نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی | سال هفتم | شماره بیست و هفتم و بیست و هشتم | پاییز و زمستان ۱۳۹۵

مکان یابی ایستگاه های هواشناسی شهری در کلان شهر مشهد

نوید حیدری[۱]، رضا دوستان*[۲]، مجید حبیبی نوخندان[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲-استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳-دانشیار و رییس پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران

چکیده

بررسی پدیده های جوی، ارائه گزارش وضعیت جوی مطابق با استاندارد ها و استخراج میانگین عناصر اقلیمی در ناحیه شهری، به جهت شناخت الگوی آب و هوای محلی و اقلیم شهر، مستلزم ایجاد شبکه منظم از ایستگاه های هواشناسی شهری می باشد. این مساله با توجه به شرایط خاص در نواحی شهری، با وجود اختلاف فیزیکی سطح و اقلیمی شهرها با محیط های مجاور شان، اهمیت دارد. بنابراین این پژوهش با بررسی پارامترهای موثر بر مکان یابی ایستگاه های هواشناسی شهری تحت تاثیر خصوصیات شهری و ویژگی های منطقه مورد مطالعه، شاخص های مکان یابی شامل: پراکنش عناصر اقلیمی در سطح شهر، پراکنش خصوصیات فیزیکی شهر (معابر و کاربری ها) و پراکندگی مخاطرات محیطی مرتبط با اقلیم شهر انتخاب شدند و پس از جمع آوری داده های مورد نیاز هر شاخص شامل: داده های اقلیمی، داده های رقومی خصوصیات فیزیکی شهر و مخاطرات شهری، لایه های مورد نیاز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استخراج شد. تعیین اولویت شاخص ها نسبت به یکدیگر با نظر کارشناسان خبره و با بهره گیری از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه زوجی انجام شد. اوزان سلسله مراتبی بدست آمده با لایه های نرمال شده منطق فازی با روش جمع وزنی تلقیق گردید. در نهایت مناسب ترین نقاط شامل، ۱۱ نقطه اولویت بندی شده با توجه به جهت گسترش شهر مشهد و با فاصله مناسب از ایستگاه اصلی، برای جانمایی ایستگاه های هواشناسی شهری مکان یابی گردید. این موقعیت ها به ترتیب اولویت: ۱-بلوار توس/ بزرگراه میثاق.۲- خواجه ربیع/ موسوی قوچانی/ بلوار امامیه.۳-ابتدای هفت تیر/ خیابان سلمان فارسی/ قلعه ساختمان.۴-خیابان امام رضا/ بلوار مجلسی/ جاده سیمان می باشند.

کلید واژه ها: اقلیم شهر، ایستگاه هواشناسی شهری، تحلیل سلسله مراتبی، مکان یابی، GIS

*Email: doostan@um.ac.ir

مقدمه

طرح مساله

رشد شهرنشینی یکی از مهمترین پدیده های عصر حاضر است. تا جائی که صحبت از انقلاب شهری در دنیا می‌شود. در عصر حاضر بخش عمده‌ای از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و در سه دهه آینده انتظار می‌رود رشد جمعیت بیشتری به ویژه در دو قاره آسیا و آفریقا رخ دهد. نظام شهرنشینی و روند سریع آن در کشور های در حال توسعه سبب هجوم گسترده به شهرها، و به تبع آن ایجاد معضلات در ابعاد مختلف، از جمله تغییرات زیست محیطی در ارتباط با توسعه فیزیکی شهر و ایجاد ریز اقلیم‌های مختلف و مطرح شدن بحث مخاطرات محیطی شهر شده است. بنابراین ضروری است که بتوان مخاطراتی را که مراکز شهری و ساکنان آن تجربه می‌کنند به درستی پیش‌بینی کرد (کارمایکل و همکاران[1]، ۲۰۱۵، ص۱). بنابراین با توجه به افزایش جمعیت مناطق شهری نیاز رو به رشدی به مشاهدات شهری در هواشناسی وجود دارد. با این تفاسیر علی رغم پیچیدگی‌ها و ناهمگن بودن محیط‌های شهری مشاهدات جوی سودمند و تکرارپذیر می‌تواند فراهم شود (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۸). علاوه بر آن مشاهده شرایط و فرایندهای جوی در مناطق شهری برای درک فعل و انفعالات بین سطح زیرین آب و هوا و آب و هوای کلان و بهبود عملکرد آب و هوا در مناطق شهری، بهبود کیفیت آب و هوا و مدل‌های آب و هوایی می‌باشد (تان[2]، گریموند[3] ۲۰۱۵، ص ۸۵-۱۰۲).

ادب و همکاران (۱۳۹٤)، در طرح پژوهشی با عنوان «مکان‌یابی و اولویت‌بندی محل استقرار ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد» با استفاده از روش‌های وزن دهی از جمله: منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی و تابع چگالی احتمال؛ با استخراج معیارهای مکانی مختلف به اولویت بندی استقرار و مکان گزینی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر مشهد با دو فرض در نظر گرفتن ایستگاه‌های موجود و شرایط عدم وجود ایستگاه دست زده‌اند.

هرچه دقت داده‌های که از ایستگاه‌ها برداشت می‌شود بیشتر باشد میزان صحت تصمیم گیری بالاتر می‌رود (ازغذی و همکاران، ۱۳۸۹). تعیین محل ایستگاه‌ها تاثیر مهمی بر دقت داده‌های حاصل از آنها دارد. بر این اساس دو عامل تعداد و توزیع مناسب ایستگاه‌های هواشناسی نقش اساسی را در تعیین و محاسبه پارامترهای اقلیمی متوسط یک حوضه دارا می باشند و پراکنش مکانی ایستگاه‌ها می‌بایست مطابق با شرایط استاندارد و به گونه‌ای باشد که داده‌های حاصل از ایستگاه های مربوط دارای کیفیتی مطلوب و قابل قبول باشد (پورطولابی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱-۱٤) همچنین بهتر است که شبکه هواشناسی عملیاتی شهری در داخل و اطراف شهرها با تعادلی مطلوب بین قدرت تفکیک و عملیاتی بودن آن ها نصب شود (کارمایکل و همکاران، ۲۰۱۵، همان). در دوازدهمین کنگره جهانی هواشناسی، سازمان هواشناسی جهانی خود را به اولویت در ارائه خدمات بهتر هواشناسی در محدوده‌های شهری و اینکه ایستگاه‌های هواشناسی شهری بیشتر و با کیفیت بهتر مورد نیاز خواهد بود متعهد کرد (اُکه[4]، ۱۹۹۹). ماتزاراکیس[5] و مایر[6] (۲۰۰۸)، در پژوهشی با عنوان «اهمیت ایستگاه‌های هواشناسی شهری، نمونه موردی: فرایبورگ آلمان»، در مورد ارزش داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی شهری و اهمیت بروز رسانی به هنگام و کالیبراسیون ایستگاه‌های هواشناسی شهری توضیح داده‌اند. در این پژوهش ابتدا موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی شهری در فرایبورگ آلمان بررسی شده است. طبق نتایج این پژوهش

1. Carmichael
2-Tan
3-Grimmond
4-Oke
5-Matzarakis
6-Mayer

ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک با اهدافی که برای آنان مشخص شده است معمولا ویژگی‌های شرایط شهری را نشان نمی‌دهند. کلان شهر مشهد با مساحت ۲۸۹ کیلومتر مربع (آمار نامه شهر مشهد، ۱۳۹۲) و محدوده شهرستان مشهد با مساحت ۱۰۳۲۹ کیلومتر مربع، در حال حاضر تنها دارای یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک (فرودگاه مشهد) می‌باشد که در سال ۱۳۳۰ هجری شمسی تاسیس شده است. از آن تاریخ تا به حال در محدوده شهر مشهد ایستگاه‌های هواشناسی محدودی از جمله ایستگاه دانشکده کشاورزی فردوسی مشهد و همچنین ایستگاه‌های باران سنجی (تک پارامتری) راه‌اندازی شده است که پاسخگوی نیازهای آماری، اطلاعاتی و پژوهشی نیست. لذا با توجه به افزایش محدوده شهری مشهد و گسترش مناطق پیرامونی آن و از طرفی نیاز گسترده و روزافزون به استفاده از داده‌های دقیق و صحیح هواشناسی در هر سطح از جمله: سطوح برنامه ریزی و مدیریتی، و کسب داده‌های آماری معتبر و صحیح جهت نیاز به پیش‌بینی دقیق وضع هوا برای شهروندان و همچنین مطرح شدن مباحثی مانند حفاظت از انرژی، حمل و نقل و ارتباطات، کیفیت هوا و سلامتی، ساخت و ساز و مهندسی فضاهای شهری با توجه به عناصر اقلیمی مانند باد و سیلاب‌های شهری، مطالعه و بررسی به جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری در مشهد ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به ضرورت این پژوهش در صدد آن است که پاسخگویی به این سوال باشد که با توجه به اقلیم شهر مشهد، خرد اقلیم شهری و ویژگی‌هایی نظیر وضعیت کاربری اراضی، معابر و وضعیت فیزیکی شهر چه تعداد ایستگاه هواشناسی شهری مورد نیاز است؟ و کدام محدوده‌ها برای جایگزینی و تأسیس ایستگاه‌های هواشناسی شهری مناسب‌تر هستند و ارجحیت دارند؟ در همین راستا فرضیه‌های این مقاله به این صورت مطرح می‌شود:

۱- به نظر می‌رسد با توجه به اقلیم شهر مشهد، خرده اقلیم سطوح شهری و ویژگی‌هایی نظیر وضعیت کاربری اراضی، معابر و وضعیت فیزیکی شهر، تعداد ۵ ایستگاه هواشناسی شهری در مشهد مورد نیاز است.

۲- به نظر می رسد مناطق و محدوده هایی از شهر مشهد که بیشترین تأثیر را از اقلیم محلی و خرده اقلیم سطوح شهری می‌پذیرند برای جایگزینی ایستگاه‌های هواشناسی ارجح تر هستند.

مبانی نظری

مکان یابی

مکان یابی[1] فرآیندی که از طریق آن می‌توان بر اساس شرایط تعیین شده برای یک کاربری مشخص و با توجه به منابع و امکانات موجود، بهترین محل مناسب را تعیین نمود. مکان یابی در واقع تجزیه و تحلیل توامان اطلاعات فضایی و داده‌های توصیفی به منظور یافتن یک یا چند موقعیت فضایی با ویژگی‌های توصیفی مورد نظر می‌باشد (رضایی، ۱۳۸۸). بنابراین در مقیاس شهر مکان یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌های شهر برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. (کریمی،۱۳۸۲، ص. ۹). مکان‌یابی از جمله تحلیل‌های مکانی است که تاثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد. به همین دلیل یکی از مراحل مهم و اثرگذار پروژه‌های اجرایی به شمار می‌رود (علاءالدین و همکاران، ۱۳۹۲، ص ۱-۱۰.)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی[2] روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم گیری متضاد انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری، ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله Thomas L. Saaty پیشنهاد گردید و تا کنون کاربردهای‌های متعددی در علوم مختلف داشته است (زبردست، ۱۳۸۰). وقتی که چند یا چندین شاخص برای ارزیابی در نظر گرفته می‌شود، کار ارزیابی پیچیده می‌شود و پیچیدگی کار زمانی بالا می‌گیرد که معیارهای چند یا چند گانه با هم در تضاد و از جنس‌های مختلف باشند. در این هنگام کار ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیلی که ذهن

1-Site Selction

2-Analytical Hierarchy process

قادر به انجام آن است خارج می‌شود و به یک ابزار تحلیل قوی نیاز خواهد بود. یکی از ابزارهای برای چنین وضعیت‌هایی فرآیند تحلیل سلسله مراتب است. (زیاری، ۱۳۸۸،ص.۹٤)

اقلیم محلی و خرد اقلیم سطوح شهری

موازنه انرژی به دلیل اختلاف شدید در سطوح فیزیکی شهر و نیز فعالیت‌ها و عملکردهای انسانی، متفاوت از سطوح طبیعی است و این موضوع بر اقلیم شهر تاثیر چشم گیری دارد. تبادلات انرژی و تغییرات مربوط به آن در سطوح شهری بسیار وسیع تر از این تبادلات در دیگر سطوح است. به طوری که اندازه رشد و توسعه شهر می‌تواند تغییرات میکروکلیمایی آن را تشدید نماید (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۸۷، ص.۱۰۱). اختلاف جنس فیزیکی در سطوح شهری زیاد است. در شهرها به جای خاک یا پوشش گیاهی، انسان آن را با موزاییک‌های سیمانی، آسفالت، آجر، شیشه و سنگ پوشش داده است. علاوه بر این، مسائلی همچون پل‌ها، خیابان‌ها، ساختمان سازی، کارخانه جات و مراکز مسکونی، تغییرات زیادی در ناهمواری سطوح به وجود آورده است. اثرات اختلاف جنس سطوح در شهرها، موجب تغییرات شدیدی در عناصر خرده اقلیمی از جمله درجه حرارت، رطوبت، تابش، باد و غیره می‌شود (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۸۷، ص.۱۰۲). همچنین گرمای زیاد ناشی از مصرف انرژی در شهرها موجب افزایش تابش خالص گرمایی، به ویژه در زمستان می‌شود. مطالعات نشان داده است که ذخیره گرمایی در شهرها بیش از نواحی پیرامونی و روستایی اطراف آن ها است (سلرز[1]، ۱۹۷۵). پژوهش‌های زیادی در شهرهای بزرگ و صنعتی جهان انجام گرفته که نتایج آنها بیان گر این است که شهرنشینی موجب ایجاد تغییرات قابل ملاحظه بر روی پارامترهای هواشناسی و ویژگی های سطح زمین شده و به تبع آن تغییرات زیادی در وضع هوا و اقلیم محلی به وجود آورده است (آتواتر[2]، ۱۹۷٤؛ چانون[3]، ۱۹۸۱؛ چان [4]، ۱۹۹۷).

محدوده مورد مطالعه

شهر مشهد، دومین شهر بزرگ ایران و مرکز استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران است. دشت مشهد به صورت دره‌ای وسیع دارای ابعادی به طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر و عرض متوسط حدود ۲۵ کیلومتر و وسعت حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع است. که در حوضه آبریز رودخانه کشف رود در خراسان رضوی قرار دارد. منطقه مورد مطالعه محدوده شهری مشهد در شمال شرقی ایران و خراسان رضوی، در بین طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۵۹ درجه و ٤۲ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی، و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۱۲ دقیقه و ۲۷ ثانیه تا ۳٦ درجه و ۲۵ دقیقه و ٤۱ ثانیه شمالی می‌باشد. این منطقه شهر مشهد و شهرک‌های حاشیه ای وابسته به مناطق ۱۳ گانه شهرداری مشهد را در بر می‌گیرد که از شمال به جلگه کشف رود و بخش تبادکان، از شرق به بخش رضویه، از جنوب محدود به ارتفاعات مشرف شهر مشهد و از مغرب به شهرستان طرقبه شاندیز محدود است. شهر مشهد با جهت جنوب شرقی – شمال غربی موازی با دو رشته کوه هزار مسجد در شمال و شمال شرقی و بینالود در جنوب و جنوب غربی منطقه در پهنه دشت مشهد جای گرفته است.

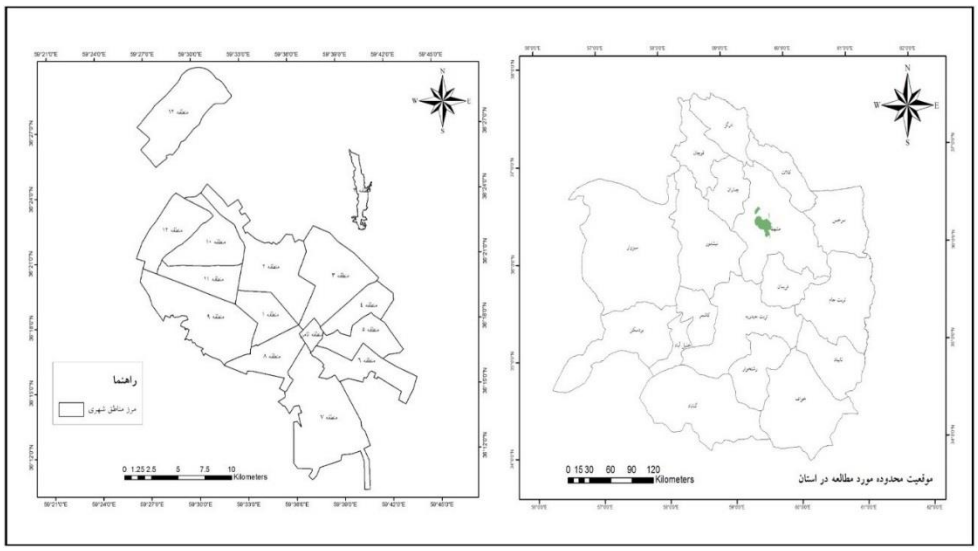
داده و روش تحقیق

متغیرها و شاخص‌های مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری

علی رغم اینکه واحدهای اندازه‌گیری و ابزارهای مشاهده در مناطق شهری عموما با سایر محیط‌ها یکسان است، با این حال سطوح شهری و شکل هندسی شهرها دارای خصوصیاتی است که انتخاب محل احداث ایستگاه‌های هواشناسی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۸،) مانند: توجه به انسداد جریان هوا توسط مصنوعات شهری، ویژگی‌های خرده اقلیم شهری نظیر تفاوت‌های حرارتی در مقیاس‌های مکانی مختلف، شبکه معابر و دسترسی، کاربری اراضی شهری، تبادل انرژی تابش شده توسط ساختمان‌ها، درختان، پوشش سطحی غیر طبیعی و گرمای تلف شده، بخار

1-Sellers
2-Atwater
3-Changnon
4-Chun

آب و نم حاصل از فعالیت‌های انسانی، فضای سبز شهری و دامنه تغییرات عناصر برداشت شده جوی نظیر بارش و دما در سطح شهر. عموماً انتخاب پارامترهای موثر بر مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری تحت تاثیر خصوصیاتی که ذکر شد و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و شناخت کلی حاصل از داده‌های در دسترس می‌باشد. با توجه به این موارد به طور کلی شاخص‌هایی که برای مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری از آن ها استفاده می‌شود به سه دسته کلی تقسیم شد و در نهایت داده‌های مورد نیاز با توجه به آن‌ها استخراج شد:



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

۱- ویژگی ها و خصوصیات اقلیمی شهر:

الف) مقادیر بارش و پراکندگی فضایی و زمانی آن: این مقادیر با استفاده از داده‌های روزانه باران سنجی ایستگاه‌های باران سنجی مشهد و پیرامون آن (ایستگاه‌های باران سنجی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی) تهیه شد از ایستگاه‌های باران سنجی با فاصله بیش از ۳۰ کیلومتر از شهر مشهد و داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی با دوره آماری کمتر از ۱۰ سال، به جهت یکدست و همگن بودن دوره آماری و پراکنش فضایی مناسب ایستگاه‌های منتخب صرف نظر شد. میانگین به دو شکل سالانه و فصلی برای ایستگاه‌های منتخب استخراج و برای تولید و استخراج نقشه‌های سالانه و فصلی بارش درسطح شهر مشهد استفاده شد و با استفاده از درون‌یابی (IDW)، خطوط هم باران رسم و محدوده شهر مشهد نیز به عنوان محدوده مورد مطالعه برش زده شد. از نقشه پراکندگی بارش فصل تابستان به دلیل ناچیز بودن مقادیر و سهم اندک آن در بارش سالانه صرف نظر شد.

ب) ویژگی‌های دمای سطح زمین و دمای هوا در ایجاد جزایر حرارتی شهر و تاثیر آن بر روی جایگزینی ایستگاه‌های هواشناسی شهری

ج) الگوی وزش باد و تاثیرپذیری آن از انسداد یا تغییرات جریان هوا توسط مصنوعات شهری.

د) الگوی توزیع فشار جو و ارتباط آن با وارونگی هوا و تشدید مخاطرات زیست محیطی نظیر آلودگی هوا در سطح شهر مشهد.

ه) پراکنش رطوبت نسبی هوا در سطح شهر.

به جهت استخراج موارد (ب، ج، د و ه) داده‌های جوی حاصل از اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهرداری مشهد که در ماه‌های اخیر منتهی به آبان ۱۳۹۵ برداشت شده است استفاده شد. همچنین تصاویر باند حرارتی لند ست ۸ برای فصول مختلف سال به جهت بررسی تاثیر سطوح مختلف کاربری شهری بر روی دمای سطح شهر و اختلاف فصلی تغییرات دمای سطح تهیه گردید.

۲- وضعیت کاربری اراضی شهری و تاثیر آن بر روی مکان‌یابی ایستگاه هواشناسی شهری: الف) تفکیک اراضی شهری از نظر قابلیت جایگزینی ایستگاه‌های هواشناسی شهری. ب) تاثیر کاربری‌های مختلف در سطح شهر بر عناصر اقلیمی مانند رطوبت و دما و ایجاد شرایط خرد اقلیمی خاص. ج) شبکه معابر و دسترسی‌های شهری و توجه به فاصله ایستگاه‌های هواشناسی از شریان‌های اصلی. جهت استخراج این موارد از داده‌های برداری کاربری اراضی شهری و شبکه معابر شهری استفاده شد.

۳- فراوانی مخاطرات محیطی شهر که تحت تاثیر شرایط جوی به وجود می‌آیند و یا گسترش می‌یابند مانند: سیلاب‌های شهری و آب گرفتگی و حریق، به جهت شناسایی کاربری‌های حساس به مخاطرات. برای استخراج این موارد از اطلاعات مناطق رخداد آب گرفتگی به صورت گزارش، مربوط به بهار ۱۳۹۵ و مناطق حساس به حریق، که شامل تفکیک کاربری‌های حساس به حریق می‌باشد استفاده شد.

روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف از نوع کاربردی توسعه‌ای می‌باشد که با رویکرد طراحی و ارائه سیستمی کارآمد و عملی برای جایگزینی ایستگاه های هواشناسی شهری در مشهد انجام شده است. از نظر ماهیت و روش این پژوهش توصیفی- تحلیلی می‌باشد و مبتنی بر تکنیک تحلیل سلسله مراتبی است. با توجه به اینکه فرآیند مکان یابی یک مسأله تصمیم گیری چند صفته بوده و با استفاده از مدل رستری قابل انجام است، بنابراین در انتخاب نرم افزار این نکته مورد نظر قرار گرفت که نرم افزار منتخب علاوه بر مدل وکتوری، مدل رستری را نیز مورد پشتیبانی قرار داده و علاوه بر این موارد، قابلیت استفاده از قواعد تصمیم گیری چند صفته را نیز داشته باشد. پس از استخراج لایه‌های مربوط به شاخص‌های مکان‌یابی، نرمال سازی شاخص ها با استفاده از توابع عضویت فازی در محیط GIS صورت گرفت و برای تعیین اولویت هر کدام از شاخص‌ها در کنار مفهوم نرمال‌سازی لایه‌ها، با استفاده از جمع‌بندی نظرات کارشناسان و مشاوران پژوهش، اهمیت و اولویت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر تعیین شد. سپس برای مقایسه زوجی شاخص‌ها از اعداد فازی استفاده و برای امتیاز دهی از مقیاس نه درجه ای ساعتی به صورت زیر استفاده شد.

ترجیح یکسان	کمی بهتر	بهتر	خیلی بهتر	کاملا بهتر
۱	۳	۵	۷	۹

ترکیب و تلفیق لایه‌ها به دو روش صورت پذیرفت:

۱- ترکیب لایه‌ها با استفاده از روش جمع وزنی با ابزار (Weight Sum): در این روش لایه‌های نرمال شده هر شاخص به همراه اوزان آمده آها در تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم افزار اضافه شدند و تلفیق لایه‌ها صورت پذیرفت.

۲- اعمال اوزان بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی در لایه‌های نرمال شده با استفاده از ابزار (Raster Calculator) در محیط GIS :

(لایه‌های نرمال شده با تابع عضویت فازی * اوزان بدست آمده در (AHP)$\sum$)

با استفاده از هر دو روش نقاطی که دارای بیشترین وزن شدند مشخص شده و به عنوان نقاط پیشنهادی نصب ایستگاه‌های هواشناسی شهری معین گردید.

یافته های تحلیلی تحقیق

تحلیل پراکنش عناصر اقلیمی

در سطح شهر مشهد به ترتیب بارش‌های فصل زمستان با ٤٠/٤٠ درصد، بهار با ۳۷/۵۰ درصد، پاییز با ۱۹/۵۳ درصد و تابستان ۲/۵۷ درصد در مقادیر میانگین سالانه بارش سهم دارند، با این حال، بیشترین دامنه تغییرات فضایی مقادیر بارش در سطح شهر مشهد در فصل بهار مشاهده می‌شود. در واقع هم پراکندگی فضایی مقادیر بارش و هم دامنه اختلاف بارش فصل بهار در سطح شهر نسبت به فصول پاییز و زمستان بیشتر است. رگبار شدید مورخ ۱۳۷۱/۳/۱٦، باعث وقوع سیلاب در شهر مشهد و سه منطقه مسکونی شامل: کوی نجفی، چهارچشمه و نه دره گردید. در جریان سیل ۲۵ نفر جان خود را از دست دادند و ۱۰۰ واحد مسکونی تخریب شد (قهرمان،۱۳۸۲)، در طی این بارش کوتاه مدت ایستگاه سینوپتیک فرودگاه مشهد ۲۲,۵ میلی‌متر، باران سنجی کوی آب و برق ٤۱ میلی متر، سیلوی گندم ۵۳ میلی متر، و سازمان

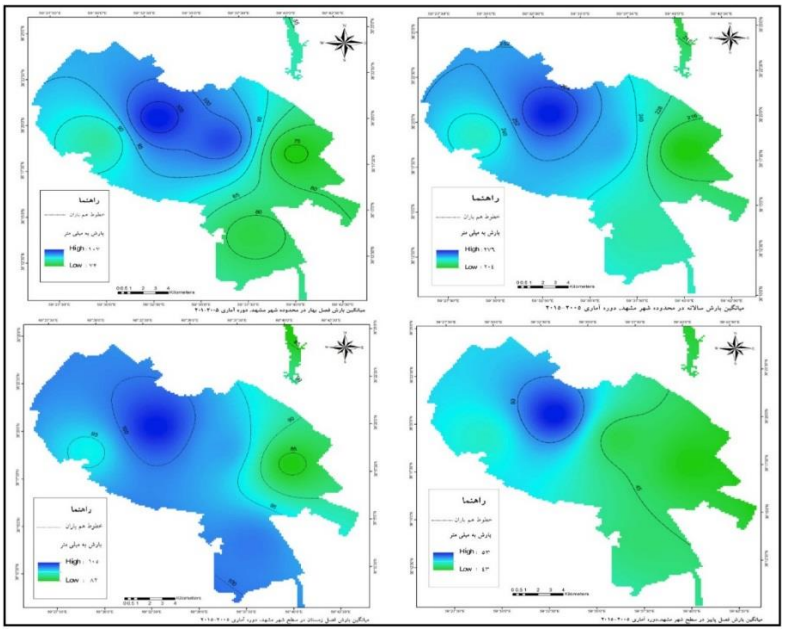
آب منطقه‌ای ۳۱,۷ میلی متر بارش را ثبت کردند (قهرمان،۱۳۸۲، ص ٤١-٢٩.) به همین سبب به نظر می‌رسد سنجش پراکندگی مقادیر بارش بهاره در سطح شهر مشهد به دلیل ماهیت همرفتی از اهمیت بیشتری برخوردار است. به این دلیل علاوه بر اینکه مقادیر بارش سالانه مقادیر بارش‌های فصل بهار در سطح شهر نیز به عنوان یک شاخص مستقل دارای اهمیت و وزن در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های باران سنجی منتخب از سطح دریا

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا به متر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
کنه بیست	۹۲۰	۵۹ درجه و ٤٨ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٨ دقیقه شمالی
کوی پنجتن	۹٤٨	۵۹ درجه و ٤٠ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٨ دقیقه شمالی
شهرک امام	۹٨۵	۵۹ درجه و ٣٦ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٩ دقیقه شمالی
فرودگاه مشهد	۹۹۹	۵۹ درجه و ٣٨ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٤ دقیقه شمالی
فرامرز عباسی	١٠٢٦	۵۹ درجه و ٣٢ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ٢٠ دقیقه شمالی
فارمد	١٠٣۵	۵۹ درجه و ٤٢ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ٢٦ دقیقه شمالی
کوی آب و برق	١٠٨٠	۵۹ درجه و ٢٩ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٩ دقیقه شمالی
شاندیز	١٢٧۵	۵۹ درجه و ١٧ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ٢٣ دقیقه شمالی
طرقدر	١٣۵۵	۵۹ درجه و ٢١ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٨ دقیقه شمالی
آغنج	١٤۵٠	۵۹ درجه و ٣٢ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ۵ دقیقه شمالی
کنگ	١٧٣٠	۵۹ درجه و ١٣ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ١٩ دقیقه شمالی
مغان	١٧٨٢	۵۹ درجه و ٢٢ دقیقه شرقی	٣٦ درجه و ٨ دقیقه شمالی

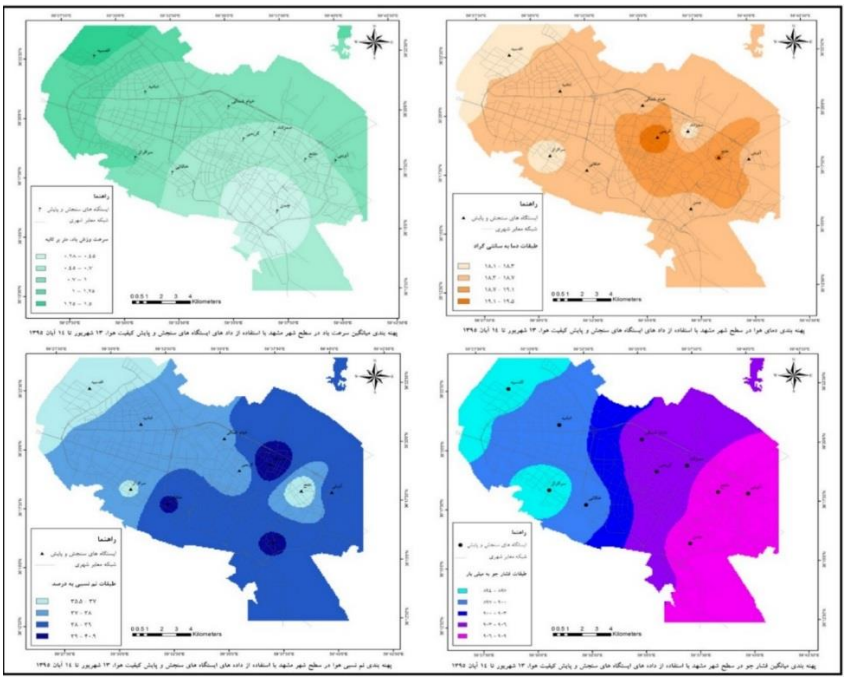
جدول ۲- میانگین بارش سالانه و فصلی به میلی متر و دامنه تغییرات فضایی مقادیر بارش سالانه و فصلی ایستگاه‌های محدوده شهر

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	میانگین بارش سالانه	بارش فصل پاییز	بارش فصل زمستان	بارش فصل بهار	بارش فصل تابستان
فرامرز عباسی	١٠٢٦ متر	٢٧٦	۵٣	١٠۵	١٠٨	١٠
شهرک امام	۹٨۵ متر	٢۵١	٤٤	۹٨	١٠٤	۵
آب و برق	١٠٨٠ متر	٢٣٣	٤٧	۹٣	٨۵	٨
فرودگاه	۹۹۹ متر	٢٢٨	٤۵	١٠٠	٧٨	۵
پنجتن	۹٤٨ متر	٢٠٤	٤٣	٨٤	٧٤	٣
دامنه تغییرات	-	٧٢	١٠	٢١	٣٤	٧



شکل۲- پراکندگی بارش سالانه، بهاره، پاییزه و زمستانه در محدوده شهر مشهد، دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵

به جهت شناخت دقیق و کامل از پدیده گرمایش شهری اندازه‌گیری دمای هوا توسط ایستگاه‌های هواشناسی شهری امری اجتناب ناپذیر است. بدین جهت در انتخاب محل ایستگاه‌های هواشناسی، مناطق مختلف شهر از نظر مقادیر دمای سطح و دمای هوا مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین با توجه به استقرار صنایعی که در بخش شرق و جنوب شرق مشهد وجود دارد و وجود کارگاه های بزرگ، تعمیرگاه‌های بزرگ، تعمیرگاه های اتوبوس رانی و پارکینگ اتوبوس‌ها و از طرفی نم نسبی بالاتری که در این مناطق وجود دارد، باعث شده در برخی روزهای مه آلود زمستانی پدیده مه دود فتو شیمیایی بروز کند (علیجانی، نجفی، ۱۳۸۸.ص۲) و موجب کاهش دید افقی و کیفیت هوا بشود. لذا اندازه‌گیری مقادیر نم نسبی دارای اهمیت است. اندازه‌گیری سرعت باد نیز به عنوان یک عامل جوی نقش مهمی را در انتقال آلاینده ها و همچنین اثرات وضعی بر روی ساختار فیزیکی شهر و به عنوان عامل کنترل کننده و یا تشدید کننده در بروز مخاطرات محیطی دارای اهمیت می‌باشد. الگوی فشار جو و اندازه‌گیری آن نیز یک عامل مهم و موثر در اقلیم شهری است و می‌تواند تبیین‌گر ضخامت لایه مرزی هوای شهر باشد. به طور کلی فشار بالاتر جو موجب سکون بیشتر و سنگینی هوا شده که اثرات زیست محیطی بر روی هوای شهرها دارد.

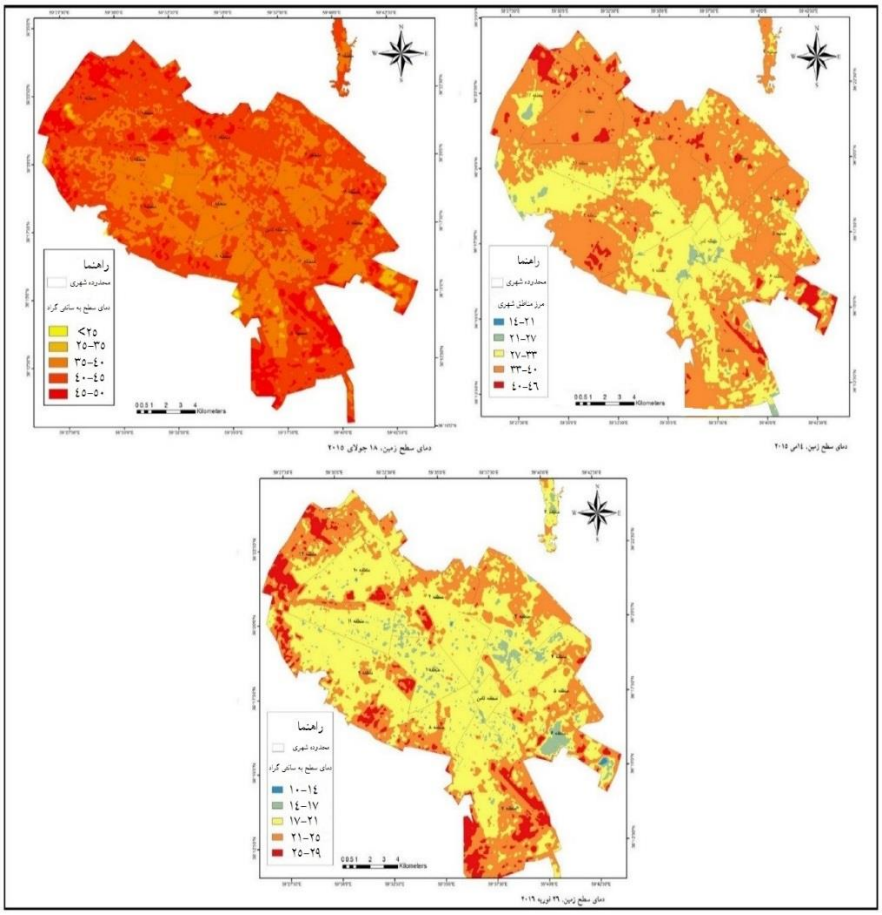


شکل۳- پهنه بندی میانگین دمای هوا، سرعت وزش باد، فشار جو و رطوبت نسبی در سطح شهر مشهد با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سنجش و پایش کیفیت هوا، ۱۳ شهریور تا ١٤ آبان ۱۳۹۵

از داده های دمای سطح ، استخراج شده از آخرین تصاویر باند حرارتی ماهواره لند ست ۸ (باندهای ۱۰و۱۱) برای بررسی جزیره‌ی حرارتی و شناسایی تنش‌های دمایی در سطوح شهری استفاده شد. برای بررسی جزیره حرارتی دو روش وجود دارد: استفاده از داده‌های دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی و استفاده از باند حرارتی تصاویر ماهواره‌ای. این دو روش اگرچه هر کدام دارای معایبی هستند، اما می‌توان برای بررسی پدیده جزیره حرارتی از همپوشانی آنها استفاده کرد (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱).

با توجه به تغییرات فصلی تابش همچنین تغییرات محیطی در پوشش گیاهی و فضای سبز شهری این تصاویر در سه مقطع از سال (١٤ می، ۱۸ ژولای و ٢٦ فوریه) تهیه گردید. با استفاده از نرم افزار ENVI5 تصاویر خام باند حرارتی ماهواره لندست با عملیات تصحیح رادیومتریک[1] به لایه دمای سطح با واحد اندازه‌گیری کلوین تبدیل شد و خروجی در محیط جی آی اس به نقشه‌های دمای سطح زمین با مقیاس سانتیگراد تبدیل شد.

1. Radiometric Correction



شکل ٤- پراکندگی دمای سطح زمین در شهر مشهد، ١٤ می ٢٠١٥، ١٨ ژولای ٢٠١٥ و ٢٦ فوریه ٢٠١٦

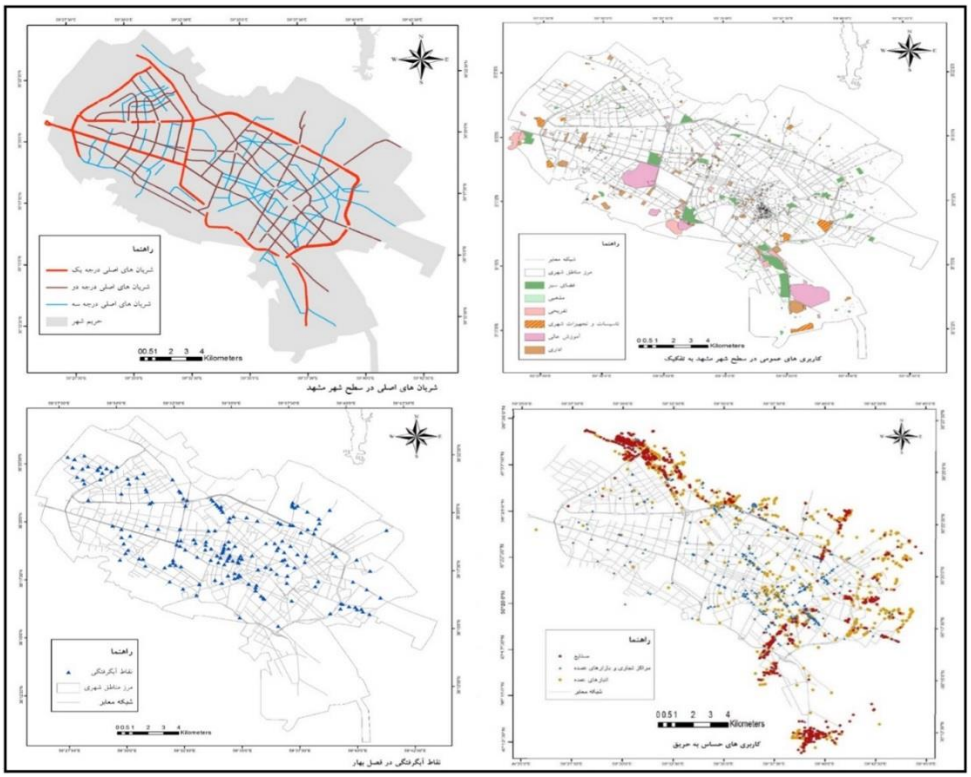
تحلیل کاربری اراضی و شبکه معابر

در یک تقسیم‌بندی کلی کاربری‌های شهری به دو بخش کاربری های عمومی و خصوصی تقسیم می‌شود. بدیهی است که برای جایگزینی ایستگاه‌های هواشناسی شهری و به جهت عملیاتی کردن این طرح، کاربری‌های عمومی (اداری، آموزشی، تاسیساتی، تفریحی-توریستی و .....) به جهت مسائل حقوقی کمتر، قابلیت دسترسی بیشتر برای مجریان سیستم و همکاری با سازمان‌های مسئول نسبت به کاربری‌های خصوصی ارجحیت دارند. پراکنش کاربری‌های عمومی مشخص گردید و تفکیک شد. شرایط آب و هوایی مختلف در زمان‌هایی از سال می‌تواند باعث ایجاد مخاطراتی نظیر لغزندگی، کاهش دید افقی و یا وقوع سیلاب‌های شهری در محدوده شریان‌های اصلی حمل و نقل شهری شود. بنابراین برداشت مقادیر عناصر جوی در محدوده این شریان‌ها اهمیت بیشتری دارد. به علاوه سهولت دسترسی به محل نصب ایستگاه‌ها به جهت اعمال نظارت و کنترل بر آن‌ها دارای اهمیت است. به این ترتیب شریان‌های با حجم ترافیک بالاتر و نقش جا به جایی و دسترسی بیشتر در مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی شهری دارای اهمیت بیشتری می‌باشند.

تحلیل پراکندگی مخاطرات محیطی

فراوانی و پراکندگی مخاطرات محیطی شهر که تحت تاثیر شرایط جوی ایجاد می شوند یا گسترش می‌یابند. در مکان ایستگاه‌های هواشناسی شهری دارای اهمیت است. داده‌ها و اطلاعات لحظه‌ای مخابره شده از ایستگاه‌های هواشناسی شهری می‌تواند در کنترل و مهار این مخاطرات نقش اساسی داشته باشد. در زمان وقوع حریق های بزرگ در سطح شهر اطلاع دقیق از جهت و سرعت وزش باد در مهار آتش سوزی موثر است. یا به هنگام وقوع بارش‌های رگباری شدید منجر به آب گرفتگی که در بسیاری از سال ها به خصوص در

اردیبهشت ماه دارای فراوانی نسبتا زیادی می‌باشد. اطلاع از نرخ بارش در ساعت و همچنین اطلاع از محدوده‌هایی از شهر که با این پدیده مواجه هستند اهمیت زیادی دارد. بدین جهت مناطق دارای بیشینه آب گرفتگی و دارای کاربری‌های حساس به حریق شناسایی شدند.

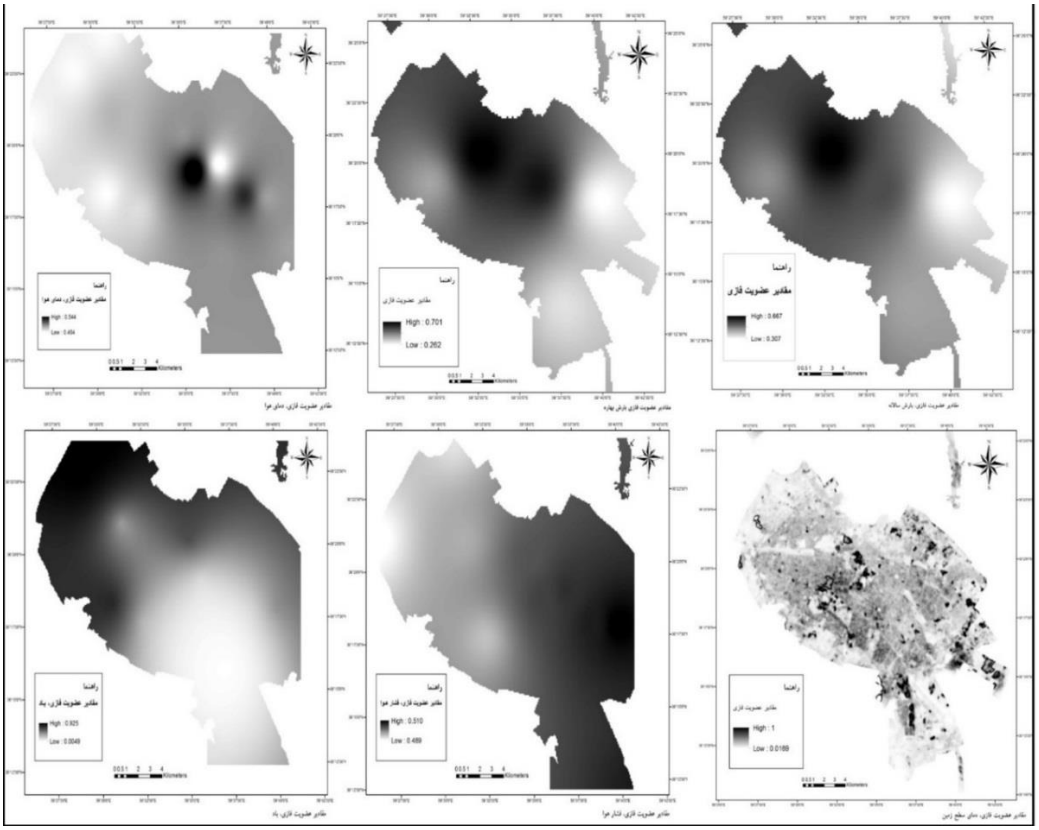


شکل ۵- طبقه بندی کاربری های عمومی، طبقه‌بندی شریان‌های اصلی، کاربری‌های حساس به حریق و نقاط دارای آب گرفتگی در سطح شهر مشهد، اردیبهشت ۱۳۹۵

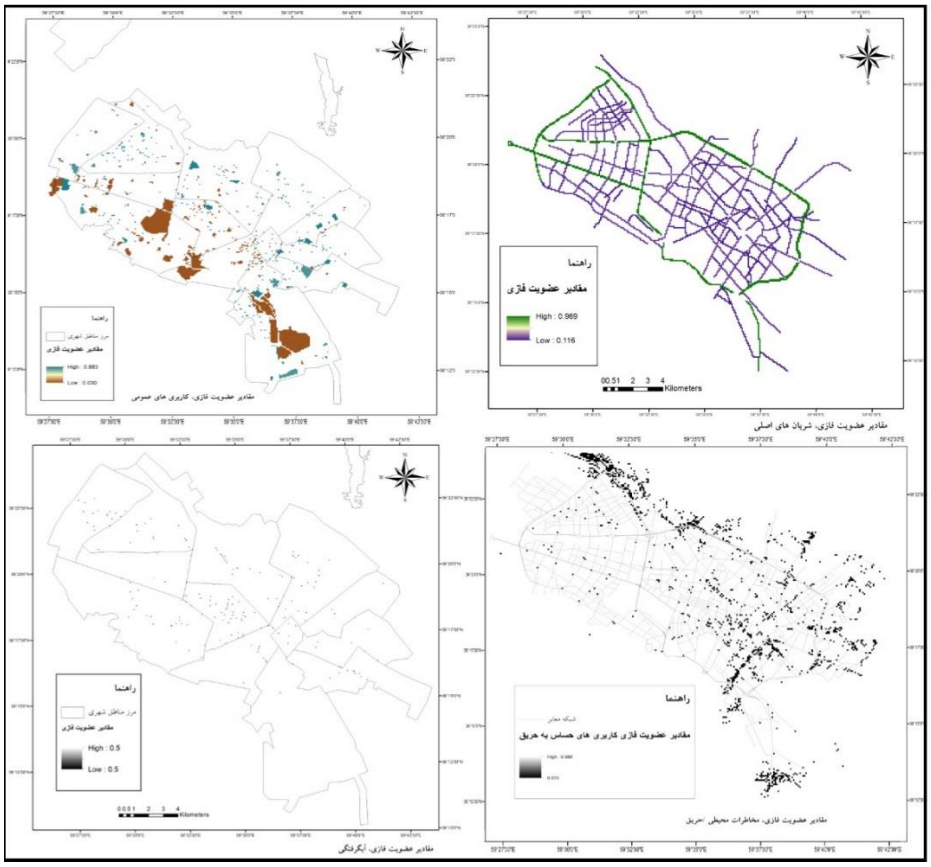
نرمال سازی شاخص ها با استفاده از سامانه عضویت فازی سیستم اطلاعات جغرافیایی

با استفاده از تابع عضویت فازی ارزشهای عضویت که به واسطه ارزشی در دامنه [۰،۱] نمایش داده می‌شوند و بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی، عضویت اعضا در مجموعه ممکن است به طور کامل نبوده و هر عضوی دارای درجه و عضویت از صفر تا یک است. در لایه بارش سالانه و مقادیر بارش بهاره با توجه به اهمیت مقادیر بیشینه بارش در سطح شهر، بیشترین ارزش تابع عضویت فازی برای این مقادیر اعمال شد. در لایه دمای هوا به دلیل اهمیت مقادیر بیشینه دما در سطح شهر (به جهت شناسایی جزایر حرارتی با استفاده از برداشت دمای هوا)، بیشترین ارزش تابع عضویت فازی برای این مقادیر اعمال شد. در لایه دمای سطح (باند حرارتی) به جهت کاستن از تاثیر نقاط دارای تنش دمایی مانند: پارک های جنگلی و زمین‌های بایر، بیشترین ارزش تابع عضویت فازی برای پیکسل های با دمای میانه اعمال شد. در لایه سرعت وزش باد و مقادیر فشار جو به میلی بار در سطح شهر با توجه به اهمیت بیشینه سرعت باد از جهت اثر وضعی و ثابتی که در طی زمان بر سطوح فیزیکی شهر دارد، و همچنین اثرات زیست محیطی و خرد اقلیمی فشار بالای جو، بیشترین ارزش تابع عضویت فازی برای این مقادیر اعمال شد. در لایه نم نسبی با توجه به اهمیت مقادیر بیشینه رطوبت در سطح شهر به جهت اهمیت آن در ایجاد پدیده کاهش دید افقی و همچنین ایجاد مه دود فتو شیمیایی، بیشترین ارزش تابع عضویت فازی برای این مقادیر اعمال شد. در لایه نقاط آب گرفتگی، با توجه به اهمیت بارش های رگباری منجر به آب

گرفتگی و اطلاع دقیق از نرخ بارش بیشترین ارزش تابع
عضویت فازی برای این نقاط اعمال شد.



شکل ٦- مقادیر عضویت فازی عناصر اقلیمی



شکل ۷- مقادیر عضویت فازی عناصر فیزیکی شهر و مخاطرات محیطی

تعیین اولویت شاخص ها و وزن نهایی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

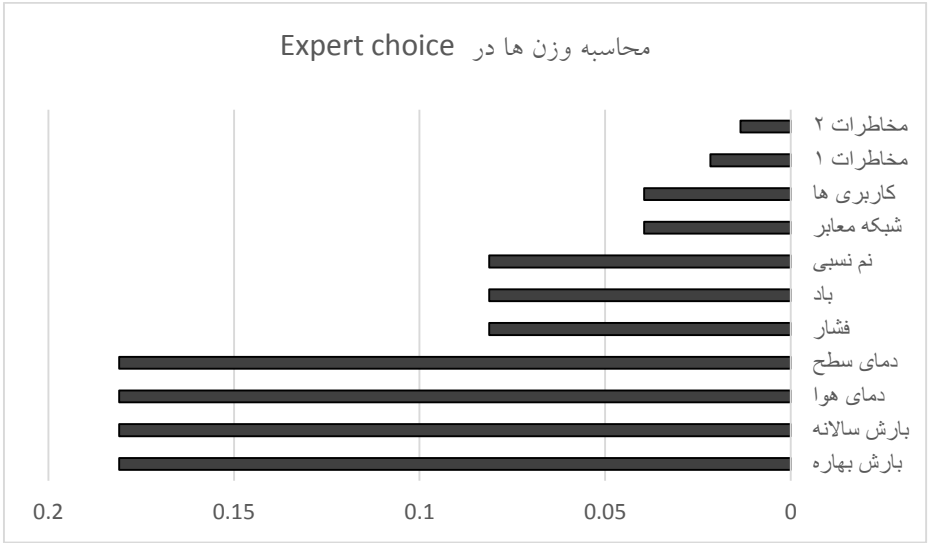
برای تعیین اولویت هر کدام از شاخص‌ها، ابتدا با استفاده از جمع بتدی نظرات کارشناسان و مشاور و راهنمای پژوهش، اهمیت و اولویت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر تعیین شد. بالاترین اولویت‌ها به مقادیر بارش و دما (با ترجیح یکسان) و پایین‌ترین اولویت به کاربری‌های حساس به حریق تعلق گرفت. سپس برای مقایسه زوجی شاخص‌ها از مقیاس نه درجه‌ای ساعتی به صورت زیر استفاده شد. و در نهایت وزن برداری هر کدام از شاخص‌های مکان‌یابی به جهت اعمال در لایه‌های فازی شده به جهت بدست آوردن وزن نهایی حاصل شد.

جدول ۳- ماتریس مقایسه بر اساس مقیاس نه درجه‌ای ساعتی و وزن نهایی شاخص‌ها

پارامتر	بارش سالانه	بارش بهاره	دمای هوا	دمای سطح	باد وفشار	رطوبت نسبی	شبکه معابر	کاربری ها	مخاطرات ۱	مخاطرات ۲	وزن نهایی
بارش سالانه	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۵	۵	۷	۹	۰/۱۸۰۹
بارش بهاره	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۵	۵	۷	۹	۰/۱۸۰۹
دمای هوا	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۵	۵	۷	۹	۰/۱۸۰۹
دمای سطح	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۵	۵	۷	۹	۰/۱۸۰۹
باد و فشار	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱	۱	۳	۳	۵	۷	۰/۰۸۱۲
رطوبت نسبی	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱	۱	۳	۳	۵	۷	۰/۰۸۱۲
شبکه معابر	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱	۱	۳	۵	۰/۰۳۹۵
کاربری ها	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱	۱	۳	۵	۰/۰۳۹۵
مخاطرات ۱	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱	۳	۰/۰۲۱۶
مخاطرات ۲	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۱۳۵

مخاطرات محیطی ۱ آب گرفتگی و مخاطرات محیطی ۲ مناطق حساس به حریق هستند.

نمودار ۱- محاسبه اوزان در Expert Choice

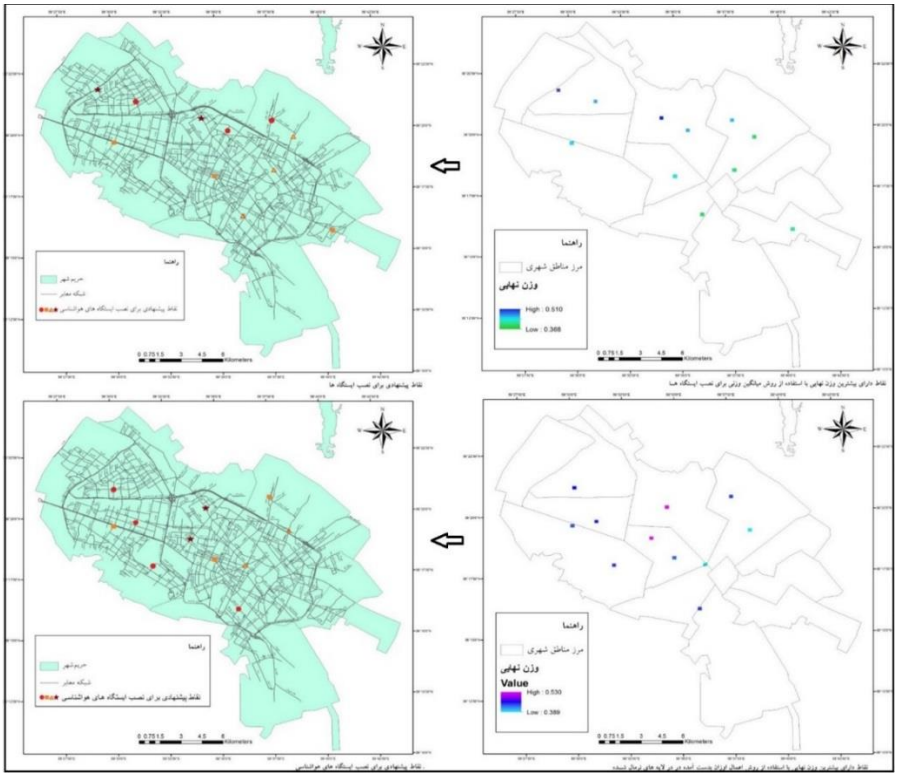


ضریب سازگاری : 0.03 ، سازگاری مقایسات زوجی قابل قبول است.

تلفیق نهایی و همپوشانی لایه ها و تعیین نقاط پیشنهادی برای نصب ایستگاه ها.

در این مرحله وزن دهی نهایی با استفاده از هر دو روش تلفیق مقادیر عضویت فازی با اوزان بدست آمده در تحلیل سلسله مراتب با استفاده از ابزار جمع وزنی (روش اصلی) و اعمال اوزان بدست آمده با استفاده از ابزار ماشین حساب رستری (صرفا به جهت مقایسه با خروجی روش اول) در محیط جی آی اس صورت گرفته و نقاطی که بیشترین وزن نهایی را به خودشان اختصاص دادند مشخص و به عنوان محل نصب ایستگاه های هواشناسی شهری معین گردیدند. لازم به ذکر است که نقاط دارای وزن نهایی بالاتر برای نصب ایستگاه های هواشناسی شهری در درجه بالاتری از اولویت قرار می گیرند. با توجه به مقادیر وزن نهایی، نقاط پیشنهادی برای نصب ایستگاه‌های هواشناسی شهری مشخص شده و بر اساس مقدار وزن نهایی اولویت بندی شدند.

ستاره: اولویت یک، دایره: اولویت دو، مربع: اولویت سه، مثلث: اولویت چهار



شکل ۸- نقاط دارای بیش ترین وزن نهایی با استفاده از هر دو روش و نقاط پیشنهادی برای نصب ایستگاه‌ها.

نتایج پژوهش

۱ـ با توجه به ضرورتی که برای استخراج مقادیر داده‌های هواشناسی به شکل صحیح و معتبر در تمام مقاطع زمانی، اطلاع رسانی دقیق وضعیت جوی کلان شهر مشهد در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف و همچنین اثرگذاری مطلوب و کمک به ارائه پیش‌بینی‌های کوتاه مدت و بلند مدت هواشناسی در مقیاس محلی و منطقه‌ای وجود دارد، شهر مشهد به مکان یابی و نصب ایستگاه‌های هواشناسی شهری نیاز دارد. تعداد این ایستگاه‌های هواشناسی می‌تواند در مطلوب ترین حالت ممکن ۱۱ ایستگاه و با توجه به اولویت بندی که صورت پذیرفت نقاط پیشنهادی در تعدادی کمتر می‌تواند وجود داشته باشد و برای مثال از ایستگاه‌های اولویت چهارم صرف نظر شد.

۲- برای تلفیق نهایی از دو روش استفاده شد. با توجه به نقشه‌های خروجی به نظر می‌رسد خروجی روش جمع وزنی از صحت و دقت بیشتری از نظر پراکنش ایستگاه‌ها و فاصله آن‌ها از ایستگاه اصلی برخوردار است

جدول ٤- اولویت بندی موقعیت ایستگاه های هواشناسی شهری

اولویت	محدوده
۱	بلوار توس/ بزرگراه میثاق
۲	خواجه ربیع/ موسوی قوچانی/ امامیه
۳	ابتدای هفت تیر/ سلمان فارسی/ قلعه ساختمان
٤	خیابان امام رضا / بلوار مجلسی/ جاده سیمان

۳- با بروز بحران‌های زیست محیطی و اقلیمی در شهر و اثر آن بر کاهش سطح عمومی زندگی مردم، سالم‌سازی محیط‌های شهری و حفظ محیط زیست برای نسل‌های آینده اهمیت چشم گیری یافته است. بنابراین در برنامه‌های توسعه فضایی برای دستیابی به توسعه متعادل، متوازن و پایدار، توجه به داده‌های زیست محیطی از جمله؛ داده‌های هواشناسی از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به توسعه فضایی شهر مشهد در سه دهه اخیر و به تبع آن افزایش ریسک رخداد مخاطرات محیطی، همان طور که یافته‌های این پژوهش نشان داد. گسترش ایستگاه‌های هواشناسی شهری به مانند ایستگاه‌های سنجش و پایش آلودگی هوا از اهمیت بالایی برخوردار است.

٤- مکان‌یابی و نصب ایستگاه‌های هواشناسی شهری در شناخت کافی و بهتر ویژگی‌های اقلیمی شهر مشهد و کمک به پژوهشگران اقلیم شهری به جهت درک بهتر از خصوصیات اقلیم شهر و ارائه پهنه‌بندی دقیق‌تر از اقلیم ناحیه شهری مشهد به جهت اهمیتی که در مطالعات پایه آمایش سرزمین دارد، ضروری به نظر می‌رسد. برای نمونه در این پژوهش پهنه‌بندی برخی از عناصر اقلیمی شهر مشهد با استفاده از داده‌های ناکافی و بعضا نامطلوب صورت پذیرفت.

۵- داده‌های حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی شهری مشهد علاوه بر اینکه می‌تواند به عنوان اطلاعات عمومی مورد نیاز شهروندان مورد استفاده قرار گیرد. پایگاه اطلاعاتی مهمی نیز برای فعالیت‌های سازمان‌ها و ارگان‌های مختلف می‌باشد. به عنوان مثال در انجام پروژه‌های شهری و ساخت و سازهای گوناگون و جانمایی تاسیسات شهری، در انجام عملیات اطفاء حریق و امداد و نجات و موارد مربوط به مدیریت بحران شهری و انجام مانورهای مختلف.

٦- یافته‌های این پژوهش در بعد بررسی دمای سطح و شناخت پدیده جزیره حرارتی شهر مشهد در مقایسه با نتایج «بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال» که توسط دکتر موسوی بایگی و همکاران ارائه شده نشان داد که میزان افزایش دمای سطح در مناطق پر جمعیت شهر نسبت به مناطقی با پوشش‌های درختی و طبیعی مانند پارک ها بیشتر است و این به معنی وقوع پدیده جزیره حرارتی است و همچنین به نظر می‌رسد بیشترین دامنه تغییرات دمای سطح در دوره زمانی که پوشش گیاهی و باغی به شکل سبز در سطح شهر وجود دارد رخ می‌دهد. بنابراین به جهت بررسی و مطالعه مطلوب گسترش این پدیده وجود ایستگاه‌های هواشناسی شهری لازم به نظر می‌رسد.

۷- تفاوت در مقادیر عناصر جوی مانند بارش، دما، فشار، باد، رطوبت و .... که یافته‌های این پژوهش آن را نشان داد باعث به وجود آمدن تیپ‌های آب و هوایی در مقیاس‌های محلی و خرد می‌شود که وجود یک یا دو ایستگاه هواشناسی نمی‌تواند به شناسایی دقیق این تیپ‌های آب و هوا در سطح شهر مشهد منجر بشود. بنابراین بهتر است که ایستگاه‌های هواشناسی بیشتری وجود داشته باشد.

منابع

۱. اعمی ازغدی، ع. مکرم، م. آب شیرینی، الف. و شایسته زراعتی، ح. (۱۳۸۹). مکان یابی و بهینه‌سازی

ایستگاه‌های باران سنجی (مطالعه موردی شمال شرق خوزستان). همایش ژئوماتیک ۸۹ تهران.

۲. بهنیافر، الف. و قنبرزاده، ه. (۱۳۸۷). مبانی میکروکلیماتولوژی و آب و هوای محلی. مشهد، ایران: انتشارات سخن گستر.

۳. پور طولابی، الف. لشنی زند، م. پروانه، ب. و نور الهی، د. (۱۳۸۹). تحلیل مکانی ایستگاه‌های هواشناسی لرستان بر اساس استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی (WMO). اولین کنفرانس بین‌المللی مدل سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان: ۱٤-۱.

٤. رضایی، س. (۱۳۸۸). تحلیل مکان‌یابی در آمایش دفاعی و پدافند غیر عامل. همایش سراسری سامانه اطلاعات مکانی، تهران: ۱۰-۱.

۵. زبردست، الف.(۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای. نشریه هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ۲(۱۰)، ۲۱-۱۳.

٦. زیاری، ک.الف. (۱۳۸۸). اصول و روش‌های برنامه ریزی منطقه‌ای. تهران، ایران. انتشارات دانشگاه تهران.

۷. شهرداری مشهد. (۱۳۹۲). آمارنامه شهر مشهد. مشهد، ایران. معاونت برنامه ریزی و توسعه شهرداری مشهد.

۸. علاء الدین، ف. یوسفی، ر. ملکی، ح. و حسنی غربا، غ.ر. (۱۳۹۲). مکان گزینی و شبکه بندی بهینه ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و (GIS) با رویکرد آمایشی در استان سمنان، ۱۰-۱.

۹. علیجانی، ب. و نجفی نیک، ز. (۱۳۸۸). بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد، ۷ (۱۲)، ۱۲-۱.

۱۰. قهرمان، ب. (۱۳۸۲). بررسی جامع رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷٦ مشهد. مجله علوم آب و خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۵(۷)، ٤۱-۲۹.

۱۱. موسوی بایگی، م. اشرف، ب. فرید حسینی، ع.ر. و میان آبادی، الف. (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱(۱)، ٤۹-۳۵.

12. Atwater, M. A. (1974). Thermal changes induced by urbanization pollutants. J. Appl, meteor, No. 14: 1061-1071.
13. Carmichael, G., Grimmond, S., and Lean, H. (2015). Urban scale environmental prediction systems. http://www.centaur.reading.ac.uk.
14. Changnon, S. A. (1981). METROMEX: A Review and Summary, Meteor, Monogr, No. 40, Amer. Meteor, soc: 181p.
15. Matzarakis, A., and Mayer, H. 2008. Importance of urban meteorological stations – the example of Freiburg, Germany. Meteorological Institute, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany., 119-128.
16. Oke, T. R. (1999). OBSERVING URBAN WEATHER AND CLIMATE USING 'STANDARD. http://www.eurasap.org/35/paper1.html.
17. Sellers,W.D. (1975). Physical Climatology, Chicago Unive.
18. Oke, T.R. (1984). Methods in urban climatology. Applied Climatology, Zurcher Geographische schriften, 14: 19-29.
19. Tan, J.G., Yang, L.M., Grimmond, C.S.B. (2015). Urban Integrated Meteorological Observations—Practice and Experience in Shanghai, China. *Bulletin of the AmericanMeteorological Society, 96(1)*: 85-102.
20. Tan, J.G., & Grimmond, C.S.B. (2015). Shanghai's Urban Integrated Meteorological Observations Network (SUIMON). ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment.
21. W.M.O. (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-NO. 8