار بردن این مدل، سعی می‌شود تا با افزایش فاصله بین تسهیلات، امکان حمله و از کار انداختن به طور همزمان آنها مشکل تر شود. فرمولاسیون مدل به صورت زیر است:

¹ integer

مناسب ترین سلولها جهت استقرار صنایع مربوط به هر کدام از صنایع نماینده، مشخص می شوند.



شکل ۱. طرح شماتیک مدل مکان یابی صنایع نظامی

در ادامه به تشریح هر یک از مراحل مدل فوق پرداخته می شود.

مرحله ۱: این مرحله خود شامل سه زیرمرحله می باشد.

الف: تعیین معیارهای موثر در مکانیابی صنایع نظامی

عوامل موثر در مکان یابی تسهیلات عمومی، تقریباً مشخص می باشند و در مقالات متعددی به آنها اشاره شده است. اما در مورد عوامل موثر در مکان یابی تسهیلات نظامی، مطالعات بسیار محدودی معرفی شده اند. در این خصوص می توان به عوامل معرفی شده در مکان یابی مراکز توزیع کننده محصولات نظامی در مقاله زنجیرانی فراهانی و اصغری [۱۷] اشاره نمود. عوامل خاص تسهیلات نظامی معرفی شده در این مقاله، عبارتند از: دفاع عامل، دفاع غیرعامل، تهدیدات مرزی، تهدیدات داخلی، دسترسی به رده های پشتیبانی و تراکم رده های پشتیبانی. در مورد عوامل موثر در مکان یابی تسهیلات نامطلوب نیز می توان به مقاله توزاکایا [۲۰] و عوامل مطرح شده در آن مقاله، اشاره نمود که عوامل موثر در مکان یابی تسهیلات نامطلوب (مربوط به ضایعات جامد) در این مقاله بر اساس چهار عامل منافع، فرصت ها، هزینه ها و ریسکها و سه معیار اصلی اقتصادی، محیطی و اجتماعی و به صورت سلسله مراتبی، دسته بندی شده اند. بطور کلی در خصوص مکان یابی تسهیلات نظامی، عوامل متعدد و متنوعی مطرح می باشند. در این قسمت با بررسی و شناسایی عوامل موثر با استخراج موارد مشترک و خارج نمودن موارد غیر مرتبط با شرایط مساله که با کمک خبرگان صورت می گیرد، لیست اولیه ای از عوامل موثر در مطلوبیت مکانی صنایع نظامی و موارد تشکیل دهنده هر کدام شناسایی می شود.

در ادامه، زیرمعیارهای با وضعیت یکسان در محدوده مکانی مساله و نیز زیرمعیارهای با تاثیر ناچیز در مکان یابی صنایع نماینده، مشخص و از فرآیند تصمیم گیری خارج می شوند. سپس با توجه به مدل هیبریدی، معیارهای باقیمانده به صورت جبرانی و غیرجبرانی (بحرانی) تقسیم بندی خواهند شد. عوامل غیرجبرانی همان عوامل بحرانی می باشند که در صورت ارضاء نشدن، گزینه مربوطه از لیست گزینه های امکان پذیر حذف می شود.

ب. تعیین و شبکه بندی محدوده مکانی مساله

در این قسمت، محدوده مکانی مساله مشخص می شود. بدین منظور لازم است محدوده شهر مورد نظر باضافه محدوده مفید و مناسب اطراف آن جهت استقرار صنایع مورد نظر، معین شود. سپس با کمک تیم خبره و تصمیم گیر از کل محدوده مکانی، ناحیه مناسب اولیه با توجه به ابعاد محدوده شهر مورد مطالعه، انتخاب می شود. برای سهولت بررسی، ناحیه انتخاب شده به سلول هایی با ابعاد مناسب، شبکه بندی می شود. ابعاد سلول ها با توجه به مواردی از قبیل متوسط مساحت مورد نیاز جهت فعالیت یک صنعت نظامی و حفاصل امنیتی بین دو صنعت مجاور، مطابق با نظرات خبرگان به اندازه ای تعیین می شود که امکان احداث یک صنعت نظامی در آن فراهم باشد.

با انجام مراحل فوق، در واقع نقشه اولیه برای انجام بررسی و تحلیل مورد نیاز، آماده می باشد و می توان بر روی سلول های مشخص شده بر روی نقشه، تحلیل های مورد نظر را انجام داد. بدین منظور لازم است تک تک سلول ها با توجه به معیارهای مشخص شده، مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی و ارزیابی وضعیت سلول ها از نقشه های ماهواره ای، سیاحتی، گسل، سیاسی و اقتصادی و توریستی شهرستان و استان مورد نظر استفاده می شود.

پس از انجام شبکه بندی، با استفاده از مدل هیبریدی، تعدادی از سلول ها از فضای امکان پذیر جواب خارج می شوند. برای ارزیابی وضعیت سلولها از روش تصمیم گیری گروهی و تکنیک طوفان ذهنی استفاده می شود. در انتهای این مرحله، عوامل فقط غیرجبرانی، از لیست عوامل و معیارهای موثر در تصمیم گیری، خارج شده و تصمیم گیری های بعدی بر اساس معیارهای باقیمانده، انجام خواهد شد.

ج: تعیین تسهیلات مورد نظر جهت استقرار

در این قسمت تسهیلات مورد نظر جهت مکان یابی، تعریف و شناسایی می شوند. بدین منظور لازمست شناخت کافی در مورد ماموریت تسهیلات، میزان حساسیت آنها و نیز شباهتهای موجود در حد مورد نیاز حاصل شود.

مرحله ۲: این مرحله خود شامل دو زیرمرحله می باشد.

الف: دسته بندی سلولهای مکانی

بعد از حذف سلول های غیرقابل قبول اولیه، سلول های باقیمانده بعنوان سلول های قابل قبول اولیه، باید از نظر عوامل موثر در

اصلی قرار دارند که در مرحله اول استخراج و مشخص می شوند. در سطح آخر نیز، بخش های مکانی نماینده قرار دارند. در انتهای این مرحله، امتیازات و رتبه های بخش های مکانی نماینده، استخراج می شود. در این قسمت، در صورت نزدیک بودن امتیازات بخش ها و با تایید تیم خبره، به تلفیق بخش های نزدیک، اقدام و امتیاز و رتبه جدید برای دسته های جدید محاسبه می شود.

ب: ارزیابی وضعیت موردنیاز صنایع نظامی نماینده

به منظور ارزیابی وضعیت مورد نیاز صنایع نظامی از مدل فرآیند تحلیل شبکه استفاده می شود. در راس مدل، هدف قرار دارد که ارزیابی وضعیت مکانی موردنیاز صنایع نماینده برحسب معیارها می باشد. در سطح بعدی، معیارهای اصلی قرار دارند. این معیارها با توجه به اهداف سه گانه اصلی که در مکان یابی صنایع نظامی مطرح است تعریف شده اند. در سطح بعدی، زیرمعیارهای مربوط به معیارهای اصلی قرار دارند که در مرحله اول، استخراج و مشخص می شوند. در سطح آخر نیز، صنایع نماینده قرار دارند. در انتهای این مرحله، امتیازات و رتبه های صنایع نماینده، استخراج می شود. در این قسمت، در صورت نزدیک بودن امتیازات صنایع و با تایید تیم خبره، به تلفیق صنایع نزدیک، اقدام و امتیاز و رتبه جدید برای دسته های جدید محاسبه می شود.

مرحله ۴: تخصیص صنایع به بخش های مکانی

پس از اتمام مراحل قبل، امتیاز و رتبه بخش های نماینده و صنایع نماینده مشخص می شود و براساس امتیازات و رتبه های محاسبه شده، هر یک از صنایع نماینده، جهت استقرار به یکی از بخش های نماینده تخصیص می یابد. ملاک تخصیص، ترتیب رتبه ها و امتیازات صنایع و بخش ها خواهد بود.

مرحله ۵: تخصیص صنایع منفرد به سلولهای منفرد

با مشخص شدن ناحیه های مناسب جهت استقرار هر کدام از صنایع نماینده در مرحله قبل، در این قسمت، سلولهای محل استقرار هر کدام از صنایع زیرمجموعه در هر یک از ناحیه ها مشخص می شوند. بدین منظور از مدل ریاضی P-dispersion استفاده می شود. با به کار بردن این مدل، سعی می شود تا با افزایش فاصله بین تسهیلات، امکان حمله و از کار انداختن بطور همزمان آنها مشکل تر شود. فرمولاسیون مدل در بخش دوم تشریح گردید. برای حل مدل از نرم افزار لینگو^۲ استفاده می شود. با توجه به عدم توانایی نرم افزار لینگو در حل مدلهای بزرگ و عدم دسترسی به نرم افزار پیشرفته تر، لازمست با انجام ساده سازیهای، ابعاد مساله کوچکتر شود. ساده سازی های انجام شده [۱۹] به شرح ذیل می باشند:

مکان یابی صنایع نظامی، مورد شناسایی قرار گیرند. منتهی بدلیل اینکه تعداد سلول های باقیمانده زیاد می باشد و بررسی وضعیت همگی آنها هزینه بر و زمان بر خواهد بود، لازم است بر اساس شباهت ها در میزان برخورداری از معیارهای باقیمانده، به صورت بخش های مکانی نماینده محدودی دسته بندی شوند. بدین منظور از روش تاکسونومی عددی بهبودیافته [۱۹] استفاده می شود. به دلیل مشکل بودن امتیازدهی کمی به گزینه ها، از امتیازدهی کیفی استفاده می شود. با توجه به مزایای ذکر شده در خصوص استفاده از مقیاس های کیفی محدودتر در تحقیق نصیری [۱۹]، پیشنهاد می شود از مقیاس های دو گانه و به صورت قوی و ضعیف استفاده شود. در انتهای این بخش، تعداد سلولهای مکانی به دسته های نماینده مکانی، کاهش پیدا می کند.

ب: دسته بندی تسهیلات مورد نظر جهت استقرار

در صورتیکه تعداد تسهیلات نیز زیاد باشد و امکان انجام دسته بندی آنها وجود داشته باشد مطابق با روش دسته بندی سلولها، تسهیلات نیز با استفاده از روش تاکسونومی عددی بهبود یافته، دسته بندی می شوند. در انتهای این بخش، تعداد تسهیلات به دسته های نماینده تسهیلات، کاهش پیدا می کند.

مرحله ۳: ارزیابی وضعیت بخش ها و صنایع نماینده

پس از دسته بندی صنایع و سلول ها به دسته های مربوطه در مراحل قبل، در این مرحله مطابق با فرآیند تحلیل شبکه، به ارزیابی وضعیت آنها در ارتباط با معیارهای تعیین شده پرداخته می شود. بدین منظور از روش فرآیند تحلیل شبکه (ANP)^۱ استفاده می شود. ساختار مساله با توجه به هدف، معیارها و زیرمعیارهای تعریف شده و همچنین گزینه ها (صنایع نماینده و بخش های نماینده) تعریف می شود. برای انجام بررسی های موردنیاز از اطلاعات میدانی و نظرات خبرگان، استفاده می شود. بدین منظور از ماتریس های مقایسات زوجی معیارهای اصلی، زیرمعیارها و بخش ها و صنایع نماینده که توسط تیم خبره و با استفاده از تکنیک تصمیم گیری طوفان ذهنی تکمیل و جمع بندی می شوند استفاده می شود. این مرحله نیز دارای دو زیرمرحله می باشد.

الف: ارزیابی وضعیت موجود بخش های مکانی نماینده

به منظور ارزیابی وضعیت موجود بخش های مکانی نماینده از مدل فرآیند تحلیل شبکه استفاده می شود. در راس مدل، هدف قرار دارد که ارزیابی وضعیت مکانی موجود بخش های مکانی نماینده است. در سطح بعدی، معیارهای اصلی قرار دارند. این معیارها با توجه به اهداف سه گانه اصلی که در مکان یابی صنایع نظامی مطرح است تعریف شده اند. در سطح بعدی، زیرمعیارهای مربوط به معیارهای

² Lingo 8.0

¹ Analytical Network Process

محدودیت (۱۴) مربوط به انتخاب قطعی سلولهای ناحیه های مجاور می باشد که در مراحل قبلی، تعیین شده اند.

محدودیت (۱۶) نیز بدین منظور در مدل گنجانده شده است که از بین سلولهای تفکیک شده هر سلول تلفیقی، تنها یک سلول، انتخاب شود.

۴ مثال موردی

۴-۱. اجرای مدل و ارائه نتایج بدست آمده

مثال موردی ارائه شده در این قسمت مربوط به یکی از شهرهای پرجمعیت و صنعتی ایران می باشد. تعداد صنایع نظامی مورد نظر جهت مکان یابی با استفاده از مدل ارائه شده، ۳۰ صنعت می باشد که از انواع مختلف و بعضاً مشابه می باشند. با استفاده از مدل ارائه شده در این مقاله، به مکان یابی صنایع نظامی مذکور پرداخته شده و نتایج مطابق با هر یک از مراحل مدل، محاسبه شده است که به شرح زیر می باشد.

مرحله ۱: لیست اولیه عوامل موثر شناسایی شده در مطلوبیت مکانی صنایع نظامی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. معیارهای موثر در مکان یابی صنایع نظامی

هدف	معیارهای اصلی	عناصر تشکیل دهنده معیارها
عوامل	عوامل ارضی	سابقه سیل و امکان زلزله- انقطاع زمین و شیب زیاد
مربوط به	زمین- وجود بستر و مسیر رودخانه- وجود کوه های مرتفع و جنگل های انبوه	
ماهیت	عوامل زیربنائی	دسترسی به جاده ها- دسترسی به منابع آب- دسترسی به خطوط نیرو- دسترسی به شبکه های ارتباطی
عمومی	عوامل اقتصادی	هزینه های ساخت- هزینه های اجرا- هزینه های حمل و نقل- هزینه زمین
صنایع	عوامل فنی	قابلیت توسعه- الزامات فنی مخصوص زمین- زمان ایجاد تسهیل- ظرفیت سایت- طرح های آینده بر روی منطقه- موقعیت نسبت به صنایع مرتبط- امکان اجرای ماموریت
عوامل	عوامل نامطلوب	اثرات بر روی سلامت (نزدیک ترین سکنه و صنایع همسایه)- آلودگی صوتی (نزدیک ترین سکنه و صنایع همسایه)- نزدیکی به نواحی مسکونی یا توسعه ای (حداکثر ۶ کیلومتر)
مربوط به	بر سکنه	
ماهیت	عوامل نامطلوب	نزدیکی به ذخایر آب و حوض های آب زیرزمینی
نامطلوب	بودن	بر منابع طبیعی (حداکثر ۳ کیلومتر)- اثرات بر روی محیط زیست
صنایع	عوامل نامطلوب	نزدیکی به نواحی تاریخی، باستانی، دیرینه شناسی، معماری (حداکثر ۳ کیلومتر)- نزدیکی به نواحی محافظت شده طبیعی و چشم اندازهای زیبای طبیعی (حداکثر ۳ کیلومتر)
عوامل	عوامل اجتماعی، سیاسی و دفاعی	مخالفت عمومی- مسائل و تصمیمات سیاسی و دفاعی
عوامل	سیاسی و دفاعی	
مربوط به	عوامل دور کردن	حداکثر فاصله از مراکز ثقل مجاور (حداقل ۳ کیلومتر)-
ماهیت	سایت ها از هم	دور بودن از مراکز تولید محصولات خطرناک (حداقل ۶ کیلومتر)
خوددفاعی	عوامل تامین	فضای مورد نیاز جهت ایجاد اصول پراکندگی (حداقل ۸
صنایع	امنیت در داخل	کیلومتر مربع)- امکان ایجاد حریم حفاظتی زمینی (حداقل
	سایت	۱ کیلومتر)
	ایجاد مانع در	وجود عوارض طبیعی در نزدیکی مکان (کوه، تپه و
	دسترسی به سایت پوشش گیاهی)	

- به جای اینکه مدل برای کل ناحیه موردبررسی، تعریف و حل شود برای هر یک از ناحیه های ایجاد شده در انتهای قسمت قبل، به صورت جداگانه تعریف شده و حل خواهد شد.
- در صورت وجود مرز مشترک بین ناحیه ها و امکان کم بودن فاصله ایجاد شده بین نقاط جواب مجاور ناحیه ها با یکدیگر، سلولهای در مجاورت مرزهای مشترک، تا شعاع مطمئنی حذف می شود.
- در صورتیکه تعداد سلولهای ناحیه ای زیادتر از حدی باشد که امکان حل مدل ایجاد شده با نرم افزار لینگو وجود داشته باشد با تلفیق سلولها با یکدیگر و ایجاد سلولهای بزرگتر، تعداد سلولهای چنین ناحیه هایی تا جاییکه قابل حل توسط لینگو باشد کاهش می یابد.
- پس از انجام ساده سازی های فوق، به ایجاد و حل مدل برای هر یک از ناحیه ها پرداخته می شود. در این قسمت نیز ابتدا به ایجاد و حل مدل برای ناحیه هایی که کاملاً جدا از یکدیگر و با فاصله مناسبی از یکدیگر قرار دارند پرداخته می شود. در سایر ناحیه ها، علاوه بر سلولهای مربوطه، نزدیک ترین سلولهای انتخاب شده از ناحیه های مجاور که به علت نزدیکی، بر انتخاب سلولهای این ناحیه ها، تاثیرگذار می باشند در مدل لحاظ می شوند. فرمولاسیون مدل در صورت انجام ساده سازی های ۳ و ۴ به شرح زیر تغییر می یابد:

$$MaxD \quad (13)$$

$$st :$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K} x_k = q \quad (15)$$

$$\sum_{l \in L} x_{lm} = 1, \forall m \in M \quad (16)$$

$$D + (M - d_{ij})x_i + (M - d_{ij})x_j \leq 2M - d_{ij}, \quad (17)$$

$$\forall i, j \in J, i < j \quad (18)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \quad (19)$$

P : تعداد تسهیلات موردنظر جهت استقرار در این ناحیه باضافه تسهیلات انتخاب شده از ناحیه مجاور.

J_j : متغیرها شامل سلولهای در نظر گرفته شده از ناحیه های مجاور نیز می باشند.

X_k : سلولهایی هستند که متعلق به ناحیه های مجاور می باشند و در اینجا حتماً باید جهت استقرار تسهیلات انتخاب شوند.

q : تعداد تسهیلات مکان یابی شده در ناحیه های مجاور می باشد که مجدداً در همان سلولهای مشخص شده باید استقرار یابند.

X_l : سلولهایی هستند که با سلولهای دیگر تلفیق شده اند و در واقع از هر مجموعه سلولهای تلفیق شده با یکدیگر تنها باید یک سلول جهت استقرار تسهیل انتخاب شود. کل تعداد مجموعه های تلفیق شده، m می باشد.

در انتهای این قسمت، با توجه به نزدیک بودن امتیازات بدست آمده برای بخش های نماینده ۱ و ۴ با یکدیگر و ۲ و ۳ با یکدیگر، بخش های فوق دو به دو با یکدیگر تلفیق شده و امتیازات جدید برای هر دسته محاسبه می شود. بخش های نماینده جدید و وضعیت هر بخش در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵. بخش های نماینده تلفیق شده و اطلاعات مربوطه

شماره دسته	دسته های زیرمجموعه	امتیاز دسته	رتبه جدید	تعداد سلول
۱	۴ و ۱	۰.۳۰	۱	۸۳
۲	۲ و ۵	۰.۱۸۵	۲	۳۸
۳	۳	۰.۱۲	۳	۲۷۵

جدول ۶. امتیازات و رتبه های نهایی صنایع نماینده

رتبه ها	عناوین عوامل و گزینه ها	اوزان نرمالایز شده	رتبه ها
۱	A	۰.۳۱	۱
۳	B	۰.۱۳	۳
۳	C	۰.۱۳	۳
۴	D	۰.۰۸	۴
۲	E	۰.۲۸	۲
۵	F	۰.۰۶	۵

در انتهای این قسمت با توجه به نزدیک بودن امتیازات بدست آمده برای صنایع A و E با یکدیگر و صنایع B و C با یکدیگر و صنایع D و E با یکدیگر، و عدم وجود مغایرت قابل توجه در وضعیت صنایع فوق در خصوص معیارهای مربوطه، این صنایع دو به دو با یکدیگر تلفیق شده و امتیازات جدید برای دسته های جدید محاسبه می شود. وضعیت صنایع نماینده جدید در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷. صنایع نماینده تلفیق شده و اطلاعات مربوطه

شماره دسته	دسته های زیر مجموعه	عنوان دسته جدید	تعداد صنعت	امتیاز دسته	رتبه جدید
۱	E و A	AE	۱۰	۰.۲۹۵	۱
۲	C و B	BC	۸	۰.۱۳	۲
۳	F و D	DF	۱۲	۰.۰۷۷	۳

مرحله ۴: تخصیص صنایع به بخش های مکانی

نتایج این مرحله در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸. تخصیص صنایع نماینده به بخش های نماینده

بخش های مکانی نماینده	صنایع نماینده تخصیص یافته	شماره دسته	رتبه	امتیاز	رتبه
دسته ۱	۰.۳۰	۱	۱	۰.۲۹۵	۱
دسته ۲	۰.۱۸۵	۲	۲	۰.۱۳	۲
دسته ۳	۰.۱۱۵	۳	۳	۰.۰۷۷	۳

محدوده شهر مورد نظر باضافه محدوده مفید و مناسب اطراف آن جهت استقرار صنایع مورد نظر، در حدود ۹۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد. سلول ها به شکل مربع و به مساحت ۹ کیلومترمربع انتخاب شدند. تعداد سلولهای ایجاد شده، ۱۰۰۰ سلول گردید. تعداد سلول های حذف شده با توجه به عوامل غیرجبرانی، تعداد ۶۰۴ سلول بود و ۳۹۶ سلول نیز باقی ماند. تعداد صنایع نظامی مورد نظر جهت مکان یابی با کمک این مدل، ۳۰ صنعت در نظر گرفته شده است.

مرحله ۲: نتایج مربوط به دسته بندی سلولهای مکانی که با کمک تکنیک دسته بندی تاکسونومی عددی بهبود یافته و با استفاده از مقیاسهای کیفی دوگانه قوی و ضعیف انجام شد در جدول (۲) ارائه شده است. برای انجام محاسبات، از نرم افزار اکسل استفاده شده و با استفاده از برنامه ای که در محیط اکسل نوشته شده است محاسبات مربوط به هر مرحله، انجام و نتایج نهایی مشخص شده است.

جدول ۲. نتایج دسته بندی سلولهای مکانی

شماره	وضعیت شاخص ها			تعداد سلولهای هر دسته
	تسهیلات عمومی	تسهیلات نامطلوب	دفاع غیرعامل	
۱	ضعیف	قوی	قوی	۵۲
۲	ضعیف	ضعیف	ضعیف	۴۱
۳	قوی	ضعیف	ضعیف	۲۳۴
۴	قوی	قوی	ضعیف	۳۱
۵	قوی	قوی	ضعیف	۳۸

ب- دسته بندی تسهیلات مورد نظر جهت استقرار

نتایج مربوط به دسته بندی صنایع نظامی در جدول (۳) ارائه شده است.

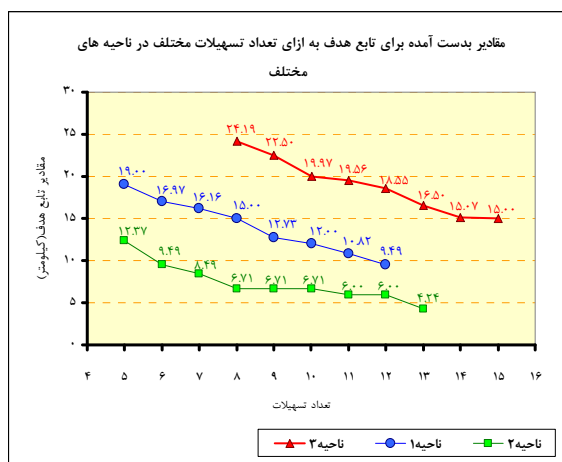
جدول ۳. دسته بندی صنایع تولید کننده محصولات نظامی

ردیف	صنایع نماینده اصلی	تعداد صنعت زیرمجموعه
۱	A	۶
۲	B	۵
۳	C	۳
۴	D	۱۰
۵	E	۴
۶	F	۲

مرحله ۳: وضعیت نهایی بخش های مکانی نماینده بدست آمده این قسمت، در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. امتیازات و رتبه های نهایی بخش های نماینده

عناوین عوامل و گزینه ها	اوزان نرمالایز شده	رتبه ها
دسته ۱	۰.۳۴۱	۱
دسته ۲	۰.۱۲۹	۴
دسته ۳	۰.۱۱۲	۵
دسته ۴	۰.۲۳۳	۲
دسته ۵	۰.۱۸۵	۳



شکل ۲. مقادیر تابع هدف براساس تعداد تسهیلات مختلف در ناحیه‌های مختلف

تعداد تسهیلات مورد نظر جهت استقرار در ناحیه یک ۱۰ تسهیل می‌باشد که مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف، ۱۲ کیلومتر شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد تسهیلات، مقدار بدست آمده برای تابع هدف نیز افزایش یافته‌است و این امر کارکرد مدل ریاضی استفاده شده را تایید می‌نماید. همچنین بازای تعداد تسهیلات یک واحد کمتر و یا بیشتر از تعداد تسهیلات اصلی، تغییر قابل توجهی در مقدار بدست آمده برای تابع هدف در این ناحیه، مشاهده نمی‌شود (در حدود یک کیلومتر)، اما با افزایش تغییرات در تعداد تسهیلات، تغییرات در مقدار بدست آمده برای تابع هدف نیز بیشتر می‌شود.

تعداد تسهیلات مورد نظر جهت استقرار در ناحیه دو، ۱۰ تسهیل می‌باشد که مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف، ۶.۷۱ کیلومتر شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد تسهیلات، مقدار بدست آمده برای تابع هدف نیز افزایش یافته‌است و این امر کارکرد مدل ریاضی استفاده شده را تایید می‌نماید. همچنین مشاهده می‌شود در صورتیکه تعداد تسهیلات، یک تا دو واحد افزایش یابد مقدار بدست آمده برای تابع هدف، تغییر نمی‌کند و در صورتیکه تعداد تسهیلات سه تا چهار واحد افزایش یابد، مقدار بدست آمده برای تابع هدف، تنها یازده درصد تغییر می‌یابد. به عبارت دیگر تعداد تسهیلات این ناحیه را تا دوازده واحد می‌توان افزایش داد بدون آنکه مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف، تغییر نماید و این تعداد را تا چهارده واحد افزایش داد در حالیکه تغییرات بوجود آمده در مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف، کمتر از یک کیلومتر گردد. تعداد تسهیلات مورد نظر جهت استقرار در ناحیه سه، ۱۲ تسهیل می‌باشد که مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف در حالتی که سلولها به صورت تلفیقی می‌باشند، ۱۸.۵۵ کیلومتر شده است. همانگونه که قابل مشاهده می‌باشد با افزایش تعداد تسهیلات، مقدار بدست آمده برای تابع هدف نیز افزایش یافته است و این امر کارکرد مدل ریاضی استفاده شده را تایید می‌نماید.

مرحله ۵: نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- در ناحیه ۱، سلولهایی که جهت استقرار تسهیلات، مناسب تشخیص داده شده‌اند عبارتند از سلولهای ۱۹۸، ۳۰۲، ۳۰۶، ۴۵۳، ۵۲۳، ۵۵۶، ۶۷۰، ۷۷۸، ۸۱۹، ۹۲۷. بهترین مقدار تابع هدف و یا حداقل فاصله ایجاد شده بین هر زوج از تسهیلات در این ترکیب استقرار، ۱۲ کیلومتر می‌باشد.
- در ناحیه ۲، سلولهایی که جهت استقرار تسهیلات، مناسب تشخیص داده شده‌اند عبارتند از سلولهای ۸۵۱، ۸۸۵، ۹۲۰، ۹۲۵، ۹۵۹، ۹۸۹، ۹۹۲، ۹۹۸. بهترین مقدار تابع هدف و یا حداقل فاصله ایجاد شده بین هر زوج از تسهیلات در این ترکیب استقرار، ۶.۷۱ کیلومتر می‌باشد.
- در ناحیه ۳، در مدل ایجاد شده به علت مجاورت این ناحیه با دو ناحیه قبلی، نزدیکترین سلولهای انتخاب شده آنها به این ناحیه نیز در مدل گنجانده شده‌اند. ضمن اینکه به علت تعدد بسیار زیاد سلولهای ناحیه ۳، از ساده سازی تلفیق سازی نیز استفاده شده است. حداقل فاصله بین تسهیلات در این ناحیه ۱۲.۳۷ کیلومتر گردیده است. سلولهای انتخاب شده مربوط به ناحیه ۳ نیز عبارتند از: ۲۹۳، ۳۹۶، ۴۲۲، ۴۶۶، ۵۰۸، ۵۵۴، ۶۲۲، ۶۷۵، ۷۰۰، ۷۱۹، ۷۹۹، ۹۴۲. براساس مقدار بدست آمده برای تابع هدف، مشاهده می‌شود فاصله ایجاد شده بین تسهیلات ناحیه ۳ با یکدیگر و تسهیلات ناحیه ۱ و ۲ با تسهیلات ناحیه ۳، بزرگتر از فاصله‌های ایجاد شده بین تسهیلات ناحیه ۱ و ۲ با یکدیگر می‌باشد و این امر، نگرانی‌ها را در مورد احتمال نزدیکی سلولهای مجاور، برطرف ساخته است.

۴-۲. آنالیز حساسیت

با توجه به اهمیت مدل ریاضی استفاده شده، تحلیل حساسیت ارائه شده در این قسمت، مربوط به مدل‌های ریاضی توسعه داده شده برای هر کدام از ناحیه‌ها می‌باشد. پارامتر ورودی مدل، تعداد تسهیلات می‌باشد.

بنابراین برای هر یک از ناحیه‌ها تحلیل حساسیت در خصوص تعداد تسهیلات و به صورت جداگانه انجام گردیده است که نتایج بدست آمده در نمودار (۲) نشان داده شده است. در این نمودارها مقادیر بدست آمده برای تابع هدف به ازای تعداد تسهیلات تعریف شده در هر ناحیه و همچنین به ازای سایر مقادیر ممکن قابل مشاهده می‌باشد.

در هر یک از ناحیه‌ها رابطه بین افزایش در تعداد تسهیلات و مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف در هر حالت و حداکثر تعداد تسهیلات قابل افزودن به تسهیلات فعلی بدون آنکه تغییر قابل توجهی در مقدار تابع هدف ایجاد شود محاسبه و نشان داده شده است. وضعیت منحنی‌های ترسیم شده، اثبات کننده کارکرد مدل استفاده شده می‌باشد.

این مدل بدون لحاظ کردن ارتباطات ممکن بین تسهیلات با یکدیگر و شناسایی تامین‌کنندگان و مشتریان آنها و ارتباطات مربوطه توسعه داده شده است، پیشنهاد می‌شود در کارهای آتی، موارد فوق نیز مد نظر قرار گیرد. بخصوص در توسعه مدل‌های کمی در این مطالعه تنها ماهیت نظامی تسهیلات مد نظر قرار گرفت، هرچند سایر عوامل در مراحل قبل مد نظر قرار می‌گیرند منتهی بررسی امکان لحاظ کردن جنبه‌های دیگر در ایجاد مدل کمی، خالی از لطف نخواهد بود. در انتها تاکید می‌شود جهت اجرای مدل در محیط واقعی، لازم است تعاملات جدی‌تری با مراکز تصمیم‌گیری و تاثیرگذار مرتبط، برقرار شده و نظرات آنها در مراحل مختلف، به دقت و به صورت رسمی اخذ شده و اعمال گردد.

مراجع

- [۱] کابلی. امین، "ارائه مدل ریاضی مکان‌یابی تسهیلات با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره"، رساله کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۷.
- [۲] اصغریور، م.، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مرکز انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- [۳] نصیری. محمدرضا، "ارائه مدل مکان‌یابی مراکز حساس و حیاتی با توجه به اصول پدافند غیرعامل"، رساله کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۷.
- [4] Jia, H., Ordonez, F., Dessouky, M., *A Modeling Framework For Facility Location of Medical Services for Larte-Scale Emergencies*, Working paper, Department of Industrial and Systems Engineering University of Southern California, 2005.
- [5] Braneau, M.L., Chiu, S.S., *An Overview of Representative Problems in Location Reserch*. Management Science, Vol. 35. 1989.
- [6] Colebrook, M., Gutiérrez, J., Sicilia, J., *A New Bound and an $O(mn)$ Algorithm for the Undesirable 1-Median Problem (Maxian) on Networks*. Computers and Operations Research 2005; 32(2): pp. 309-25.
- [7] Colebrook, M., Sicilia, J., *Undesirable Facility Problems on Multicriteria Networks*. Computer & Operation Research, Vol. 34, 2005, pp. 491-1514.
- [8] Kagamiyama, H., SH., *Single- and Multi-Objective Defensive Location Problems on a Network*. European Journal of Operational Research, Vol. 188, 2008, pp. 76-84.
- [9] Daskin, M.S., *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*. New York: Wiley-Interscience; 1995.
- [10] Zhang, F.G., *Location on Networks with Multiple Criteria*. Dissertation, Northeastern University, Boston, Massachusetts, 1996.

همچنین مشاهده می‌شود در صورتیکه تعداد تسهیلات، یک تا دو واحد کمتر از تعداد تسهیل اصلی باشد مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف، تغییری در حدود یک کیلومتر خواهد داشت و به ازای سایر مقادیر، تغییرات در تابع هدف نیز بیشتر خواهد بود. لازم بذکر است مقدار بهینه بدست آمده برای تابع هدف در این ناحیه به ازای سلولهای منفرد و با لحاظ کردن سلولهای موثر ناحیه‌های مجاور، ۱۲،۳۷ کیلومتر می‌باشد که نسبت به حالت سلولهای تلفیقی و بدون لحاظ کردن سلولهای موثر ناحیه های مجاور، ۳۳ درصد کاهش داشته‌است.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، به ارائه مدلی برای مکان‌یابی تسهیلات حساس و مشخصاً مراکز نظامی پرداخته شد. مدل مکان‌یابی ارائه شده با تفاوت قائل شدن بین ماهیت عمومی، نامطلوب و نظامی این تسهیلات و لحاظ کردن هر سه جنبه فوق، توسعه داده شده است. مدل به صورت الگوریتمی چندمرحله‌ای می‌باشد که از ترکیب مدل هیبریدی، فرآیند تحلیل شبکه (ANP)، تکنیک تاکسونومی عددی بهبود یافته و مدل کمی P-dispersion تشکیل شده است. در این مدل به منظور سهولت بررسی، محدوده مکانی به صورت سلولهای هم اندازه، شبکه بندی گردید؛ از مدل هیبریدی برای کوچکتر کردن ابعاد مساله و حذف گزینه های غیرارضاء کننده معیارهای بحرانی (غیرجبرانی) استفاده شد؛ با استفاده از تکنیک تاکسونومی عددی بهبود یافته به دسته بندی تسهیلات و سلولهای مکانی و تقلیل تعداد آنها پرداخته شد؛ از فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی وضعیت گزینه ها که شامل تسهیلات و سلولهای مکانی بودند استفاده گردید؛ از مدل کمی P-dispersion نیز به منظور ایجاد حداکثر پراکندگی بین سلولهای انتخاب شده جهت استقرار تسهیلات استفاده گردید.

مدل ارائه شده، اولین مدل توسعه داده شده جهت مکان یابی تسهیلات حساس نظامی می‌باشد که هر سه ماهیت عمومی، نامطلوب و نظامی آنها را پوشش می‌دهد. با توجه به وسعت بسیار زیاد منطقه‌های مورد بررسی و تعدد تسهیلات، مدل ارائه شده، امر مکان‌یابی تسهیلات مربوطه را تسهیل می‌نماید. در این مدل به خوبی از ترکیب چندین مدل مفید استفاده شده است. با استناد به نتایج بدست آمده در مثال موردی، نگرانی‌های مربوط به ماهیت دفاع غیرعامل تسهیلات نظامی، با استفاده از این مدل تا حدود زیادی برطرف می‌شود.

در مدل توسعه داده شده، سلولهای مکانی به‌صورت هم اندازه و به شکل های منظم هندسی ایجاد گردیدند، با توجه به متفاوت بودن فضاهای مورد نیاز جهت احداث و انجام ماموریت صنایع مختلف و تامین عوامل خاص پدافند غیرعامل آنها، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، از سلولهای با ابعاد مختلف و بعلاوه شکل‌های غیرمنظم هندسی که به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشند استفاده شود.

- [11] Ratick SJ, White AL. A risk-sharing model for locating noxious facilities. *Environment and Planning B* 1988; 15(2): pp. 165–79.
- [12] List, G.F., Mirchandani, PB. *An Integrated Network/planar Multiobjective Model for Routing and Siting for Hazardous Materials and Wastes*. *Transportation Science* 1991; 25(2): pp. 146–56.
- [13] Rahman, M., Kuby, M., *A Multiobjective Model for Locating Solid Waste Transfer Facilities Using an Empirical Opposition Function*. *INFOR* 1995; 33(1):pp. 34–49.
- [14] Giannikos, I., *A Multiobjective Programming Model for Locating Treatment Sites and Routing Hazardous Wastes*. *European Journal of Operational Research* 1998; 104(2):pp. 333–42.
- [15] Zhang, F.G., Melachrinoudis, E., *The Maximin-Maximum Network Location Problem*. *Computational Optimization and Applications* 2001; 19(2): pp. 209–34.
- [16] Skriver, AJV, Andersen, K.A., *The Bicriterion Semi-Obnoxious Location (BSL) Problem Solved by an Approximation*. *European Journal of Operational Research* 2001; 146(3): pp. 517–28.
- [17] Brown, P.A., Gibson, D, F., *A Quantified Model for Facility Site Selection Applied To A Multipoint Location Problem*. *AIIE Transactions*, Vol. 4, 1972, pp.1-10.
- [18] Buffa, E.S., Sarin, R.K., *Modern Production and Operations Management*. 8th edition, New York, John Wiley & Sons, 1987.
- [19] Zanjirani Farahani, R., Asgari, N., *Combination of MCDM and Covering Techniques in a Hierarchical Model for Facility Location: A Case Study*. *European Journal of Operational Research* 2007; 176: pp. 1839–1858.
- [20] Tuzkaya, G., Onut, S., Tuzkaya, U., Gulsun, B., *An Analytic Network Process Approach for Locating Undesirable Facilities: An Example From Istanbul, Turkey*. *Journal of Environmental Management* 2008; 88: pp. 970–983.
- [21] Love, R.F., Morris, J.G., Wesolowsky, G.O., *Facility Location Models & Methods*. Elsevier Science Publishing Co, 1988.