محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٠، شمارهٔ ١، بهار ١٣٩٣، صفحهٔ ٦٤-٥١

کاربرد سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکان‌یابی و تحلیل فضایی- مکانی آلودگی و منابع آلاینده‌های هوا در کلان‌شهر کرمانشاه

حمیدرضا جعفری[١]، سیروس حسن‌پور *[٢]، لیلا رحیلی خراسانی[٣]، احمد پوراحمد [٤]

١. استاد مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران hjafari@ut.ac.ir
٢. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران
٣. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران leila.rahili@gmail.com
٤. استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران apoura@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ١٣٩٠/٦/٣١ تاریخ پذیرش مقاله: ١٣٩١/٦/٢٦

چکیده

این تحقیق با هدف شناسایی کانون‌های آلودگی هوا، تحلیل فضایی- مکانی میزان آلودگی آلاینده‌های هوا و بررسی رابطهٔ بین تراکم جمعیت با میزان آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) در کلان‌شهر کرمانشاه فراهم شده است. به منظور تحلیل داده‌ها و تشکیل پایگاه داده‌ای از نرم‌افزار Office/Excel و برای تحلیل تطبیقی و گرافیکی از نرم‌افزار Arcview در محیط GIS و نرم‌افزارهای جانبی Analysis Crime و Case استفاده شده است. همچنین، برای برآورد تعداد جمعیت در بلوک‌های آماری که شامل ٦٢ نمونهٔ آماری به صورت نقطه‌ای با تعیین مختصات جغرافیایی از طریق سیستم مختصات‌یابی جهانی (GPS) در کلان‌شهر کرمانشاه است از روش طبقه‌بندی تراکمی استفاده شده است. جامعهٔ آماری تحقیق مجموعه‌ای از میزان جمعیت و آلاینده و نوع آلاینده در دورهٔ زمانی ٣٠ روزه در محدودهٔ کلان‌شهر کرمانشاه است. آزمون‌های آماری استفاده‌شده، آزمون مرکز متوسط، فاصله از انحراف معیار و بیضی انحراف معیار بوده است و بر اساس توزیع فضایی- مکانی مناطق آلوده با میزان آلودگی و نوع آلاینده‌های هوا و رابطهٔ بین تراکم جمعیت (پیروی الگوی خوشه‌ای و متمرکز) از شاخص خوشه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه برای شناسایی نواحی آلوده و میزان آلودگی هوا استفاده شد. کانون‌های آلایندهٔ هوا (CO، NO_2، SO_2، PM_{10} و Pb) به صورت نقطه‌ای در میدان آزادی، بلوار شهید بهشتی تا میدان سپاه، چهارراه مدرس، میدان آیت‌الله کاشانی، خیابان شهید اشک تلخ تا انتهای خیابان جلیلی، اطراف میدان آزادگان و شهرک معلم و شهرک الهیه شناسایی شدند. بر اساس نتایج، برای افزایش ایمنی و کاهش آلاینده‌ها در این محدوده‌ها از منظر حفاظت و محیط‌زیست شهری، افزایش فضاهای سبز و کاهش میزان تراکم جمعیت در نواحی شلوغ و پرترافیک شهری ضروری است.

کلیدواژه

آلاینده‌های زیست‌محیطی، تحلیل فضایی- مکانی، سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، کرمانشاه.

١. سرآغاز

آلودگی هوا به حضور یک یا چند آلاینده در هوای آزاد مانند گرد و غبار، دود غلیظ، بوی نامطبوع به مقدار کافی با خواص مشخص گفته می‌شود که تداوم آن می‌تواند سلامت انسان و محیط‌زیست را به مخاطره اندازد (مخدوم و درویش‌صفت، ١٣٨٤). انواع متعددی از آلاینده‌ها در اثر فعالیت‌های طبیعی و مصنوعی ناشی از فعالیت‌های بشر که در زمین انجام می‌گیرد، وارد جو می‌شوند، بنابراین به طور کلی آلودگی هوا به معنی حضور یک مادهٔ خارجی در هواست (میلر، ١٣٨٦). به طور کلی، بیشتر آلودگی هوای کلان‌شهرهای ایران بین نوع و میزان آلاینده با بلوک‌های تراکمی جمعیت در مکان‌های شلوغ و پرجمعیت شهری از نظر بستر زمانی و مکانی جنبهٔ جغرافیایی نسبت مستقیم دارد (پژوهیان و مرادحاصل، ١٣٨٦). به عبارت دیگر

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ٠٩١٨٧٢٨٩١٢٠ Email: hassanpour.saman@gmail.com

می‌توان گفت، هر پدیدهٔ آلودگی جوی از نظر غلظت و نوع آلاینده دارای مختصات مکانی و زمانی خاص خود است (حبیبی و پوراحمد، ۱۳۸٦). یکی از فرایندهای چالش‌زا در روند ایجاد و افزایش آلودگی هوا، شهرک‌سازی و شهرنشینی بی‌رویه در حومهٔ کلان‌شهرهاست. فرایند شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه، مانند ایران با افزایش تعداد و اندازهٔ شهرها و جمعیت‌پذیری سریع آن‌ها موجب شکل‌گیری مسائلی چون اقتصاد و اسکان غیررسمی و ایجاد تراکم جمعیت بالا در اماکن اصلی و قدیمی شهر می‌شود و به دنبال آن افزایش آلودگی هوا و انواع آلاینده‌ها در جو روی شهرها را به دنبال خواهد داشت (پژوهیان و مرادحاصل، ۱۳۸٦). به تازگی در برخی از کلان‌شهرها، استفادهٔ زیاد و بی‌رویه از خودروهای تک‌سرنشین در برخی مکان‌های شلوغ با تراکم بالای جمعیت و ترافیک سنگین شهری، شرایطی را ایجاد کرده که محیط‌زیست شهری کلان‌شهرها را (مانند کرمانشاه) از نظر آلودگی هوا با مشکلات و ناهنجاری‌های بسیاری مواجه کرده است (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۸۹). این سیر صعودی افزایش پدیدهٔ آلودگی جوی از نظر غلظت و نوع آلاینده از منظر سازمان‌ها به ویژه سازمان حفاظت محیط‌زیست به مرز هشداردهنده‌ای رسیده است (شفیع‌پور، ۱۳۸۷). طبیعی است پدیده‌های جوی در توزیع آلاینده‌های جوی آثار مستقیم و غیرمستقیم دارند. پدیده‌هایی چون وارونگی هوا به خصوص در فصل سرما و پدیدهٔ مه‌دود فتوشیمیایی از جمله عواملی محسوب می‌شوند که بر نحوهٔ انتشار آلاینده‌ها اثر می‌گذارند (اصیلیان، ۱۳۸۵). بدون شک هرگونه توسعهٔ شهری در صورتی که با درایت و احتیاط کامل اجرا نشود، بیش از پیش بر این معضلات خواهد افزود. استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] به‌منزلهٔ اصلی‌ترین ابزار تحلیل‌های جغرافیایی برای تشخیص قواعد حاکم بر روابط متقابل بین انسان و محیط‌زیست کاربرد فراوانی دارد (قهرودی، ۱۳۸٤). استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در بررسی و تحلیل پراکنش و تراکم جمعیت، توزیع فضایی- مکانی مناطق آلوده با میزان آلودگی و نوع آلاینده‌های اولیه و ثانویهٔ هوا از دههٔ ۱۹۷۰ آغاز شده است (مدیری، ۱۳۷٦). با کمک امکانات و روش این سامانه، امکان تهیهٔ پایگاه داده‌های مکانی، مرتب‌سازی، نمایش فضایی اطلاعات آلاینده‌ها، تلفیق اطلاعات و تحلیل فضایی آن فراهم شده است (میلر، ۱۳۸٦). تهیهٔ نقشه‌های رایانه‌ای، بلوک‌های جمعیتی، میزان و نوع آلاینده‌های جوی روی شهرها ابتدا به کمک نرم‌افزار CAD آغاز، سپس نرم‌افزار GIS جایگزین آن شد. هر چند تا اواسط دههٔ ۱۹۹۰ به کارگیری این نرم‌افزار حتی در کشورهای پیشرفتهٔ جهان چندان متداول نشده بود، اما از سال ۱۹۹۹ استفاده از این سامانه‌ها در بررسی و تحلیل‌های مکانی- فضایی آلودگی آب، هوا و خاک رشد فزاینده‌ای داشته است (صفوی و علیجانی، ۱۳۸٤). تهیهٔ پایگاه داده‌های مکانی در خصوص پارامترهایی همچون تراکم و پراکنش جمعیت، نمایش مکان‌های پرترافیک شهری، نوع آلاینده‌ها، تعیین مختصات جغرافیایی کارگاه‌ها و کارخانه‌ها و میزان آلودگی هوا با امکان مدیریت کارآمد برای ورود، ذخیره‌سازی، به‌روزسازی و بازیابی اطلاعات با سرعت، دقت و کیفیت بالا از قابلیت‌های مهم فناوری سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) است (مرکز GIS شهرداری تهران، ۱۳۸٤). استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در کنار سامانهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری (MCDM)[2] می‌تواند به طور مؤثر در پایش و مدیریت داده‌های آلودگی‌های جوی به بررسی پراکنش مکانی آلاینده‌های مختلف و روند تغییرات میزان آلودگی به‌منزلهٔ سیستم حامی تصمیم‌گیری زیست‌محیطی (EDSS)[3] در کنترل و مدیریت هوشمند بحران آلودگی هوا در کلان‌شهرها استفاده شود (اصغرپور، ۱۳۸۳). در حال حاضر یکی از مشکلات عظیم کلان‌شهر کرمانشاه به ویژه در فصل سرما، حجم عظیم و متنوعی از آلاینده‌های زیست‌محیطی به ویژه منو اکسید کربن، ازن، دی اکسید گوگرد، اکسیدهای ازت و ذرات معلق است. در این تحقیق

به تشریح روند ایجاد سیستم GIS زمان‌مند برای مدیریت داده‌های زیست‌محیطی حاصل از ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلودگی هوا در مناطق مختلف شهر به منظور بررسی پراکنش مکانی آلاینده‌های ذکرشده و شناسایی مکان‌های آلوده و پاک با استفاده از شاخص استانداردهای آلودگی هوا (PSI)[4] با روش‌های آماری- گرافیکی در محیط GIS اقدام شده است. نتایج نشانگر آن است که GIS می‌تواند به طور مؤثر در پایش و مدیریت داده‌های زیست‌محیطی و بررسی پراکنش و کنش‌های مکانی آلاینده‌های مختلف و روند تغییرات میزان آلودگی به‌منزلهٔ سیستم حامی تصمیم‌گیری زیست‌محیطی (EDSS) استفاده شود. در سال‌های اخیر از سوی کارشناسان سازمان‌ها یا محققان محافل علمی در سطح داخلی و جهانی در زمینهٔ شناسایی مکان‌های آلوده به آلاینده‌های هوا، نحوهٔ مدیریت بحران آلودگی هوا با استفاده از سامانه‌های مدیریت هوشمند در کلان‌شهرهای مختلف جهان روش‌های مختلفی ارائه شده است. از جمله می‌توان به محققان زیر اشاره کرد. سلطانیه در سال ۱۳۷۵ در طرح پژوهشی «مکان‌یابی مناطق آلوده به آلاینده‌های جوی چون CO، CO_2، NO_2، SO_2 و PM_{10}» به مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تشکیل و انتقال مه‌دود فتوشیمیایی حاصل از این آلاینده‌ها در هوای تهران با استفاده از مدل ریاضی- آماری پرداخت. وی با شناسایی و بررسی مکان‌های آلوده، منابع آلاینده‌ها و ارتباط آنها با وضعیت آب و هوایی و جغرافیایی، اطلاعات جامعی در زمینهٔ تشکیل مه‌دود فتوشیمیایی ارائه کرد. بلوکی در سال ۱۳۷۹، در پایان‌نامه‌ای با نام «مطالعه و بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان در فصل سرد سال» تحقیقاتی در زمینهٔ مکان‌های آلودگی هوا، نوع و میزان انتشار آلاینده‌ها انجام داد و به بررسی رابطهٔ تراکم جمعیت با مکان‌های آلودگی هوا و نحوهٔ انتشار آلاینده‌ها در این شهر در زمستان با استفاده از مدل‌های آماری پرداخت. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که بین تراکم جمعیت، مکان‌های آلوده، نوع آلاینده‌ها و نحوهٔ انتشار این آلاینده‌ها در فصل سرد سال و بین مشخصه‌های هواشناسی و غلظت مکانی- زمانی آلاینده‌ها رابطهٔ معنی‌داری وجود دارد.

چراغی در سال ۱۳۸۷، در تحقیقی با نام «بررسی و مقایسهٔ کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان» راهکارهایی برای بهبود آن ارائه کرد. نتایج نشان دادند که در تهران آلوده‌ترین ماه‌ها خرداد، شهریور، آبان و بهمن و در اصفهان خرداد است. همچنین، در این تحقیق مشخص شد که در تهران در سال ۱۳۸۷، ۹۰ درصد روزهای این ماه‌ها، شاخص استاندارد بالای حد استاندارد (PSI) قرار داشته است (چراغی و همکاران، ۱۳۸۷).

اردکانی و چراغی در سال ۱۳۸۷، در تحقیقی با نام «ارزیابی کیفیت بهداشتی هوای تهران با کاربرد شاخص کیفیت هوا» به تفکیک ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا پرداختند که در این سال ۲۶۱ روز کیفیت هوای تهران از حد استاندارد تعیین‌شده از سوی EPA تجاوز کرده بود. ۸۴ درصد نیز از آلایندهٔ منو اکسید کربن (CO) گزارش شده بود (اردکانی و چراغی، ۱۳۸۷).

موسوی در تحقیقی با عنوان «بررسی مقایسه‌ای کیفیت هوای تهران در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۷» نتیجه گرفت که در سال ۱۳۷۶ کیفیت هوا در ۳۲ درصد از روزها از نظر توصیفی غیربهداشتی و ۵ درصد بسیار غیربهداشتی بوده است. در صورتی که این موارد در سال ۱۳۷۷، ۶ درصد افزایش داشته است (موسوی و ندافی، ۱۳۷۶). Lean & Eang Hertell در سال ۲۰۰۲ در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی مکان‌های آلودهٔ هوا و آثار آلودگی هوای ترافیکی در سلامت انسان در دانمارک» به مطالعهٔ پراکنش مکان‌های آلودهٔ هوا و تأثیرات آلاینده‌های هوا همچون (SO_2، NO_2، CO، NOX، O_3 و PM_{10}) در سلامت افراد بر حسب مواد آلاینده پرداختند. نتایج نشان دادند که بیشترین مکان‌های آلوده به آلاینده‌های جوی در مکان‌های شلوغ و پرترافیک شهری‌اند. مدل استفاده‌شده برای انجام این تحقیق، مدل‌های پیشرفته مانند مدل درجه‌بندی منطقه‌ای سابقهٔ شهری و مدل آلودگی خیابانی است.

Demuzere در سال ۲۰۱۰، در تحقیقی با عنوان «درک مشکل آلودگی حمل و نقل در مقابل کیفیت هوای محیطی» از حمل و نقل به‌منزلهٔ عامل اصلی آلودگی شهر نام برده و معتقد است که ۳۰ تا ۸۰ درصد از کل آلودگی‌های هوا را اتومبیل‌ها تشکیل می‌دهند. وی در این تحقیق رابطهٔ میان جمعیت با آلودگی هوا و نوع آلاینده‌های جوی (SO_2، NO_2، CO و NOX) ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به ویژه بنزین حاوی سرب را در نواحی شلوغ مشخص کرد. همچنین، وی در انتهای تحقیق خویش شاخص آلودگی هوا را بر حسب PSI در این مکان‌ها تعیین کرد.

Bringfelt در سال ۲۰۰۹، در پژوهشی با عنوان «مهم‌ترین منابع ایجاد و تجمع دی اکسید گوگرد و منو اکسید کربن در مرکز استکهلم» تحقیقاتی انجام دادند. وی ابتدا به بررسی همبستگی فضایی- زمانی مکان‌های آلوده به آلایندهٔ دی اکسید گوگرد و وارونگی دما در آن مکان‌ها پرداخت و سپس بیان کرد که بیشترین نوع و پراکنش آلاینده‌ها مرتبط با گرادیان قائم دما در ۳۷ متری از سطح در ساعات اولیهٔ صبح مشخصهٔ خوبی برای پیش‌بینی آلودگی است.

Patterson و همکاران در سال ۲۰۰۹، از روش بردارهای ویژه برای مطالعهٔ الگوهای پراکنش مکانی و نوع آلاینده‌های هوا و تعیین شاخص‌های آلودگی هوا با استفاده از مدل گرافیکی در میشیگان استفاده کردند. ضرایب بردار ویژه به‌منزلهٔ متغیرهای وابسته، تابعی از فراسنج‌های هواشناسی در آنالیز رگرسیون چندگانهٔ گام به گام بوده‌اند. داده‌ها ابتدا نرمالیزه و بردار و ضریب بردار ویژه محاسبه شدند که چند بردار ویژهٔ اولیه پراش مشاهدات اولیهٔ اکسید گوگرد را نشان می‌دادند. متغیرهای به‌کاررفته در معاملات رگرسیون عبارت‌اند از: دمای هوا، بارش قابل اندازه‌گیری، ارتفاع آمیختگی، پایداری، مؤلفه برداری متوسط باد و میانگین حسابی سرعت باد در سطح زمین.

Huei Lean & Yang chen در سال ۲۰۱۰، در تحقیقی با عنوان «استفاده از شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI)» از مواد آلاینده به‌منزلهٔ شاخص کیفیت هوا با استفاده از مدل‌های ریاضی و آماری در تایوان استفاده کردند. آن‌ها تایوان را به ٤ بخش شمالی، مرکزی، جنوبی و شرقی تقسیم و PSI این مناطق را طی ۱۸ ماه در ۳ مرحلهٔ زمانی (٦ ماه) تعیین کردند. نتایج به‌دست‌آمده، نشان دادند که طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰، PSI این نواحی در بخش‌های شمالی، مرکزی، جنوبی و شرق تایوان به ترتیب ۳/٦، ٤/٤، ۹/۸ و ٤/۵ درصد از روزها بیش از حد استاندارد (ie.PSI 100=) بوده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت یکی از اهداف دولت تایوان کاهش مقدار شاخص آلودگی هوا در سطح ملی به ۱/۵ درصد در سال ۲۰۱۱ است. به تازگی برای تخمین آلودگی هوا در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی از قبیل انواع روش‌های درون‌یابی (Jerrett, et al., 2001)، روش‌های تخمینی (Jerrett,et al., 2005)، روش‌های پخشی (Lin, et al ., 2006) در محیط نرم‌افزار GIS، توسعه یافته است. یکی دیگر از روش‌هایی که امروزه در بسیاری از کشورها به آن توجه شده و از آن در پیش‌بینی تمرکز آلاینده‌های هوا استفاده می‌شود، روش LUR است.

در این پژوهش، بر اساس برآورد تعداد جمعیت و اندازه‌گیری آلاینده در بلوک‌های آماری که شامل ٦۲ نمونهٔ آماری به صورت نقطه‌ای با تعیین میزان جمعیت و مختصات جغرافیایی مکان مورد نظر از طریق سیستم مختصات‌یابی جهانی (GPS)[۵] است به منظور بررسی رابطهٔ میان جمعیت با میزان و نوع آلاینده‌های جوی در کلان‌شهر کرمانشاه از روش طبقه‌بندی تراکمی استفاده شده است. جامعهٔ آماری تحقیق حاضر مجموعه‌ای از میزان جمعیت، میزان و نوع آلاینده را شامل می‌شود که در دورهٔ زمانی ۳۰ روزه در محدودهٔ کلان‌شهر کرمانشاه است. مهم‌ترین آزمون‌های آماری استفاده‌شده، آزمون مرکز متوسط، فاصله از انحراف معیار و بیضی انحراف معیار است و از بین آزمون‌های خوشه‌بندی، شاخص نزدیک‌ترین همسایه برای شناسایی نواحی آلوده و میزان آلودگی هوا به کار گرفته

شده است. با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیستم تعیین مختصات جهانی (GPS)، ابزار اندازه‌گیری آلاینده‌ها و نرم‌افزارهای جانبی Crime Analysis و Case مکان‌های آلوده، نوع و میزان آلاینده‌ها در کلان‌شهر کرمانشاه شناسایی شدند.

۲. مواد و روش انجام تحقیق

۱.۲. داده‌های استفاده‌شده

مواد و ابزارهای استفاده‌شده در انجام تحقیق شامل:

۱. نقشه‌های تراکم جمعیتی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشهٔ بزرگ‌راه‌ها و خیابان‌ها، نقشهٔ مسیر باد غالب، تهیهٔ DEM، تعیین مختصات جغرافیایی مکان‌های تحت مطالعهٔ شهری (نمونه‌های آماری) با GPS؛

۲. نرم‌افزارهای استفاده‌شده شامل: Office/Excel، Arcview، GIS و نرم‌افزارهای جانبی Crime Analysis و Case؛

۳. استفاده از داده‌های آماری و جمعیتی سازمان آمار ایران؛

٤. داده‌های آماری ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار Excel، بررسی و آنالیز شد.

فرایند تحقیق در این مطالعه شامل مراحل زیر است:

مرحلهٔ اول: انجام مطالعات کتابخانه‌ای به منظور تهیهٔ پیشینهٔ تحقیق، ویژگی‌های آلاینده‌ها، ارزش‌گذاری لایه‌ها با استفاده از GIS؛

مرحلهٔ دوم: جمع‌آوری و واردکردن اطلاعات و داده‌های آماری و مختصات نقاط و ارتفاع و غیره به طور جداگانه در نرم‌افزار اکسل (Excel) با فرمت dbf در ستون‌های مجزا؛

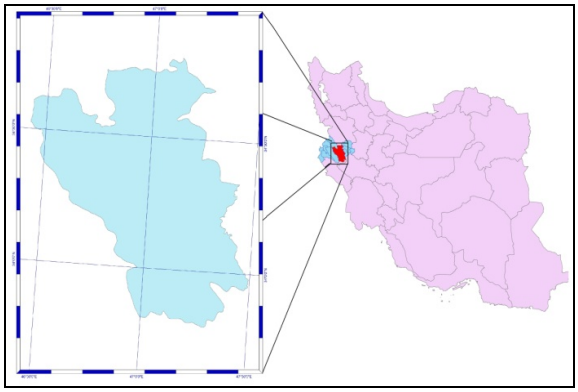
مرحلهٔ سوم: فراخوانی اطلاعات و داده‌ها و جداول آماری در نرم‌افزارهای جانبی Crime Analysis و Case؛

مرحلهٔ چهارم: تهیهٔ مختصات مکانی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، تعیین آلودترین نقاط شهر، مسیر و نوع پراکنش آلاینده‌ها در سطح شهر بر حسب نوع آلاینده از نظر ارتفاع و ضخامت آلودگی، تعیین شاخص آلودگی هوا (PSI) بر حسب نوع آلاینده و کیفیت هوا در مواقع اضطراری و بحران به صورت لایه‌های رقومی در محیط نرم‌افزار Arc GIS (مخدوم و درویش‌صفت، ۱۳۸٤)؛

مرحلهٔ پنجم: تهیهٔ نقشه‌های رقومی‌شدهٔ بلوک‌های جمعیتی کرمانشاه و کلاس‌های طبقاتی نوع و پراکنش آلاینده‌ها.

۲.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

کلان‌شهر کرمانشاه در غرب ایران در منطقهٔ کوهستانی زاگرس و میان رشته‌کوه‌های کشیده و موازی زاگرس در ٤۷ درجه و ۷ دقیقهٔ طول شرقی و ۳٤ درجه و ۱۹ دقیقهٔ عرض شمالی واقع شده است. این شهر در ارتفاع متوسط ۱۳۲۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. کرمانشاه به‌منزلهٔ بزرگ‌ترین استان ناحیهٔ غرب کشور، یکی از ۸ شهر مهم و پرجمعیت کشور با جمعیتی نزدیک به ۱۳۸۷۱۲۹ هزار نفر و مساحتی بالغ بر ۱٤۵۷۰ هکتار در میانهٔ غربی ایران واقع شده است. طی دهه‌های اخیر به علت مرکزیت سیاسی-اداری کرمانشاه و بروز جنگ و غیره، جمعیت این شهر افزایش چشمگیری داشته است. نرخ رشد جمعیت در کرمانشاه طی ۵۰ سال گذشته یعنی طی ۵ دورهٔ سرشماری عمومی نفوس و مسکن از فراز و نشیب‌های متعددی برخوردار بوده است. طی دورهٔ ۵۰ سالهٔ ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ جمعیت ساکن شهر حدود ٦ برابر شده است (سازمان آمار ایران، ۱۳۹۰).



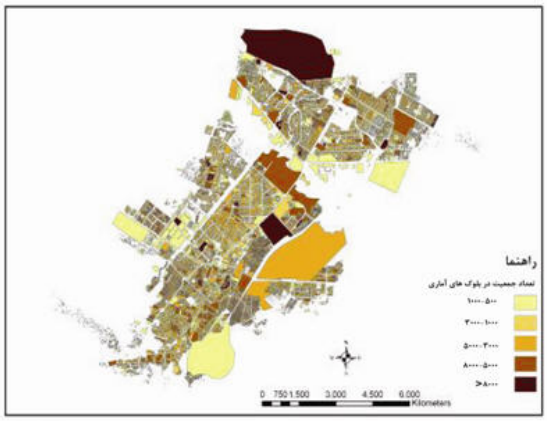
شکل ۱. محدودهٔ مطالعه‌شده

۳. روش تحقیق

روش‌های آماری یکپارچه به تحلیل‌گران کمک می‌کنند تا الگوهای آماری گرافیک مبنا از تحلیل تطبیقی- توصیفی بر پایهٔ توزیع فضایی- مکانی را درک و بررسی کنند. نقطهٔ مرکز متوسط را می‌توان به‌منزلهٔ معیاری تقریبی برای مقایسهٔ توزیع فضایی انواع آلاینده‌ها یا بررسی یک نوع آلایندهٔ خاص در دوره‌های زمانی مختلف به کار گرفت. شاخص فاصله از انحراف معیار به تشریح سطح و نحوهٔ توزیع داده‌ها کمک می‌کند. هر چه اندازهٔ فاصله از انحراف معیار بیشتر باشد، پراکندگی داده‌های آلودگی (نوع آلاینده) بیشتر است. سطوح پراکندگی را نیز می‌توان به وسیلهٔ بیضی انحراف معیار نشان داد. اندازه و شکل بیضی، میزان پراکندگی را معین می‌کند و امتداد آن محدودهٔ انتشار آلاینده را نشان می‌دهد. مفیدترین آزمون آماری جامع، خوشه‌بندی است. چندین روش برای آزمون خوشه‌بندی در توزیع مکانی آلاینده‌ها قابل استفاده است. شاخص نزدیک‌ترین همسایه از جمله آزمون‌های خوشه‌بندی است. شاخص نزدیک‌ترین همسایه روشی ساده و سریع برای آزمون میزان آلودگی در یک محدودهٔ جغرافیایی است. برای شناسایی و بررسی توزیع فضایی- مکانی آلاینده‌های پنج‌گانه (CO، PM_{10}، O_3، SO_2 و NO_2) و تعیین بالاترین مکان‌های آلوده، مدل‌های آماری گرافیک مبنا شامل آزمون مرکز میانگین و بیضی انحراف معیار استفاده شده است.

٤. تعداد جمعیت در بلوک‌های آماری کرمانشاه

محدودهٔ کرمانشاه طبق سرشماری ۱۳۹۰ بالغ بر ۱۳۸۷۱۲۹ نفر بوده است. شایان یادآوری است، در این پژوهش بلوک‌های آماری میزان جمعیت در سال ۱۳۸۵ استفاده شد. میزان جمعیت شهر در ۵ بلوک آماری طبقه‌بندی شده است (شکل ۲). مساحت اراضی خالص مسکونی در بلوک آماری کرمانشاه بالغ بر ٥٦٠٩ هکتار است. تراکم مسکونی خالص در کرمانشاه ۳۱۹ نفر در هکتار و تراکم مسکونی ناخالص ۱۲۲ نفر در هکتار است. در برآورد تعداد جمعیت در بلوک‌های آماری کلان‌شهر کرمانشاه از روش طبقه‌بندی تراکمی استفاده شده است (سازمان آمار کشور، ۱۳۸۵). بدین صورت که هر یک از آلاینده‌ها بر اساس طبقات تراکم جمعیتی درصدی از مساحت و جمعیت شهر را به منظور شناسایی مکان‌های آلودگی هوا به خود اختصاص داده است. از مقایسهٔ بین آمار طبقات مختلف تراکم جمعیت می‌توان به رابطهٔ بین میزان آلودگی هوا و جمعیت پی برد.



شکل ۲. تعداد جمعیت در بلوک‌های آماری کرمانشاه

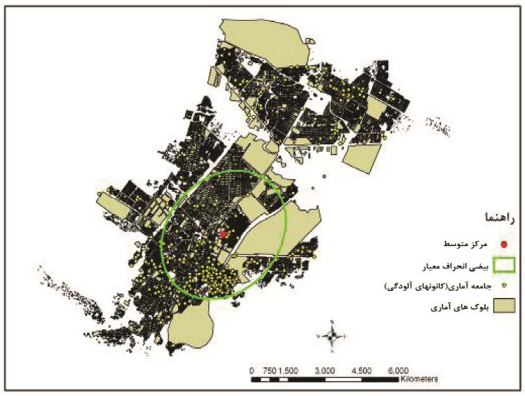
مأخذ: نگارندگان

۵. روش‌های آماری گرافیک مبنا

نخستین گروه از روش‌های تحلیل فضایی، روش‌های آماری گرافیک مبناست تا بدین وسیله میزان گرایش به مرکز و توزیع فضایی آلاینده‌ها در محدودهٔ جغرافیایی کلان‌شهر کرمانشاه مشخص شود. بیضی انحراف معیار و نقطهٔ مرکز متوسط آزمون‌های آماری جامع به شمار می‌روند. نقطهٔ مرکز متوسط را می‌توان به‌منزلهٔ معیاری تقریبی برای مقایسهٔ توزیع فضایی مکان‌های آلوده یا بررسی نوعی آلایندهٔ خاص در دوره‌های زمانی مختلف به کار گرفت. به عبارت دیگر مرکز متوسط، مکان مرکزی را به صورت میانگین مبنایی تمام مکان‌های آلوده در محدودهٔ مورد مطالعه مشخص می‌کند. بیضی انحراف معیار سطوح پراکندگی مکان‌های آلودگی هوا را نشان می‌دهد. در این آزمون اندازه و شکل بیضی میزان آلودگی و امتداد آن محدودهٔ انتشار آلاینده را مشخص می‌کند.

٦. مرکز متوسط و بیضی انحراف معیار

مرکز متوسط، مکان‌های آلودهٔ شهر (آلودگی هوا) بر اساس ۵ آلایندهٔ مهم هوا (CO، PM_{10}، O_3، SO_2 و NO_2) در میدان آزادی، سراسر بلوار شهید بهشتی از سه‌راه ۲۲ بهمن تا میدان سپاه، چهارراه مدرس تا میدان آیت‌الله کاشانی، خیابان شهید اشک‌تلخ تا انتهای خیابان جلیلی، اطراف میدان آزادگان است. بیضی انحراف معیار میزان آلودگی و محدودهٔ انتشار آلایندهٔ کرمانشاه را نشان می‌دهد که دارای کشیدگی شمال به جنوب است (شکل ۳). طول این کشیدگی متغیر است که البته شکل کشیدگی در معیار میزان آلودگی به هر ۵ نوع آلاینده نشان‌دهندهٔ بیشترین فراوانی مکان‌های آلودگی هوا در نقاط نزدیک به مرکز شهر (سه‌راه نواب تا میدان کاشانی) است.

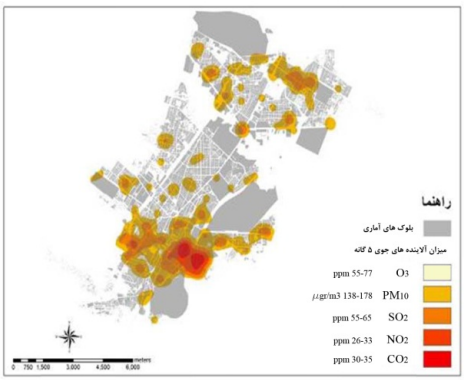


شکل ۳. مرکز متوسط و بیضی انحراف معیار برای شناسایی محدوده و مکان‌یابی مناطق آلودهٔ هوا در کرمانشاه

مأخذ: نگارندگان

۷. آزمون تخمین تراکم کرنل

از مناسب‌ترین روش‌ها برای به تصویر کشیدن داده‌های آماری و تحلیلی- توصیفی در پهنهٔ جغرافیایی به صورت سطح پیوستهٔ آزمون تخمین تراکم کرنل است. آزمون تخمین تراکم کرنل سطح هموراری از تغییرات در تراکم داده‌ها مانند میزان آلاینده و نوع آن را روی محدوده ایجاد می‌کند. بر اساس روش یادشده و به منظور تشخیص کانون‌های آلودگی هوای کرمانشاه این محاسبات در محیط سامانهٔ سیستم اطلاعات جغرافیایی با نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت. روش تحلیل آزمون کرنل، شیوه‌ای دیگر برای تحلیل فضایی مکان‌های آلودگی هوا در محدودهٔ شهرهاست. در این روش نسبت میزان آلودگی هوا و نوع آلاینده به تراکم جمعیت در واحدهای جغرافیایی با ابعاد مشخص سنجیده می‌شود. واحدی که به صورت موضوعی روی نقشه آورده می‌شود، می‌تواند تعیین‌کنندهٔ میزان آلودگی در مختصات جغرافیای مشخص با عنوان «یک سلول از شبکه» محاسبه شود. طبق شکل ۳ تعداد کانون‌های آلودگی هوا بر حسب نوع آلاینده که در آزمون تخمین تراکم کرنل و آزمون توزیعی- نقطه‌ای شناسایی شده است با تحلیل توصیفی یک سلول از شبکهٔ نقشه کاملاً هماهنگی دارد. در این الگو یک سلول از تحلیل شبکه‌ای اندازه و مساحت هر پیکسل یا خانهٔ شبکه برابر با ۳ هکتار در نظر گرفته شده است. پیکسل‌های شبکهٔ تحلیلی نقشه هر کدام از میزان آلودگی به ترتیب رنگ نارنجی، زرد و سبز است و بعدی نوع آلایندهٔ جوی را به خود اختصاص داده است. شایان یادآوری است، بیشترین سهم در بین آلاینده‌های جوی ۵گانه به ترتیب مربوط به منو اکسید کربن، PM_{10}، SO_2، NO_2 و O_3 در کرمانشاه است. شکل ٤ بررسی پراکندگی آلودگی جوی در امکان مختلف کلان‌شهر کرمانشاه را نشان می‌دهد. بررسی دقیق شکل زیر نشان می‌دهد که ۳ کانون بسیار آلوده و خطرناک (PSI>300) در چهارراه مدرس تا میدان کاشانی و سه‌راه نواب صفوی تا میدان نواب وجود دارد. کانونی دیگر در نزدیکی شهرک الهیه و معلم با غلظت آلودگی کمتر از ۲ ناحیهٔ دیگر نیز وجود دارد.



شکل ۴. شناسایی توزیع فضایی- مکانی میزان و انتشار آلاینده‌های جوی با استفاده از مدل تخمین تراکم کرنل در کرمانشاه

مأخذ: نگارندگان

۸. شاخص نزدیک‌ترین همسایه[۶]

این شاخص از تقسیم میانگین فاصله‌ها در پراکنش مشاهده‌شده (Observed distribution) بر میانگین فاصله‌ها در پراکنش تصادفی (Random distribution) به دست می‌آید و آن را با حرف r نشان می‌دهند. پس از محاسبهٔ مقدار r، با استفاده از جدول ۱ می‌توان الگوی مکانی پراکنش مشاهده‌شده را تعیین کرد. شاخص نزدیک‌ترین همسایه بر پایهٔ فاصلهٔ بین پدیده‌ها عمل می‌کند و به همین علت نسبت به سایر روش‌های اشاره‌شده نتایج بهتری در تجزیه و تحلیل پدیده‌هایی که روابط متقابل دارند ارئه می‌دهد. علاوه بر این، از آزمون z نیز در این روش استفاده می‌شود. فرض صفر آزمون این است که پدیده‌های مورد نظر دارای الگوی مکانی تصادفی‌اند. برای تأیید یا رد فرضیهٔ یادشده، آمارهٔ z محاسبه می‌شود. اگر این آماره بین مثبت و منفی ۱/۹۶ (۱/۹۶+ > NNI > ۱/۹۶-) باشد، به احتمال ۹۵ درصد فرض صفر تأیید می‌شود. یعنی الگوی مکانی پدیده‌ها تصادفی است. اما اگر این آماره بیش از ۱/۹۶+ باشد، الگوی مکانی کپه‌ای (خوشه‌ای) است. پراکنش نقطه‌ای پدیده‌ها ممکن است کپه‌ای یا پراکنده به نظر برسد یا حتی با محاسبهٔ r این نتیجه تأیید شود. دستیابی به نتیجهٔ قطعی فقط از راه آزمون آماری امکان‌پذیر است. به عبارت دیگر، مقدار r محاسبه‌شده در جدول ۱ باید با z محاسبه‌شده از جدول ۲ تأیید شود.

جدول ۱. تعیین الگوی مکانی بر اساس مقدار r

الگوی تمرکز مکانی	مقدار r
پراکنده‌ای	r < 1
تصادفی	r = 1
کپه‌ای یا خوشه	r > 1

منبع: نگارندگان

شاخص نزدیک‌ترین همسایه روشی ساده و سریع برای آزمون تمرکز گردآمدگی اطلاعات و داده‌های آماری در یک محدودهٔ جغرافیایی (از نظر زمان و مکان) است. با نتایج این آزمون به سرعت می‌توان دریافت که آیا داده‌های مکانی- فضایی تمرکز خوشه‌ای دارند یا خیر؟ این امر زمانی محقق می‌شود که نتیجهٔ آزمون داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ آلاینده‌های جوی روی اماکن مختلف شهری شکل خوشه‌ای نداشته باشد. میزان آلودگی در حد اضطراری نبود و کانون‌های آلودگی هوا شکل نگرفته‌اند و دیگر لازم نیست محقق وقت خود را برای بررسی و تعیین میزان و نوع آلاینده‌ها صرف کند. این روش طبقه‌بندی، بر اساس نزدیک‌ترین فاصله به نمونهٔ طبقات همسایه استوار است.

شاخص نزدیک‌ترین همسایه: نوعی مقیاس درجه‌بندی مکان‌های آلوده به آلاینده‌ها را بر حسب مقیاس از به شدت متمرکز تا به شدت متفرق است.

دامنهٔ مقدار شاخص:

- صفر: به معنی اینکه میزان و نوع آلاینده در آن مکان در یک نقطه به مقدار بسیار کم متمرکز است (مناطق پاک)؛
- بیشترین مقیاس حدود ۲/۱۵: به معنی وجود تمرکز آلاینده در آن مکان است (به شدت آلوده)؛
- در مکان‌های آلوده با مقدار آلودگی مشابه به سمت ۰/۵ تا ۱/۵ است و در مکان‌های دارای تناقص چشم‌گیر به سمت صفر میل می‌کند.

$$R = \frac{\frac{D}{obs}}{\frac{D}{Exp}}$$

شرح فرمول شاخص نزدیک‌ترین همسایه:

R: شاخص فضای نزدیک‌ترین همسایه؛

Dobs: میانگین میزان آلاینده در یک مکان مشخص و نزدیک‌ترین همسایهٔ آن؛

$$D\exp = \frac{1}{2\sqrt{A}}$$

Dexp: میانگین اختلاف مورد انتظار بین هر مکان آلوده به یک آلایندهٔ مشخص و نزدیک‌ترین همسایه‌اش؛

A: تراکم آلاینده در نقطهٔ جغرافیایی.

عدد محاسبه‌شده برابر ۱ به معنی الگوی تصادفی و بیش از ۱ الگوهای پراکنده یا متفرق و کمتر از ۱ الگوهای

متمرکز آلاینده را در یک مکان با مختصات جغرافیایی مشخص نمایش می‌دهد.

نتیجهٔ آزمون اندازه‌گیری آلاینده‌های جوی روی کرمانشاه با استفاده از آزمون آماری شاخص نزدیک‌ترین همسایه در پراکندگی کانون‌های آلودگی هوا به ۵ آلایندهٔ مهم که حاصل افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در مکان‌های شلوغ و پرجمعیت و وارونگی دمایی هوا در این مکان‌ها، میانگینی برابر با NNI = ۰/۴۳ است. بر اساس این مقدار توزیع نقاط مربوط به این آزمون از نظر آماری خوشه‌ای است، زیرا نتیجهٔ آزمون شاخص نزدیک‌ترین همسایه (NNI) کوچک‌تر از ۱، بیانگر خوشه‌ای‌بودن داده‌های آلودگی جوی است. گفتنی است با توجه به میانگین مقدار توزیع Z (میزان آلودگی آلاینده‌ها) برابر Z= -۲۰/۵۵ است (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تحلیل شاخص نزدیک‌ترین همسایه

نوع آلاینده	شاخص نزدیک‌ترین همسایه (NNI)	نمرهٔ Z
CO	/۳۲	-۹/۵۵
NO_2	/۴۱	-۱۶/۶۸
SO_2	/۴۳	-۲۰/۷۰
O_3	/۶۱	-۳۱/۱۷
PM_{10}	/۵۷	-۲۴/۶۶
میانگین	/۴۶۸	-۲۰/۵۵

منبع: نگارندگان بر اساس مأخذ (**USEP ,1998**)

بنابراین، پراکندگی (انتشار) آلاینده‌های جوی ۵گانه در کرمانشاه از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند و نشان می‌دهد، مکان‌های خاصی با موقعیت جغرافیایی ثبت‌شده از طریق GPS در سطح شهر محل تمرکز بیشترین آلودگی است و از الگوی متمرکز پیروی می‌کند (جدول ۳). در نقطهٔ مقابل، بخش‌های دیگری از شهر از نظر میزان و مفهوم آلودگی، جزو محدوده‌های پاک (مطابق با جدول ۴) محسوب می‌شوند.

جدول ۳. شاخص نزدیک‌ترین همسایه برای کانون‌های آلودهٔ کرمانشاه

کانون‌های آلودهٔ شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میزان جمعیت	شاخص نزدیک‌ترین همسایه	نمرهٔ Z
میدان آزادی	۳۵۴۳۱۶/۳۹	۵۱۲۴۲۸ /۴۷۵	۶۲۹۷۱	۰/۴۸	۶/۸۴
میدان جمهوری	۳۵۴۰۳۸/۰۶	۵۱۱۲۵۲/۵۶۲	۲۴۶۷۰	۱/۱۴	۱/۲۹
صابونی	۳۵۴۸۰/۲۱۴	۵۱۲۲۹۶/۱۱۴	۲۸۸۰۱	۱/۰۷	۰/۴۶
میدان اشک‌تلخ	۳۵۴۸۰/۲۱۴	۵۱۱۲۳۱/۷۰۵	۲۷۲۳۵	۱/۳۲	۱/۸۹
میدان جلیلی	۳۵۳۶۱۶/۴۷	۵۱۲۵۳۲/۰۶۸	۲۸۰۷۱	۰/۸	۱/۴۶
بلوار شهید بهشتی	۳۵۴۴۲۳/۵۹	۵۱۴۲۳۴/۳۱۹	۲۹۳۵۵	۰/۹۸	۰/۰۶
سه‌راه نواب	۳۵۴۵۴۶۴۱۸	۵۱۱۷۷۸۸۵۱	۳۳۸۹۱	۰/۶۲	۶۲/۷
آبادانی مسکن	۳۵۴۳۵۱۶۹۲	۵۱۳۰۲۲/۰۷۳	۴۲۹۱۲	۰/۸۱	۲/۰۴
چهارراه مدرس	۳۵۳۷۴۸/۰۹	۵۱۲۹۵۶/۴۴۸	۲۹۵۶۱	۰/۷۴	۹/۳
مسیر نفت	۳۵۴۳۴۸/۴۸	۵۱۲۹۳۲/۹۲۵	۳۸۷۸۹	۱/۱۲	۰/۶۹
شهرک معلم	۳۵۴۴۳۰۹/۳	۵۱۲۱۲۸/۹۲۲	۴۲۸۰۹	۰/۷۱	۵/۵۷
فرهنگیان	۳۵۴۳۵۱۶۹۲	۵۱۳۰۲۲/۰۷۳	۴۲۹۱۲	۰/۸۱	۲/۰۴
طاق‌بستان	۳۵۳۷۴۸/۰۹	۵۱۲۹۵۶/۴۴۸	۲۹۵۶۱	۰/۷۴	۹/۳

مأخذ: نگارندگان

۹. شاخص استاندارد آلودگی هوا PSI در کرمانشاه

تعیین استاندارد استفاده‌شده در زمینهٔ کیفیت هوا با توجه به استانداردهای مختلف در دنیا و شرایط خاص منطقه در مشخص‌کردن مناطق آلوده بسیار تأثیرگذار است و از میان استانداردهای رایج می‌توان به PSI[۷] و AQI اشاره کرد که هر کدام شرایط و ویژگی‌های خاص خود را دارند. در این پژوهش با استفاده از روابط محاسبه PSI هر آلاینده محاسبه شد.

$$IP = (I_{Hi} - I_{LO})/(BP_{LO}) * (C_P - BP_{LO}) + I_{LO}$$

I_P= شاخص آلاینده؛

I_{Hi}= میزان PSI مربوط به BP_{Hi}؛

I_{Lo}= میزان PSI مربوط به BP_{LO}؛

BP_{Hi}= نقطهٔ سقوط که بزرگ‌تر یا مساوی C_P؛

BP_{LO}= نقطهٔ سقوط که کمتر یا مساوی C_P؛

C_P= میزان گردشدهٔ غلظت آلاینده.

برای نمونه رابطهٔ محاسبهٔ PSI برای آلایندهٔ CO ذکر می‌شود. گفتنی است که در رابطهٔ زیر P نشان‌دهندهٔ میزان آلاینده است.

```
If(p>9) then  PSI =11.1p*
Else If (P<15)  then  PSI=16.7* P-50.3
Eles  If (P<30)  then PSI= 6. 7*P+100
    Eles PSI =10*P
    End
```

پس از جمع‌آوری داده‌های ایستگاه‌های سطح شهر، این داده‌ها در محیط Excel ذخیره و با نوشتن برنامه‌ای در محیط Visual Basic شاخص میزان آلودگی هر آلاینده در بازهٔ زمانی تحقیق (۳۰ روزه) تعیین شد. اطلاعات جمع‌آوری‌شده از ایستگاه‌های سنجش در سطح شهر و مشاهدات میدانی (۶۲ نقطهٔ نمونه‌گیری‌شده) وابسته به مکان است. در مرحلهٔ بعد موقعیت مکانی تمام نقاط روی نقشهٔ مکان مرجع و داده‌های توصیفی مرتبط به آن متصل می‌شود. سپس با اتصال پایگاه دادهٔ طراحی‌شده به اطلاعات گرافیکی، محیط لازم برای انجام تجزیه و تحلیل‌های موردنظر فراهم می‌شود. با استفاده از ماژول Spatial Analysis نرم‌افزار Arc GIS توزیع مکانی هر یک از آلاینده‌ها با توجه به موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه گرفته می‌شود و ایستگاه‌ها اندازه‌گیری و تعیین می‌شوند.

جدول ۴. محاسبهٔ شاخص استاندارد آلودگی هوا PSI و توصیف‌کنندهٔ وضعیت کیفی هوا در کرمانشاه

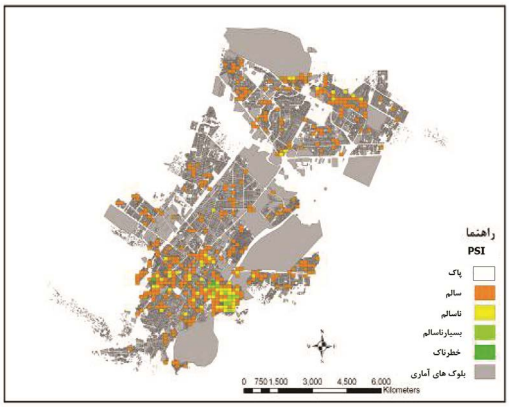
مکان	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	سالم	پاک	PSI	PM-10	SO2	NO2	O3	CO
میدان آزادی	۱	*	*	*	*	۳۲۱	۳۴	۴۴	۱۹	۴۰	۴۵
میدان جمهوری	*	۱	*	*	*	۱۶۵	۳۹	۵۲	۲۶	۶۷	۵۹
صابونی	*	*	۱	*	*	۸۴	۵۷	۴۸	۲۴	۷۱	۴۶
میدان اشک‌تلخ	*	*	۱	*	*	۲۰۹	۴۳	۳۵	۲۰	۴۳	۴۲
میدان جلیلی	*	*	۱	*	*	۲۱۹	۵۷	۴۴	۲۱	۴۰	۴۸
بلوار شهید بهشتی	۱	*	*	*	*	۲۴۳	۴۳	۴۷	۲۵	۵۱	۴۳
سه‌راه نواب	*	۱	*	*	*	۱۴۳	۴۵	۵۵	۲۵	۵۷	۵۳
آبادانی مسکن	*	*	۱	*	*	۸۷	۴۱	۵۰	۲۶	۵۹	۴۸
چهارراه مدرس	*	۱	*	*	*	۳۵۵	۵۶	۵۹	۲۰	۴۵	۴۶
مسیر نفت	*	*	۱	*	*	۱۷۱	۴۶	۴۷	۲۲	۴۶	۴۲
شهرک معلم	*	*	*	۱	*	۱۸۷	۵۱	۵۰	۲۴	۴۴	۶۴
شهرک فرهنگیان فاز ۲	*	*	*	۱	*	۷۲	۴۶	۴۷	۲۰	۳۱	۵۲
شهرک الهیه	*	*	۱	*	*	۲۳۱	۵۰	۵۰	۲۵	۴۲۳	۵۰
طاق‌بستان	*	*	*	۱	*	۴۱	۱۶	۲۱	۱۱	۱۹	۱۵
میدان لشکر	*	*	*	۱	*	۷۹	۱۹	۲۱	۱۵	۱۹	۱۹
میدان شهرداری	*	۱	*	*	*	۱۳۵	۲۲	۵۸	۲۱	۴۲	۴۵

منبع: نگارندگان

جدول ۵. میزان و نوع آلودگی جوی کرمانشاه

نوع آلایندهٔ جوی	PM_{10}	SO_2	NO_2	CO	O_3
واحد آلاینده	(µg/m3)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
میزان آلاینده	۸۹/۸۵	۵۸/۵۶	۱۳۸	۷/۸۹	۷۳/۹۱

منبع: نگارندگان بر اساس مأخذ (USEP ,1998)



شکل ۵. نقشهٔ نهایی شناسایی مکان‌های آلوده و پاک جوی برحسب PSI در کرمانشاه

منبع: نگارندگان

رشد سریع شهرنشینی در ایران به ویژه در کلان‌شهرها موجب مشکلات و ناهنجاری‌های زیست‌محیطی و آلودگی هوا در شهرهای بزرگ شده است. واضح است که افزایش نرخ رشد جمعیت در کلان‌شهر، تراکم جمعیت، ترافیک شهری و مصرف بی‌رویهٔ سوخت و در نهایت آلودگی جوی را به همراه خواهد داشت. از سوی دیگر، با توجه به پتانسیل بالای GPS برای جمع‌آوری و به‌هنگام‌رسانی داده‌های مکانی به صورت لحظه‌ای و آنی به ویژه در ارتباط با ترافیک می‌توان، از این روش فنّاوری برای انجام سریع و هوشمندسازی مراحل به‌هنگام‌سازی و ایجاد پایگاه داده در زمینهٔ کانون‌های آلودگی و نوع آلاینده‌ها استفاده کرد. با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی عمده‌ترین مسئلهٔ آلودگی هوا در کلان‌شهر کرمانشاه، آلاینده‌های جوی متصاعدشده از مصرف سوخت‌های غیراستاندارد مشتق‌شده از صنایع پتروشیمی و خودروهای فرسوده است. عمده‌ترین آلاینده‌های جوی متصاعدشده

شامل منو اکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (So_2)، دی اکسید نیتروژن (No_2)، ازن (O_3) و ذرات آئروسل معلق در هوا (PM_{10}) است. توزیع و پراکنش آلاینده‌های جوی در موقعیت‌های جغرافیایی تابعی از شرایط مکانی و زمانی است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که هر پدیدهٔ آلودگی جوی از نظر غلظت و نوع آلاینده دارای مختصات مکانی و زمانی خاص خود است. بنابراین، نشان‌دادن میزان آلودگی جوی و نوع آلاینده روی نقشهٔ رقومی‌شدهٔ شهرها به این نتیجه منتهی می‌شود که نحوهٔ تمرکز و انتشار از منابع (پراکنش) آلاینده‌ها در محدوده‌های خاص و بعضاً در مناطق پرترافیک از شهر گرایش دارد.

۱۰. بحث و نتیجه‌گیری

سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) از جمله ابزارهای نوین برای شناسایی و تحلیل کانون‌های آلودگی جوی است که از طریق نرم‌افزارهای جانبی طراحی‌شده در محیط سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی فعال می‌شود و می‌توان با کمک آن محدوده‌های با میزان آلودگی بیشتر را شناسایی کرد (مخدوم و درویش‌صفت، ۱۳۸٤). یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند، پراکندگی (انتشار) آلاینده‌های جوی ۵گانه در کرمانشاه از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند. مرکز میانگین توزیع جغرافیایی نقاط وقوع آلودگی هوا در کرمانشاه بر مرکز شهر (سه‌راه نواب تا میدان شهرداری) منطبق است. بیضی انحراف معیار آلودگی نیز در جهت بخش مرکزی و شمال‌غربی کرمانشاه کشیده شده است. در واقع مفهوم این جهت کشیدگی بیضی انحراف معیار آلودگی، حاکی از آن است که مناطق آلوده با نواحی بلوک‌های جمعیتی پرتراکم-که بیشترین ترافیک را در ساعات شبانه روز دارند- منطبق‌اند. به منظور تشخیص توزیع تصادفی یا خوشه‌ای‌بودن میزان انتشار آلاینده‌های جوی در پژوهش حاضر از آزمون آماری شاخص نزدیک‌ترین همسایه نیز استفاده شده است. میزان شاخص نزدیک‌ترین همسایه در پراکندگی نقاط مربوط به میزان آلودگی برابر با ۰/۳٤ است. این بدان معناست که این مقدار پراکنش میزان آلودگی جوی با آلاینده‌های ۵گانه (CO، PM_{10}، O_3، SO_2 و NO_2) که ناشی از افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در نواحی پرترافیک شهری با بلوک‌های جمعیتی پرتراکم است از نظر آماری توزیع خوشه‌ای دارد. گفتنی است، مقدار میانگین Z این آزمون (بررسی میزان آلودگی آلاینده‌های جوی) که برابر ۲۰/۵۵- است، دلیلی بر صحت آزمون شاخص نزدیک‌ترین همسایه است. بنابراین، پراکندگی آلاینده‌های جوی در کرمانشاه از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند و نشان می‌دهد، محدوده‌های خاصی در سطح شهر محل تمرکز بیشترین آلودگی هواست و در نقطهٔ مقابل، بخش‌های زیادی از شهر از نظر میزان آلودگی هوا و تراکم آلاینده‌های جوی جزو محدوده‌های پاک[۸] محسوب می‌شوند. همچنین، برای شناسایی و تحلیل ویژگی‌های آلاینده‌های ۵گانه (CO، PM_{10}، O_3، SO_2 و NO_2) مانند میزان و جهت انتشار در کرمانشاه از روش تراکم کرنل که از مناسب‌ترین روش‌ها برای به تصویر کشیدن داده‌های آماری پیوسته است استفاده شد.

۱۱. نتایج

در این پژوهش ابتدا، به تشریح روند ایجاد سیستم اطلاعات جغرافیایی زمانمند برای مدیریت داده‌های زیست‌محیطی حاصله از ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلودگی هوا در مناطق مختلف کرمانشاه نسبت به انجام تجزیه و تحلیل‌های داده‌های آماری مکان مرجع در بازه‌های زمانی ۳۰ روزه اقدام شده است. همچنین، در کنار استفاده از توابع تحلیلی سامانهٔ سیستم اطلاعات جغرافیایی، همچون همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی به منظور شناسایی مناطق آلوده به آلاینده‌های ذکرشده با روش‌های آماری- گرافیکی در محیط نرم‌افزار GIS مدل‌سازی می‌شود تا به‌منزلهٔ سیستم هشداردهنده به کار رود. مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش به شرح زیر است:

۱. با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که به طور

کلی عمده‌ترین مسئلهٔ آلودگی هوا در کلان‌شهر کرمانشاه، آلاینده‌های جوی متصاعدشده از مصرف سوخت‌های غیراستاندارد مشتق‌شده از صنایع پتروشیمی و خودروهای فرسوده‌اند. این آلاینده‌های جوی متصاعدشده شامل منو اکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (So_2)، دی اکسید نیتروژن (No_2)، ازن (O_3) و ذرات آئروسل معلق در هوا (PM_{10}) هستند.

۲. مطالعهٔ نقشهٔ ۵ و جدول ٤ تحقیق نشان‌دهندهٔ آن است که مناطق آلودهٔ شهر با بلوک‌های جمعیتی با تراکم بالا که بیشترین ترافیک شهری را در ساعات شبانه روز دارند با کانون‌های پراکنش آلاینده‌های جوی شناسایی‌شده روی نقشهٔ کرمانشاه دارای الگوی‌های خوشه‌بندی مشابه و یکسان‌اند.

۳. مطالعهٔ شکل ۳ بیضی انحراف معیار، میزان آلودگی و محدودهٔ انتشار آلاینده‌های کرمانشاه را نشان می‌دهد که دارای کشیدگی شمال به جنوب است و بیشترین فراوانی مکان‌های آلودگی هوا در نقاط نزدیک به مرکز شهر (سه‌راه نواب تا میدان کاشانی) است.

٤. از همپوشانی‌دادن نقشهٔ رقومی‌شدهٔ بلوک‌های جمعیتی و نقشهٔ غلظت و تراکم هر یک از آلاینده‌ها با استفاده از مدل گرافیکی تراکم کرنل، نقشهٔ نهایی کانون‌های آلاینده‌های هوا بر حسب شاخص استاندارد (PSI) در محیط نرم‌افزاری GIS به دست می‌آید که در این مکان‌ها یا کانون‌های آلودگی میزان آلودگی به آلاینده‌های مختلف شناسایی شد. این کانون‌ها به شرح زیرند:

الف) مهم‌ترین کانون‌های آلودگی هوا در کلان‌شهر کرمانشاه پس از انطباق نقشهٔ آلاینده‌ها بر اساس مدل‌های گرافیکی در محیط GIS در نواحی شهری میدان آزادی (PSI > 300 یا خطرناک)، بلوار شهید بهشتی از سه‌راه ۲۲ بهمن تا میدان سپاه، چهارراه مدرس تا میدان شهرداری (PSI > 300 یا خطرناک)، خیابان شهید اشک‌تلخ تا انتهای خیابان جلیلی و اطراف میدان آزادگان منطبق است.

ب) افزون بر این کانون‌های اصلی ۲ کانون فرعی نیز در شهرک معلم و الهیه است که به علت قرارگرفتن در مسیر باد غالب منطقه و مسدودبودن این نواحی از طریق کوه طاق‌بستان در ضلع شمال شهر، سبب انتقال‌یافتن آلودگی‌ها، سایر آلاینده‌های جوی شهرک‌های صنعتی، کارگاه‌ها و کارخانه‌های منطقه می‌شود.

۵. بر اساس نقشهٔ ۵ پیکسل‌های نقشهٔ رقومی‌شدهٔ مذکور، بر اساس PSI، برای مشخص‌کردن کیفیت هوای نواحی مختلف شهری کلان‌شهر کرمانشاه به ترتیب رنگ نارنجی (سالم)، زرد (ناسالم) و سبز (خطرناک) را به خود اختصاص داده‌اند. شایان یادآوری است بیشترین میزان آلاینده‌ها در مرکز کرمانشاه مربوط به PM_{10} و CO_2 در نواحی خیابانی چهارراه مدرس تا میدان شهرداری و میدان کاشانی است.

٦. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده روی شکل ۵ و جدول ۵ نشان می‌دهد که به طور متوسط ۷/۸۸ درصد کل هوای کرمانشاه دارای غلظتی بین ۱۵ تا ۳۰ پی پی ام است. دو منطقهٔ واقع در مرکز شهر، خیابان مدرس با ۱۹/۳۲ و میدان شهرداری با ۲۱/٤۹ درصد بیشترین آلودگی منو اکسید کربن را داشتند. کمترین مقدار آلودگی متعلق به مناطق طاق‌بستان (صفر درصد) و خیابان‌های لشکر و سراب قنبر با ۰/۱۱ درصد است.

همچنین، مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهند که به منظور افزایش ایمنی و کاهش آلاینده‌ها در این کانون‌های آلودگی هوا، از منظر مدیریت و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی نیاز به افزایش فضاهای سبز و کاهش میزان تراکم جمعیت در نواحی شلوغ و پرترافیک شهری با بهره‌برداری از قطار شهری در کلان‌شهر کرمانشاه به منظور کاهش آلودگی هوا و کمک به حفظ محیط‌زیست شهری و سلامت شهروندان ضروری به نظر می‌رسد.

پیشنهادها

از آنجا که تعداد ایستگاه‌های کرمانشاه برای پایش منظم و دقیق آلاینده‌ها کافی به نظر نمی‌رسد، برای تکمیل و

بهینه‌سازی بانک اطلاعات آلاینده‌های هوای کرمانشاه نکات زیر پیشنهاد می‌شود:

– ایجاد شبکه‌های پایش آلاینده‌ها؛

– تشکیل بانک اطلاعات جامع آلاینده‌ها؛

– تدوین استانداردهای ملی برای سطوح مجاز آلاینده‌ها روی کلان‌شهرها با توجه به مسائل اقلیمی و توپوگرافیکی منطقهٔ مورد مطالعه؛

– مکان‌یابی مناطق آلوده به آلاینده‌ها روی کلان‌شهرها با توجه به پارامترهای زیست‌محیطی و استانداردهای بین‌المللی با استفاده از مدل‌های فازی، شبکهٔ عصبی و سامانهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)؛

– استقرار ایستگاه‌های سنجش و پایش آلاینده‌های نوین الکترونیکی در مناطق پرترافیک و مناطق پرجمعیت صنعتی در کنار مناطق پاک برای مقایسه و اندازه‌گیری سرعت انتشار آلاینده‌ها بر حسب نوع آلاینده.

یادداشت‌ها

1. Geographic Information System
2. Multi Criteria Decision Making
3. Expanded Disability Status Scale (EDSS)
4. Polluion Standard Indices
5.Global positioning System (GPS)
6. Nearest Neighbor Index
7.Air Quality Index (AQI)
8. Cool Spot

منابع

اصیلیان، ح . اردلان، س . مرتضوی، ب . ۱۳۸۵ .آلودگی هوا، نشر میترا ، تهران، ، ۱٤۷

اردکانی، س . طیبی، ل. چراغی، م . ۱۳۸۷. ارزیابی کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۵ با کاربرد شاخص کیفیت هوا به تفکیک ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا ، دومین همایش ونمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست ، دانشگاه تهران ، ۲۸ اردیبهشت _ ۱ خرداد ماه

اصغرپور، م . ج. ۱۳۸۳. تصمیم گیریهای چند معیاره (AHP) ، چاپ سوم ،انتشارات دانشگاه تهران

بلوکی، م . ۱۳۷۹. مطالعه و بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه اصفهان.

پژوهیان، ج . و مراد حاصل، ن .۱۳۸٦. بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا ، فطنامه پژوهش‌های اقتصادی، سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ، ۱٤۱– ۱٦۰ .

چراغی، م . ندافی، ک . خراسانی، ن . کرمی، م . ۱۳۸۷ . بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۵ ، شماره ٤

حبیبی، ک . احمد پور ، ا .۱۳۸٦.توسعه کالبدی_فضایی شهر سنندج با استفاده از GIS انتشارات دانشگاه کردستان، سنندج، ص ۱٦.

سازمان حفاظت محیط زیست کرمانشاه . ۱۳۸۹. گزارش پایگاه ارزیابی و پایش آلودگی هوای ۸ کلان‌شهر کشور در دیماه ۱۳۸۹، انتشارات روابط عمومی سازمان محیط زیست ایران.

سلطانیه ، م . ۱۳۷۵. مدل سازی و شبیه سازی تشکیل و انتقال مه دود در هوای شهر تهران و ارتباط آن با مشخه‌های هواشناسی، نشریه نیوار، شماره ۳۱، انتشارات سازمان هواشناسی کشور.

شفیع پور ، م . ۱۳۸۷. مهندسی آلودگی هوا، چاپ اول ، موسسه نشر شهر.

صفوی، س. ی ، علیجانی ، ب. ۱۳۸۵، بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸.

قهرودی، م. ۱۳۸٤. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ، جهاد دانشگاهی تربیت معلم.

مخدوم، م. درویش صفت، ع . مخدوم ، ع . ۱۳۸٤. ارزیابی و برنامه ریزی محیط زیست با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. انتشارات دانشگاه تهران.

مدیری، م. ۱۳۷٦. سیستم اطلاعات جغرافیایی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

مرکز اطلاعات جغرافیایی شهر تهران ،۱۳۸٤. کاربردهای GIS در جهان.

مرکز آمار ایران .۱۳۹۰. و . ۱۳۸۵. ، سالنامه آماری استان کرمانشاه.

موسوی، غ ر و ندافی، ک. ۱۳۷٦. بررسی مقایسه ای کیفیت هوای شهر تهران در سال‌های ۱۳۷٦ و۱۳۷۷ ، سومین همایش کشوری بهداشت محیط، کرمان.

میلر، جی تی. دی . ۱۹۹۲ ، زیستن در محیط زیست، ترجمه مجید مخدوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸٦، ص۱۱.

Bringfelt, P. O, Bhanarkar, A. D. 2009. Air pollution modeling for power plant site selection , international jounal of environmental studies , Vol 62 , pp 527-534.

Demuzere, M., Lipzig, N. 2010. A new method to estimate air levels using a MCDM, Part I: Presnt-day O3 and PM10 analysis, Atmospheric Environment 44, pp 1341–1355.

Huei, L. Running, S. and Hunt, E. 2008. Use of pollution standaed index as the indicator of air Quality in Taiwan, cloud and Aerosol lab Dept. Atmospheric sciences National center University chung- Li, Taiwan.

Lean, H. Eang, L. Richards, J. A. 2007. Discussion about multi-criteria decision aking, published by UT Damano university., 218-220pp.

Patterson, L. 2009. Understanding Urban Vehicular Polluyion Problem Vis-A-Vis Moussiopoulos. N., C.G. Helmis, H.A. Flocas, P. Louka, V.D. Assimakopoulos. Huei Lean, N. Yang.

USEPA .1999 . Air Quality Index Reporting; Final Rule, Enviromental Agency Washington, DC ,pp. 42530 – 42549.

Jerrett , R . and Hunt, Jr. , Nelson, M. , race boil , F. 2005. the use of GIS to identify suitable landfill sites in arid, desert magazine, vol 5, no.

USEP. 1998. Guideline For Reporting of Daily Air Quality_pollutant Standards Index (PSI) nvironmantal Proting Agency, Washington , DC.Recognition Letters, 27: 294-300.