محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۳، صفحهٔ ۴۸۰-۴۶۳

استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مبتنی بر تلفیق روش‌های DEMATEL و ANP در انتخاب مکان بهینهٔ آرامستان‌ها (مطالعهٔ موردی: اصفهان)

مرضیه طاهری[۱]، رحیم‌علی عباسپور*[۲]، سیدکاظم علوی‌پناه[۳]

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی -گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی- دانشگاه تهران tahery_mt63@ut.ac.ir

۲. استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری -پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

۳. استادگروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی -دانشکدهٔ جغرافیا- دانشگاه تهران salavipa@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶

چکیده

امروزه شهر پویا شهری است که بتواند خدمات‌رسانی مطلوبی را برای شهروندان ارائه دهد. آرامستان‌ها از جمله مراکز خدماتی محسوب می‌شوند که رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت، تکمیل ظرفیت آن‌ها را به‌همراه داشته و برنامه‌ریزی جامع و از پیش تعیین‌شده برای مواجهه با این بحران ضروری است. متأسفانه در شهرهای ایران مطالعه و برنامه‌ریزی برای مواجهه با این بحران وجود ندارد. از آنجا که امروزه رعایت استانداردهای زیست‌محیطی یکی از اصول احداث تجهیزات و امکانات شهری و فراشهری است، در این پژوهش با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، که در تلفیق با GIS توانسته است به حل مسائل تصمیم‌گیری فضایی کمک کند، مکان آرامستان جدیدی برای اصفهان بر اساس معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی پیشنهاد شده است. معیارهای مؤثر در مکانیابی آرامستان با استفاده از منابع و نظر کارشناسان شناسایی شده است. با توجه به اینکه تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارها از یکدیگر، آن‌ها را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌کند، از روش دیمتل برای استخراج روابط اثرگذاری بین عوامل استفاده شد. نقشهٔ حاصل از دیمتل برای مدل‌سازی ANP برای وزن‌دهی عوامل به کار گرفته شد. سپس، با استفاده از نتایج آن‌ها در محیط GIS نقشه‌های فازی وزن‌دار عوامل تولید شد. در نهایت با کمک عملگر گامای فازی نقشه‌ها ترکیب شدند تا نتیجهٔ به‌دست‌آمده از آن کاستی‌های روش جمع، که ساده‌ترین روش ترکیب نقشه‌هاست را بهبود دهد. مکان بهینهٔ متناسب با شرایط زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی پیشنهاد شد. احداث آرامستان در این مکان از انتشار آلودگی به شهر جلوگیری می‌کند و پیشنهاد چند آرامستان به منظور جلوگیری از ترافیک در شهر است.

کلیدواژه

آرامستان، اصفهان، تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش DEMATEL، فازی، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP).

۱. سرآغاز

یکی از وظایف اساسی و مهم برنامه‌ریزان شهری و ناحیه‌ای، تخصیص زمین به کاربری‌های گوناگون شهری با توجه به نقش و کارکرد شهر، اقتصاد شهری و تأثیر و تأثر متقابل کاربری‌ها با یکدیگر است. این قسمت از کار، جنبهٔ کمّی موضوع است. آنچه از اهمیت بیشتری برخوردار است، جنبهٔ کیفی مسئله، یعنی توزیع و استقرار متناسب کاربری‌ها در سطح فیزیکی شهر (مکان‌گزینی بهینهٔ کاربری‌ها) است تا با کارکرد مناسب آن‌ها، شهرنشینان برای برخورداری از خدمات و امکانات ارائه‌شده در نقاط

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۰۹۱۲۳۰۱۱۲۵۵ Email: abaspour@ut.ac.ir

مختلف شهر، به رفت و آمدهای اضافی نیاز نداشته باشند و بدین ترتیب، ضمن کاسته‌شدن از آلودگی‌های محیطی و کمک به ایجاد فضای سالم شهری و محیط‌زیست قابل قبول، زندگی آرام و راحتی برای شهرنشینان فراهم شود (پرهیزگار و همکاران، ۱۳۷۶). آرامستان‌ها نیز از جمله کاربری‌هایی هستند که از خدمات شهری ضروری به شمار می‌روند. متأسفانه چنین پیش‌بینی می‌شود که تکمیل ظرفیت آرامستان‌ها در دههٔ آتی سبب بروز بحران شهری خواهد شد که لزوم ایجاد آرامستان دوم و سوم را ایجاب می‌کند. ضرورت ایجاد آرامستان دوم و سوم در شهرها فقط در اثر تکمیل ظرفیت کنونی آن‌ها نیست، بلکه بعد مسافت آرامستان‌های کنونی نسبت به شهرها نیز برای شهروندان آن‌ها مشکل‌زا شده و دسترسی به آن‌ها برای زیارت اهل قبور با مشکل همراه است. به نظر می‌رسد فکر ایجاد آرامستان‌ها در جهات مختلف شهرها برای دسترسی به آن‌ها برای شهروندان به راحتی مهیا شود (علی‌آبادی، ۱۳۸۱). با وجود این، هنوز برنامه‌ریزان شهری به احداث آرامستان جدید در شهرها توجه نمی‌کنند.

پژوهش‌های محدودی در خصوص شناسایی مکان آرامستان‌ها انجام گرفته است که از میان آن‌ها می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد. ویلیامز و همکاران ملاحظات زیست محیطی را برای انتخاب مکان دفن مشترک پس از بروز بیماری‌های همه‌گیر و مرگ و میرهای بیش از حد بررسی کردند. هدف از این مطالعه، ساخت چالهٔ بزرگ دفن مشترک بود. معیارهای تعیین مکان مناسب ویژگی های خاک برای تجزیهٔ اجساد، پوشش گیاهی، محیط‌زیست و پتانسیل آب‌های زیرزمینی بود. در این تحقیق از GIS به‌منزلهٔ سیستم تصمیم‌گیری استفاده نشده است و فقط به بیان معیارهای مناسب پرداختند (Williamset, et al., 2009). ریفان در مطالعه‌ای برای ادارهٔ گورستان ملی ایالت ویرجینیا با بودجهٔ ادارهٔ امور سربازان بازنشستهٔ امریکا گورستان جدیدی را برای کهنه‌سربازان تعیین کرد. به علت جمعیت زیاد کهنه‌سربازان ایالت ویرجینیا، گورستان‌ها فضای کافی برای دفن آن‌ها را نداشت. به همین علت احداث گورستان جدیدی را مطرح کردند. فاصلهٔ استاندارد تعیین‌شدهٔ ادارهٔ گورستان ملی ۱۲۰ کیلومتر بود، اما با توجه به طولانی‌شدن مسافت برای فقیرنشینان منطقه و روستاییان، این فاصله را ۸۰ کیلومتر در نظر گرفتند. به همین علت بر اساس معیار فاصله، مکانی را در غرب ویرجینیای مرکزی (۸۰ کیلومتر از ویرجینیا و مرکز تمرکز کهنه‌سربازان) پیشنهاد دادند. در این مطالعه تنها بر اساس معیار فاصله به ایجاد قبرستان جدید پرداختند و معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را در نظر نگرفتند. همچنین، از قابلیت‌های GIS برای احداث قبرستان جدید استفاده نکردند (Rephann, 2008). سانتاسیرو و همکاران پرشدن ظرفیت قبرستان‌های ایتالیا و نبود فضای کافی برای احداث قبرستان‌های جدید را عنوان کردند. آن‌ها زمان کافی برای تجزیهٔ جسد انسان را ۳۰ سال برآورد کردند و پیشنهاد دادند تا قبرستان‌های موجود بازیابی شوند و برای سرعت‌دادن به تجزیهٔ جسد انسان، از سیستم‌های تهویهٔ گاز در خاک استفاده شود تا بتوانند قبرستان های موجود را سریع‌تر بازیابی کنند. در این مطالعه نیز حتی با پرشدن ظرفیت قبرستان، پیشنهادی برای مکان یابی آرامستان جدید داده نشده است و با مجهزکردن آرامستان پیشین نیاز چند سالهٔ خود را برطرف می‌کنند (Santarsiero, et al., 2000). کوهساری و همکاران در ایران مطالعه‌ای با عنوان «تلفیق مدل AHP و منطق IO در محیط GIS» برای مکان‌گزینی تجهیزات جدید شهری (آرامستان سنندج) انجام دادند. آرامستان سنندج به علت پرشدن ظرفیت و نداشتن امکان توسعهٔ آن نیاز به ایجاد آرامستان جدید داشته است. در این مطالعه از مدل AHP استفاده شده است، زیرا این مدل رابطهٔ بین عوامل و اثرگذاری آن‌ها در یکدیگر را در نظر نمی‌گیرد و برای حل مسائل کافی به نظر نمی‌رسد. همچنین، خاک منطقه، شیب، زمین‌شناسی و عمق آب‌های زیرزمینی بررسی نشده است (کوهساری، ۱۳۸۵).

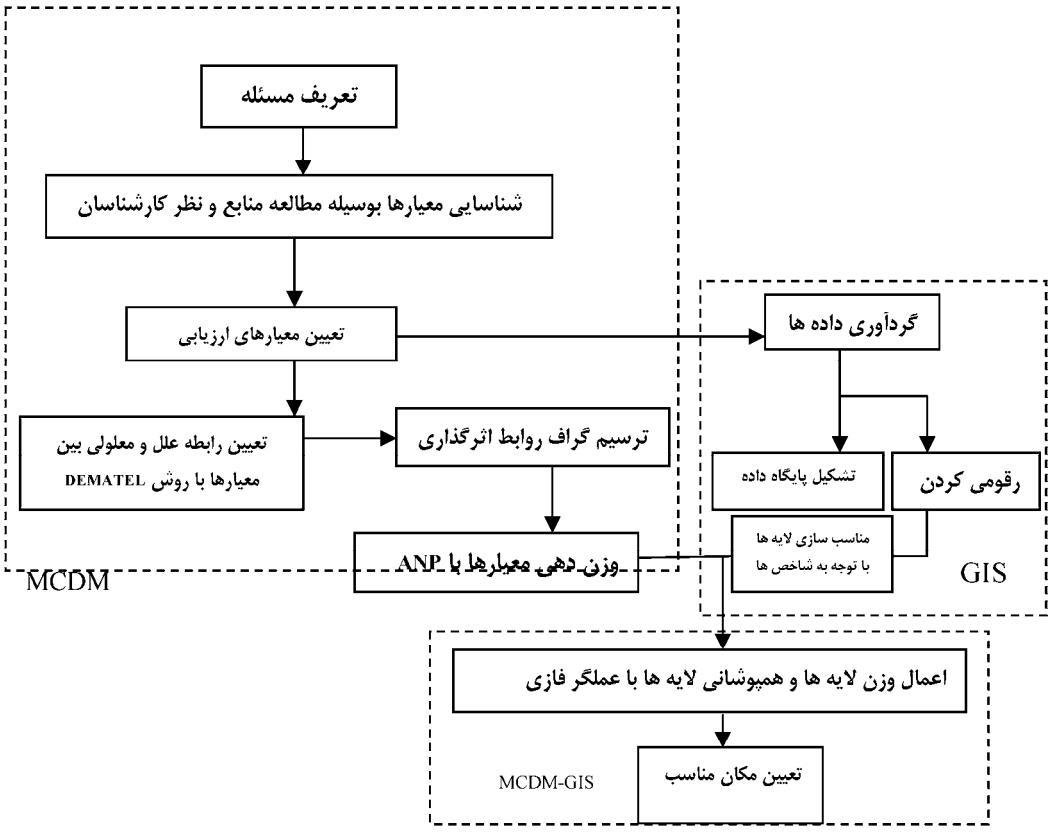
در این پژوهش استانداردهای زیست‌محیطی، اقتصادی

و اجتماعی برای آرامستان جدید لحاظ شده است. همچنین، اطلاعات کافی در زمینهٔ میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل در یکدیگر و وزن‌دهی بر اساس روابط بین عامل‌ها وجود ندارد، که در این مطالعه سعی شده است این کاستی‌ها جبران و به مطالعهٔ موارد ذکرشده پرداخته شود. از آنجا که احداث آرامستان جدید به شناسایی معیارها و وزن‌دهی به آن‌ها نیاز دارد، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مکانی در ترکیب با GIS با توجه به قابلیت‌های بالایی که در ساختاربندی و حل این‌گونه مسائل دارند، می‌توانند در حل مسائلی مانند مکان‌یابی و جانمایی نقشی اساسی ایفا کنند.

در زمینهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره چندین تکنیک در زمینه‌های انتخاب مکان وجود دارد که در این مطالعه برای انتخاب مکان مناسب از ANP و DEMATEL همراه GIS استفاده شد.

۲. روش پیشنهادی

به منظور مدل‌سازی مسئلهٔ مورد بحث در این مقاله، فرایند پژوهش در چند گام اساسی انجام گرفت. ابتدا به تعریف دقیق مسئله مبادرت ورزیده شد. سپس، با توجه به اهداف تحقیق، ابتدا عوامل و معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی آرامستان‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (تحقیقات پیشین) شناسایی و با نظرهای کارشناسان تکمیل و داده‌های مکانی منطقهٔ مورد مطالعه متناسب با معیارها جمع‌آوری شد. در ادامه، با استفاده از روش دیمتل و فرایند تحلیل شبکه‌ای، وزن هر یک از معیارها مشخص شد. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از قابلیت‌های GIS، ادغام و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی به منظور مکان‌یابی آرامستان صورت پذیرفت. شکل ۱ مراحل انجام فرایند تحقیق را نشان می‌دهد. در این مطالعه، با توجه به مطالب گفته‌شده، به مکان‌یابی آرامستان اصفهان پرداخته شده است. شناسایی مکان مناسب با توجه به معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است.



شکل ۱. روند اجرای روش پیشنهادی

۳. منطقهٔ مطالعاتی

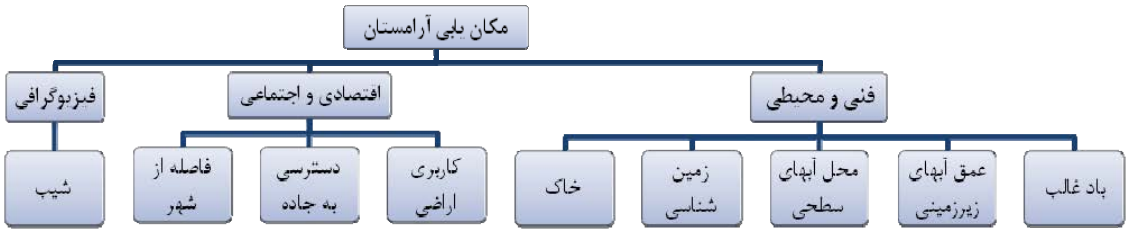
منطقهٔ مورد مطالعه این پژوهش اصفهان انتخاب شد. این شهر در شمال‌غربی شهرستان اصفهان با طول جغرافیایی ´۴۱ °۵۱ تا ´۵۰ °۵۱ و عرض جغرافیایی ´۳۲ °۳۲ تا ´۵۱ °۳۲ قرار دارد (شکل ۲).

شکل ۲. منطقهٔ مطالعاتی

اصفهان دارای ۱۴ منطقه است و شهرداری اصفهان، آرامستان شهر (باغ رضوان) را در سال ۱۳۶۳ احداث کرد که در آن زمان با گنجایش دفن ۱۵۰ هزار نفر، نیاز ۲۵ سال آیندهٔ این شهر را تأمین می‌کرد. باغ رضوان در ۱۲ کیلومتری شرق اصفهان قرار دارد و خدمات دفن اموات مسلمانان با مساحتی بالغ بر ۲۷۰ هکتار در آن عرضه می‌شود. اکنون رشد جمعیت و بروز ترافیک سنگین نیاز آرامستان جدید را در این شهر ایجاب می‌کند.

۴. معیارهای مؤثر در مکان‌یابی آرامستان

معیارهای مؤثر در مکان‌یابی آرامستان با توجه به آیین‌نامهٔ مقررات بهداشتی آرامستان‌ها (مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، ۱۳۸۷) شناسایی و با استفاده از منابع و نظرهای کارشناسان تکمیل شدند. از این رو معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی با توجه به ساختاربندی تصمیم‌گیری چندمعیاره تعیین شدند (شکل ۳).



شکل ۳. معیارهای موثر در مکان‌یابی آرامستان

۱.۴. معیارهای اقتصادی و اجتماعی

فاصله و زمان عوامل مهمی در اندازه‌گیری میزان آسایش و راحتی انسان‌ها به شمار می‌آیند، زیرا در اثر تأمین آن‌ها سهولت دسترسی به خدمات شهری که یکی از اهداف مهم برنامه‌ریزی شهری است، میسر می‌شود.

– زیرمعیار فاصله از شهر: آرامستان به دلایل گوناگونی باید دور از بافت شهری مکان‌یابی شود. از نظر فقهی حداکثر فاصلهٔ آرامستان از شهر باید به گونه‌ای باشد که موجب شکسته‌شدن نماز و باطل‌شدن روزه نشود. از سوی دیگر، با توجه به اینکه مسلمانان در فواصل زمانی معینی (تقریباً هر هفته) برای زیارت اهل قبور می‌روند، لذا فاصلهٔ آرامستان نباید در حدی باشد که موجب به زحمت افتادن شهروندان و انتقال انواع آلودگی‌ها شود. در هر حال، برای رعایت اصول شهرسازی، فاصلهٔ بین گورستان و شهر ضروری است، در غیر این صورت مشکلات متعددی مانند موارد زیر بروز می‌کند:

- انتقال انواع آلودگی شامل آلودگی هوا ناشی از سوزاندن لباس مردگان و فعل و انفعالات ناشی از تجزیهٔ اجساد، آلودگی آب ناشی از دفن جسد در خاک، آلودگی صوتی ناشی از انتشار صدای عزاداری و شیون بازماندگان به اطراف.
- تأثیر روانی و افسردگی مردم به‌ویژه کودکانی که در اطراف گورستان زندگی می‌کنند و هر روز با صحنه‌های دلخراش شیون و زاری مواجه می‌شوند.
- ایجاد ترافیک در اثر حرکت دسته‌جمعی شرکت‌کنندگان در مراسم تشییع جنازه در اطراف گورستان.
- احداث گورستان داخل شهر موجب اشغال پهنه هایی گسترده از اراضی شهری می شود که برای خدمات دیگر مناسب‌ترند.
- گورستان به جهت احترام نزد مردم، مانعی برای توسعهٔ طرح‌های عمرانی و خدماتی محسوب می‌شود. راه‌ها و بزرگراه‌های نوساز را به بن‌بست می کشاند و کار احداث شبکه های آب و فاضلاب را با دشواری مواجه می‌کند (سعیدنیا، ۱۳۷۸).

با توجه به مادهٔ ۱ آیین‌نامهٔ مقررات بهداشتی آرامستان‌ها، فاصلهٔ آرامستان تا محدودهٔ شهر باید بین ۱۰ تا ۱۳ کیلومتر باشد.

– **زیرمعیار دسترسی به جاده**: به علت خاکسپاری و مراسم پس از آن، آمد و شد به آرامستان به صورت دسته‌جمعی و گروهی انجام می‌گیرد و در ایام خاصی نظیر شب‌های جمعه و برخی مناسبت‌های مذهبی و ملی جمعیت زیادی به آرامستان روی می‌آورند. بنابراین، دسترسی مناسب و ایمن به آرامستان از اهمیت بسزایی برخوردار است. این نکته نباید از نظر دور بماند که تشییع‌کنندگان گاهی به علت تألمات روحی کاملاً منطقی عمل نمی‌کنند و لذا چنانکه مسیر دسترسی به آرامستان خارج از شهر و دارای تقاطع‌های فراوان باشد یا به هر ترتیبی ایمنی کافی را نداشته باشد، امکان بروز خطر افزایش می‌یابد (معصوم، ۱۳۸۲). فاصلهٔ کمتر از ۲ کیلومتر به‌منزلهٔ فاصله مناسب در نظر گرفته شده است (Lotfi, et al., 2009).

– زیرمعیار کاربری اراضی: آرامستان باید در جایی مکان‌یابی شود که از مراکز آموزشی، صنعتی و کارخانه‌ها دور باشد. مراتع و مزارع از جمله مکان‌های مناسب برای آرامستان‌ها محسوب می‌شوند (عمرانی، ۱۳۹۰). طبق مادهٔ ۲ آیین‌نامهٔ مقررات بهداشتی آرامستان‌ها، برای جلوگیری از واقع‌شدن آرامستان در شهر به علت توسعه، باید در جهتی که امکان توسعهٔ شهر وجود ندارد، مانند مراتع و کوه‌ها مکان‌یابی شوند.

۲.۴. معیارهای فنی و محیطی

اعمال ضوابط محیطی و بهداشتی مناسب برای کاهش آلودگی حاصل از کاربری‌های مختلف و رعایت استانداردهای بهداشتی برای تأمین سلامت محیط‌زیست انسانی یکی از اهداف مکان‌یابی کاربری‌هاست.

– **زیرمعیار خاک**: جنس خاک در فعل و انفعالات شیمیایی روی جسد بسیار مؤثر است. ترکیباتی که در جذب آب بسیار خوب عمل می‌کنند یا جذب آن‌ها بسیار کم است، موجب باقیماندن جسد به مدت طولانی می‌شوند و آلودگی محیط‌زیست را در پی خواهند داشت. بنابراین، جنس خاک و ترکیبات آن باید به گونه‌ای باشد که موجب اختلال در امر تجزیهٔ جسد نشود (معاونت آموزشی جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۷). طبق مادهٔ ۶ آیین‌نامهٔ مقررات بهداشتی آرامستان‌ها، آرامستان باید در محلی انتخاب شود که جنس خاک آن باتلاقی، صخره‌ای و گسلی نباشد (مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، ۱۳۸۷). همچنین، با توجه به مطالعات Tumeret و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات مربوط به تجزیهٔ جسد در خاک‌های لومی و آلی نسبت به رسی و شنی بیشتر بوده است.

– **زیرمعیار زمین‌شناسی**: معیار زمین‌شناسی از لحاظ میزان نفوذپذیری (مقیمی، ۱۳۸۷) سنگ بستر مطالعه

می‌شود، زیرا در ملاحظات مربوط به انتخاب محل قبرستان از ضرورت‌های اولیه به شمار می‌آید. نفوذپذیری بسیار بالا سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی و نفوذپذیری پایین نیز سبب آلودگی آب‌های سطحی می‌شود (عمرانی، ۱۳۹۰).

– **زیرمعیار آب‌های سطحی:** آرامستان نباید در مجاورت رودخانه، چشمه و قنات مکان‌یابی شود، زیرا فاضلاب آرامستان و از جمله غسال‌خانه بسیار آلوده است و به هیچ وجه نباید با آب‌های جاری مصرفی انسان، دام یا کشاورزی تماس یابد (کوهساری، ۱۳۸۵). طبق تبصرهٔ ۳ آیین‌نامهٔ مقررات بهداشتی آرامستان‌ها، آرامستان نباید در بالادست منابع آب سطحی و فاصلهٔ کمتر از ۲۰۰ متر احداث شود (مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، ۱۳۸۷).

– **زیرمعیار عمق آب‌های زیرزمینی:** طبق مادهٔ ۳ تبصرهٔ ۴ آیین‌نامهٔ مقرارتی بهداشتی آرامستان‌ها حداقل فاصلهٔ توصیه‌شده و مجاز کف قبر از سطح سفرهٔ آب زیرزمینی ۴ و ۱۳ متر است. با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی اصفهان پایین‌تر از این میزان است، در نتیجه این معیار در وزن‌دهی شرکت داده نمی‌شود و به تبع آن نقشهٔ فازی آن تهیه نمی‌شود.

– **زیرمعیار باد غالب:** جهت وزش باد غالب اصفهان از سمت غرب به مرکز شهر است. مرکز اصفهان به علت دوری آرامستان از آن در مکان‌یابی نامناسب در نظر گرفته شده است، به همین علت باد عامل محدودکننده به شمار نمی‌آید. در نتیجه این معیار در وزن‌دهی شرکت نکرده است و به تبع آن نقشهٔ فازی آن تهیه نمی‌شود.

۳.۴. معیار فیزیوگرافی

یکی از معیارهای اصول مکان‌یابی استانداردهای ایمنی است که هدف از این کار حفاظت شهر در مقابل خطرهای احتمالی است.

– **زیرمعیار شیب زمین:** توپوگرافی آرامستان باید شیب مناسبی برای تخلیهٔ سریع رواناب‌های سطحی داشته باشد تا آب ناشی از ریزش برف و باران در سطح آرامستان باقی نماند. همچنین، تعیین توپوگرافی محل دفن، به منظور تعیین میزان خاکبرداری‌ها و خاکریزی‌های مورد نیاز برای تسطیح زمین باارزش و مهم است. معمولاً مناطق مسطح با شیب کم (۱ تا ۲ درصد) مناسب‌ترین مکان‌هاست (عمرانی، ۱۳۹۰).

۵. اجرای مدل

پس از تعیین معیارها، لایه‌های مورد نظر تهیه و مدل ANP و DEMATEL برای استخراج وزن معیارها به منظور تعیین مکان مناسب اجرا شدند. سپس، روی لایه‌ها برای استخراج مکان مناسب با استفاده از عملگرهای فازی اجرا شد. در ادامهٔ این بخش، به تفصیل این مراحل تشریح شده است.

DANP .۱.۵

ANP تعمیم‌یافتهٔ روند تحلیل سلسله مراتبی AHP است که از طریق ساعاتی معرفی شده و یکی از روش‌های جدید MCDM است که برای حل مشکل وابستگی و بازخورد در میان معیارها و گزینه‌ها به وجود آمد که توانسته بسیاری از مسائل تصمیم گیری را با موفقیت انجام دهد. ANP به فرمت AHP بر اساس زنجیرهٔ مارکف است و ساختاری غیرخطی پویا دارد (Ou Yang, et al., 2013). چارچوب AHP ارتباطی تک‌جهتی با سلسله مراتب دارد، در صورتی که ANP روابط میان سطوح تصمیم‌گیری و ویژگی‌ها را فراهم می‌کند. برای مثال، مانند سلسله مراتبی، علاوه بر تعیین اهمیت معیارهای مؤثر در اهمیت گزینه‌ها، اهمیت گزینه‌هایی که ممکن است روی اهمیت معیارها اثر داشته باشند را نیز تعیین می‌کند. برای یک سیستم پیچیده، ساختار سلسله مراتبی خطی به شکل بالا به پایین نامناسب است. ساختاری مناسب است که تابع وابستگی باشد و بین خوشه‌ها بازخورد انجام گیرد و سیستم شبکه‌ای دارای چنین ویژگی‌ای است. تفاوت عمدهٔ AHP و ANP این است که ANP قادر است با برقراری ارتباط میان سطح

تصمیم‌گیری و گزینه‌ها، وزن‌های ترکیبی را از طریق ساختاری به نام *سوپرماتریس* به دست آورد. سوپرماتریس ماتریس تقسیم‌بندی‌شده‌ای است که هر قطعهٔ آن رابطهٔ بین دو مؤلفه را در سیستم نشان می‌دهد. علاوه بر این، وزن نهایی با استفاده از عملیات ماتریسی محاسبه می‌شود. عملیات ماتریسی به منظور سهولت کار و نمایش نحوهٔ عملکرد وابستگی‌ها در این روش استفاده می‌شود. سوپرماتریس بدون شک زمانی که تعداد عناصر مسئله افزایش می‌یابند انتخاب بهتری است (Dagdeviren, et al., 2010).

در این مقاله، ادغام روش DEMATEL[1] و ANP (که از این پس به اختصار DANP نامیده خواهد شد) برای محاسبهٔ وزن فاکتورهایی استفاده شده است که در مکان‌یابی آرامستان مؤثرند. زمانی که تنها از ANP سنتی استفاده می‌شود، وابستگی عوامل به صورت ارزش‌های دو به دو حل می‌شود. این در حالی است که مطابق دیمتل، سطح‌های وابستگی فاکتورها ارزش‌های دو به دو ندارند و به سیستم‌های واقعی نزدیک‌ترند. بنابراین، محاسبهٔ وزن فاکتورها از مجموع ماتریس T درون دیمتل برای جلوگیری از کاستی‌های ذکرشده در روش ANP استفاده خواهد شد. روش دیمتل تنها برای محاسبهٔ سطح اثرگذاری میان گروه‌های متفاوت فاکتورها نیست، بلکه نرمال‌سازی ماتریس تأثیر کلی، بدون وزن ثبت خواهد شد تا بتوان از این سوپرماتریس بدون وزن در روش ANP استفاده و سطح وابستگی فاکتورهای متفاوت محاسبه شود و در نهایت سوپرماتریس وزن‌دار به دست آید.

۶. فرایند و اجرای دیمتل و تحلیل شبکه‌ای

۱.۶. شناسایی روابط میان معیارها با روش DEMATEL برای ساختارسازی و تهیهٔ مدل مفهومی

دیمتل روشی جامع برای طراحی و تحلیل مدل‌هایی با ساختار علّی و معلولی پیچیده بین فاکتورهاست. روش مشاهده‌ای مبتنی بر نظریهٔ گراف، برنامه‌ریزی بصری و حل مسائل را فراهم می‌کند که عوامل مرتبط می‌توانند به صورت علت و معلولی طبقه‌بندی شوند که در این صورت، درک روابط بهتر می‌شود. محصول نهایی دیمتل یک نقشهٔ بصری است که در آن، روابط بین فاکتورها به نمایش درمی‌آید و به مدیر برای حل مسئله کمک می‌کند (Vujanovic, et al., 2010). تعامل پیچیده بین اجزای یک سیستم را می‌توان با دیمتل مدل کرد. تأثیر اولیه از یک جزء به جزء دیگر، به صورت مقداری بین ۰ و ۱ نشان داده می‌شود. صفر بدین معنا که جزء بدون اعمال تأثیر و ۱ جزء اعمال تأثیر مطلق است. مطالب ماتریس برای نشان‌دادن تأثیر بین اجزای یک سیستم استفاده می‌شود (جدول ۴). روش دیمتل در چهار گام به شرح زیر اجرا می‌شود:

- **گام اول: ماتریس میانگین A**

روش DEMATEL که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر پایهٔ مقایسهٔ زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت کارشناسان استفاده می‌شود. متغیر H کارشناسانی هستند که نظرهای خود را ارائه می‌دهند و n تعداد معیارهایی است که در نظر گرفته می‌شود. برای تکمیل ماتریس‌های زوجی از سوی کارشناسان ماتریس نظرسنجی n×n، (به گونه‌ای که سطرها و ستون‌های این ماتریس را همان معیارها تشکیل می‌دهند) به کار گرفته می‌شود. از کارشناسان خواسته می‌شود تا درجهٔ تأثیر فاکتور i را نسبت به فاکتور j نشان دهند. مقایسهٔ دو به دو عامل i و j که از سوی کارشناس kام انجام می‌گیرد، به صورت b_{ij}^{k} نشان داده می‌شود که امتیازی از ۰ تا ۵ به خود می‌گیرد. مقدار بدون تأثیر با (۰)، تأثیر بسیار کم با (۱)، تأثیر کم با (۲)، تأثیر متوسط با (۳)، تأثیر بالا با (۴) و تأثیر بسیار بالا با (۵) نشان داده می‌شود. امتیاز داده‌شده از سوی هر کارشناس، ماتریس جوابی به فرم $B^{(k)} = \left[b_{ij}^{k} \right]_{n\times n} \; (1 \le k \le H)$ را تشکیل می‌دهد. بنابراین، $B^{(1)}$، $B^{(2)}$ و $B^{(H)}$ مؤلفه‌های ماتریس‌های جواب کارشناسان H به شمار می‌روند. مؤلفه‌های قطر هر ماتریس جواب $B^{(k)}$ صفر است، به این

معنی که هر جزء بر خودش هیچ اثری ندارد. ماتریس میانگین A که n سطر و n ستون دارد، از میانگین امتیازات کارشناسان با توجه به رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$a_{ij} = \frac{1}{H}\sum_{K=1}^{H} b_{ij}^{(k)} \qquad (1)$$

ماتریس میانگین $A = \left[a_{ij}\right]_{n\times n}$، ماتریس اولیهٔ ارتباط مستقیم نامیده می‌شود. ماتریس A، آثار مستقیم اولیه را که فاکتور روی فاکتورهای دیگر می‌گذارد یا از فاکتورهای دیگر می‌گیرد، نشان می‌دهد (جدول ۱).

- گام دوم: محاسبهٔ ماتریس اولیهٔ رابطهٔ مستقیم نرمال‌شدهٔ D

در ادامه با استفاده از میانگین ماتریس A، ماتریس اولیهٔ رابطهٔ مستقیم نرمال‌سازی‌شدهٔ $D = \left[d_{ij}\right]_{n\times n}$ از رابطهٔ ۲ و ۳ به دست می‌آید:

(۲)

$$s = (\max_{1<<i<<n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij}, \max_{1<<j<<n} \sum_{i=1}^{n} a_{ij})$$

$$D = \frac{A}{S} \qquad (3)$$

حاصل جمع هر یک از درایه‌های ردیف i از ماتریس A، $(\sum_{j=1}^{n} a_{ij})$، نشان‌دهندهٔ مجموع آثار مستقیمی است که فاکتور i به فاکتورهای دیگر می‌دهد. $\max_{1<i<n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij}$ نشان‌دهندهٔ بیشترین تأثیر مستقیم کلی تمامی فاکتورهاست. همچنین، حاصل‌جمع هر یک از درایه‌های ستون j ماتریس A، $(\sum_{j=1}^{n} a_{ij})$ مجموع آثار مستقیم رسیده از هر فاکتور j را نشان می‌دهد. $\max_{1<j<n} \sum_{i=1}^{n} a_{ij}$ نشان‌دهندهٔ بیشترین آثار کلی مستقیمی است که از تمام فاکتورها می‌سد. عدد مثبت S از بیشترین عدد گرفته می‌شودو ماتریس D از طریق تقسیم هر مؤلفهٔ A از طریق عدد S به دست می‌آید. توجه شود که هر مؤلفهٔ d_{ij} از ماتریس D بین ۰ و ۱ است (جدول ۲).

گام سوم: محاسبهٔ ماتریس رابطهٔ کلی

توان نرمال‌سازی‌شدهٔ ماتریس D رابطهٔ مستقیم اولیه، D^m، که تأثیر غیرمستقیم m– نامیده می‌شود، برای نشان‌دادن اثر طولی m استفاده می‌شود. ارتباط کلی غیرمستقیم یا مستقیم با استفاده از جمع‌بندی $D+D^2+D^3+\ldots+D^\infty$ به دست می‌آید. فرض می‌شود که دیمتل اصلی برابر با D^m است، که به ماتریس صفر همگرا خواهد بود و رابطهٔ کلی ماتریس T=D+D1+D2+D3+.. D∞ از رابطهٔ ۴ به دست می‌آید:

(۴)

$$T = \lim_{n\to\infty}(D + D^2 + \ldots + D^m) = D(1-D)^{-1}\ldots$$

فرض $\lim_{m\to\infty} D^m = [\circ]_{n\times n}$ نادرست است، بنابراین، رابطهٔ $T = D + D^1 + D^2 + \ldots + D^\infty$ ممکن است وجود نداشته باشد. ماتریس $T = \left[t_{ij}\right]_{n\times n}$ به دست آمده است، که r و c به‌منزلهٔ بردارهای n×1 تعریف می‌شود که حاصل‌جمع ردیف‌ها و ستون‌های ماتریس، ارتباط T را نشان می‌دهد، رابطهٔ ۵:

$$c = \left[c_i\right]_{1\times n} = (\sum_{j=1}^{n} t_{ij})_{1\times n}$$
$$r = \left[r_i\right]_{n\times 1} = (\sum_{j=1}^{n} t_{ij})_{n\times 1} \qquad (5)$$

r_i حاصل‌جمع درایه‌های ردیف iام ماتریس T است و تأثیر کلی آثار مستقیم و غیرمستقیم که فاکتور i روی فاکتورهای دیگر می‌گذارد را نشان می‌دهد. c_j حاصل‌جمع درایه‌های ستون jام ماتریس T است که c_j تأثیر کلی مستقیم و غیرمستقیمی که فاکتور j از دیگر فاکتورها می‌گیرد را نشان می‌دهد. بنابراین، زمانی که $j=i$ باشد، حاصل‌جمع (r_i+c_i) شاخصی می‌دهد که مجموع آثار داده شده و رسیده را از طریق فاکتور i نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، (r_i+c_i) درجهٔ اهمیتی (مجموع آثار داده شده و رسیده) که فاکتور i در سیستم بازی می‌کند را نشان می‌دهد. علاوه بر این، (r_i-c_i) اثر اصلی که فاکتور i در سیستم می‌گذارد را نشان می‌دهد. اگر (r_i-c_i) مثبت باشد، اثر فاکتور i ایجادکنندهٔ اصلی و اگر (r_i-c_i) منفی باشد، فاکتور i گیرندهٔ اصلی است (جدول ۳).

جدول ۱. میانگین‌گیری از پرسشنامه‌ها

	شیب زمین	دسترسی به جاده	فاصله از شهر	محل آب‌های سطحی	زمین‌شناسی	خاک	کاربری
شیب زمین	۰	۳/۵۸	۲/۹۲	۳/۱۷	۳	۳/۴۲	۲/۸۳
دسترسی به جاده	۳/۸۳	۰	۳/۷۵	۳/۵	۳/۳۳	۳	۳/۷۵
فاصله از شهر	۱/۹۲	۳/۸۳	۰	۳/۳۳	۲/۳۳	۲/۲۵	۳/۲۵
محل آب‌های سطحی	۲/۹۲	۲/۳۳	۲/۵	۰	۲/۸۳	۲/۹۲	۲/۸۳
زمین‌شناسی	۳/۵	۲/۷۵	۲/۶۷	۲/۹۲	۰	۳/۵	۳/۱۷
خاک	۳/۵۸	۲/۳۳	۱/۶۷	۲/۵	۳/۰۸	۰	۲/۷۵
کاربری	۳/۳۳	۳/۵	۳/۶۷	۳	۲/۱۷	۲/۴۲	۰

جدول ۲. ماتریس نرمال‌شده

	شیب زمین	دسترسی به جاده	فاصله از شهر	محل آب‌های سطحی	زمین‌شناسی	خاک	کاربری
شیب زمین	۰	۰/۱۶۹۲	۰/۱۳	۰/۱۴۹۸	۰/۱۴۱۸	۰/۱۶۱۶	۰/۱۳۳۷
دسترسی به جاده	۰/۱۸۱	۰	۰/۱۷۷۲	۰/۱۶۵۴	۰/۱۵۷۴	۰/۱۴۱۸	۰/۱۷۷۲
فاصله از شهر	۰/۰۹۰۷	۰/۸۱	۰	۰/۱۵۷۴	۰/۱۱۰۱	۰/۱۰۶۳	۰/۱۵۳۶
محل آب‌های سطحی	۰/۱۳۸	۰/۱۱۰۱	۰/۱۱۸۱	۰	۰/۱۳۳۷	۰/۱۳۸	۰/۱۳۳۷
زمین‌شناسی	۰/۱۶۵۴	۰/۱۳	۰/۱۲۶۲	۰/۱۳۸	۰	۰/۱۶۵۴	۰/۱۴۹۸
خاک	۰/۱۶۹۲	۰/۱۱۰۱	۰/۰۷۸۹	۰/۱۱۸۱	۰/۱۴۵۶	۰	۰/۱۳
کاربری	۰/۱۵۷۴	۰/۱۶۵۴	۰/۱۷۳۴	۰/۱۴۱۸	۰/۱۰۲۶	۰/۱۱۴۴	۰

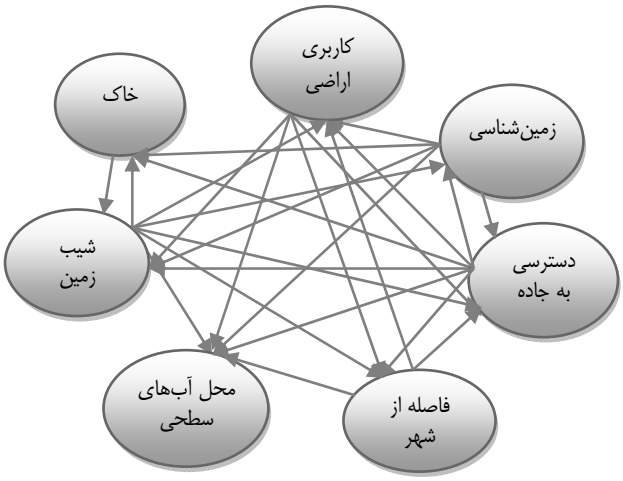
جدول ۳. ترتیب نفوذ عناصر بر دیگر عناصر یا تحت نفوذ قرارگرفتن آن‌ها

r_i+c_i		r_i-c_i	
D1	۱۱/۹۲۵۴	D2	۰/۷۷۱۸
D2	۱۲/۳۲۳۶	D5	۰/۴۷۹۳
D7	۱۱/۵۶۵۴	D1	−۰/۰۴۰۱
D5	۱۱/۱۴۳۷	D3	−۰/۰۶۴۶
D4	۱۱/۰۰۱۲	D7	−۰/۱۰۹۲
D3	۱۰/۸۷۴۳	D6	−۰/۴۳۵۵
D6	۱۰/۶۵۴۶	D4	−۰/۶۰۱۷

● گام چهارم: تنظیم یک مقدار آستانه و تهیهٔ نقشهٔ روابط اثرگذاری به منظور توضیح ساختار ارتباط میان فاکتورهایی که در سیستم‌های پیچیده قرار دارند، لازم است آستانه‌ای تنظیم شود تا برخی آثار ناچیز در ماتریس i خارج شوند. تنها فاکتورهایی که ارزش آستانهٔ آن‌ها بزرگ‌تر است، باید انتخاب و در نقشهٔ اثر ارتباط‌ها نمایش داده شوند (Lee, et al., 2013) (جدول ۴ و شکل ۴).

جدول ۴. ماتریس اثرگذاری

	شیب زمین	دسترسی به جاده	فاصله از شهر	محل آب‌های سطحی	زمین‌شناسی	خاک	کاربری
شیب زمین	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
دسترسی به جاده	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱
فاصله از شهر	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱
محل آب‌های سطحی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زمین‌شناسی	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱
خاک	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کابری	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰



شکل ۴. نقشهٔ روابط اثرگذاری

۲.۶. تعیین وزن معیارها با مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای

ساخت مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای مستلزم شناخت روابط و آثار متقابل میان معیارها و زیرمعیارهای مسئله است تا واقعی‌ترین حالت از شبکه ایجاد شود، که در مرحلهٔ پیشین از طریق DEMATEL و با نظرهای کارشناسان استخراج شده است. تعیین اوزان نهایی به کمک روش ANP شامل استخراج برداهای وزنی و تشکیل ابرماتریس است. در ادامه به توضیح مراحل روش ANP پرداخته می‌شود.

۳.۶. استخراج بردارهای وزنی

تا اینجا به تعیین روابط میان معیارها پرداختیم و در ادامه اوزان معیارها را تعیین می‌کنیم. استخراج بردارهای وزن نسبی و تشکیل سوپرماتریس بدون وزن با مقایسهٔ زوجی صورت می‌گیرد. مشابه فرایند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر تصمیم در هر خوشه به نسبت اهمیت آن‌ها نسبت به عامل کنترلی به صورت زوجی مقایسه می‌شوند و خوشه‌ها نیز به نسبت میزان اهمیت آن‌ها در برآورده‌شدن هدف با یکدیگر مقایسه می‌شوند. همچنین، به منظور استخراج بردارهای اولویت (وزن) مربوط به وابستگی‌های داخلی عناصر هر خوشه و وابستگی‌های شامل عناصر دو خوشه، تمامی عناصر خوشه‌های دارای وابستگی داخلی و متقابل به نسبت تک‌تک عناصر دیگر خوشهٔ مرتبط به صورت زوجی مقایسه می‌شوند و ماتریس‌های مختلف مشاهدات

زوجی را تشکیل می‌دهند. بعد از ایجاد ماتریس مقایسات زوجی می‌توان بردار وزن‌های نسبی را محاسبه کرد. اهمیت نسبی با مقیاس ۱ تا ۹ تعیین می‌شود، که از مساوی تا بسیار مهم است. سوپرماتریس به صورت رابطهٔ ۶ است (شکل ۵):

(۶)

$$W=\begin{array}{c} \\ D_1 \\ D_2 \\ \\ D_n \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m1} & c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m2} \end{array} \cdots \begin{array}{cc} c_{n1} & c_{n2} \end{array} \cdots c_{nmn} \\ \begin{bmatrix} W^{11} & & & W^{12} & & & \cdots & W^{1n} \\ W^{21} & & & W^{22} & & & \cdots & W^{2n} \\ & & & \vdots & & & \cdots & \vdots \\ W^{n1} & & & W^{n1} & & & \cdots & W^{nn} \end{bmatrix} \end{array}$$

	زمین شیب	محل آبهای سطحی	زمین شناسی	خاک	کاربری	فاصله از شهر	دسترسی به جاده
دسترسی به جاده	0/2184	0/0000	0/1666	0/0000	0/1666	0/1666	0/0000
فاصله از شهر	0/7147	0/0000	0/0000	0/0000	0/8333	0/0000	0/7500
کاربری	0/0667	0/0000	0/8333	0/0000	0/0000	0/8333	0/2500
خاک	0/2344	0/0000	0/0000	0/0000	1/0000	0/0000	0/6521
زمین شناسی	0/080	0/0000	0/0000	0/0000	0/0000	0/0000	0/1304
محل آبهای سطحی	0/6854	0/0000	1/0000	0/0000	0/0000	1/0000	0/2173
شیب زمین	0/0000	0/0000	1/0000	1/0000	1/0000	0/0000	1/0000

شکل ۵. سوپرماتریس بدون وزن

۴.۶. تشکیل ابرماتریس

سوپرماتریس وزن‌دار با استفاده از ضرب ماتریس نرمال‌شده (تشکیل ابرماتریس) در این مرحله تولید می‌شود. نرمال‌سازی برای به دست آوردن سوپرماتریس استفاده و هر ستون دقیقاً به یک واحد تبدیل می‌شود. این عمل شبیه زنجیرهٔ مارکوف برای حصول اطمینان است که مجموع احتمال وقوع هر حالت برابر ۱ است. در ANP سنتی نرمال‌سازی به این صورت است که هر معیار در ستون با استفاده از تعدادی خوشه تقسیم می‌شود، به طوری که هر ستون مجموع واحدی خواهد داشت، اما اثر یک خوشه در خوشهٔ دیگر ممکن است اندازه‌های مختلفی داشته باشد. بنابراین، فرض وزن مساوی برای هر خوشه برای به دست آوردن سوپرماتریس وزن‌دار در ANP سنتی نامناسب است و به همین علت از نقشهٔ تأثیرگذاری دیمتل برای وزن‌ها استفاده می‌شود. سوپرماتریس W_w به‌منزلهٔ حاصل‌جمع نرمال‌شدهٔ آثار هر گروه از فاکتورهایی که در خصوص تمام گروه‌های ماتریس کل آثار گروه است، محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۷).

$$T_D=\begin{bmatrix} t_D^{11} & \cdots & t_D^{1j} & \cdots & t_D^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} & \cdots & t_D^{ij} & \cdots & t_D^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1} & \cdots & t_D^{nj} & \cdots & t_D^{nn} \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

t_D^{11} حاصل‌جمع تمام آثار ماتریس t_{11}^c و t_D^{nn} حاصل‌جمع تمام آثار ماتریس t_c^{nn} تعریف می‌شود. روش نرمال‌سازی در رابطهٔ ۸ بیان می‌شود:

$$T_c^{a_{11}}=\begin{bmatrix} t_D^{11}/d_1 & \cdots & t_D^{i1}/d_i & \cdots & t_c^{1n}m_{11}/d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1}/d_i & \cdots & t_D^{ij}/d_i & \cdots & t_D^{in}/d_i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1}/d_n & \cdots & t_D^{nj}/d_n & \cdots & t_D^{nn}/d_n \end{bmatrix}= \qquad (۸)$$

$$\begin{bmatrix} t_D^{a11} & \cdots & t_D^{a1j} & \cdots & t_D^{a1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{ai1} & \cdots & t_D^{aij} & \cdots & t_D^{ain} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{an1} & \cdots & t_D^{anj} & \cdots & t_D^{ann} \end{bmatrix}$$

که در این رابطه:

$$d_i = \sum_{j=1}^{n} t_d^{ij} \quad i = 1,\ldots,n$$

وزن سوپرماتریس W_w از طریق ادغام ماتریس بدون وزن W با ماتریس نرمال‌شدهٔ آثار فاکتورهای گروه t_c^a محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۹):

(۹)

$$W_w = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} \times W^{11} & t_D^{\alpha 21} \times W^{12} & \cdots & \cdots & t_D^{\alpha m1} \times W^{1n} \\ t_D^{\alpha 12} \times W^{21} & t_D^{\alpha 22} \times W^{22} & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & & t_D^{\alpha ij} \times W^{ij} & \cdots \quad t_D^{ni} \times W^{in} \\ t_D^{\alpha n1} \times W^{n1} & t_D^{\alpha 22} \times W^{22} & & \cdots & \cdots \quad t_D^{\alpha nn} \times W^{nn} \end{bmatrix}$$

محاسبهٔ اولویت کلی با حد سوپرماتریس: برای محاسبهٔ بردار وزن نهایی، ابرماتریس وزنی باید مرتباً در خود ضرب شود و فرایند آنقدر ادامه می‌یابد تا ماتریس در بازهٔ قابل قبولی به ماتریسی ایستا تبدیل شود که به آن ابرماتریس حدی[۲] می‌گویند (رابطهٔ ۱۰) (شکل ۶).

$$W_Z = \lim_{Z\to\infty} W_w^Z \qquad (۱۰)$$

Z در رابطه به بی‌نهایت تمایل دارد. بردارهای سوپرماتریس حدی وزن‌های هر فاکتور را نشان می‌دهند که به هدف تعریف‌شدهٔ هر فاکتور مربوط می‌شوند (Dagdeviren, et al.,2010 & Ou y ang, et al., 2013). وزن نهایی به‌دست‌آمده برای هر معیار در جدول ۵ آورده شده است.

۵.۶. مدل‌سازی مکانی

به منظور تلفیق لایه‌های مؤثر آرامستان اصفهان، از منطق فازی استفاده شد. منطق فازی در تبیین وجوه غیرشفاف پدیده‌ها در جهان واقعی مفید است. بدین صورت که در آن، تعلق به یک مجموعه به صورت درجه‌ای از تعلق بیان می‌شود و مفاهیمی چون دامنه، شیب و سطح فرسایش را می‌توان در قالب عبارات ریاضی فرمول‌بندی کرد. در مجموعه‌های فازی به طور ویژه به زیرمجموعهٔ A از موضوع بحث X پرداخته که در آن درجهٔ عضویت مشخص می‌شود. در این تابع درجهٔ تعلق عناصر X از X به زیرمجموعهٔ A نشان داده می‌شود، به عبارت دیگر معرف درجهٔ عضویت X در A است. ارزش عضویت یک عارضه یا درجهٔ تعلق آن به مجموعه را می‌توان با شماره‌ای که دامنهٔ آن بین ۰ تا ۱ است، تعیین کرد. مفهوم عدد فازی مبنایی برای تعریف و تعیین متغیرهای زبانی است. اعداد فازی به طور ویژه حالت‌هایی از متغیر زبانی به حساب می‌آیند. این مفاهیم بر حسب متغیر پایه که ارزش‌های آن در طول دامنه‌ای خاص، شامل اعداد حقیقی است تعریف می‌شوند. متغیر پایه متغیری در مفهوم متعارف است که از آن جمله می‌توان به فاصله و شیب اشاره کرد (پورطاهری، ۱۳۸۹). در این مطالعه اعداد فازی و متغیر زبانی آن در جدول ۶ آمده است.

W_w = اقتصادی،اجتماعی / محیطی فنی / فیزیوگرافی

	اجتماعی اقتصادی			محیطی فنی		فیزیوگرافی	
	دسترسی به جاده	فاصله از شهر	کاربری	خاک	زمین شناسی	محل آبهای سطحی	شیب زمین
دسترسی به جاده	0/0000	0/1323	0/1245	0/0000	0/1222	0/0000	0/1911
فاصله از شهر	0/56045	0/0000	0/6227	0/0000	0/0000	0/0000	0/6253
کاربری	0/1868	0/6615	0/0000	0/0000	0/6111	0/0000	0/0584
خاک	0/1265	0/0000	0/0000	0/0000	0/1990	0/0000	0/0293
زمین شناسی	0/0253	0/0000	0/0000	0/0000	0/0000	0/0000	0/0100
محل آبهای سطحی	0/0421	0/2060	0/1939	0/0000	0/0000	0/0000	0/0856
شیب زمین	0/0587	0/0000	0/0587	1/0000	0/0675	0/0000	0/0000

شکل ۶. سوپرماتریس وزن‌دار

جدول ۵. وزن نهایی برای معیارها و زیرمعیارها بر اساس DANP

اقتصادی، اجتماعی			فنی، محیطی			فیزیوگرافی
دسترسی به جاده	فاصله از شهر	کاربری اراضی	خاک	زمین‌شناسی	محل آب‌های سطحی	شیب زمین
۰/۱۱۲۳	۰/۳۴۱۶	۰/۳۰۲۸	۰/۰۱۷۹	۰/۰۰۳۶	۰/۱۶۶۰	۰/۰۵۳۴

جدول ۶. مفهوم عدد فازی به‌کاررفته در مطالعه

عدد فازی	۰	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۷۵	۱
متغیر زبانی	بسیار نامناسب	کم نامناسب	تا حدودی مناسب	مناسب	بسیار مناسب

در مدل فازی، به هر یک از پیکسل‌ها در هر نقشهٔ فاکتور مقداری بین ۰ تا ۱۰ اختصاص داده می‌شود که بیانگر میزان مناسب‌بودن محل پیکسل از دیدگاه معیار مربوطه برای هدف مورد نظر (احداث آرامستان) است. می‌توان نقشهٔ فاکتور را به گونه‌ای تهیه کرد که مقدار هر پیکسل شامل اهمیت نسبی فاکتور مربوط در مقایسه با سایر فاکتورهای مکان‌یابی نیز باشد. پس از تشکیل نقشه‌های مربوط به هر یک از فاکتورها، مقادیر عضویت در آن‌ها به عملگر فازی گاما با یکدیگر ترکیب می‌شوند. این عملگر از حاصل ضرب عملگرهای ضرب و جمع‌فازی به صورت رابطهٔ ۱۱ تعریف می‌شود.

(۱۱)

$$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma} \times (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma}$$

در این رابطه مقدار γ عددی بین ۰ تا ۱ است. انتخاب صحیح و آگاهانهٔ γ بین ۰ و ۱، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهندهٔ سازگاری انعطاف‌پذیر میان گرایش‌های کاهشی ضرب فازی و گرایش‌های افزایشی جمع فازی است. یکی از مشکلات اپراتور SUM در بعضی شرایط خاص این است که اگر در یک پیکسل تعدادی از عوامل دارای مقادیر وزنی بالایی باشند، پایین‌بودن مقدار وزنی برخی دیگر از عوامل به علت اثر افزایشی اپراتور SUM جبران می‌شود. برای خنثی‌کردن این اثر از اپراتور گاما استفاده می‌شود.

برای مکان‌یابی، میزان عضویت فازی برای هر یک از معیارها تعیین (جدول ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) و نقشهٔ فازی هر کدام از آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. همچنین، برای معیارهای زمین‌شناسی و خاک بر اساس نوع آن‌ها ارزش فازی به طور گسسته اختصاص یافت (جدول ۱۲ و ۱۳). در گام پایانی اوزان به‌دست‌آمده در فرایند تحلیل شبکه‌ای برای هر معیار در نقشهٔ فازی به‌دست‌آمده برای آن معیار ضرب شد (شکل ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳).

جدول ۷. میزان اثرگذاری معیار فاصله از فاصله از شهر در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

فاصله از شهر به کیلومتر	۰– ۳	۳– ۶	۶– ۱۰	۱۰– ۱۳	۱۳– ۱۵	بزرگ‌تر از ۱۵
عدد فازی	۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۱	۰/۲۵	۰

جدول ۸. میزان اثرگذاری معیار فاصله از جادهٔ اصلی در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

فاصله از جادهٔ اصلی به کیلومتر	بیشتر از ۲	۱/۵– ۲	۱– ۱/۵	۰/۵– ۱	۰–۰/۵
عدد فازی	۰	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۷۵	۱

جدول ۹. میزان اثرگذاری خاک در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

عدد فازی	بافت
۰/۷۵	Fine-loamy
۰/۲۵	Loamy skeletal
۰/۵۰	Coarse-loamy
۰/۲۵	Fine

جدول ۱۰. میزان اثرگذاری معیار زمین‌شناسی در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

زمین‌شناسی	توضیح	عدد فازی
شیلی که در برگیرندهٔ صدف همراه با کنگلومرای معین، ماسه‌سنگ، آهک رادیولیتی و آتشفشانی	شیل و آهک خالص به تنهایی نفوذناپذیرند، اما ماسه نفوذپذیری زیادی دارد.	./۵۰
آهک با صدف اوربیتولین	در مسیر حفرها نفوذپذیری زیاد است، اما آهک خالص نفوذپذیری ندارد.	./۲۵
کنگلومرای قرمز و ماسه‌سنگ همراه بستر دولومیتی شنی در لایهٔ بالایی و مقدار معینی دولومیت به صورت محلی	کنگلومرا به نوع و جنس سیمان آن بستگی دارد. دولومیت نفوذناپذیر است.	./۷۵
آبرفت‌های پادگانه‌ای دوران اخیر	رسوباتی که با هیچ سیمانی ذرات‌شان به هم نمی‌چسبد و به لحاظ مقاومت بسیار ناپایدار و سست هستند. این رسوبات به علت جدید و جوان‌بودن تحت تأثیر هیچ دگرگونی یا کوهزایی قرار نمی‌گیرند و منابع خوبی برای تقویت آبخوان‌ها محسوب می‌شوند، زیرا نفوذپذیری بالایی دارند. البته باید دید بافت و جورشدگی‌شان تا چه حد است.	۱

جدول ۱۱. میزان اثرگذاری فاصله از آب‌های سطحی در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

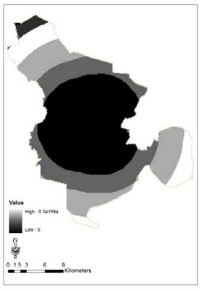
فاصله از محل آب‌های سطحی به کیلومتر	۰ – ۱	۱ – ۳	۳ – ۵	۵ – ۷	بزرگ‌تر از ۷
عدد فازی	۰	./۲۵	./۵۰	./۷۵	۱

جدول ۱۲. میزان اثرگذاری شیب در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

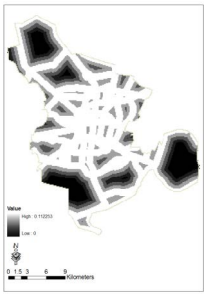
محدودهٔ توپوگرافی به صورت درصد شیب	عدد فازی
۰ – ۲	۱
۲ – ۶	./۷۵
۶ – ۱۲	./۵۰
۱۲ – ۱۸	./۲۵
بزرگ‌تر از ۱۸	۰

جدول ۱۳. میزان اثرگذاری کاربری اراضی در شناسایی مکان بهینهٔ آرامستان

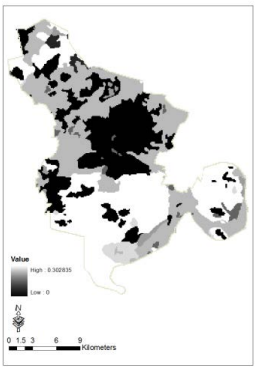
نوع کاربری	عدد فازی
بیرون‌زدگی سنگی، شهرک‌های صنعتی و کارخانه‌های بزرگ، شهر	۰
اراضی شور	./۲۵
باغ	./۵۰
اراضی زراعی	./۷۵
مراتع	۱



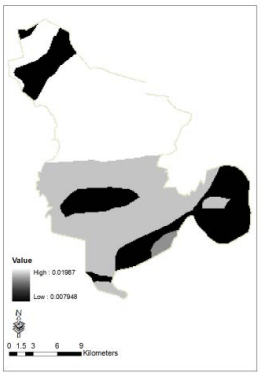
شکل ۷. نقشهٔ فازی وزن‌دار فاصله از شهر



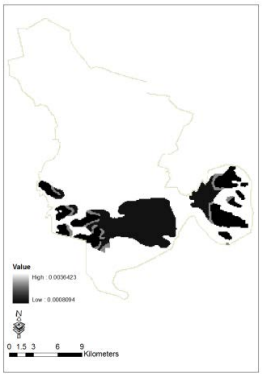
شکل ۸. نقشهٔ فازی وزن‌دار دسترسی به جاده



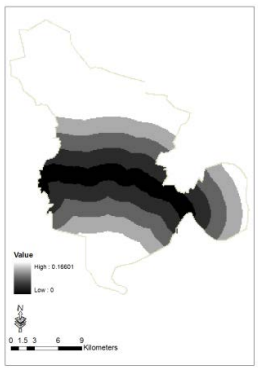
شکل ۹. نقشهٔ فازی وزن‌دار کاربری اراضی



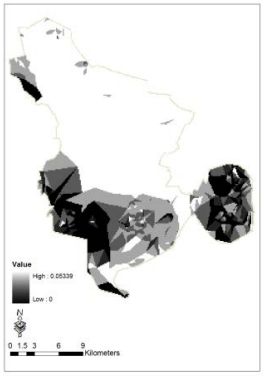
شکل ۱۰. نقشهٔ فازی وزن‌دار خاک



شکل ۱۱. نقشهٔ فازی وزن‌دار ژئومورفولوژی



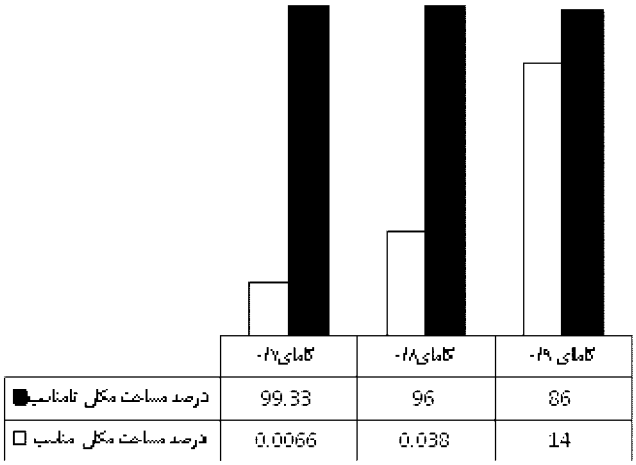
شکل ۱۲. نقشهٔ فازی وزن‌دار فاصله از آب‌های سطحی



شکل ۱۳. نقشهٔ فازی وزن‌دار شیب

۷. نتایج

برای تعیین مکان بهینه به منظور احداث آرامستان جدید پس از تولید نقشه‌های فازی وزن‌دار در محیط ArcSDM، تمامی نقشه‌های موزون با استفاده از عملگر گاما با مقدار ۰/۷ در محیط ArcSDM، با یکدیگر ترکیب شدند. مقایسهٔ مقدار متفاوت عملگر گاما در شکل ۱۴ آورده شده است. میزان تفاوت در مکان مناسب و نامناسب در عملگرها نشان می‌دهد، گامای ۹/. مساحت بیشتری از مکان بسیار مناسب و نامناسب را به خود اختصاص می‌دهد، گامای ۸/. نیز درصد مکان مناسب هنوز بالاست. نتایج به‌دست‌آمده از گاما نشان می‌دهد که مساحت مکان بسیار نامناسب بالا و درصد مساحت مکان بسیار مناسب پایین است و در نتیجه این عملگر به ما در تعیین مکان بسیار مناسب کمک می‌کند. عملگر گاما حساسیت خیلی زیاد عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم عملگر فازی جمع را تعدیل می‌کند و از نتیجهٔ به‌دست‌آمده از این عملگر برای احداث آرامستان استفاده می‌شود (شکل ۱۵).



	گامای ۰/۷	گامای ۰/۸	گامای ۰/۹
درصد مساحت مکان نامناسب	99.33	96	86
درصد مساحت مکان مناسب	0.0066	0.038	14

شکل ۱۴. مقایسهٔ عملکرد مقدار عملگرهای گامای فازی

شکل ۱۵. نقشهٔ تولیدشدهٔ حاصل از عملگر گامای فازی

۸. بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس پژوهش‌های پیشین و نتایج این پژوهش، می‌توان استنباط کرد که با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی، انتخاب مکان مناسب از طریق تکنیک دیمتل و ANP در محیط GIS با کمک عملگرهای فازی گاما نتایج را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌کند. تکنیک دیمتل با بهره‌مندی از اصول تئوری گراف‌ها به استخراج روابط تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل عناصر موجود در گراف مورد مطالعه می‌پردازد، به طوری که شدت اثر روابط مذکور را به صورت امتیازی عددی معین می‌کند. از برتری‌های این روش نسبت به دیگر روش‌های تصمیم‌گیری، استفاده از بازخور روابط است. به عبارت دیگر، در ساختار این تکنیک، هر عنصر می‌تواند بر کلیهٔ عناصر هم‌سطح، سطح‌های بالاتر و پایین‌تر از خود تأثیر گذارد و در مقابل نیز از هر یک از آن‌ها تأثیر پذیرد. استفاده از روش دیمتل برای روش ANP نه تنها برای محاسبهٔ سطح اثرگذاری میان گروه‌های متفاوت فاکتورها مؤثر است، بلکه نرمال‌سازی ماتریس مجموعهٔ تأثیر داخل سوپرماتریس بدون وزن ثبت خواهد شد تا در ANP سطح وابستگی فاکتورهای متفاوت محاسبه شود. تفاوت وزن‌های به‌دست‌آمده در این روش با روش‌های دیگر نزدیک‌بودن به دنیای واقعی و متناسب برای مسائلی با سیستم پیچیده است. از وزن‌های به‌دست‌آمده، لایه‌های فازی وزن‌دار تهیه شدند تا تعلق به یک مجموعه به صورت درجه‌ای از تعلق آن‌ها بیان شود که با عملگر گامای فازی ترکیب شدند تا نتیجهٔ به‌دست‌آمده از آن کاستی‌های روش جمع، که ساده‌ترین روش ترکیب نقشه‌هاست را بهبود دهد. مکان‌های پیشنهادی حاصل از این روش مطابق اصول بهداشت و محیط‌زیست آرامستان‌ها و اصول شهرسازی است. احداث آرامستان در این مکان‌ها از انتشار آلودگی به شهر جلوگیری می‌کند و پیشنهاد چند آرامستان به منظور جلوگیری از ترافیک در شهر است. از روش انجام‌شده در این پژوهش می‌توان برای شناسایی مکان مناسب آرامستان در شهرهای دیگر استفاده کرد.

یادداشت‌ها

1. Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
2. Limited Super Matrix

منابع

پرهیزگار، ا.، شکویی، ح. ۱۳۷۶. الگوی مناسب مراکز خدمات شهری، **فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی**، شمارهٔ ۴، صص ۱– ۱۸.

پورطاهری، م. ۱۳۸۹. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در جغرافیا، انتشارات سمت، تهران.

سعیدنیا، ا. ۱۳۷۸. کتاب سبز شهرداری جلد هشتم: تأسیسات خدمات شهری، سازمان شهرداری‌های کشور، چاپ اول، تهران، ایران.

علی‌آبادی، ج. ۱۳۸۱. گورستان درشهر؛ از یاد رفته، اما ضروری، ماهنامهٔ شهرداری‌ها، سال چهارم، شمارهٔ ۴۳، صص ۵.

عمرانی، ق. ۱۳۹۰. اصول بهداشت و محیط‌زیست آرامستان‌ها اهمیت، مکان‌یابی، آلودگی‌های احتمالی، قوانین، مقررات و شناخت آرامستان‌های موجود در ایران، دانشگاه آزاد اسلامی، سازمان چاپ و انتشارات با همکاری معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

کوهساری، م.، حبیبی، ک. ۱۳۸۵. تلفیق مدل AHP و منطق IO در محیط GIS جهت مکان‌گزینی تجهیزات جدید شهری (آرامستان جدید شهر سنندج)، سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، قشم.

مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و دفتر هماهنگی خدمات شهری سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های وزارت کشور. ۱۳۸۷. آیین‌نامهٔ مقررات بهداشتی آرامستان‌ها، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی جمهوری اسلامی ایران.

معاونت آموزشی جهاد دانشگاهی. ۱۳۸۷. راهنمای جامع مدیریت شهری: مجموعهٔ اصول، قوانین و مفاهیم مورد نیاز شهرداران، جهاد دانشگاهی، واحد تهران، تهران.

معصوم، ج. ۱۳۸۲. دهیاری و مدیریت گورستان، ماهنامهٔ دهیاری‌ها، شمارهٔ ۵، صص ۲۴– ۲۷.

مقیمی، ا. ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی شهری، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

Dagdeviren, M. and Yuksel, I. 2010. A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competititon level (SCL), Expert Systems with Applications,Vol.37, PP: 1005–1014.

Lee, H. S., Tzeng, G. H., Yeih, W ., Wang, Y. J. and Yang, S. C. 2013. Revised DEMATEL: Resolving the Infeasibility of DEMATEL, Applied Mathematical Modelling, Vol.37, PP: 6746-6757

Lotfi, S., Habibi, K. and Koohsari, M. J. 2009. Integrating multi-Criteria Models And Geographical Information System For Cemetery Site Selection (A Case Study Of The Sanandaj City, IRAN), Acta geographica Slovenica,Vol.49-1, PP:179-198.

Ou Yang, Y. P., Shieh, H. M. and Tzeng, G. H. 2013. A VIKOR technique based on DE MATEL and ANP for inform ation security risk control assessment, Information Sciences, Vol.232, PP: 482–500

Rephann, T. J. 2008. Spatial Analy sis in Veterans Cemetery Location, 47th A nnual Meeting of the Southern Regional Science Association Meeting, Virginia, Arlington, Virginia, March 27-30

Santarsiero, A., Cutilli, D., Cappiello, G. and Minelli, L. 2000. Environmental and legislative aspects concerning existing and new cemetery planning, Microchemical Journal, Vol.67, PP:141-145

Tumer, A. R., Karacaoglu, E., Namli, A., Keten, A., Farasat, S., Akcan, R., Sert, O. and Odabasi, A. B. 2013. Effects of different types of soil on decomposition: An experimental study, Legal Medicine, Vol.15, PP:149-156

Vujanovic, D., Momcilovic, V., Bojovic, N. and Papic, V. 2012. Ev aluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP, Expert Systems with Applications,Vol.39, PP:10552–10563.

Williams, A., Temple, T., Pollard, S. J., Jones, R. J. A. and Ritz, K. 2009. Environmental Considerations for Common Burial Site Selection After Pandemic Events, Criminal and Environmental Soil Forensics, Springer Science + Business Media B.V.