نشـــریه بین المللـــی مهنـدسی صنـایع و مدیـــریت تولیـــد زمستان ۱۳۸۸- صفحـه ۷۶-۶۵

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۰، زمستان ۱۳۸۸

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنایـــع و مدیـــریت تولیـــد

IJIE نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

Journal Website: http://IJIEPM.iust.ac.ir/

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

کلمات کلیدی

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

چکیده:

مهمترین اهـــداف در ضربه زدن به یک کشور نابودی مراکز حساس نظامی و صنعتی آن می باشد. از مهم‌ترین و ضروری‌ترین 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 نـظامی یکی از مهمترین اقداماتی است که موجب کاهش قابل توجه هزینه های بعدی مرتبط با فعـــالیتها و

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

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

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 پدافندغیرعامل، مدل ترکیبی مکان یابی تسهیلات حساس جهت مکان یابی آنها ارائه گردیده است. در توسعه این مدل از مدل هیبریدی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای، روش دسته‌بندی 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 مکان‌یابی اولین بار توسط فان تانونن[۱] در سال ۱۸۲۶ میلادی و در زمینه فعالیتهای کشاورزی ابداع گردید و اولین چهارچوب علمی این نظریه به‌طور رسمی توسط آلفرد وبر در سال ۱۹۰۹ معرفی شد. او مساله مکان‌یابی 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 مکان‌یابی شروع شد که تا حدودی با کاربردهایی که تا آن زمان مطرح بودند متفاوت می نمود؛ از جمله این موارد، مکان‌یابی سایت های دفع ضایعات جامد بود[۲]. اکثر مدلهای مکان‌یابی مربوط به مکان‌یابی تسهیلاتی از قبیل مراکز آموزشی، مراکز فروش و مراکز اورژانس می‌باشند. در مورد همه این تسهیلات که اصطلاحاً، تسهیلات مطلوب نامیده می‌شوند سعی می‌شود 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، محل‌های انباشت زباله و ضایعات، کارخانجات شیمیائی، راکتورهای هسته ای، تاسیسات نظامی و کارخانجات تولید کننده محصولات نظامی می‌باشند که به علت تولید آلودگی و نیز در معرض خطر قرار دادن ساکنین اطراف، تسهیلات نامطلوب بوده و سعی می‌شود تا حد امکان دور از ساکنین، تاسیس شوند[۳]. اگر چه این تسهیلات نامطلوب، در کل برای جامعه، لازم و ضروری می‌باشند منتهی مکان ایجاد آنها ممکن است با عدم موافقت جدی مردم مواجه شود و البته مخالفت آنها نیز منطقی می‌باشد. در این زمینه می توان به کارهای کلبروک 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 می‌باشد 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 مکان‌یابی حداکثر مجموع[۱] است که مربوط به مساله مکان‌یابی 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 می‌باشد. در این مورد می‌توان به کارهای مینیه‌کا(۱۹۸۳)، چرچ و گارفینکل(۱۹۷۸)، درزنر و وسولوسکی(۱۹۸۵) اشاره نمود. در این مدل که در مکان‌یابی مراکزی مانند زندان‌ها، نیروگاهها و محل های تخلیه زباله به کار می‌رود هدف، دور کردن این مکان ها از نقاط تقاضاست. در واقع در این مدل، P مرکز به گونه ای مکان‌یابی می‌شوند که کل فاصله وزین مراکز تخصیص داده شده به این نقاط حداکثر شود.

دومین مدل، مدل مکان‌یابی حداکثر حداقل[۲] است. هدف این مدل، ماکزیمم کردن مینیمم فاصله بین مرکز خدمت‌دهی و نقاط تقاضا می‌باشد. در این مورد می توان به کارهای کولشرستا(۱۹۸۴) و مینیه کا(۱۹۸۳) اشاره نمود. مدل سوم، مدل مکان‌یابی P-dispersion است که هدف آن، مکان‌یابی P تسهیل بر روی یک شبکه بمنظور ماکزیمم کردن مینیمم فاصله بین هر جفت از تسهیلات می‌باشد. در این مورد می‌توان 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 مکان‌یابی پایگاههای 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 مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب تاکید می‌کنند و چنین بیان می‌کنند که: " مدلهای فعلی می‌توانند جهت تولید تعداد کمی از سایتهای نامزد شده به کار روند، ولیکن انتخاب نهائی یک سایت، مساله ای پیچیده تر بوده و بدین منظور، حتماً باید از ابزار تصمیم‌گیری چند هدفه استفاده شود." داسکین[۷] و جانگ[۸]، نه تنها بر ضرورت نیاز به چند معیاره در مسائل مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب تاکید می‌کنند بلکه این واقعیت را بیان می‌کنند که توجه ضعیفی توسط محققین به این مسائل شده است و تحقیقات کمی در این شاخه امیدبخش انجام شده است.

[1] *Maxisum(anti-median)*

[2] *Maximin(anti-center or distant point)*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

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[1] توسط راتیک و وایت در سال ۱۹۸۸[۹]، ارائه یک مدل مکان‌یابی/مسیریابی ترکیبی توسط لیست و میرچندانی در سال ۱۹۹۱[۱۰] ، ارزیابی مینیمم‌سازی 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*[2] بر روی یک شبکه عمومی با استفاده از دو هدف ماکزیمم کردن مینیمم 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]، مدلسازی مساله مکان‌یابی یک تسهیل نیمه مزاحم[3] مانند یک مساله دو معیاره[4] در هر دو حالت سطح و شبکه توسط اسکرایور 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 *حداکثر حداقل*[5] و *حداکثر مجموع*[6] بوسیله یک پارامتر λ توسط کلبروک و سیسیلی در سال ۲۰۰۵[۳].

علاوه بر استفاده از روش های کمّی، مدل‌های 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 نظرگرفتن چنین عواملی، باعث توسعه مدل هیبریدی، توسط براون و گیبسون[۱۵] و بوفا 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 کمّی 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 خصوصیاتی 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 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 می توان 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 خوددفاعی‌بودن 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 می کند. 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 می شود؛ با استفاده از مدل ریاضی P-dispersion نیز سعی می شود 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 می شود.

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

[1] *Tree objectives*
[2] *obnoxious*
[3] *semi-obnoxious*
[4] *bicriterian*
[5] *maximin*
[6] *maxisum*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

۲. معرفی مدلهای مورد استفاده

۲-۱. فرآیند تحلیل شبکه[۱]

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)[۲]، فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)[۳]، تاپسیس و غیره روشهای پرکاربردی در تصمیم گیری می‌باشند. 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 پایین‌تر و مستقل‌بودن از آنها می‌باشد و در غیراینصورت، سیستم تصمیم‌گیری 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 می‌باشند استفاده از *فرآیند تحلیل شبکه‌ای* 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 می‌شود. این امر منجر به استخراج اوزان و امتیازات دقیق تر برای معیارها و گزینه ها خواهد شد.

۲-۲. روش دسته‌بندی تاکسونومی عددی بهبودیافته

آنالیز تاکسونومی برای طبقه‌بندیهای مختلف در علوم به‌کار برده می‌شود. نوع خاص آن، تاکسونومی عددی می‌باشد که بنابر تعریف، ارزیابی عددی شباهت‌ها و نزدیکی‌ها بین واحدهای تاکسونومیک(موضوعات مورد مطالعه) و درجه‌بندی آن عناصر به گروه‌های 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 می‌باشد:

گام ۱: تشکیل ماتریس شاخص ها:

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

$$X=\begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,m} \\ x_{2,1} & & & \\ . & & & \\ . & & & \\ x_{n,1} & & & x_{n,m} \end{bmatrix}_{n\times m} \qquad (۱)$$

در این ماتریس، $x_{n,m}$ بیانگر امتیاز شاخص m ام از بخش n ام می‌باشد. ارتباط هر بخش با عوامل اصلی بررسی شده و میزان برخوردار 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:

$$\overline{x}_j=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_{i,j} \qquad (۲)$$

۲. انحراف معیار مقادیر هرستون طبق فرمول زیر بدست می‌آید:

$$S_j=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{i,j}-\overline{x_j}\right)^2}{n}} \qquad (۳)$$

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

$$D_{i,j}=\frac{x_{i,j}-\overline{x_j}}{S_j} \qquad (۴)$$

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

$$D_{i,j}=\begin{bmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} & \dots & D_{1,m} \\ D_{2,1} & & & \\ . & & & \\ . & & & \\ D_{n,1} & & & D_{n,m} \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

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

[2] *Analytical Hierarchy Process*
[3] *Analytical Network Process*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

گام ۳: محاسبه اختلاف میان بخش ها و تشکیل ماتریس فاصله های بین بخش ها

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

$$d_{a,b} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(D_{a,j} - D_{b,j}\right)^2} \qquad (۶)$$

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

$$d_{n\times n} = \begin{bmatrix} d_{1,1}=0 & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ d_{2,1} & & & \\ . & & & \\ . & & & \\ d_{n,1} & & & d_{n,n}=0 \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

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

گام ۴: یافتن بخش های مشابه(همگن)

در هر ردیف از ماتریس d می توان 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 فاصله های هر ردیف و انحراف معیار آنها و تعریف فاصله همگن بودن براساس آنها، همگن بودن بخش ها براساس صفر بودن فاصله بین دو بخش تعریف می شود. به عبارت دیگر، بخش‌هایی که اختلاف بین آنها در ماتریس فاصله بین بخشها صفر می‌باشد بخش‌های همگن خواهند بود.

۳-۲. مدل ریاضی P-dispersion

مدلهای ریاضی با کمک گیری از ابزار بهینه سازی ریاضی به تعیین دقیق مکان های بهینه می‌پردازند و یک حل مناسب اولیه را ایجاد می‌نمایند. مدلی که دراینجا 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 به‌کار 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 به‌صورت زیر است:

$$MaxD \qquad (۸)$$

$$st:$$

$$\sum_{j\in J} x_j = P \qquad (۹)$$

$$D + (M - d_{ij})x_i + (M - d_{ij})x_j \le 2M - d_{ij}, \qquad (۱۰)$$

$$\forall i, j \in J, i < j \qquad (۱۱)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \qquad (۱۲)$$

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 $D \le d_{ij}$ [۲۱]. محدودیت (۱۲) نیز بیان می‌کند که متغیرها از نوع صفر یا یک[1] هستند.

۳. مدل پیشنهادی

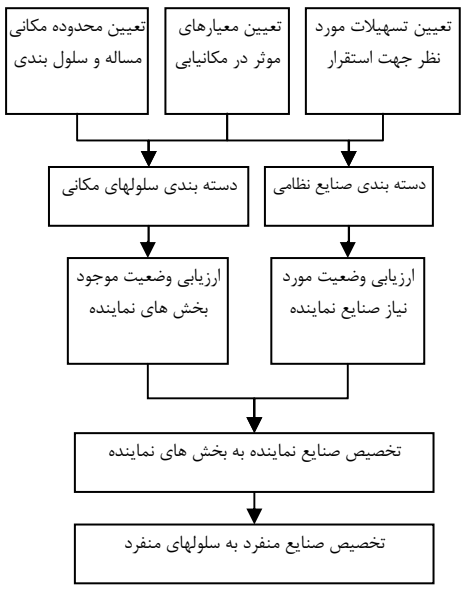
مدل ارائه شده به صورت الگوریتمی چند مرحله‌ای می باشد. طرح شماتیک مدل مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است. در مرحله اول، عوامل موثر در مکان یابی صنایع نظامی، محدوده مکانی مساله و تسهیلات مورد نظر جهت استقرار، تعریف و مشخص می شوند؛ محدوده مکانی جهت سهولت بررسی به صورت سلولهای هم اندازه، شبکه بندی می شود. 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 می شود. 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 می شود. در مرحله چهارم، براساس امتیازات و رتبه های بدست آمده در مرحله چهارم، صنایع نماینده به ترتیب اولویت‌ها و امتیازات به دسته های مکانی نماینده، تخصیص می یابند.

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

[1] *integer*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

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



شکل ۱. طرح شماتیک مدل مکان‌یابی صنایع نظامی

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

مرحله۱: این مرحله خود شامل سه زیرمرحله می باشد.

الف: تعیین معیارهای موثر در مکانیابی صنایع نظامی

عوامل موثر در مکان‌یابی تسهیلات عمومی، تقریباً مشخص می‌باشند و در مقالات متعددی به آنها اشاره شده است. اما در مورد عوامل‌موثر در مکان‌یابی تسهیلات نظامی، مطالعات بسیار محدودی معرفی شده‌اند. در این خصوص می‌توان به عوامل معرفی‌شده در مکان‌یابی 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 مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب نیز می توان به مقاله توزاکایا[۲۰] و عوامل مطرح شده در آن مقاله، اشاره نمود که عوامل موثر در مکان‌یابی 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 سلسله‌مراتبی، دسته‌بندی شده‌اند. بطور کلی در خصوص مکان‌یابی تسهیلات نظامی، عوامل متعدد و متنوعی مطرح می‌باشند. 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 می‌گیرد، لیست اولیه‌ای از عوامل موثر در مطلوبیت مکانی صنایع نظامی و موارد تشکیل دهنده هر کدام شناسایی می‌شود.

در ادامه، زیرمعیارهای با وضعیت یکسان در محدوده مکانی مساله و نیز زیرمعیارهای با تاثیر ناچیز در مکان‌یابی صنایع نماینده، مشخص و از فرآیند تصمیم‌گیری خارج می‌شوند. سپس با توجه به مدل هیبریدی، معیارهای باقیمانده به صورت جبرانی و غیرجبرانی (بحرانی) تقسیم بندی خواهند شد. عوامل غیرجبرانی همان عوامل بحرانی می‌باشند که‌درصورت ارضاءنشدن، گزینه‌مربوطه از لیست گزینه های امکان پذیر حذف می‌شود.

ب. تعیین و شبکه بندی محدوده مکانی مساله

در این قسمت، محدوده مکانی مساله مشخص می‌شود. 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 تصمیم‌گیر از کل محدوده مکانی، ناحیه مناسب اولیه با توجه به ابعاد محدوده شهر مورد مطالعه، انتخاب می شود. برای سهولت بررسی، ناحیه انتخاب‌شده به‌سلول‌هایی با ابعاد مناسب، شبکه‌بندی می شود. ابعاد سلول‌ها با توجه به مواردی از قبیل متوسط مساحت مورد نیاز جهت فعالیت یک صنعت نظامی و حدفاصل امنیتی بین دو صنعت مجاور، مطابق با نظرات خبرگان به اندازه‌ای تعیین می‌شود 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 می‌توان بر روی سلول‌های مشخص‌شده بر روی نقشه، تحلیل‌های 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 ماهواره‌ای، سیاحتی، گسل، سیاسی و اقتصادی و توریستی شهرستان و استان مورد نظر استفاده می‌شود.

پس از انجام شبکه‌بندی، با استفاده از مدل هیبریدی، تعدادی از سلول‌ها از فضای امکان‌پذیر جواب خارج می‌شوند . برای ارزیابی وضعیت سلولها از روش تصمیم‌گیری‌گروهی و تکنیک طوفان ذهنی استفاده می‌شود. در انتهای این مرحله، عوامل فقط غیرجبرانی، از لیست عوامل و معیارهای موثر در تصمیم‌گیری، خارج شده و تصمیم‌گیری‌های 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.

مرحله۲: این مرحله خود شامل دو زیرمرحله می باشد.

الف: دسته بندی سلولهای مکانی

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

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

مکان‌یابی صنایع نظامی، مورد شناسایی قرار گیرند. منتهی بدلیل اینکه تعداد سلول های باقیمانده زیاد می‌باشد و بـــررسی وضعیت همگی آنها هزینه بر و زمان بر خواهد بود، لازم است بر اساس شباهت‌ها 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 کمّی به گزینه ها، از امتیازدهی کیفی استفاده می‌شود. با توجه به مزایای ذکر شده در خصوص استفاده از مقیاس‌های کیفی محدودتر در تحقیق نصیری[۱۹]، پیشنهاد می شود از مقیاس‌های دو گانه و به صورت قوی و ضعیف استفاده شود. در انتهای این بخش، تعداد سلولهای مکانی به دسته‌های نماینده مکانی، کاهش پیدا می‌کند.

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 بخش‌ها و صنایع نماینده

پس از دسته‌بندی 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 می‌شود. بدین منظور از روش فرآیند تحلیل شبکه(ANP)[1] استفاده می‌شود. ساختار مساله با توجه به هدف، معیارها و زیرمعیارهای تعریف‌شده و همچنین گزینه‌ها(صنایع نماینده و بخش های نماینده) تعریف می شود. برای انجام بررسی‌های موردنیاز از اطلاعات میدانی و نظرات خبرگان، استفاده می‌شود. بدین منظور از ماتریس‌های مقایسات زوجی معیارهای اصلی، زیرمعیارها و بخش‌ها و صنایع نماینده که توسط تیم خبره و با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری طوفان ذهنی تکمیل و جمع بندی می‌شوند استفاده می‌شود. این مرحله نیز دارای دو زیرمرحله می باشد.

الف: ارزیابی وضعیت موجود بخش‌های 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 بخش‌های 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 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 بخش‌های نزدیک، اقدام و امتیاز و رتبه جدید برای دسته‌های جدید محاسبه می‌شود.

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 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 دسته‌های جدید محاسبه می‌شود.

مرحله ۴: تخصیص صنایع به بخش‌های مکانی

پس از اتمام مراحل قبل، امتیاز و رتبه بخش‌های نماینده و صنایع نماینده مشخص می‌شود و براساس امتیازات و رتبه‌های محاسبه شده، هر یک از صنایع نماینده، جهت استقرار به یکی از بخش های نماینده تخصیص می‌یابد. 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 می‌شوند. بدین منظور از مدل ریاضی P-dispersion استفاده می شود. با به‌کار بردن این مدل، سعی می‌شود 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[2] استفاده می شود. با توجه به عدم توانایی نرم افزار لینگو درحل مدلهای بزرگ و عدم دسترسی به نرم افزار پیشرفته تر، لازمست با انجام ساده سازیهایی، ابعاد مساله کوچک‌تر شود. ساده‌سازی های انجام شده [۱۹] به شرح ذیل می‌باشند:

[1] *Analytical Network Process*

[2] *Lingo 8.0*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

- 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.
- درصورت وجود مرز مشترک بین ناحیه‌ها و امکان کم بودن فاصله ایجاد شده بین نقاط جواب مجاور ناحیه ها با یکدیگر، سلولهای در مجاورت مرزهای مشترک، تا شعاع مطمئنی حذف می‌شود.
- در صورتیکه تعداد سلولهای ناحیه ای زیادتر از حدی باشد که امکان حل مدل ایجاد شده با نرم‌افزار لینگو وجودداشته باشد با تلفیق سلولها با یکدیگر و ایجاد سلولهای بزرگتر، تعداد سلولهای چنین ناحیه هایی تا جاییکه قابل حل توسط لینگو باشد کاهش می‌یابد.
- پس از انجام ساده‌سازی‌های فوق، به ایجاد و حل مدل برای هر یک از ناحیه‌ها پرداخته می‌شود. در این قسمت نیز ابتدا به ایجاد و حل مدل برای ناحیه‌هایی که کاملاً جدا از یکدیگر و با فاصله مناسبی از یکدیگر قرار دارند پرداخته می‌شود. در سایر ناحیه ها، علاوه بر سلولهای مربوطه، نزدیک ترین سلولهای انتخاب‌شده از ناحیه های مجاور که به علت نزدیکی، بر انتخاب سلولهای این ناحیه ها، تاثیرگذار می‌باشند در مدل لحاظ می‌شوند. فرمولاسیون مدل در صورت انجام ساده سازی های ۳ و ۴ به شرح زیر تغییر می یابد:

$$MaxD \quad (۱۳)$$

$$st: \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j\in J} x_j = P \quad (۱۵)$$

$$\sum_{k\in K} x_k = q \quad (۱۶)$$

$$\sum_{l\in L} x_{l_m} = 1, \forall m \in M \quad (۱۷)$$

$$D + (M - d_{ij})x_i + (M - d_{ij})x_j \le 2M - d_{ij}, \quad (۱۸)$$

$$\forall i,j \in J, i < j \quad (۱۹)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J$$

P: تعداد تسهیلات موردنظر جهت استقرار در این‌ناحیه باضافه تسهیلات‌انتخاب‌شده از ناحیه‌مجاور.

X_j: متغیرها شامل سلولهای در نظر گرفته شده از ناحیه های مجاور نیز می‌باشند.

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

q: تعداد تسهیلات مکان‌یابی شده در ناحیه های مجاور می‌باشد که مجدداً در همان سلولهای مشخص شده باید استقرار یابند.

X_l: سلولهایی هستند که با سلولهای دیگر تلفیق شده‌اند 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 می‌باشد.

محدودیت (۱۴) مربوط به انتخاب قطعی سلولهای ناحیه های مجاور می‌باشد که در مراحل قبلی، تعیین شده‌اند.

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.

مرحله۱: لیست اولیه عوامل موثر شناسایی شده در مطلوبیت مکانی صنایع نظامی درجدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. معیارهای موثر در مکان یابی صنایع نظامی

هدف	معیارهای اصلی	عناصر تشکیل دهنده معیارها
عوامل مربوط به ماهیت عمومی صنایع	عوامل ارضی	سابقه سیل و امکان زلزله- انقطاع زمین و شیب زیاد زمین- وجود بستر و مسیر رودخانه- وجود کوه های مرتفع و جنگل های انبوه
	عوامل زیربنائی	دسترسی به جاده ها- دسترسی به منابع آب- دسترسی به خطوط نیرو- دسترسی به شبکه های ارتباطی
	عوامل اقتصادی	هزینه های ساخت- هزینه های اجرا- هزینه های حمل و نقل- هزینه زمین
	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 مربوط به ماهیت نامطلوب بودن صنایع	عوامل نامطلوب بر سکنه	اثرات بر روی سلامت (نزدیک ترین سکنه و صنایع همسایه)- آلودگی صوتی (نزدیک‌ترین سکنه و صنایع همسایه)- نزدیکی به نواحی مسکونی یا توسعه ای (حداکثر ۶ کیلومتر)
	عوامل نامطلوب بر منابع طبیعی	نزدیکی به ذخایر آب و حوض های آب زیرزمینی (حداکثر ۳ کیلومتر)- اثرات بر روی محیط زیست
	عوامل نامطلوب بر مناظر و آثار با ارزش	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 مربوط به ماهیت خوددفاعی صنایع	عوامل اجتماعی، سیاسی و دفاعی	مخالفت عمومی- مسائل و تصمیمات سیاسی و دفاعی
	عوامل دور کردن سایت‌ها از هم	حداکثر فاصله از مراکز ثقل مجاور(حداقل۳ کیلومتر)- دور بودن از مراکز تولید محصولات خطرساز(حداقل ۶ کیلومتر)
	عوامل تامین امنیت در داخل سایت	فضای مورد نیاز جهت ایجاد اصول پراکندگی(حداقل ۸ کیلومتر مربع)- امکان ایجاد حریم حفاظتی زمینی(حداقل ۱ کیلومتر)
	ایجاد مانع در دسترسی به سایت	وجود عوارض طبیعی در نزدیکی مکان(کوه، تپه و پوشش گیاهی)

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

محدوده شهر مورد نظر باضافه محدوده مفید و مناسب اطراف آن جهت استقرار صنایع مورد نظر، در حدود ۹۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد. سلول‌ها به شکل مربع و به مساحت ۹ کیلومترمربع انتخاب شدند. تعداد سلولهای ایجاد شده، ۱۰۰۰ سلول گردید. تعداد سلول‌های 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.

مرحله۲: 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 دسته	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. دسته‌بندی 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 بخش‌های 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

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 می‌شود. بخش‌های نماینده جدید و وضعیت هر بخش در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵. بخش های نماینده تلفیق شده و اطلاعات مربوطه

شماره دسته	دسته‌های زیرمجموعه	امتیاز دسته	رتبه جدید	تعداد سلول
۱	۱ و ۴	۰،۳۰	۱	۸۳
۲	۵ و ۲	۰،۱۸۵	۲	۳۸
۳	۳	۰،۱۲	۳	۲۷۵

جدول ۶. امتیازات و رتبه های نهایی صنایع نماینده

عناوین عوامل و گزینه ها	اوزان نرمالایز شده	رتبه ها
A	۰،۳۱	۱
B	۰،۱۳	۳
C	۰،۱۳	۳
D	۰،۰۸	۴
E	۰،۲۸	۲
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 می‌شود. وضعیت صنایع نماینده جدید در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷. صنایع نماینده تلفیق شده و اطلاعات مربوطه

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

مرحله ۴: تخصیص صنایع به بخش‌های 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	امتیاز	رتبه	شماره دسته	امتیاز	رتبه
۱	۰،۳۰	۱	**۱**	۰.۲۹۵	۱
۲	۰،۱۸۵	۲	**۲**	۰.۱۳	۲
۳	۰،۱۱۵	۳	**۳**	۰.۰۷۷	۳

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

مرحله ۵: نتایج بدست آمده به شرح زیر می باشد:

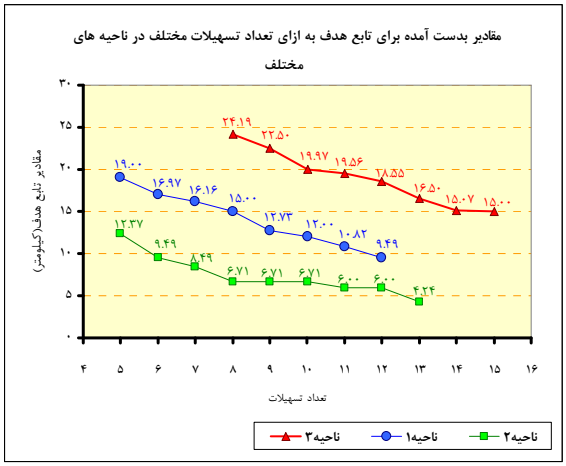
- در ناحیه۱، سلولهایی که جهت استقرار تسهیلات، مناسب تشخیص داده شده‌اند عبارتند از سلولهای ۱۹۸، ۳۰۲، ۳۰۶، ۴۵۳، ۵۲۳، ۵۵۶، ۶۷۰، ۷۷۸، ۸۱۹، ۹۲۷. بهترین مقدار تابع هدف و یا حداقل فاصله ایجاد شده بین هر زوج از تسهیلات در این ترکیب استقرار، ۱۲ کیلومتر می‌باشد.
- در ناحیه۲، سلولهایی که جهت استقرار تسهیلات، مناسب 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 ناحیه۳، 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 ناحیه۳، 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 می شود 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.

۲-۴. 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 می باشد.

بنابراین برای هر یک از ناحیه ها 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 می باشد.

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 می باشد.



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 یافته است 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.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

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 کمّی 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 بهبودیافته 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؛ ازمدل کمّی 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 می شود.

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. 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 کمّی در این مطالعه تنها ماهیت نظامی تسهیلات مد نظر قرار گرفت، هرچند سایر عوامل در مراحل قبل مد نظر قرار می گیرند منتهی بررسی امکان لحاظ کردن جنبه‌های دیگر در ایجاد مدل کمّی، 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 تصمیم گیری چندمعیاره"، رساله کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۷.

[۲] اصغرپور، م.، تصمیم گیری چندمعیاره، مرکز انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

[۳] نصیری. محمدرضا،" ارائه مدل مکان‌یابی مراکز حساس و حیاتی با توجه به اصول پدافندغیرعامل"، 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*. NewYork:Wiley-Interscience; 1995.

[10] Zhang, F.G., *Location on Networks with Multiple Criteria*. *Dissertation*, Northeastern University, Boston, Massachusetts, 1996.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]

[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-Maxisum 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 Analaytic 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.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-10-17]