مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره دهم، شماره اوّل، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۳۷ تا ۵۲

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

حامد ادب*[۱]، آزاده عتباتی[۲]، رضا اسماعیلی[۳]، قاسم ذوالفقاری[۲]، مجید ابراهیمی[۱]
۱- گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۲- گروه محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۳- مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد، معاونت خدمات و محیط زیست شهری، شهرداری مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۹
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۸
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۳/۳۱

واژگان کلیدی: مکان‌یابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ایستگاه پایش کیفیت هوا، مشهد

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
h.adab@hsu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: از مباحث ضروری در حوزه زیست محیطی شهری مشهد، افزایش بهینه تعداد ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد است. اما پایش واقعی و اطلاع درست از وضعیت کیفیت هوا، نیازمند توزیع مناسب فضایی ایستگاه‌ها در محدوده شهر مشهد است. مطالعه حاضر با هدف جانمایی و سپس اولویت‌بندی مکان احداث ایستگاه‌های تماس عابرین، ایستگاه‌های تماس عمومی، و ایستگاه‌های تماس ساکنین مناطق مسکونی در شهر مشهد با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه، جانمایی ایستگاه‌های مورد نظر در شهر مشهد بر مبنای استانداردهای ارائه شده در کشور آمریکا انجام شد. بر همین اساس، معیارهای مکانی موثر در جانمایی ایستگاه‌ها نظیر، تراکم جمعیت، فاصله از ایستگاه‌های موجود، فاصله از فضای سبز، تراکم خودرو و سایر عوامل در سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فازی و روش جدید تابع چگالی احتمال مورد استفاده قرار گرفت و تعدادی محل جدید پیشنهاد گردید.

یافته‌ها: میزان تطابق نقشه‌های جانمایی ایستگاه‌ها با روش‌های تصمیم‌گیری جهت بررسی اعتبار آن مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های پیشنهادی توسط روش‌های تصمیم‌گیری به کمک شاخص‌های آمار فضایی میانگین نزدیکترین همسایه و دوایر فاصله استاندارد مورد مقایسه قرار گرفت. براساس شاخص میانگین نزدیکترین همسایه، روش فازی بهترین الگوی جانمایی (پراکنده) را با ۹۹ درصد اطمینان نشان می‌دهد. همچنین تابع چگالی احتمال نیز ارائه دهنده الگوی پراکنده‌ای از ایستگاه‌های پیشنهادی است. دایره فاصله استاندارد نیز موید این نکته است که الگوی فضایی نقاط پیشنهادی در روش فازی و تابع چگالی احتمال به صورت پراکنده‌تری نسبت به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی قرار دارد. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده بهینه بودن جواب‌های مکانی حاصل از روش‌های فازی و تابع چگالی احتمال نسبت به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی است.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی روش‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده در این مطالعه نشان‌دهنده نیاز شدید به احداث ایستگاه‌های جدید در مناطقی از شهر مشهد که عمده آن در مناطق شمال غربی است. همچنین نتایج این تحقیق نشان‌دهنده امکان استفاده از روش تابع چگالی احتمال بعنوان روش تصمیم‌گیری در سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت جانمایی و اولویت‌بندی مکان‌های احداث ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا است.

Please cite this article as: Adab H, Atabati A, Esmaili R, Zolfaghari G, Ebrahimi M. Site selection of air quality monitoring stations over city of Mashhad by multiple-criteria decision-making techniques. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(1):37-52.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

مقدمه

امروزه، یکی از اهداف کلان در بخش محیط زیست شهری، نظارت و اطلاع از کیفیت و شرایط بهداشتی هوای شهرها است. نظارت بر مسئله آلودگی هوای شهری نیازمند کسب آگاهی و اطلاعات به روز از کمیت، کیفیت، نوع و نحوه پراکنش شاخص‌های بیانگر کیفیت هوا است. روش‌های پایش کیفیت هوا با در نظر گرفتن اهداف، هزینه‌ها و منابع در دسترس قابل انجام است. به طور معمول سیستم‌های پایش کیفیت هوا متشکل از چند ایستگاه به ارائه داده‌های لحظه‌ای و انتقال داده‌ها بصورت مستقیم و بطور خودکار به مراکز پایش کیفیت هوا است (۱). اما طراحی شبکه پایش کیفیت هوا مستلزم تعیین تعداد بهینه ایستگاه و محل قرارگیری آن است. داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا یک عامل کلیدی در جهت اتخاذ اقدامات کاهشی و کنترلی آلودگی هوای شهرها محسوب می‌شوند (۲). در این راستا، ایجاد و افزایش شبکه پایش کیفیت هوای کلان شهرها ضروری بوده و جانمایی مناسب آنها با توجه به هزینه بالای آن از اهمیت بالایی برخوردار است. اشتباه و یا عدم دقت در تصمیم‌گیری منجر به پرداخت هزینه خطا می‌گردد. استانداردهایی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در کشورهایی مانند فرانسه و آمریکا وجود دارد. در کشور آمریکا ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا به چند طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که در جدول ۱ نشان داده شده است. در مطالعه‌ای Movafagh و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی استانداردهای ارائه شده در کشورها جهت جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا پرداخته‌اند (۳). ایشان به مناسب بودن و استفاده از استانداردهای ارائه شده در کشور آمریکا برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا برای کشور ایران اشاره کرده‌اند (جدول ۱). در برخی از منابع دیگر اذعان شده است که برای جانمایی این ایستگاه‌ها بهتر است معیارهای دیگری نظیر تراکم جمعیت، ترافیک، توزیع متوازن ایستگاه‌ها در منطقه، کاربری مناطق و غیره نیز لحاظ شود (۴، ۵). از این‌رو طبقه‌بندی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا براساس مکان نمونه‌برداری مهم است. همچنین در استاندارد ارائه شده جدول ۱، معیارهای دیگری مانند عدم وجود محدودیت جریان هوا در اطراف ایستگاه، دور بودن از هر منبع آلودگی نظیر دودکش، امنیت و ایمنی تجهیزات و دسترسی به تاسیسات برق و سایر تجهیزات در نظر گرفته شده است (۶). اما این معیارها بیشتر جنبه عملیاتی پیدا می‌کند که در هنگام احداث ایستگاه و بازدیدهای میدانی به آن توجه می‌شود.

جدول ۱- انواع ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مورد مطالعه در این تحقیق و شرایط احداث آن براساس استاندارد کشور آمریکا (۷)

نوع ایستگاه	شرایط و ضوابط جهت جانمایی
ایستگاه تماس عابرین در مرکز شهر (ترافیکی)	این نوع ایستگاه در مرکز تجاری منطقه شهری و در یکی از پر رفت و آمدترین خیابان‌ها و در محلی که توسط ساختمان‌ها احاطه شده و محل تردد عابرین نیز باشد نصب می‌شود. میانگین تعداد خودروها عبور در این خیابان باید بیش از ۱۰ هزار مورد در روز و با متوسط سرعت کمتر از ۱۵ mi/h باشد. سنسورهای نمونه‌برداری در این نوع ایستگاه باید در ارتفاع ۰/۵ + ۳ متری باشد و فاصله از هر نوع مانع احتمالی نیز ۰/۵ m باشد. داده‌های مورد نیاز فاصله از خیابان، تراکم واحدهای تجاری، تراکم خودرو، فاصله از پوشش گیاهی، فاصله از دیوار و کاربری‌های تجاری، تراکم جمعیت و فاصله از ایستگاه‌ها
ایستگاه تماس عمومی در مرکز شهر (شهری نوع یک)	این نوع ایستگاه در مرکز تجاری و شلوغ شهر قرار می‌گیرد ولی نباید نزدیک به هیچ منبع خاصی انتشار آلودگی هوا مانند خیابان‌های با بیش از ۵۰۰ عدد عبور خودرو در روز باشد. همچنین حداقل فاصله این نوع ایستگاه از چنین منابعی انتشار باید ۱۰۰ m باشد. مناطقی مانند پارک‌ها، خیابان‌های خلوت و بدون ترافیک برای احداث این ایستگاه مناسب است. ارتفاع سنسورهای نمونه‌برداری در این ایستگاه نیز ۰/۵ m + ۳ از سطح زمین است. داده‌های مورد نیاز تراکم خودرو، فاصله از پوشش گیاهی، تراکم فضای سبز، تراکم جمعیت، تراکم واحدهای تجاری، تراکم واحدهای صنعتی، فاصله از واحدهای صنعتی، فاصله از ایستگاه‌ها

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

ادامه جدول ۱- انواع ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مورد مطالعه در این تحقیق و شرایط احداث آن براساس استاندارد کشور آمریکا (۷)

نوع ایستگاه	شرایط و ضوابط جهت جانمایی
تماس ساکنین مناطق مسکونی (حومه شهری نوع دو)	محل احداث این نوع ایستگاه در میانه یک محله مسکونی و دور از مراکز تجاری و پر رفت و آمد شهر است. همچنین می‌توان این نوع ایستگاه را در محله‌های مسکونی حومه شهر نیز نصب نمود. حداقل فاصله این نوع ایستگاه از خیابان‌های با ترافیک بیش از ۵۰۰ مورد خودرو در روز نباید کمتر از m ۱۰۰ باشد. همچنین سنسورهای نمونه‌برداری در این نوع ایستگاه نیز باید حداقل m ۰/۵ + ۳ از زمین بالاتر باشد. داده‌های مورد نیاز تراکم واحدهای مسکونی، فاصله از واحدهای مسکونی، تراکم خودرو، تراکم واحدهای تجاری، فاصله از کاربری‌های تجاری، فاصله از خیابان، لایه فاصله از دیوار سایر کاربری‌های شهری، فاصله از ایستگاه‌ها

سیستم اطلاعات جغرافیایی به تصمیم گیرنده، این امکان را می‌دهد که اطلاعات جغرافیایی را در ارتباط با طیف وسیعی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری پیوند زده و بتواند مسائل مرتبط با مکان را تحلیل و سپس گزینه‌ها را اولویت‌بندی کند. Kaffash Charandabi و همکاران (۲۰۱۱) به جانمایی ایستگاه‌های جدید پایش آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از روش پرومته (Promethee) پرداخته‌اند. در این مطالعه، اولویت گزینه‌های جدید براساس داده‌های تراکم جمعیت، فاصله از ایستگاه‌های موجود، فاصله از درختان، فاصله از دیوار ساختمان و فاصله از خیابان‌ها هستند (۸). در مطالعه Ashrafi و همکاران از تحلیل همبستگی داده‌های آلودگی هوا در سال‌های گذشته ایستگاه‌های موجود تهران برای جانمایی ایستگاه‌های جدید براساس خطوط هم‌مقدار (ضریب همبستگی) استفاده شده است (۹). در مطالعه‌ای Júnior و همکاران (۲۰۱۵) از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Process Hierarchy Analytical) به منظور طراحی شبکه پایش آلودگی هوا در پایتخت کشور برزیل استفاده کرده‌اند. در مطالعه ایشان از متغیرهایی مانند اقلیم، توپوگرافی، کاربری اراضی، خطوط ارتباطی، نوع ساختمان‌ها، منابع آلودگی و متغیرهای انسانی مانند سن افراد استفاده شده است (۱۰)، که متغیرهای مذکور بعلاوه شیب و تراکم جمعیت نیز توسط Zheng و همکاران (۲۰۱۱) در کشور چین استفاده شده است (۱۱). در مطالعات ذکر شده، از روش‌های متداول تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است. در روش‌های مذکور، انتخاب گزینه‌ها و اولویت‌بندی آنها براساس نظرات خبرگان در حوزه پایش کیفیت هوا صورت گرفته است. در مطالعه حاضر علاوه بر روش‌های متداول، از روش تابع چگالی احتمال استفاده شده است. بررسی سوابق مطالعاتی نشان می‌دهد، که تابع چگالی احتمال برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مورد استفاده قرار نگرفته است.

روش تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۸۰ بوسیله Saaty در زمینه فرایند سلسله مراتبی ابداع گردید. فرایند تحلیل سلسله مراتبی روشی منعطف، قوی و ساده برای تصمیم‌گیران است. این روش موجب فرایند محور شدن تصمیمات می‌گردد و در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که اهداف متعدد و معیارهای تصمیم‌گیری در رقابت با یکدیگر باشند. زیرا این امر موجب می‌شود تا انتخاب بین گزینه‌ها با مشکل مواجه شود (۱۲، ۱۳). اساس تعیین وزن در این روش را مقایسه دو به دوی عوامل تشکیل می‌دهد. به منظور تعیین مکان بهینه، چند گزینه با چند معیار و زیر معیار ارزیابی می‌شود و سپس مناسب‌ترین گزینه یا مکان، با توجه به معیارهای انتخابی، امتیازی کسب می‌کنند که برای استقرار در مکان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴). روش مقایسه زوجی شامل سه مرحله ایجاد ماتریس مقایسه زوجی، محاسبه وزن عوامل و تخمین شاخص سازگاری است. در این مطالعه، مراحل سه گانه اجرای مقایسه زوجی براساس جزئیات ذکر شده توسط Malczewski (۱۹۹۹) استفاده شده است (۱۵). فرایند تحلیل سلسله مراتبی به دلیل استفاده از نوع مقیاس مورد استفاده از قضاوت و ناتوانی کافی در به کار

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

بـردن عدم قطعیت ذاتی و همچنین عدم دقت از روند مقایسـه دو به دوی مربوط بـه ادراک‌های تصمیم‌گیرندگان اغلب مورد انتقـاد قرار می‌گیرد (۱۶). یک راه طبیعی برای حل مسـائلی با قضاوت نامشخص، مبهم و غیردقیق، بیان نسبت مقایسه بعنوان مجموعه‌هـای فازی یا اعداد فازی در بازه صفر و یک، که ابهام موجود در تفکر انسـان را بـه کار می‌بنـدد (۱۷). در عملیات تلفیـق معیارها، کلاس‌ها و واحدهـای مکانی منفرد موجود در هـر یک از معیارها بعنوان عناصر زیر مجموعه هسـتند و معیار عضویت آنها در مجموعه مکان‌های مناسـب یا نامناسب بودن آنهاست که با درجه عضویت بین صفر تا یک مشخص می‌شود. میـزان عضویت مقادیر موجود در یـک عامل در مجموعه‌های فـازی، درجه عضویت نامیده می‌شـود و تابعی که این اعداد را تعییـن می‌نماید، تابع عضویت نـام دارد. مقدار درجه عضویت هـر کلاس و واحد مکانـی، مانند وزن‌هـای موجود در روش همپوشـانی شاخص، براسـاس نظرات کارشناسی و استفاده از دانـش داده‌ای تعیین می‌گردد (۱۸). روشـی قطعی برای تعیین تابع عضویت وجـود ندارد و این مورد بیش از همه یک مقوله تجربی و براسـاس شروط است. پارامتر گستره نیز عامل مهمی در تعیین مقادیر توابع عضویت به یک متغیر است. به طور کلی، مقدار عامل گسـتره اعداد کمتر از ۱ اختصاص داده می‌شـود، و بـرای هر دو توابع کوچک و بـزرگ مقادیر ۱ تا ۱۰ انتخاب می‌شـود (۱۹، ۲۰). براساس مسئله مورد مطالعه، از روش‌های مختلف ترکیب اعداد فازی مانند اشـتراک فازی (حداقل‌سازی ریسـک)، عملگر اجتماع فازی (حداکثرسازی ریسک)، عملگر ضـرب فـازی، عملگر جمع فـازی و فازی گاما بـرای تلفیق مجموعه فاکتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش فازی گاما بـه ارائه روش‌های انعطاف‌پذیر از ترکیـب لایه‌های موضوعی متعـدد بین عملگر ضرب فازی و عملگر جمع فازی می‌پردازد و موجب تعادل بین روندهای کاهشـی و افزایشی در عملیات جمع و ضرب فازی است (۲۱). در این مطالعه با توجه به سوابق پژوهشـی انجام گرفته شـده، مقدار λ= ۰/۹ بعنوان فازی گاما برای تلفیق مجموعه فاکتورها مورد استفاده قرار گرفت (۲۲).

نظریـه احتمال به مطالعه تعـداد (فراوانی) رخـداد مورد نظر در زمـان و یـا مـکان، توسـط الگوریتم‌های توزیـع احتمال می‌پـردازد. در صورتی‌که اطلاعات کافی وجود داشـته باشـد (۲۳)، می‌تـوان این مفهوم را برای جانمایی نیز مورد اسـتفاده قرار داد و بوسـیله الگوریتم‌های توزیع احتمال، قوانین مکانی موجود را استخراج و سپس براساس آن اقدام به شناسایی سایر نواحی نمود (۲۴). در این مطالعه، از روش آماری تابع چگالی احتمال جهت اسـتخراج دانش بهینه بـه منظور تلفیق لایه‌های مکانی مؤثر در جانمایی ایسـتگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر مشهد استفاده شده است.

موقعیت اسـتانی، ملی و فرامنطقه‌ای شـهر مشهد در گسترش تعداد وسائط نقلیه شهری موثر واقع می‌شود و افزایش وسائط نقلیـه نیز در فزونی آلودگی هوای شـهر موثر اسـت. از اینرو افزایش تعداد ایسـتگاه‌های سـنجش کیفیت هوای شهر مشهد ضروری است. میزان آلاینده‌های موجود در هوا توسط دستگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شـود و در برنامه پایش کیفیت هوا مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. به همین منظور ایسـتگاه‌های سنجش آلاینده‌هـا باید در مکان‌هایی قرار گیرند که نمایش درسـتی از وضعیت آلودگی را نشان دهند لذا موقعیت مکانی ایستگاه‌ها از حساسیت بالایی برخوردار است. این مطالعه با هدف جانمایی ایسـتگاه‌های تماس عابرین در مرکز شهر، ایستگاه‌های تماس عمومی در مرکز شـهر و ایسـتگاه‌های تماس سـاکنین مناطق مسکونی در شهر مشهد استفاده شد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

متغیرهای متعـددی در جانمایی ایسـتگاه‌های تماس عابرین، تمـاس عمومی و تماس مناطق مسـکونی با توجه شـرایط و ضوابط مورد نیاز است که در جدول ۱ شرح داده شد. با توجه به جدول ۱ و متغیرهای در دسترس، ۱۳ متغیر جهت جانمایی ایستگاه‌های مورد نظر تهیه شد، که به تناسب شرایط و ضوابط برای جانمایی اسـتفاده گردید. جدول ۲ نشـان‌دهنده داده‌های مورد استفاده جهت جانمایی ایستگاه‌های تماس عابرین، تماس عمومی و تماس مناطق مسکونی است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده جهت جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد

شماره	متغیرهای مورد استفاده	روش تهیه	منبع تهیه	نوع داده اولیه
۱	تراکم خودرو (A), (B), (C)	تخمین تراکم کرنل	طبقه‌بندی به روش حداکثر درست نمایی، QuickBird	شبکه‌ای
۲	فاصله از فضای سبز (A), (B)	فاصله اقلیدوسی	شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی- LANSAT ۸	شبکه‌ای
۳	تراکم جمعیت (A), (B)	تخمین تراکم کرنل	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	شبکه‌ای
۴	تراکم فضای سبز (B)	تخمین تراکم کرنل	شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی- LANSAT ۸	شبکه‌ای
۵	تراکم واحدهای تجاری (A), (B), (C)	تخمین تراکم کرنل	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	برداری
۶	تراکم واحدهای صنعتی(B)	تخمین تراکم کرنل	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	برداری
۷	فاصله از کاربری‌های تجاری (A), (C)	فاصله اقلیدوسی	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	برداری
۸	فاصله از خیابان (A), (C)	فاصله اقلیدوسی	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	برداری
۹	تراکم واحدهای مسکونی (C)	تخمین تراکم کرنل	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	برداری
۱۰	فاصله از واحدهای صنعتی (B)	فاصله اقلیدوسی	نقشه کاربری شهری- شهرداری مشهد	برداری
۱۱	فاصله از سایر کاربری های شهری (C)	فاصله اقلیدوسی	نقشه موقعیت- شهرداری مشهد	برداری
۱۲	فاصله از واحدهای مسکونی (C)	فاصله اقلیدوسی	نقشه موقعیت- شهرداری مشهد	برداری
۱۳	فاصله از ایستگاه های موجود (A), (B), (C)	فاصله اقلیدوسی	نقشه موقعیت- شهرداری مشهد	برداری

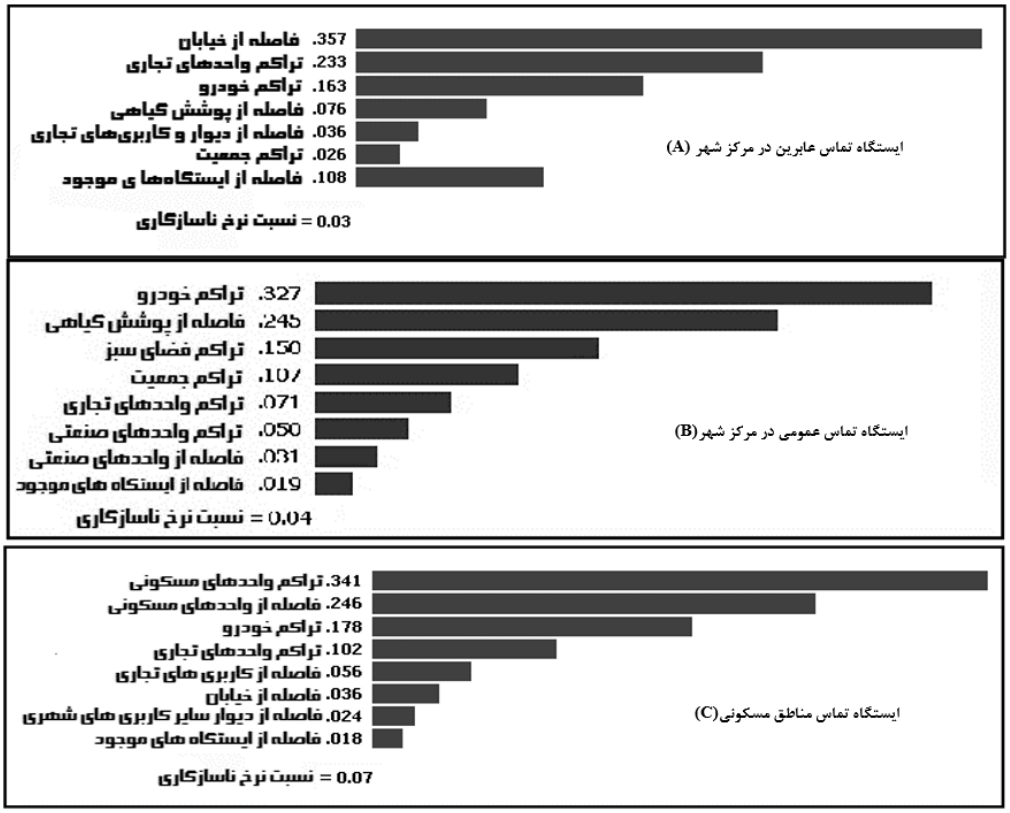
(A) ایستگاه‌های تماس عابرین در مرکز شهر، (B) ایستگاه‌های تماس عمومی در مرکز شهر و (C) ایستگاه‌های تماس ساکنین مناطق مسکونی

از آنجایی‌که یکی از مهم‌ترین عوامل ایجادکننده آلودگی هوا تعداد خودروها است، مطالعاتی در زمینه استفاده موفق از داده‌های اپتیکی سنجش از دور، در برآورد تعداد و همچنین سرعت خودروها انجام شده‌است (۲۷-۲۵). با توجه به وضوح بالای تصویر QuickBird در مقایسه با سایر ماهواره‌های تجاری کنونی، از داده‌های این ماهواره جهت تهیه نقشه تراکم خودروها، بطور نسبی، برای شهر مشهد استفاده شده است. به منظور استخراج لکه‌های فضای سبز شهر مشهد از داده‌های سنجنده تصویرساز عملیاتی زمینی ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. طبق نتایج سایر محققین (۲۸، ۲۹)، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) جهت استخراج فضای سبز شهر مشهد انتخاب شد. در این مطالعه از تصحیحات اتمسفری مدل ATCOR۲ (۳۰) و روش تصحیحی هندسی ارائه شده توسط Redzwan و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد (۳۱)، سپس باندهای انعکاسی (سطح زمین) مورد نیاز در محاسبه NDVI به کار گرفته شده است. جهت بهبود قدرت تفکیک تصاویر چند طیفی از تکنیک فیوژن ارائه شده توسط Zhang (۲۰۰۲) با استفاده از باند پانکروماتیک استفاده شد (۳۲) و قدرت تفکیک ۳۰ متری باندهای مورد نیاز به سطح ۱۵ m (قدرت تفکیک باند پانکروماتیک) رسید، سپس با حفظ نسبی اطلاعات طیفی باندها، با قدرت تفکیک مکانی بالا، NDVI بر روی باندهای فیوز شده اعمال گردید. در مورد داده‌های فاصله و تراکم از عملگر فاصله اقلیدوسی و تخمین تراکم کرنل استفاده شد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

روش‌های تصمیم گیری

در این مطالعه، براساس استاندارد ارائه شده جانمایی انواع ایستگاه‌ها در کشور آمریکا (جدول ۲) وزن معیارها و توابع مورد نظر جهت توضیح درجه اهمیت معیارها با دو روش فازی در نرم افزار Arc Map و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار Expert Choice جهت شناسایی مناطق جدید احداث سه نوع ایستگاه سنجش کیفیت هوا شامل تماس عابرین، عمومی و مسکونی بدست آمد. شکل ۲ نشان‌دهنده وزن‌های استفاده شده معیارها جهت جانمایی در روش تحلیل سلسله مراتبی است. بیشترین وزن، نشان‌دهنده بالاترین تاثیر در جانمایی است (۳۳).بعنوان مثال، فاصله از خیابان یک عامل مهم برای ایستگاه‌های تماس عابرین به دلیل ماهیت آن است که در مطالعات به آن اشاره شده است (۳۴). لازم به ذکر است که وزن معیار فاصله از ایستگاه‌های موجود در ایستگاه تماس عابرین در مرکز شهر (A) به دلیل ماهیت ترافیکی بودن ایستگاه‌های موجود و انطباق با شرایط ایستگاه‌های (A)، بیشتر دیده شده است. احتمال درجات متناظر تصادفی (وزن عوامل) بین متغیرهای مورد استفاده با شاخص نسبت سازگاری ارزیابی شد. ارزش‌های کمتر از ۰/۱ سازگاری خوب را نشان می‌دهند. ولی اگر این ارزش مساوی و یا بیشتر از ۰/۱ باشد، قضاوت‌ها ناسازگار بوده و بایستی مقادیر ماتریس مقایسه‌های زوجی مورد بازبینی دوباره قرار بگیرد (۳۵). نسبت سازگاری بین عوامل مورد استفاده جهت جانمایی ایستگاه‌های تماس عابرین در مرکز شهر برابر با ۰/۰۳، در ایستگاه‌های تماس عمومی در مرکز شهر برابر با ۰/۰۴ و در ایستگاه تماس مناطق مسکونی برابر با ۰/۰۷ است، که این مقادیر کمتر از ۰/۱ و سازگاری خوب را نشان می‌دهند (شکل ۱) سپس با روش ترکیب خطی وزندار، وزن کلیه معیارها ترکیب گردید. مهم‌ترین مساله در منطق فازی تعریف تعداد، نوع و پارامترهای توابع عضویت است. تابع عضویت تابعی است که توسط آن داده‌های ورودی، فازی می‌شوند. یعنی هر ورودی به سیستم فازی به عددی در فاصله صفر تا یک تبدیل می‌شود و برای



شکل ۱- اهمیت معیارها و نسبت سازگاری جهت جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

توابع عضویت انتخاب‌های متفاوتی وجود دارد که بسته به کاربرد مد نظر می‌توان یکی از آنها را انتخاب کرد. انواع مجموعه‌های فازی مانند Linear، Gaussian، Large، Small و غیره در تبدیل مقادیر عددی به مقادیر عضویت فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مجموعه‌های فازی Linear یک خط افزایشی یا کاهشی بین دو نقطه است. حداقل و حداکثر داده‌های ورودی توسط کاربر تعیین می‌شود که در این مطالعه براساس جدول ۳ تعیین شد. هر مقداری کمتر از حداقل برابر با صفر است (که نشان‌دهنده نبودن عضویت است) و بالاتر از حداکثر برابر با ۱ است (که نشان‌دهنده عضویت است). تابع عضویت یک منحنی است که نشان می‌دهد، هر نقطه از فضای ورودی چگونه به یک مقدار عضویت (درجه عضویت) بین ۰ و ۱ نگاشته می‌شود. جدول ۳ نشان‌دهنده نوع تابع عضویت مورد استفاده در روش فازی و نیز نحوه تاثیرپذیری متغیرهای مختلف بر جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا است. بعنوان مثال با توجه به اهمیت فاصله از فضای سبز بر تماس عمومی شهر (۳۶)، از تابع فازی Small به دلیل اهمیت مقادیر ورودی کوچکتر، استفاده شد، و وزن کلیه معیارها با روش فازی گاما ترکیب گردید.

روابط استخراج شده برای هر پارامتر در روش چگالی احتمال همراه با ضرایب آن با استفاده از نرم افزار Statistica جهت جانمایی ایستگاه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. در این مطالعه فرض بر آن است که ۱۲ ایستگاه (در زمان مورد مطالعه ۱۳۹۴) براساس اصول و قواعد صحیح جانمایی شده‌اند و می‌توان با تکیه بر استخراج قوانین مکانی ۱۲ ایستگاه موجود، اقدام به جانمایی ایستگاه‌های جدید براساس روش تابع چگالی احتمال کرد.

انتخاب بهترین توزیع آماری برای هر معیار براساس آزمون آماری Chi-Square انجام گرفت. با اعمال روابط بدست

جدول ۳- ویژگی‌های توابع فازی لایه‌های اطلاعاتی به کار رفته برای جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا

لایه	متغیرهای مورد استفاده	نوع تابع عضویت متغیرها برای جانمایی ایستگاه ها		
		تماس عابرین	تماس عمومی	تماس مناطق مسکونی
۱	تراکم خودرو	Large	Small	Small
۲	فاصله از خیابان	Large	**	Large
۳	تراکم جمعیت	Large	Large	**
۴	تراکم فضای سبز	**	Large	**
۵	فاصله از پوشش گیاهی	Large	Small	**
۶	تراکم واحدهای صنعتی	**	Small	**
۷	فاصله از واحدهای صنعتی	**	Large	**
۸	تراکم واحدهای تجاری	Large	linear	Small
۹	فاصله از کاربری‌های تجاری	Linear	**	Large
۱۰	تراکم واحدهای مسکونی	**	**	Large
۱۱	فاصله از واحدهای مسکونی	**	**	Small
۱۲	لایه فاصله از سایر کاربری‌های شهری	**	**	Large
۱۳	فاصله از ایستگاه‌های موجود	Large	Large	Large

** به معنی عدم استفاده آن متغیر در جانمایی ایستگاه است

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

جدول ۴- توابع احتمالاتی و ضرایب آن جهت جانمایی ایستگاه‌ها با روش چگالی احتمال

پارامتر	تابع PDF
فاصله از خیابان A,C	$f(x)=\frac{c}{\alpha}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c-1}\exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c}\right]$ α=۲۲,۳۲, C=۰,۷۹۴
تراکم واحدهای تجاری A,B,C	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$ σ=۲۰۴,۴, μ=۱۸۳,۶
تراکم خودرو A	$f(x)=\frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}-exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$ u=۳۵۱, α=۲۳۸
فاصله از پوشش گیاهی A,B	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$ σ=۴۳,۴۳, μ=۳۷,۲
فاصله از کاربری‌های تجاری A,C	$f(x)=\frac{c}{\alpha}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c-1}\exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c}\right]$ α=۱۵۶,۱۵, c=۰,۷۷
تراکم جمعیت A	$f(x)=\frac{c}{\alpha}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c-1}\exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c}\right]$ α=۱۰۱۹۶,۸, c=۱,۱۵۶
فاصله از ایستگاه‌ها A,B,C	$f(x)=\frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}-exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$ α=۱۱۳۱,۷, u=۸۲۷,۶
تراکم واحدهای مسکونی C	$f(x)=\frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}-exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$ α=۷۲۹,۲, u=۹۸۹,۶
فاصله از واحدهای صنعتی B	$f(x)=\frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}-exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$ α=۲۳۷,۶۴, u=۲۱۸,۱۸
تراکم واحدهای صنعتی B	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$ μ=۳,۹۷۷۵۰, σ=۳,۵۷۵
تراکم جمعیتB	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$ μ=۶۷۰۱,۹۳, σ=۱۰۵۱۳
تراکم فضای سبز B	$f(x)=\frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}-exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$ α=۱۱۳۱,۷, u=۸۲۷,۶۱
لایه فاصله از سایر کاربری‌های شهری C	$f(x)=\frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}-exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$ α=۲۳,۶۳, u=۱۵,۳۶
فاصله از واحدهای مسکونی C	$f(x)=\frac{\alpha^{\lambda}}{\Gamma(\lambda)}(x-m)^{\lambda-1}e^{-\alpha(x-m)}$ λ=۰,۶۱, m= ۰, α=۰,۰۰۲
تراکم خودرو B,C	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$ μ=۶۷۰۱,۹۳, σ=۱۰۵۱۳

(A) ایستگاه های تماس عابرین در مرکز شهر، (B) ایستگاه های تماس عمومی در مرکز شهر، (C) ایستگاههای تماس ساکنین مناطق مسکونی

آمده که در جدول ۴ آورده شده است، از هر پارامتر نقشه احتمال مکان‌های مناسب جهت جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در طی مناطق مختلف شهر مشهد بدست آمد و وزن کلیه معیارها با روش ترکیب خطی وزندار، ترکیب گردید.

مقایسه روش‌های تصمیم گیری

جهت مقایسه نتایج جانمایی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر مشهد با روش‌های تصمیم‌گیری از روش شناخت الگوی فضایی توزیع نقاط مانند روش میانگین نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. در روش میانگین نزدیک‌ترین همسایه، حالت‌های سه‌گانه توزیع فضایی خوشه‌ای، تصادفی و پراکنده نقاط براساس امتیاز استاندارد (score-Z) تشخیص داده شد. امتیاز استاندارد روشی برای بیان اختلاف بین فاصله مشاهداتی نقاط پیشنهادی نسبت به فاصله مورد انتظار است. علامت منفی امتیاز استاندارد نشان‌دهنده حالت خوشه‌ای نقاط و علامت مثبت امتیاز استاندارد نشان‌دهنده حالت پراکندگی نقاط است (۳۷، ۳۸). می‌توان گفت هرچه نقاط پیشنهادی استقرار ایستگاه در فواصل نزدیک به هم و متمرکز باشد، از کمترین اعتبار برخوردار است. به بیان دیگر بهترین روش در مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر مشهد روشی است که بطور پراکنده در کل سطح شهر با توجه به معیارهای مکان‌یابی قرار بگیرند. بنابراین موضوع اصلی در انتخاب مناسب‌ترین روش، شناسایی درجه پراکندگی نقاط است.

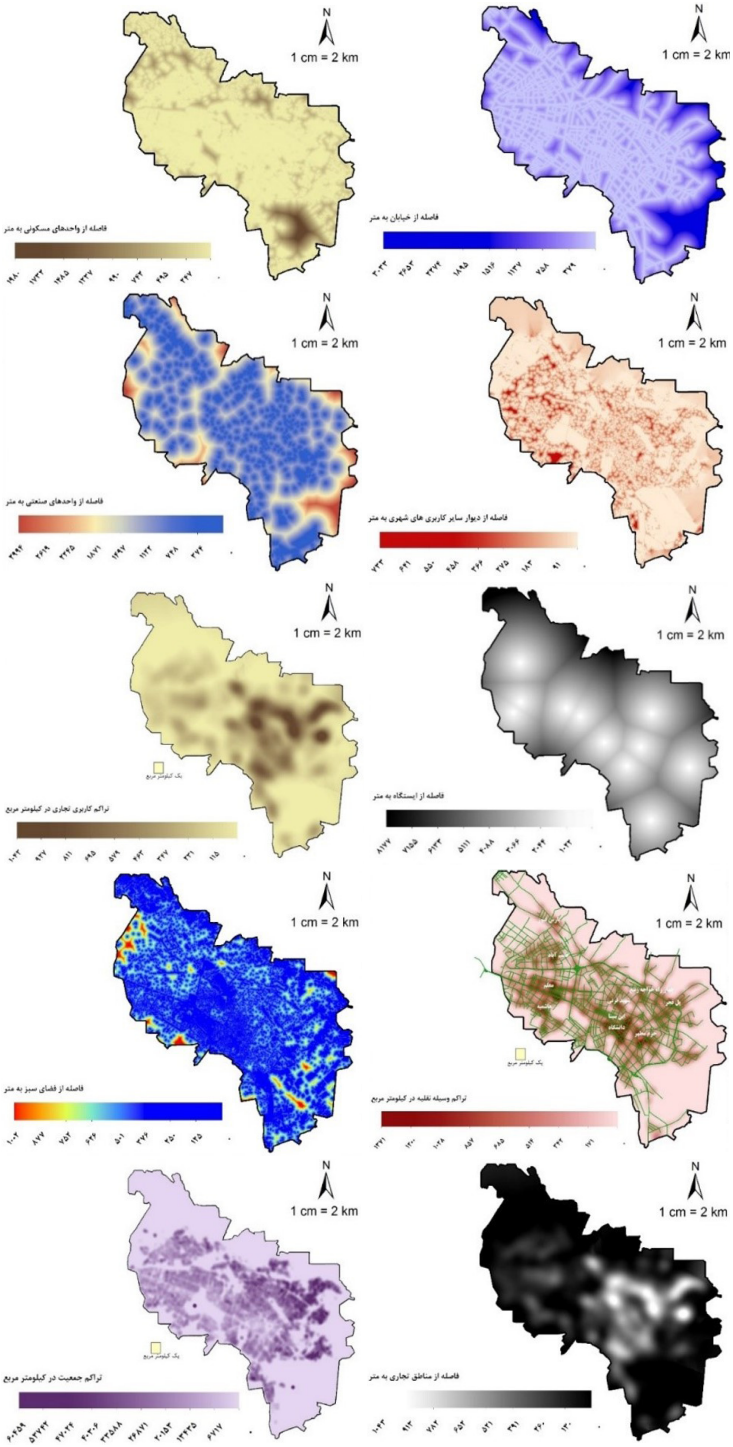
همچنین از فاصله فضایی استاندارد جهت مقایسه میزان فشردگی ایستگاه‌های پیشنهادی توسط روش‌های تصمیم‌گیری استفاده شد. فاصله استاندارد را می‌توان بعنوان شعاع برای ایجاد یک دایره (یک دایره فاصله استاندارد) حول میانگین فضایی مورد استفاده قرار داد (۳۹)، و از این طریق، فاصله استانداردهای مختلف را برای مقایسه نحوه پراکنش نقاط در یک محدوده معین استفاده کرد. اگر دایره فاصله استاندارد در گروه‌های مورد بررسی به طور قابل توجهی با هم هم‌پوشانی داشته باشند، بیانگر مقدار فضای نسبی نزدیک روش‌ها با همدیگر است. بزرگی میزان دایره در فاصله استاندارد در

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

ارتبـاط با نقاط مختلـف می‌تواند بعنوان یـک اندازه‌گیری از شدت پراکنش و تراکم نقاط استفاده شود (۳۹).

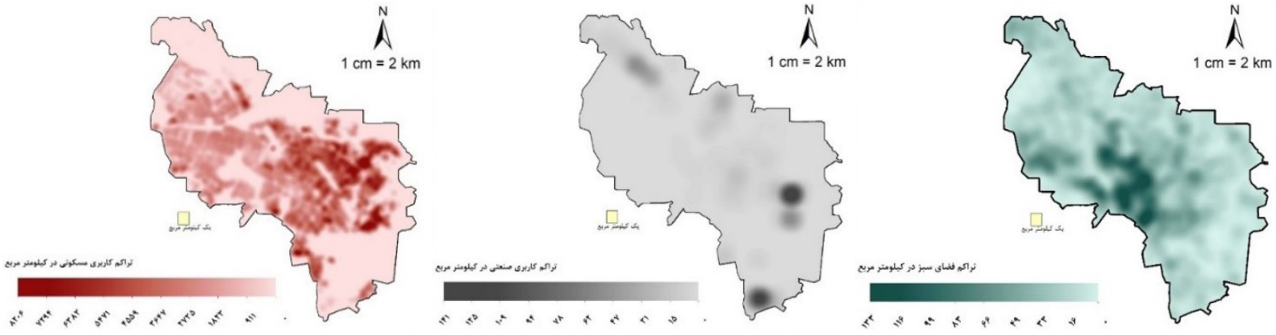
یافته‌ها

در این مطالعه، از روش‌های متعددی جهت تهیه داده‌های موثر بر جانمایی ایسـتگاه‌های پایش کیفیت هوا استفاده شد (جدول



شکل ۲- داده های استفاده شده جهت جانمایی ایستگاه‌ها سنجش کیفیت هوای شهر مشهد

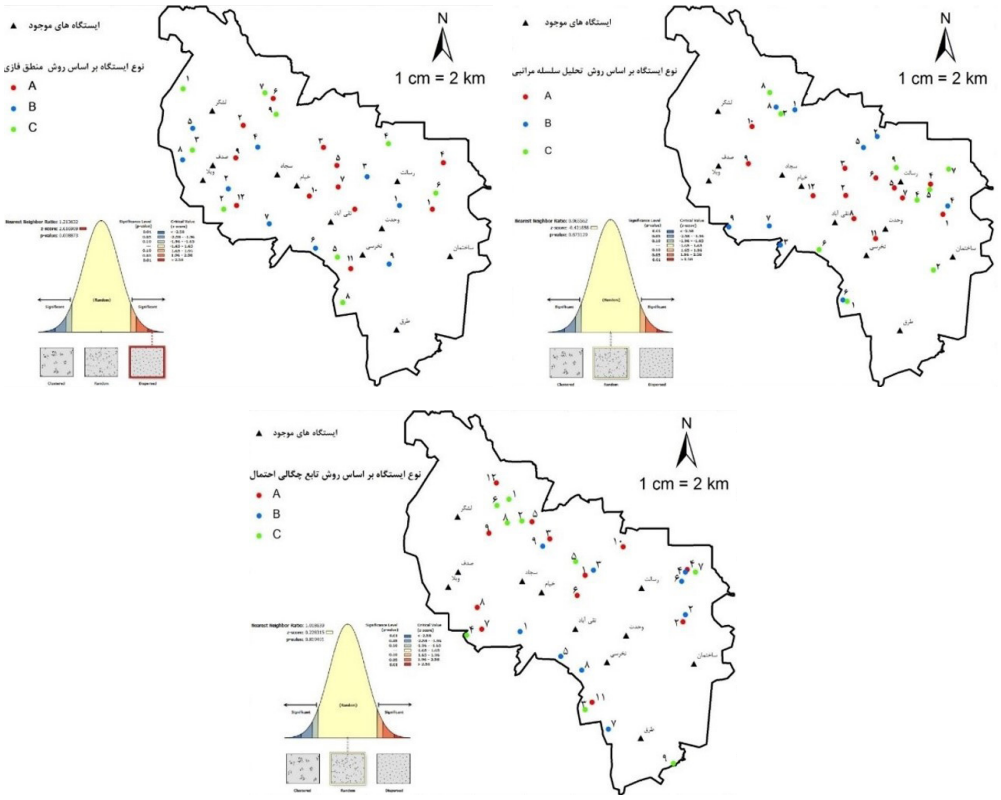
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]



ادامه شکل ۲- داده های استفاده شده جهت جانمایی ایستگاه‌ها سنجش کیفیت هوای شهر مشهد

۲). شکل ۲ نشان‌دهنده نقشه‌های مورد استفاده در سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فازی و روش جدید تابع چگالی احتمال است. براساس جدول ۲، به تناسب نوع ایستگاه، داده‌های موثر بر جانمایی انتخاب شد و سپس داده‌ها جهت جانمایی ایستگاه وارد سه روش تصمیم‌گیری گردید.

پس از مشخص شدن تناسب اهمیت معیارها با روش‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده در این تحقیق، جهت جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا، وزن‌های مربوطه با توجه به نوع روش در نقشه معیارها اعمال گردید و نقشه نهایی جهت تصمیم‌گیری احداث ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد مشخص گردید. مکان گزینی ایستگاه‌های جدید و اولویت‌بندی نقاط به تفکیک نوع ایستگاه براساس بیشترین وزن به کمترین وزن ارائه شده در لکه‌ها انجام شد (شکل ۳). لازم به توضیح است که روش‌های تصمیم‌گیری وضعیت کلی



شکل ۳- جانمایی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر مشهد با روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی ، روش فازی، روش تابع چگالی احتمال

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

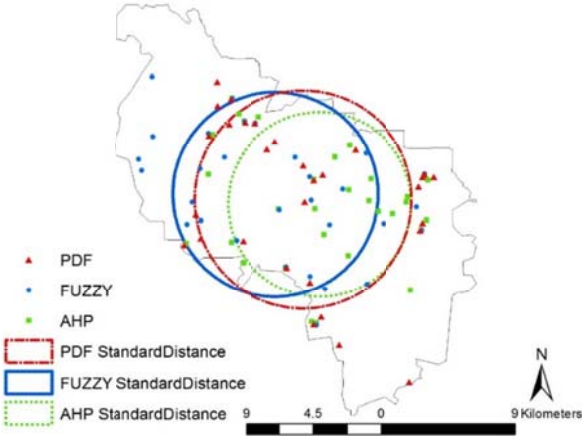
از مکان‌های مناسب را از نظر عوامل موثر بر ایجاد ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا را ترسیم کرده است و جهت جانمایی دقیق ایستگاه‌ها بازدیدهای میدانی توسط کارشناسان در لکه‌های پیشنهادی انجام گردید (۴۰).

جدول ۵ نشان‌دهنده نتایج روش نزدیک‌ترین همسایه جهت بررسی میزان پراکندگی ایستگاه‌های پیشنهادی با روش‌های تصمیم‌گیری فازی، تحلیل سلسله مراتبی و تابع چگالی احتمال است. نتایج نزدیک‌ترین همسایه نشان می‌دهد که روش فازی بهترین الگو (پراکنده) را با ۹۹ درصد اطمینان از توزیع نقاط پیشنهادی را نشان می‌دهد. در حالت پراکنده، نقاط حداکثر فاصله ممکن را از هم دارند و حالت تصادفی مانند روش تحلیل سلسله مراتبی و تابع چگالی احتمال نیز بین دو حالت خوشه‌ای و پراکنده قرار می‌گیرد. همچنین متوسط فاصله اقلیدوسی بین مکان تمام ایستگاه‌های پیشنهادی نشان می‌دهد که حالت شبه خوشه‌ای ایستگاه‌های پیشنهادی در تابع چگالی احتمال با m ۱۲۷۴ بیشتر از سایر روش‌ها است.

شکل ۴ نشان‌دهنده دوایر فاصله استاندارد نقاط پیشنهادی جهت احداث ایستگاه‌های جدید پایش کیفیت هوای شهر مشهد استفاده از روش‌های تابع چگالی احتمال، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی است. دایره فاصله استاندارد در تحلیل سلسله مراتبی، نسبت به دو روش دیگر کوچکتر است و به معنای آن است که نقاط پیشنهادی در روش تحلیل سلسله مراتبی از تراکم نسبی برخوردار است. اما الگوی فضایی نقاط پیشنهادی در روش فازی و تابع چگالی احتمال بصورت پراکنده‌تری نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی قرار دارد.

بحث

نکات بدست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که روش تحلیل سلسله مراتبی منجر به جانمایی متمرکز ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا (ایستگاه‌های تماس عابرین، ایستگاه‌های تماس عمومی، و ایستگاه‌های تماس ساکنین مناطق مسکونی) در حوالی مرکز شهر مشهد شد. بطوری‌که دوایر فاصله استاندارد نشان دهنده فشردگی زیاد مکان‌های پیشنهادی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در مناطق ۱، ۲، ۳ و ۴ شهر مشهد است. اما روش‌های تابع چگالی احتمال و منطق فازی موجب مدل شدن جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا به طور پراکنده در سطح شهر مشهد شد. دلیل تفاوت نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی با روش‌های تابع چگالی احتمال و منطق فازی در نحوه برخورد با عوامل موثر بر جانمایی ایستگاه‌های



شکل ۴- دوایر فاصله استاندارد نقاط پیشنهادی روش‌های تابع چگالی احتمال، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی

جدول ۵- الگوی فضایی ارائه شده روش‌های تابع چگالی احتمال، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی در جانمایی ایستگاه‌های تماس عابرین، تماس عمومی و مسکونی

مدل جانمایی	امتیاز استاندارد	P-value	الگو	فاصله متوسط اقلیدوسی (m)
تحلیل سلسله مراتبی	-۰/۴۲	۰/۶۷	تصادفی	۱۴۸۴
تابع چگالی احتمال	۰/۲۲	۰/۸۱	تصادفی	۱۲۷۴
منطق فازی	۲/۶۱	۰/۰۰۸	پراکنده	۱۷۹۰

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

مـورد نظـر اسـت. روش تحلیل سلسـله مراتبی براسـاس ترجیحـاتی که فرد یا افراد تصمیم‌گیرنده جهت انتخاب بهترین جایگزین (Alternative) از میـان مجموعه‌ای از جایگزین‌ها بـا معیارهای متفاوت اسـت، عمل می‌کند به ویـژه اگر تعداد متغیرها و سـطوح تصمیم‌گیری زیاد باشـد، تعیین ارجحیت، زمان بر و گاهی گیج کننده خواهد بود (۴۱). وزن‌دهی با روش تحلیل سلسـله مراتبی بر پایه یک مدل ریاضی نیست و هدف این روش کارآمد شدن تمایلات خبرگان بعنوان تصمیم‌گیرنده بیـن معیـارهـا و جایگزین‌هـا جهت جانمایی اسـت (۴۲). این امر ممکن اسـت منجر به عدم شناخت دقیق شاخص‌های ارزیابـی و معیـارهـای رتبه‌بندی آنها، در برنامه‌ریزی توسـعه ایسـتگاه‌های سـنجش کیفیت هوای شهری گردد. همچنان‌که نتایـج Hacıoğlu و همکـاران (۲۰۱۶) نشـان داد که روش تحلیل سلسـله مراتبی به دلیل ضعف در بیان عددی ترجیحات انسـانی قادر به ارائه تصمیم مناسب نیست (۳۳). اگرچه روش فازی بعنوان یک روش تصمیم‌گیری مطرح نیست و بوسیله آن می‌توان نظر تصمیم‌گیرندگان در تعیین توابع فازی دخالت داد، اما آنچه که این روش را نسـبت به روش تحلیل سلسله مراتبی متمایز می‌سازد، رفع ابهام موجود در قضاوت‌ها و فرموله شدن آن اسـت (۴۳). نتایج بدسـت آمده از جانمایی ایسـتگاه‌ها با روش فازی نشـان داد کـه روش فازی و نقاط پیشـنهادی از قابلیت اطمینان بیشـتری نسـبت به مناطق پیشـنهادی بدست آمـده از روش تحلیل سلسـله مراتبی اسـت. همچنانکه نتایج Kengpol و همکاران (۲۰۱۲) نیز موید این اسـت که ترکیب روش فـازی با روش تحلیل سلسـله مراتبـی منجر به افزایش قدرت و دقت تصمیم‌گیری می‌شود (۴۴). با توجه به مشابهت، پراکندگی و میزان فشـردگی موقعیت‌های پیشنهادی دو روش فازی و روش تابع چگالی احتمال جهت جانمایی ایسـتگاه‌ها، می‌تـوان نتیجه گرفت کـه روش تابع چگالـی احتمال بعنوان روشی جهت بهبود و کمک به فرایند تصمیم‌گیری قابل استفاده اسـت. ایـن روش در زمانی کـه امکان تعمیم شـروط مکانی نمونه‌های موجود به سـایر مناطق فراهم باشـد (مانند مطالعه حاضر) کاربرد دارد. زیرا با اسـتفاده از توابـع توزیع، احتمال نسـبی برای متغیر تصادفی تشـریح می‌شـود و می‌توان میزان خطای برآورد را نیز بدسـت آورد (۴۵). براساس نتایج روش تابع چگالی، معیار فاصله از ایستگاه‌های موجود بیشترین تاثیر را بر جانمایی ایسـتگاه‌های پیشـنهادی دارد و این امر موجب توزیع یکنواخت ایستگاه‌های پیشنهادی در کـل شـهر می‌شود، همانطور کـه Kaffash Charandabi و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرده‌اند برای سـنجش واقعی کیفیت هوای شهری لازم اسـت فاصـله ایسـتگاه‌های پیشنهادی بیشـتر از ایستگاه‌های موجـود باشد (۸). روش‌های مورد اسـتفاده در این تحقیق به منظور جانمایی انواع ایسـتگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشـهد براسـاس عوامل موثر بر جانمایـی آن بود، هر چند که اسـتفاده از سـایر روش‌ها مانند تهیه نقشه‌های گازهای آلاینده با روش‌هـای میان‌یابی جهت کمک به جانمایی ایسـتگاه‌های سنجش کیفیت هوا استفاده می‌شود (۴۶، ۴۷)، اما در این مطالعه به دلیل در نظر گرفتن راهنمای اسـتاندارد جانمایی ایستگاه‌ها ارائه شده در کشور آمریکا، از نقشه‌های گازهای آلاینده استفاده نشـد. با توجه به نتایج قابل قبول استفاده از روش تابع چگالی احتمال در فرایند جانمایی، و بررسـی اثر احتمالاتی متغیرها و ارزیابی خطای آن، بعنوان روش مناسب پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از دو روش متداول با استفاده از نظر کارشناسی، منطـق فازی و تحلیل سلسـله مراتبی و همچنیـن روش تابع چگالی احتمال بعنوان روش استخراج خودکار اهمیت معیارها، جهـت جانمایی سـه نوع ایسـتگاه پایش کیفیـت هوای شهر مشـهد شامل ایسـتگاه تماس عابرین در مرکز شهر، ایسـتگاه تماس عمومی در مرکز شهر، و ایستگاه تماس مناطق مسکونی اسـتفاده شـد. در این مطالعـه نتایج شاخص‌هـای پراکندگی فضایـی (روش‌هـای میانگیـن نزدیکترین همسـایه و دوایر فاصله استاندارد) جانمایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در شهر مشـهد نشان‌دهنده مناسـب بودن موقعیت‌های پیشنهادی توسـط روش تابع چگالی احتمال و روش فازی است. روش تحلیل سلسـله مراتبی به دلیل استفاده از ترجیحات کارشناسان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

می‌توانــد از عدم اطمینان و در نتیجه موجب کاهش دقت موثر در تصمیم‌گیــری شــود. بنابراین نیاز به روش‌های اســتخراج خودکار شروط مکانی که قابلیت ســریعتر و عملکرد دقیق‌تری نسبت به روش‌های مبتنی بر نظرات کارشناسی دارند، احساس می‌شــود. در این مطالعــه با توجه به مفهوم اســتخراج شروط مکانی خودکــار از طریق مکان‌های فعلی ایســتگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر مشــهد، نقشــه‌های چگالی احتمال برای هر معیار بدســت آمــد. نتایج این مطالعه نشــان داد که روش تابع چگالی احتمال به تصمیم‌گیرندگان در اســتخراج خودکار وزن معیارها برای حل مشــکلات روش‌هــای مبنی بر نظرات خبره کمــک می‌کند. بنابراین تصمیم‌گیرندگان قادر می‌شوند با توجه به موقعیت فعلی ایســتگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر روابط مکانی آن را اســتخراج کنند و سپس نواحی مشابه را مشخص نمایند. اســتفاده از تابع چگالی احتمــال، برای اولین بار جهت اولویت‌بندی مکان‌های احداث ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا (در این مطالعه) پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشــی از طــرح تحقیقاتی-کاربردی ارتباط بــا صنعت با عنــوان "مکان‌یابی و اولویت‌بندی محل اســتقرار ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد" مصوب دانشگاه حکیم ســبزواری و مرکــز پایش آلاینده‌های زیســت محیطی مشهد در سال ۱۳۹۴، به شماره ۴۵۳۹۹/۹۴د است.

منابع

7. Ott WR. Development of criteria for siting air monitoring stations. Journal of the Air Pollution Control Association. 1977;27(6):543-47.
8. Kaffash Charandabi N, Alesheikh AA. Using of Promethee method for locating air pollution monitoring stations. Proceedings of the Geomatic 90; 2011 May 15-19; Tehran, Iran (in Persian).
9. Ashrafi K, Ghader S, Motesadi S, Esfahanian V. Site locating of air quality monitoring stations over great Tehran. Journal of Environmental Studies. 2008;33:1-10 (in Persian).
10. Réquia Júnior WJ, Roig HL, Koutrakis P. A spatial multicriteria model for determining air pollution at sample locations. Journal of the Air & Waste Management Association. 2015;65(2):232-43.
11. Zheng J, Feng X, Liu P, Zhong L, Lai S. Site location optimization of regional air quality monitoring network in china: Methodology and case study. Journal of Environmental Monitoring. 2011;13(11):3185-95.
12. Bertolini M, Braglia M, Carmignani G. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. International Journal of Project Management. 2006;24(5):422-30.
13. Wang G, Qin L, Li G, Chen L. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. Journal of Environ-

1. Sivertsen B. Monitoring air quality, objectives and design. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly. 2008;14(3):167-71.
2. Ahmadi Moghadam M, Mahmoudi P. Analysis of Tehran air pollution data in recent decade (2000-2009). Iranian Journal of Health and Environment. 2013;6(1):33-4 (in Persian).
3. Movafagh A, Dousti MR, Delbari AS. Standards and protocols for site selection of air pollution monitoring stations. Proceedings of the Third Conference on Environmental Engineering; 2009 Oct 7-8; Tehran, Iran (in Persian).
4. Goswami E, Larson T, Lumley T, Liu L-JS. Spatial characteristics of fine particulate matter: identifying representative monitoring locations in Seattle, Washington. Journal of the Air & Waste Management Association. 2002;52(3):324-33.
5. Kukkonen J, Härkönen J, Karppinen A, Pohjola M, Pietarila H, Koskentalo T. A semi-empirical model for urban PM 10 concentrations, and its evaluation against data from an urban measurement network. Atmospheric Environment. 2001;35(26):4433-42.
6. USA. Improving air quality through land use activities. Washington DC: Transportation and Regional Programs Division, Office of Transportation and Air Quality, US Environmental Protection Agency; 2001.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

mental Management. 2009;90(8):2414-21.
14. MarÍa J, JimÉnez M, Joven JA, Pirla AR, Lanuza AT. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making. Group Decision and Negotiation. 2005;14(2):89-108.
15. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: John Wiley & Sons; 1999.
16. Deng H. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. International Journal of Approximate Reasoning. 1999;21(3):215-31.
17. Mikhailov L. Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements. Fuzzy Sets and Systems. 2003;134(3):365-85.
18. Zimmermann H. Fuzzy Set Theory and Its Applications. 2nd ed. New York: Springer; 1992.
19. Bahrani S, Ebadi T, Ehsani H, Yousefi H, Maknoon R. Modeling landfill site selection by multi-criteria decision making and fuzzy functions in GIS, case study: Shabestar, Iran. Environmental Earth Sciences. 2016;75(4):1-14.
20. Weerasiri T, Wirojanagud W, Srisatit T. Assessment of potential location of high arsenic contamination using fuzzy overlay and spatial anisotropy approach in iron mine surrounding area. The Scientific World Journal. 2014;doi:10.1155/2014/905362.
21. Bonham-Carter GF. Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS. New York: Elsevier; 1994.
22. Raines GL, Sawatzky DL, Bonham-Carter GF. Incorporating expert knowledge: New fuzzy logic tools in ArcGIS 10. ArcUser. 2010;49:8-13.
23. Yahiaoui A, Touaïbia B, Bouvier C. Frequency analysis of the hydrological drought regime. Case of oued Mina catchment in western of Algeria. Nature & Technology. 2009;1:3-15
24. Adab H, Kanniah KD, Solaimani K, Sallehuddin R. Modelling static fire hazard in a semi-arid region using frequency analysis. International Journal of Wildland Fire. 2015;24(6):763-77.
25. Zeller K, Hinz S, Rosenbaum D, Leitloff J, Reinartz P. Traffic monitoring without single car detection from optical airborne images. Deutschland: Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Leibniz Universität Hannover; 2009.
26. Azevedo CL, Cardoso JL, Ben-Akiva M, Costeira JP, Marques M. Automatic vehicle trajectory extraction by aerial remote sensing. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2014;111:849-58.
27. Liu W, Yamazaki F. Speed detection of moving vehicles from one scene of QuickBird images. Proceedings of the Urban Remote Sensing Event; 2009 May 20-22; Shanghai, China.
28. Bao T, Li X, Zhang J, Zhang Y, Tian S. Assessing the distribution of urban green spaces and its anisotropic cooling distance on urban heat island pattern in Baotou, China. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2016;5(2):12-25.
29. Fung T. Environmental quality and changes: a view from NDVI in Hong Kong. Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing; 1997 Aug 3-8; Singapore.
30. Richter R, Schläpfer D. User Guid: Atmospheric/topographic correction for satellite imagery. Langeggweg: ReSe Applications Schl □apfer; 2005.
31. Redzwan G, Ramli MF. Geo-referencing the satellite image from Google Earth by relative and absolute positioning. Malaysian Journal of Science. 2007;26(2):135-41.
32. Zhang Y. Problems in the fusion of commercial high-resolution satelitte as well as Landsat 7 images and initial solutions. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2002;34(4):587-92.
33. Hacıoğlu Hİ, Arı A, Özkan A, Elbir T, Tuncel G, Yay OD, et al. A new approach for site selection of air quality monitoring stations: Multi-criteria decision-making. Aerosol and Air Quality Research. 2016;16(6):1390-402.
34. Chowdhury AK, Debsarkar A, Chakrabarty S. Novel methods for assessing urban air quality: Combined air and noise pollution approach. Journal of Atmospheric Pollution. 2015;3(1):1-8.
35. Sibooye A, Ahmadjoo S, Mortazavi MM. A combined AHP-topsis group approach for suitable ranking EPDM rubber synthesized catalyst by BisIndZrCl2. Basparesh. 2012;2(3):33-46 (in Persian).
36. Amorim JH, Valente J, Cascão P, Rodrigues V, Pimentel C, Miranda AI, et al. Pedestrian exposure to air pollution in cities: Modeling the effect of roadside trees. Advances in Meteorology.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

2013;doi:10.1155/2013/964904.
37. Asmahani A, MR MN, Harsuzilawati M. Spatial mapping of dengue incidence: A case study in hulu langat district, Selangor, Malaysia. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. 2010;4(7):251-55.
38. Getis A. Temporal land-use pattern analysis with the use of nearest neighbor and Quadrat Methods1. Annals of the Association of American Geographers. 1964;54(3):391-99.
39. Wong DW. Several fundamentals in implementing spatial statistics in GIS: Using centrographic measures as examples. Geographic Information Sciences. 1999;5(2):163-74.
40. Ouma YO, Opudo J, Nyambenya S. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS for road pavement maintenance prioritization: Methodological exposition and case study. Advances in Civil Engineering. 2015;doi:10.1155/2015/140189.
41. De Steiguer J, Duberstein J, Lopes V. An analysis of Koza's computational effort statistic for genetic programming. In: Renard KG, McElroy SA, Gburek WJ., Canfield H, Russell L, editors. Proceedings of the First Interagency Conference on Research in the Watersheds; 2003 Oct 27-30; Benson, Arizona.
42. Alirezayee MR, Rafiee Sani MR. A development on AHP/DEA methodology for ranking decision making units. Industrial Management. 2011;2(5):83-102 (in Persian).
43. Ahmadee M, Shahidi A, Ghorbani Z. Locating of suitable areas to provide drinking water using multi criteria decision making and Fuzzy Logic Process (Case study: Tabas Aquifer). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(3):331-46 (in Persian).
44. Kengpol A, Rontlaong P, Tuominen M. Speed detection of moving vehicles from one scene of QuickBird images. Proceedings of PICMET '12: the Technology Management for Emerging Technologies; 2012 29 July-2 Aug; Vancouver, BC, Canada.
45. Tong X-h, Liu D-j. Probability density function and estimation for error of digitized map coordinates in GIS. Journal of Central South University of Technology. 2004;11(1):69-74.
46. Shareef MM, Husain T, Alharbi B. Optimization of air quality monitoring network using GIS based interpolation techniques. Journal of Environmental Protection. 2016;7:895-911.
47. Wu J, Peng D, Ma J, Zhao L, Sun C, Ling H. Selection of atmospheric environmental monitoring sites based on geographic parameters extraction of GIS and fuzzy matter-element analysis. PloS One. 2015;10(4):e0123766.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Site selection of air quality monitoring stations over city of Mashhad by multiple-criteria decision-making techniques

H Adab*[1], A Atabati[2], R Esmaili[3], Gh Zolfaghari[2], M Ebrahimi[1]

1- Department of Climatology and Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

2- Department of Environment, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

3- Environmental Pollutant Monitoring Center of Mashhad, Vice Chancellor of Services and Urban Environment, Mashhad, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 18 January 2017
Revised: 10 April 2017
Accepted: 17 April 2017
Published: 21 June 2017

Key words: Site selection, Geographic information system, Air quality monitoring stations, Mashhad

***Corresponding Author:**

h.adab@hsu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Optimum number of air quality monitoring stations in Mashhad is an essential task for management of the urban environment. However, real monitoring and accurate information on the status of air quality require proper spatial distribution of air quality monitoring stations in the city of Mashhad. The aim of the present study was to determine optimum site locations for air quality monitoring, including Downtown Pedestrain Exposure Station, Downtown Background Exposure Station, and Residential Population Exposure Station by three Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) techniques.

Materials and Methods: In the precent study, sites for new air quality monitoring stations t in Mashhad were determined based on a proposed protocol in the United States. Accordingly, the criteria effective for site selection such as population density, distance from existing stations, vicinity to vegitation, vehicle density and other factors were used by applying Analytic Hierarchy Process (AHP), Fuzzy set, and Probability Density Function (PDF).

Results: Location similarity of the sites proposed by decision making methods was evaluated to know its reliability. The compactness of distribution of the proposed sites were compared by applying spatial statistic methods auch as Average Nearest Neighbor (ANN) and Standard. The results from ANN indicated that fuzzy set mapped the suggested sites was fully scattered within the entire city of Mashhad and was statistically significant at 99% confidence level. The PDF method also offered the same spatial pattern as fuzzy set. Overall results of this study indicated spatial optimization of suggested sites location for fuzzy set and PDF.

Conclusion: The overall results of the decision-making methods used in this study indicated that it is necessary to increase number of air quality monitoring stations at Northwest of Mashhad due to the urban growth in the city. The results also showd the possibility of using Probability Density Function (PDF) as a method of decision-making in GIS for locating and ranking of new air quality monitoring stations.

Please cite this article as: Adab H, Atabati A, Esmaili R, Zolfaghari G, Ebrahimi M. Site selection of air quality monitoring stations over city of Mashhad by multiple-criteria decision-making techniques. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(1):37-52.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-16]