https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2023.552685.2865

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۲، شماره ۱۲۷، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۹۴ - ۷۷

رویکردی نوین در نگاشت نقشه‌های تحلیلی آب‌وهوای شهری

مطالعه موردی: شهرتهران

محمدحسن کورکی‌نژاد[۱] علی‌اکبر شمسی‌پور[۲]

کیومرث حبیبی[۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۴

****

چکیده

رشد و توسعهٔ فضاهای شهری با تمرکز بر جنبه‌های کالبدی و غفلت از توجه به وضعیت محیطی آن‌ها در سال‌ها و دهه‌های گذشته سبب بروز برخی معضلاتی شده که کیفیت محیطی شهرها را تنزل داده است. نقشه آب‌وهوای شهری (UCMap)، ابزاری اطلاعاتی و ارزیابی است که با ادغام عوامل آب‌وهوای شهری و عوامل شهرسازی و برخی شرایط محیطی، به ارائه تصویری از مسائل آب‌وهوای شهری در فضایی دو بعدی منتج می‌شود. نقشه آب‌وهوای شهری از دو نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری (UCAnMap) و نقشه دستورالعمل آب‌وهوای شهری (UCReMap) تشکیل می‌شود. این پژوهش با هدف تهیه نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری به بررسی و تحلیل اطلاعات مکانی و اقلیم شهری تهران می‌پردازد. برای تهیه نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری، به ترتیب ۱) نقشه بار گرمایی شامل لایه‌های اطلاعات مکانی حجم ساختمان، توپوگرافی شهر و فضای سبز و ۲) نقشه ظرفیت پویایی شامل لایه‌های اطلاعات مکانی پوشش زمینی، چشم‌انداز طبیعی و مجاورت با فضاهای باز، با یکدیگر تلفیق شدند. نقشه خروجی در هشت دسته طبقه‌بندی شد و نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری تهران به‌دست آمد. نتایج تلفیق لایه‌ها و نقشه‌های به‌دست آمده نشان داد ۵۹ درصد از مساحت مناطق شهر تهران که بیشتر مناطق شمالی شهر را شامل می‌شوند، از وضعیت سرمایشی و تهویه مناسبی برخوردار هستند. ۱۹ درصد آن با تنش گرمایی و عدم تهویه هوا مواجه است که عمدتاً مناطق مرکزی، جنوب و جنوب غربی هستند و ۲۲ درصد نیز در وضعیت بینابینی قرار دارند که در تمامی سطوح شهر پراکنده شده‌اند، هرچند بیشتر در مناطق شمالی، غربی و شرقی متمرکز هستند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی اقلیمی، اقلیم شهری، نقشه‌های تحلیلی آب‌وهوای شهری، بار گرمایی، ظرفیت پویایی

****

۱- دانش‌آموخته فوق لیسانس آب وهواشناسی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران m.h.koorkinezhad@ut.ac.ir

۲- دانشیار آب وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) shamsipr@ut.ac.ir

۳- دانشیار شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان habibi_ki@yahoo.co.uk

مقدمه

شهرها فضاهای بزرگ سکونتگاهی زنده، پویا و متحول در چرخه زمان و بر بستر مکان هستند؛ و روابط پیچیده میان اجزای فیزیکی و انسانی آن‌ها، گویای تبلور نقش و اندیشهٔ والای انسان و متأثر از عوامل و شرایط اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و جغرافیایی است. شهرهایی که زاییده تفکر انسانی هستند در فرایند رشد و توسعه فیزیکی و جمعیتی، تحولات عمیق و گسترده‌ای در مشخصات محیط طبیعی می‌گذارند. به‌طوری‌که با تغییر و تبدیل شدید کاربری/پوشش اراضی، مصرف بالای انرژی ایجاد چرخه جابه‌جایی مواد و انرژی، تغییرات اساسی بر چرخه آب، موازنه انرژی سطحی، الگوهای وزش باد و کیفیت هوا دارند. ازاین‌رو شهرها در گذر زمان و با رشد روزافزون خود فضاهایی متفاوت از محیط‌های طبیعی حومه خود ایجاد می‌کنند. شناخت وضعیت اقلیمی، واکاوی آن در رابطه با مدیریت و برنامه‌ریزی به پایداری بیشتر شهر کمک می‌کند.

از آغاز ورود به قرن ۲۱ میلادی، چالش دولت‌ها مهاجرت سریع شهروندان به شهرهای بزرگ است. توزیع مکانی، شکل‌گیری خوشه‌ها و ناخوشه‌های فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی آثار و پیامدهای منفی گوناگونی مانند: تراکم شدید جمعیت، توسعه غیررسمی و حاشیه-نشینی، ترافیک شدید، تراکم ساختمانی، کاهش دید آسمان، تغییر و تبدیل گسترده پوشش اراضی را به همراه خواهد داشت *(پورجوان، ۱۳۹۸)*. افزایش تراکم جمعیتی و ساختمانی، پیامدهای گسترده‌ای مانند افزایش تصرف منابع طبیعی، کاهش تنوع‌زیستی، تخریب پوشش گیاهی طبیعی، تغییر وضعیت آب‌وهوایی و برهم خوردن مناسبات تبادل بین ماده و انرژی دارد *(شمسی‌پور، ۱۴۰۱)*. در نتیجه شهرها با مسائل و مشکلات بسیاری روبه‌رو هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مسائل مرتبط با طراحی شهری اشاره کرد. مشکلاتی که به‌دلیل نادیده گرفتن اثر عوامل اقلیمی، منابع طبیعی و تأثیرات انسانی، ایجاد شده و سبب خسارت هنگفتی به تمامی این عوامل می‌شود. از جمله این مسائل می‌توان مشکلاتی در رابطه با فضاهای شهری، مانند تهویه ضعیف، بار گرمایی بالا، آلودگی هوا ناشی از ویژگی‌های کالبدی و فیزیکی شهرها و عدم توجه کافی به قابلیت‌ها و مشخصات طبیعی و آب‌وهوای منطقه و شهر را نام برد.

در طول دوره نسبتاً طولانی انجام مطالعات آب‌وهوایی مرتبط با جوامع شهری، روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی ارائه شده است که اغلب مورد توجه برنامه‌ریزان شهری نبوده‌اند، در دهه ۱۹۷۰ الگوی آلمانی نقشه‌های آب‌وهوای شهری (UCMaps) به جهان معرفی شد. نقشه آب‌وهوای شهری ابزاری اطلاعاتی و تحلیلی برای ترکیب عوامل آب‌وهوای شهری و ملاحظات برنامه‌ریزی شهری با ارائه پدیده‌ها و مسائل آب‌وهوایی در نقشه‌های دو بعدی فضایی است *(بومولر و همکاران، ۱۹۹۲)*. این سامانه نقشه دارای دو مؤلفه اصلی است: نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری (نقشه عملکرد ترکیبی آب‌وهوا) و نقشه توصیه برنامه‌ریزی آب‌وهوای شهری *(ماتزاراکیس و همکاران، ۲۰۰۵)*. در زمینه مطالعه نقشه‌های اقلیم شهری، محقق آلمانی کار ناچ (۱۹۶۳- ۱۹۵۱) برای نخستین بار سامانه نگاشت آب‌وهوایی را برای اهداف برنامه‌ریزی پیشنهاد کرد. متخصصین هواشناسی اشتوتگارت به رهبری بومولر اولین کسانی بودند که مطالعات UCMap را برای کاهش مشکلات آلودگی هوا در شرایط باد ضعیف انجام دادند و دانش آب‌وهوایی را در برنامه‌ریزی کاربری زمین و برنامه‌ریزی محیط زیستی به‌کار بردند *(روتر و بومولر، ۲۰۰۶-۱۹۹۹)*.

ژاپن با کمک محققان آلمانی، پیشگام مطالعات نگاشت نقشه‌های اقلیم شهر در آسیا است. مناطق مادرشهری اصلی در ژاپن مانند توکیو، اوزاکا، کوبه، یوکوهاما، سندای، فوکوکا مطالعات و پروژه‌های مربوط به نگاشت نقشه‌های اقلیم شهری را انجام داده‌اند. به‌طوری‌که وزارت محیط‌زیست و همچنین وزارت زمین، زیرساخت و حمل‌ونقل ژاپن از سال۲۰۰۰ فعالانه بر روی ایجاد سامانه نگاشت نقشه‌های اقلیم شهری کار کردند. در سال ۲۰۰۵، دولت مادرشهر توکیو (TMG) نقشه گرمایی محیطی را برای ۲۳ بخش از توکیو تهیه

و منتشر کرد و اقدامات کنترلی و دستورالعمل‌های مربوطه را توسعه داد *(TMG، ۲۰۰۵a، ۲۰۰۵b؛ سرا، ۲۰۰۶؛ یاماموتو، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷)*.

از سال ۲۰۰۶، یک تیم تحقیقاتی به رهبری نگ از دانشگاه چینی هنگ‌کنگ برای اجرای مطالعات سامانه نگاشت نقشه‌های اقلیم شهری در سناریوهای شهری با تراکم بالا را آغاز کردند. آن‌ها یک مطالعه سامانه نقشه‌های اقلیم شهری برای هنگ‌کنگ براساس بار حرارتی، پتانسیل دینامیکی و اطلاعات بادی اجرا کردند. بنابر مطالعات آن‌ها متغیرهای هواشناسی شهری، مورفولوژی شهری، و برنامه‌ریزی را نه تنها با تکیه بر اطلاعات کاربری زمین، که به‌طور معمول در مطالعات شهری با تراکم پایین و متوسط در آلمان انجام می‌شود، بلکه با استفاده از بلوک‌های دقیق ساختمان‌ها و اطلاعات برنامه‌ریزی شهری مانند حجم ساختمان (اندازه‌گیری شده توسط ابعاد خارجی ساختمان) و نسبت پوشش زمین (که به‌عنوان منطقه قابل ساخت‌وساز در کل منطقه زمین تعریف می‌شود) به هم مرتبط می‌کند *(نگ و همکاران، ۲۰۰۹)*.

این سامانه‌ی تهیه نقشه‌های اقلیم شهری که از دهه ۷۰ با رویکرد آلمانی مطرح شد، در برنامه‌ریزی شهری کشورهای مختلف جهان از اروپا، آسیا و امریکای لاتین مورد استفاده قرار گرفت. به‌طوری‌که ماتراکیس و مایر (۲۰۰۰) وضعیت جوّی و آسایش حرارتی انسان را با تأکید بر رویکرد آلمانی تهیه سامانه نقشه‌های اقلیمی در نواحی شهری مطالعه کردند.

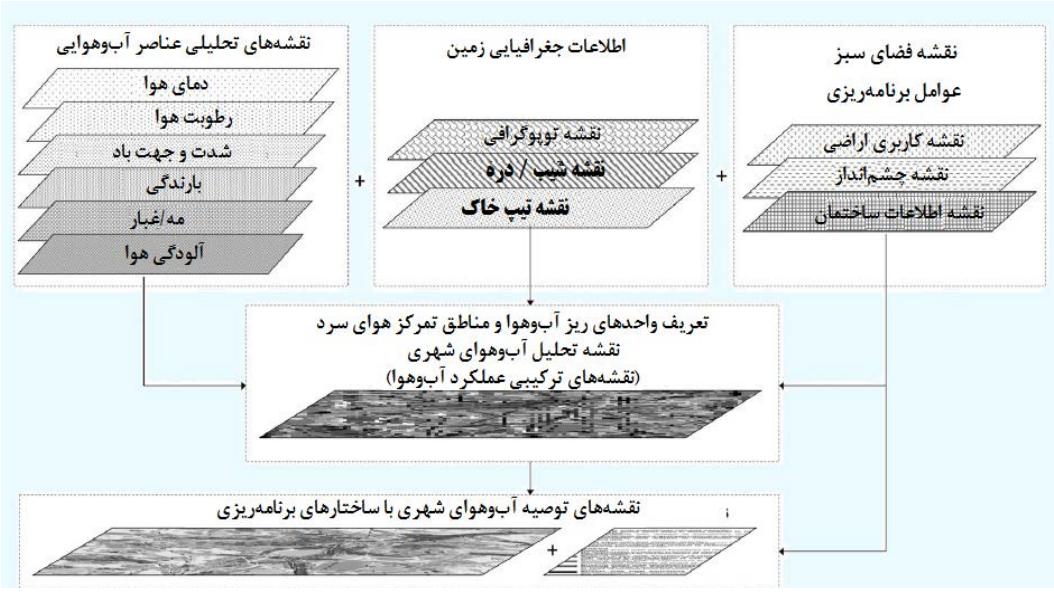
بومولر و همکاران (۲۰۰۹) اطلس اقلیمی یک منطقه مادرشهری در آلمان را با روش UCM و بر پایه تحلیل‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام دادند.

هایک شو و همکاران (۲۰۲۰) در طرحی با عنوان عملکرد شهری اقلیم (KlimPrax) میزان بهره‌گیری از ملاحظات آب‌وهوای شهری همچون سازگاری با تغییر اقلیم در فرایندهای برنامه‌ریزی شهری را ارزیابی کردند؛ در این مطالعه اطلاعات هواشناسی با وضوح بالا در مورد اقلیم شهری فعلی و آینده، با تمرکز اصلی بر بار گرمایی برای شهرهای مدل ویسبادن و ماینتس ارائه شد.

در مطالعه‌ای برای شناخت الگوهای جریان هوا در فضاهای شهری، میرلیر و همکاران (۲۰۱۸)، ظرفیت تهویه، ایمنی و آسایش عابران پیاده، همچنین بارهای انرژی ساختمان را در مناطق شهر با ساختار فیزیکی پیچیده مطالعه کردند. آن‌ها همچنین انواع جریان‌های هوا در لایه سایبان شهری (UCL) را شناسایی کردند. همچنین در مطالعه‌ای برای شهرهای هلند، نقشه گرمای شهری با شاخص دمای معادل فیزیکی استاندارد شده با وضوح فضایی یک متر، برای تسهیل در تست تنش اقلیمی تهیه شد. در آن نقشه یک مدل رگرسیونی تجربی برای شاخص PET، بر پایه داده‌های آب‌وهوا و پیکربندی‌های خیابانی در مدل تعادل انرژی گرمای انسان ارائه شد *(کوپمنز و همکاران، ۲۰۲۰)*.

در پژوهشی با هدف تعدیل مسائل اقلیمی شهری، از منظر همبستگی بین مورفولوژی سطحی و اقلیم شهری، براساس شرایط طبیعی، اقتصادی و اجتماعی و راهبردهای توسعه شهری، رویکردهای جدید برای تهیه نقشه اقلیم شهری برای شهر ساحلی شیامن در جنوب شرقی استان فوجیان چین کاوش شد. یافته‌ها نشان داد که نقشه آب‌وهوای شهری شیامن تولید شده با رویکردهای ذکر شده ممکن است پایه‌ای برای ایجاد راهبردهای طراحی شهری سفارشی همراه با ارائه تحلیل‌های کمّی از تحقیقات اقلیم شهری ایجاد کند *(لیو و همکاران، ۲۰۱۷)*. در این رابطه در مطالعه‌ای با تأکید بر گرم‌تر شدن فضاهای شهری ناشی از رشد شهرنشینی، ارتباط آلودگی هوا با مرگ و میر ناشی از ذات‌الریه در هنگ‌کنگ بررسی شد. در این پژوهش که با روش پیمایشی انجام گرفت، اثرات آلودگی هوا برای اهالی شهر در شرایط اقلیم گرم مورد سنجش واقع شد *(سان و همکاران، ۲۰۱۹)*.

سامانه نقشه‌های آب‌وهوای شهری به برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کند تا شرایط آب‌وهوایی- محیطی شهر را شناخته و در تهیه دستورالعمل‌ها و توصیه‌های برنامه‌ریزی‌های توسعه آینده شهر، برای هدایت بهتر این اقدامات برای اتخاذ تصمیمات بهتر، مورد استفاده قرار گیرد *(بومولر و همکاران، ۱۹۹۲)*. نقشه‌های اقلیم شهری دارای دو جزء اصلی هستند که عبارتند



نگاره۱: نمونه‌ای از ساختار نقشه‌های آب‌وهوای شهری UCMap *(منبع: رن و همکاران، ۲۰۱۰، به نقل از شمسی‌پور، ۱۴۰۱)*

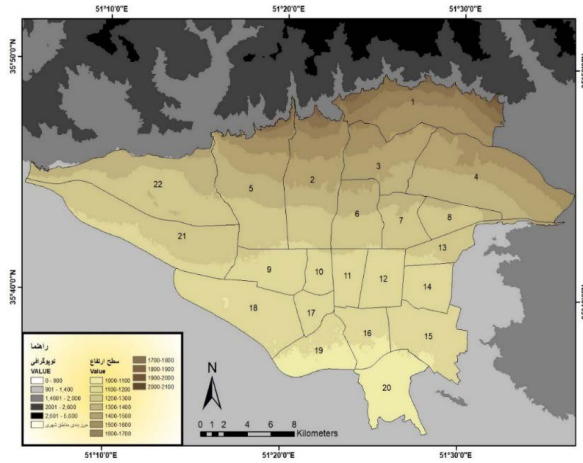
از: UC–AnMaps، که ارزیابی و تحلیل‌های آب‌وهوایی، توسط کلیماتوپ‌های مختلف را تجسم و به‌صورت فضایی نشان می‌دهد و UC–ReMaps، که شامل دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی و پیشنهادهایی از نقطه نظر آب‌وهوای شهری است. نقشه UC–AnMaps متکی بر جمع‌آوری و تلفیق دقیق داده‌های هواشناسی (میانگین دما، مجموع بارش، شدت و جهت باد، ابرناکی و داده‌های ساعت آفتابی)، توپوگرافی و داده‌های جغرافیایی، متغیرهای برنامه‌ریزی، و اطلاعات پوشش گیاهی است که با توجه به روابط و اثرات آن‌ها در تعادل انرژی برای ارائه میزان تغییرات آب‌وهوای محلی در مقیاس‌های آب‌وهوایی میانه (Meso) و خرد (Micro) است. از این‌رو، میزان اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی و جغرافیایی انتخاب شده، به‌عنوان نقشه‌های تحلیلی پایه برای نشان دادن شرایط هوای منطقه‌ای و محلی، به‌کار می روند. با بررسی و تلفیق اطلاعات ورودی اولیه و نتایج تحلیلی، اقلیم‌های محلی با عنوان توپواقلیم‌ها یک بخش اصلی از UC–AnMaps می‌توانند برای نشان دادن توزیع فضایی انواع آب‌وهوای شهری استفاده شوند. نگاره (۱) ساختار ایجاد سامانه نقشه آب‌وهوای شهری را نشان می‌دهد.

با هدف برنامه‌ریزی عملی مبتنی بر اطلاعات اقلیم‌شناسانه و شهرسازی، و برای حل مسائل اقلیمی شهر تهران و رفع مشکلات عمده آن از جمله آلودگی هوا و جزیره گرمایی شهری، در این تحقیق بررسی و تحلیل اطلاعات مکانی و اقلیمی شهر تهران انجام می‌شود و با ایجاد نقشه آب‌وهوای شهری (UCMap) برای شهر تهران و تحلیل آن طبقات اقلیم محلی و دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی آن‌ها ارائه می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

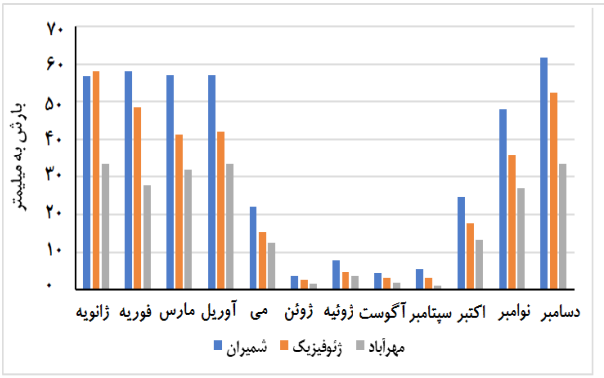
شهر تهران، پایتخت سیاسی، اقتصادی، ارتباطی، پرجمعیت‌ترین و متراکم‌ترین شهر ایران است و با تراکم جمعیتی ۱۰۵۵۰ نفر در کیلومتر مربع در رده پانزدهم شهرهای متراکم جهان است *(شمسی‌پور، ۱۴۰۱)*؛ همچنین به لحاظ بزرگی محدوده شهری بیست و هشتمین شهر دنیا است *(Worldmeter, 2019)*. شهر تهران در پای دامنه‌های جنوبی ارتفاعات البرز و حدفاصل رود کرج در غرب و جاجرود در شرق در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی استقرار یافته است و

ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۲۱۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیّر است. از شمال و شرق به زون کوهستانی البرز و کوه‌های توچال و سه پایه و از جنوب به دشت ورامین منتهی می‌شود، که تنوع اقلیمی شهر تهران تحت‌تأثیر همین وضعیت توپوگرافی و محیطی است. شهر تهران به ۲۲ منطقه، ۱۲۳ ناحیه و ۳۷٤ محله تقسیم شده است *(سجادی و همکاران، ۱۳۹٦)*. نگاره (۲)، موقعیت جغرافیایی شهر تهران را به همراه سطوح ارتفاعی و مرزبندی مناطق ۲۲ گانه آن نشان می‌دهد.



نگاره۲: نقشه موقعیت جغرافیایی شهر تهران به همراه تقسیم‌بندی مناطق ۲۲گانه شهرداری

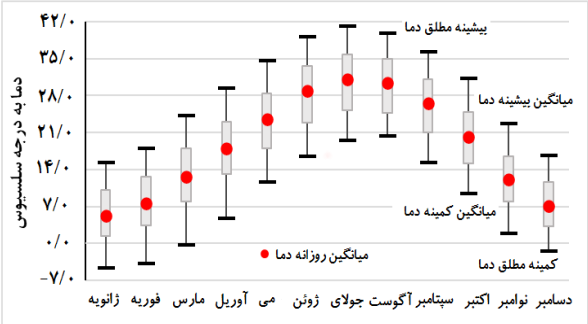
آب‌وهوای عمومی شهر تهران تحت‌تأثیر موقعیت سیاره‌ای آن در کمربند پرفشاری جنب‌حاره خشک و گرم است؛ و موقعیت منطقه‌ای و محلی آن سبب تنوع در پدیده‌ها و رویدادهای اقلیمی است. افزون بر آن‌ها مؤلفه‌های شهری همانند هندسه، فرم و ساختار شهری مشخصه‌های جزئی‌تری بر وضعیت اقلیم شهر می‌افزاید. در اینجا نخست در راستای شناخت وضعیت کلی اقلیم حاکم بر شهر از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی هم‌دید داخل شهر تهران استفاده می‌شود. این شناخت اولیه و بالادستی از وضعیت متغیرها و پدیده‌های جوّی شهر، کمک می‌کند تا تحلیل‌های واقع‌بینانه‌تری از پهنه‌های محلی و خرداقلیم شهر ارائه شود. براساس اطلاعات آماری سازمان هواشناسی و در دوره آماری بین سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۹۸، میانگین مجموع میزان بارش شهر تهران برای ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد، ژئوفیزیک و شمیران به ترتیب ۲۲۱، ۳۲۵ و ٤۰٦ میلی‌متر به‌دست آمد (نگاره ۳). این سه ایستگاه نماینده‌های مناطق جنوبی، مرکزی و شمالی تهران هستند که نشان‌دهنده افزایش بارش از جنوب به شمال است.



نگاره۳: نمودار میانگین بارش ماهانه برای سه ایستگاه هواشناسی مهرآباد، شمیران و ژئوفیزیک *(سازمان هواشناسی ایران)*

همچنین براساس آمار ثبت شده، میانگین سالانه دمای هوای ایستگاه مهرآباد ۱۸/٦ درجه سلسیوس، و ایستگاه شمیران ۱٦/۲ درجه سلسیوس به‌دست آمد. نگاره (٤) نمودار جعبه‌ای ماهانه دمای هوای ایستگاه مهرآباد را نشان می‌دهد که در آن دماهای مطلق کمینه و بیشینه ماهانه در طول دوره آماری به‌صورت زبانه‌هایی از جعبه که نمایان‌گر میانگین دماهای کمینه و بیشینه ماهانه است، ترسیم شده‌اند. طول زبانه‌ها نشان‌دهنده حداکثر دامنه تغییرات دمای هوا و کشیدگی جعبه گویای میزان نوسان‌های شبانه‌روزی دمای ایستگاه است. در ماه‌های گرم به‌دلیل خشکی هوا دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما بالاست، در حالی‌که در ماه‌های سرد سال به‌دلیل ورود و خروج موج‌های گرم و سرد یا سامانه‌های جوّی سرد و گرم، دامنه تغییرات دمای مطلق بالاست. در شرایط دمای تهران تابعی از سطوح ارتفاعی بوده و از جنوب به شمال کاهشی است. البته در مناطق مرکزی شهر تهران در ساعات شبانه پدیده جزیره گرمایی

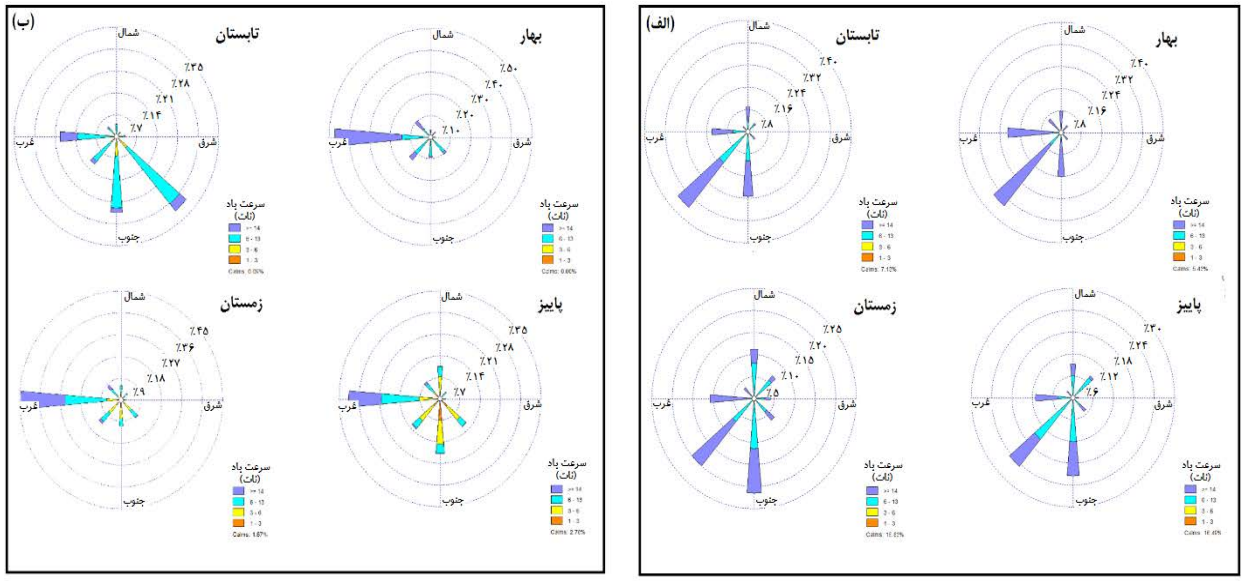
شهری حاکم است که ناشی از تراکم بالای ساختمانی و ترافیک فعالیتی است *(مقبل و شمسی‌پور، ۲۰۱۹؛ بکایی و همکاران، ۲۰۱۹)*. کاهش نسبی دما در جهت شمالی شهر که با افزایش بارش همراه است، وضعیت اکولوژیکی، آبی، اقلیمی و محیطی مطلوب‌تری ارائه می‌کند. به‌طوری‌که به دلیل اختلاف ارتفاع، هسته‌های دمای خنک در ارتفاعات و رودره‌های مشرف به شهر ایجاد شده و جریان‌های ثقلی باد نتیجه آن‌ها است.



نگاره٤: نمودار جعبه‌ای دمای ماهانه ایستگاه مهرآباد

(منبع: سازمان هواشناسی ایران، ۱٤۰۰)

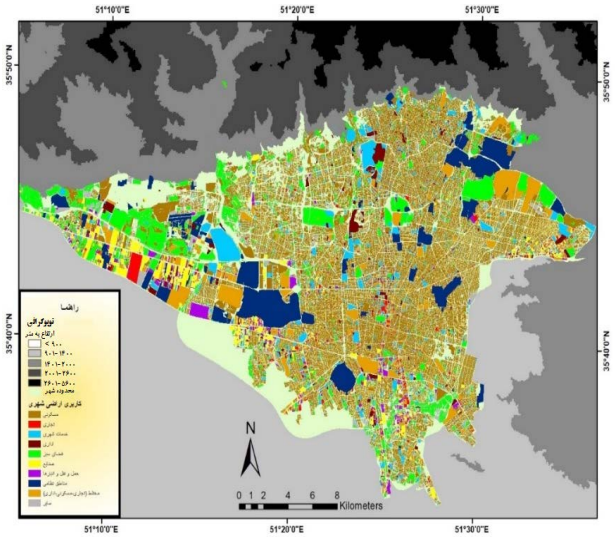
از مهم‌ترین مشخصات محیطی شهرها، آلودگی هوا و افزایش بار گرمای محیطی است. تهران به‌طور کلی در منطقه کم بادی قرار دارد، زیرا در برخی ماه‌ها و فصل‌ها بالای ۵۰درصد دیده‌بانی‌ها را هوای آرام مشخص می‌کند. باد از عناصر تأثیرگذار آب‌وهوای شهر تهران بر تعدیل غلظت آلاینده‌های هواست. به‌این‌ترتیب الگوهای وزش شبانه و روزانه باد در شهر و حومه شهر تهران تحت‌تأثیر عوامل مختلف، متنوع است؛ به‌طوری‌که در طول روز و در ماه‌های گرم سال تحت‌تأثیر الگوهای فشاری منطقه‌ای جنوبی و در بقیه ماه‌های سال عمدتاً غربی و جنوب‌غربی است. همچنین در طی شب در مناطق مختلف شهر جهت‌های باد نسبت به هم متفاوت هستند. اما به‌طور کلی در طی سال الگوی آن ثابت است و همگرا شدن باد شبانه در محور مرکزی شمالی به سمت جنوبی و به تبع ضعیف‌تر شدن سرعت باد، سبب تجمع آلودگی در این مناطق می‌شود *(دادی‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤)*. نگاره (۵) گلبادهای فصلی ایستگاه‌های مهرآباد و شمیران را نمایش می‌دهد. در ایستگاه مهرآباد، جهت باد غالب در تمامی فصل‌ها به غیر از تابستان، غربی است. جهت غالب باد ایستگاه شمیران در تمامی فصل‌ها جنوب‌غربی و جنوبی است. در ایستگاه ژئوفیزیک به‌عنوان ایستگاه مرکزی شهر تهران، جهت غالب باد در همه فصل‌ها جنوبی است. در هر سه ایستگاه سرعت باد و تداوم ساعات



نگاره۵: گلبادهای فصلی ایستگاه‌های هواشناسی شمیران (الف) و مهرآباد (ب)

باد ثبت شده در فصل بهار بیشتر از بقیه فصل‌ها است. در مجموع بیشترین میزان سرعت باد در ایستگاه مهرآباد ثبت شده و کمترین میزان آن مربوط به ایستگاه شمیران است. پایین بودن شدت باد و فراوانی بالای هوای آرام به‌ویژه در دوره سرد سال با پدیده وارونگی دمایی و تشدید آلودگی هوا همراه است. بنابراین ایستگاه شمیران که کم-بادترین ایستگاه تهران است، فراوانی بالای روزهای آلودگی در بخش‌های شمالی تهران را علی‌رغم دوری از مرکز شهر توجیه می‌کند. همچنین پایین بودن فراوانی وزش باد، تجمع آلاینده‌ها و تشدید بار گرمای محیطی (ایجاد جزیره گرمای شهری) را در مرکز شهر ایجاد می‌کند.

توسعه فیزیکی و کالبدی: به‌طور کل از دهه ٤٠ شمسی، مادرشهر تهران جایگاه ویژه‌تری نسبت به دیگر شهرهای ایران داشته و به تبع آن در پی رشد و توسعه بی‌توقف خود، نخست روستاها و سکونتگاه‌های کوچک‌تر اطراف را در دل خود جای داده و به واسطه این تلفیق شهری و روستایی، شکل کالبدی روستاهای اطراف تحت‌تأثیر این اتفاق، تغییرات بنیادین بسیاری پیدا کرد. توسعه فیزیکی شهر تهران به‌صورت تدریجی در مقطع زمانی بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۷۷ (۲۰۱۰-۱۹۹۸) عینی‌تر است. البته بیشترین توسعه فیزیکی شهر تهران در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۳٦۹-۱۳٥٤ (۱۹۹۰-۱۹۷٥) صورت گرفته، به‌طوری که حدود ۳۷۳ کیلومتر مربع بر وسعت شهر تهران افزوده شده است. در سه دهه گذشته توسعه فیزیکی شهر تهران به‌صورت تدریجی و از جهات مختلف، باعث کاهش اراضی مرتعی، کشاورزی و جنگلی شده و این توسعه از سمت غرب، شمال و جنوب بیشتر بوده است *(بکائیان و همکاران، ۱۳۹۵)*. در مناطق شمال‌شرق تهران نیز پوشش‌های گیاهی طبیعی، مراتع و باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی به زیر پوشش سطوح شهری تبدیل شده است نگاره (٦). بیشترین میزان اثرات رشد فیزیکی شهر تهران، بر تغییر موازنه انرژی سطحی و چرخه آب بوده است *(توانا و همکاران، ۱۳۹۵)*. در مجموع در حدود ۱۹٤۰۰ هکتار زمین‌های باغی و کشاورزی در تهران بر اثر رشد فیزیکی شهر تهران از بین رفته است *(ادیبی سعدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹)*. این تغییر و تبدیل گسترده پوشش/کاربری اراضی اثرات گسترده‌ای بر شرایط محیطی و اقلیمی دارد که وضعیت کاملاً متفاوتی از وضعیت طبیعی به‌خود گرفته و به مفهوم واقعی حاصل آن اقلیم شهری است.



نگاره٦: کاربری اراضی شهر در تهران

(طرح جامع شهرداری تهران، ۱۳۹۳)

داده‌ها و روش کار

پژوهش حاضر با داده‌های مختلفی از نوع نقطه‌ای (داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی) و لایه‌های اطلاعات مکانی انجام شد. داده‌های مکانی شامل مدل رقومی ارتفاع[1] تهران (توپوگرافی) به‌دست آمده از تصویر ماهواره‌ای استر، لایه‌های اطلاعاتی طرح جامع شهرداری تهران (۱۳۹۵) شامل لایه‌های طبقات ساختمانی، فضاهای سبز شهری، کاربری اراضی و شبکه معابر شهری تهران بود. برای رقومی‌سازی پوشش اراضی حومه شهر تهران با تعریف حریم دو کیلومتری در GIS، و انتقال آن به محیط Google earth ترسیم شد. جدول (۱) مشخصات داده‌های مکانی مورد استفاده در شهر تهران را نشان می‌دهد.

1- Digital Elevation Model

جدول۱: مشخصات داده‌های مکانی مورد استفاده در شهر تهران

ردیف	نام لایه	نوع لایه	مقیاس	منبع
۱	توپوگرافی	نرده‌ای	۳۰ متری	سازمان نقشه‌برداری
۲	ساختمان‌ها	برداری	۱:۱۰۰۰۰	شهرداری تهران (۱۳۹۳)
۳	فضای سبز	برداری	۱:۱۰۰۰۰	شهرداری تهران (۱۳۹۳)
٤	کاربری اراضی	برداری	۱:۱۰۰۰۰	شهرداری تهران (۱۳۹۳)
٥	گوگل ارث[1]	تبدیل از KMZ به Lyr	–	نرم‌افزاری
٦	حریم اطراف شهر	برداری (با دستور Buffer)	۱:۱۰۰۰۰	شهرداری تهران (۱۳۹۳)

میزان حجم بناها، توپوگرافی و فضای سبز شهری عموماً بر وضعیت دمای شهر تأثیر دارند. لایه کاربری/پوشش اراضی در تقسیم‌بندی بهتر وضعیت پوششی شهر اهمیت دارد. این تقسیم‌بندی شامل مناطق مسکونی، فضاهای سبز و مکان‌های باز می‌شود. لایه چشم‌انداز طبیعی و مجاورت با فضای باز از طریق لایه‌های موجود و با توجه به وضعیت تهویه شهری، شرایط توپوگرافی و دیگر عوامل مؤثر تعیین می‌شود. این سه لایه وضعیت جریان هوا یا ظرفیت پویایی شهری را نشان می‌دهند.

روش‌های زیادی برای تهیه نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری (UC-AnMap) در شهرهای مختلف جهان ایجاد شده که هرکدام بسته به وضعیت پوشش/کاربری و چیدمان شهری، ناهمواری‌ها، منابع طبیعی و عواملی مانند جزایر گرمایی و تراکم شهری انتخاب می‌شوند و همگی در دو رویکرد: ۱) آلمانی و ۲) هلندی قرار می‌گیرند (نگ و رن، ۲۰۱۵). تا قبل از مدل هنگ‌کنگ، تمامی مدل‌های موجود برای شهرهایی با تراکم کم بوده است. مدل هنگ‌کنگ که توسط نگ و همکاران (۲۰۰٦) تهیه شد، به‌عنوان اولین مدل آب‌وهوای شهری برای شهر پرتراکم بود. با توجه به نقاط مشترک مهمی نظیر تراکم ساختمان‌ها، ویژگی‌های ارتفاعی، چیدمان و توسعه شهری، جنس سطوح شهری، مدل هنگ‌کنگ بیشترین میزان اشتراک را برای بررسی و تهیه نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری تهران دارد. قابل توجه این‌که رویکرد این مدل آلمانی است.

روش این مدل، عموماً بر پایه ارزیابی و تحلیل متغیرهای تأثیرگذار بر شرایط اقلیمی است. بر این اساس، شش لایه اطلاعاتی شامل: نقشه‌های حجم ساختمان، پوشش زمین، توپوگرافی، مجاورت با فضاهای باز، فضای سبز و چشم‌انداز طبیعی شهر تهران تهیه و وارد نرم‌افزار Arc/GIS 10.4.1 شد. برای حذف واحد و قابلیت مقایسه‌ای و روی‌هم‌گذاری، لایه‌ها استانداردسازی شدند و برای تهیه دو نقشه بار گرمای محیطی و ظرفیت پویایی استفاده شدند. به‌طوری‌که سه لایه حجم ساختمان، توپوگرافی و فضای سبز وزن‌دهی و تلفیق شدند و خروجی آن‌ها نقشه بار گرمایی شد. سه لایه دیگر یعنی پوشش زمینی، چشم‌انداز طبیعی و مجاورت با فضاهای باز نیز وزن‌دهی شده و با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه ظرفیت پویایی به‌دست آمد.

جدول (۲) ویژگی‌های هریک از این لایه‌های اطلاعاتی را به همراه اثرات مثبت یا منفی‌شان بر شرایط بار گرمایی و ظرفیت پویایی نشان می‌دهد. برای نمونه حجم ساختمان بر عملکرد بار حرارتی تأثیر منفی داشته و سبب افزایش میزان بار حرارتی در شهر می‌شود. یا فضای سبز سبب کاهش بار حرارتی می‌شود و عملکرد مثبتی دارد. سپس دو نقشه بار گرمایی و ظرفیت پویایی با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه UC-AnMap به‌دست آمد.

در مدل در نظر گرفته شده برای شهر تهران، لایه‌ها برطبق دو معیار فیزیکی بار گرمایی و ظرفیت پویایی انتخاب شدند و هرکدام بر طبق ویژگی فیزیکی خود، بر شرایط بار گرمایی و ظرفیت پویایی تأثیر مثبت یا منفی دارد.

1- Google Earth

جدول۲: داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی

لایه‌های ورودی	مبانی علمی	تأثیر (بر آسایش محیط)	معیار فیزیکی
نقشه حجم ساختمان	حجم ساختمان	منفی	بار گرمایی
نقشه ارتفاع توپوگرافی	سطح ارتفاعی	مثبت	
نقشه مناطق سبز	تأثیرات زیست اقلیمی		
نقشه پوشش زمینی	نفوذپذیری شهری	منفی	ظرفیت پویایی
نقشه چشم‌انداز طبیعی	تأثیرات زیست اقلیمی - حرکت هوای سرد	مثبت	
نقشه مجاورت با فضای باز	تبادل جرم هوا و اثرات همسایگی		

افزایش حجم ساختمانی بر میزان بار گرمایی شهر، تأثیر منفی دارد و سبب افزایش بارگرمایی و ایجاد تنش گرمایی و سلب آسایش حرارتی می‌شود. توپوگرافی و فضای سبز تأثیر مثبتی بر تعدیل بارگرمایی شهر دارند و افزایش میزان آن می‌تواند از میزان بار گرمایی شهر بکاهد و سبب ایجاد شرایط آسایش حرارتی در شهر شود. تأثیر مثبت پوشش زمینی به‌این معناست که افزایش مقادیر آن سبب کاهش نفوذپذیری و شرایط جابه‌جایی باد در شهر می‌شود. افزایش میزان چشم‌انداز طبیعی و مجاورت با فضای باز نیز همگام با افزایش نفوذپذیری و جابه‌جایی هوا در شهر است.

لایه اول، حجم ساختمانی: برای به‌دست آوردن حجم ساختمانی، پس از تهیه و گردآوری لایه‌برداری ابتدا از طریق جدول توصیفی لایه بلوک‌های ساختمانی شهر تهران از ضرب ارتفاع در مساحت، حجم ساختمان‌ها محاسبه و در مرحله بعد اطلاعات درون لایه اطلاعاتی به شش گروه طبقه‌بندی شد.

لایه دوم، توپوگرافی: برای ترسیم سطوح ارتفاعی شهر تهران و حومه، از دو منبع DEM ۳۰ متری برای تهیه سطوح ارتفاعی حومه شهر و از DEM یک متری برای ترسیم سطوح ارتفاعی داخل شهری استفاده شد. سپس لایه اطلاعاتی موجود طبقه‌بندی و وزن‌دهی شد.

لایه سوم، فضای سبز: لایه فضاهای سبز شهری تهران با لایه مرز شهری تهران ترکیب شد و از بخش داده‌های توصیفی، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شد.

لایه چهارم، پوشش زمینی: برای تهیه نقشه پوشش زمینی، لایه کاربری اراضی تهران به همراه لایه فضای سبز وارد نرم‌افزار شده، سپس از لایه کاربری اراضی، مناطق مسکونی و فضای باز استخراج و با لایه فضای سبز شهری ترکیب شد. سپس از بخش داده‌های توصیفی طبقه‌بندی و وزن‌دهی شد.

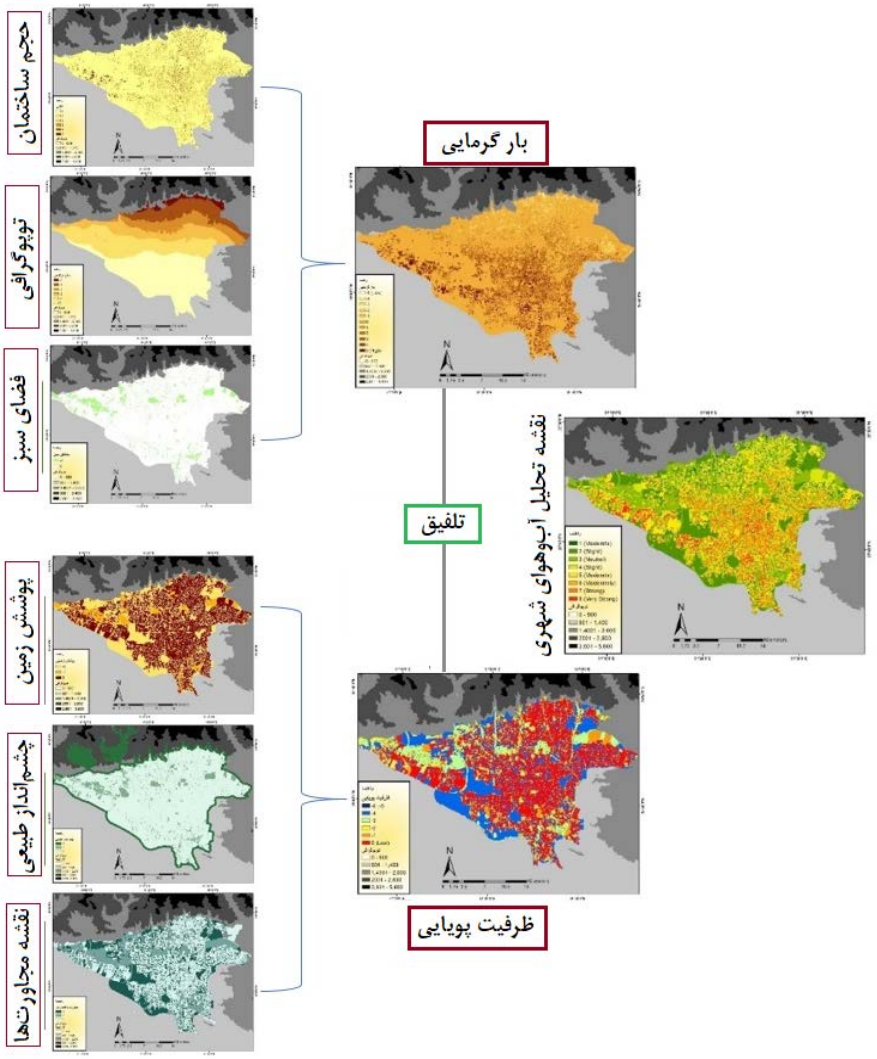
لایه پنجم، چشم اندازطبیعی: برای به‌دست آوردن نقشه چشم‌انداز طبیعی شهر تهران، ابتدا محدوده آبخیزها در بخش شمالی شهر تهران ترسیم شد. در مرحله بعد حریم ۵۰۰ متری شهر تهران ترسیم شد. در مرحله بعد لایه اطلاعاتی فضای سبز شهر وارد نرم‌افزار شده و با لایه‌های یاد شده، ترکیب شدند. لایه ایجاد شده از دیگر مناطق شهری تهران، تفریق شده و از بخش داده‌های توصیفی، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شد.

لایه ششم، مجاورت با فضاهای باز: برای به‌دست آوردن نقشه مجاورت با فضاهای باز، لایه‌های کاربری اراضی و فضای سبز شهر تهران وارد نرم افزار شد. در مرحله بعد از لایه کاربری اراضی، مناطق نظامی و فضاهای باز استخراج شدند و حریم ۵۰ متری فضاهای سبز شهری ترسیم شد. سپس آبراهه‌ها و دریاچه‌های شهر تهران در نرم‌افزار گوگل‌ارث ترسیم شدند. سپس حریم ۵۰ متری دریاچه‌ها ترسیم شد. در پایان همه مناطق یاد شده به همراه حریم‌هایی که برایشان ترسیم شده بود، باهم ادغام شده و از بخش داده‌های توصیفی، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند. لایه‌های جدول (۲) بر طبق نگاره (۷) تلفیق شدند.

نگاره۷: طرح‌واره تلفیق لایه‌های اطلاعاتی UCAnMap

نتایج

نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری (UC-AnMap) و مراحل تهیه آن در نگاره (۸) نمایش داده شده است. سه نقشه حجم ساختمانی، سطوح ارتفاعی و فضاهای سبز شهری برای تهیه بار گرمای شهری، سه نقشه پوشش زمین، چشم‌انداز طبیعی و مجاورت با فضاهای طبیعی و باز برای تهیه نقشه



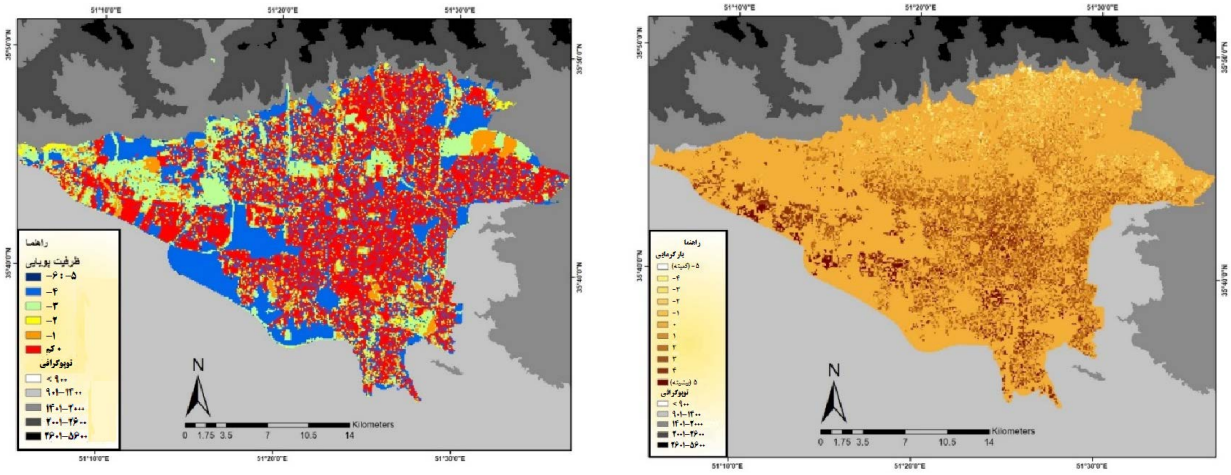
نگاره۸: فرایند محاسبه نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری تهران (UCAnMap)

ظرفیت پویایی وزن‌دهی و ترکیب شدند. از ترکیب دو نقشه بار گرمایی و ظرفیت پویایی نیز نقشه تحلیل آب‌وهوایی به‌دست آمد. در ترکیب لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی طبقات بر مبنای میزان اثر آن‌ها در سرمایش محیط و کاهش بار گرمای محیطی یا افزایش ظرفیت تهویه هوا است. عناصر و عوامل تشدیدکننده بار گرمای محیط با مقادیر مثبت و کاهش دهنده بار گرمای محیطی با مقادیر منفی وزن‌دهی شده‌اند. رویکرد و الگوی وزن‌دهی شاخص‌ها و متغیرهای استفاده شده در این پژوهش برگرفته از مطالعه‌ای از نگ و همکاران (۲۰۱۵) است که برای هنگ‌کنگ انجام دادند.

نتایج تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اولیه شامل نقشه‌های بارگرمایی و ظرفیت پویایی است که در نگاره (۹) نمایش داده شده‌اند و در آن مناطق مرکزی، و نوار جنوب‌غربی شهر با بار گرمای محیطی بالایی مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که هسته‌های گرمایی متمرکزی در این مناطق محاسبه و به‌دست آمده است. از دلایل آن بافت فشرده ساختمانی، تراکم بالای جمعیت، ترافیک سواره بالا و شبکه معابر متراکم به‌ویژه در مناطق مرکزی و جنوبی تهران، و تمرکز بالای مراکز تولیدی، صنعتی و انبارها به‌ویژه در منطقه ۲۱ در جنوب‌غرب تهران است. از طرف دیگر، دمای هوا در مناطق شمالی و شمال‌شرقی تهران، به‌دلیل مجاورت با زون کوهستانی و دامنه‌های جنوبی توچال، پایین و به‌نسبت معتدل است. تراکم پایین جمعیت، مجاورت با فضاهای طبیعی و ارتفاعات و بالا بودن ظرفیت پویایی و امکان تهویه طبیعی در این بخش از شهر نسبت به سایر مناطق شهری از دیگر دلایل پایین بودن بار گرمای محیطی است.

به‌صورت کلی، مناطق غربی و شمال شرقی تهران، دارای بیشترین میزان از ظرفیت پویایی هستند. از دلایل آن تراکم پایین ساخت‌وساز و حضور عرصه‌های طبیعی و فضاهای باز و سبز، دریاچه چیتگر و مجاورت با ارتفاعات هستند. همین‌طور مناطق محافظت شده، پارک‌های جنگلی مانند سرخه حصار و لویزان در سمت شمال شرق تهران و گستره‌های بالای جنگل‌های دست کاشت بیرون از محدوده شهر سبب بالا بودن فضاهای باز و ظرفیت پویایی و در نتیجه کاهش بار گرمای محیطی می‌شوند. مناطق مرکزی شهر و مناطق جنوبی به‌دلیل بافت ریز ساختمانی، شبکه معابر متراکم با فضاهای سبز محدود و ارتفاع کم و مسطح از ظرفیت پویایی پایینی برخوردار بوده و بار گرمای بالایی دارند. مطابق نگاره (۹) در بخش‌های جنوبی شهر به دلیل فضاهای باز، زمین‌های زراعی و ویژگی حومه‌ای آن، ظرفیت پویایی در مناطق ۱۹ و ۱۸ بالاست.

با استخراج اطلاعات عددی مربوط به نقشه بار گرمایی (جدول۳)، سطوح سرد و نسبتاً سرد (فضاهای سبز و باز شهری) داخل شهر تهران کمتر از ٤ درصد است،



نگاره۹: نقشه ظرفیت پویایی (راست) و نقشه بار گرمایی (چپ) شهر تهران

جدول۳: طبقات و مساحت بار گرمای محیطی شهر تهران

ارزش	مساحت (Km2)	درصد	اثر گرمایی	ارزش	مساحت (Km2)	درصد	اثر گرمایی
۵- ٤-	۲/۷۱	۰/٤۳	سطوح سرد	۱	٦۱/۸۰	۱۰/۰٤	سطوح گرم معتدل
۳- ۲-	۲۰/۸۱	۳/۳۸	سطوح نسبتاً سرد	۲	۵۰/۲۱	۸/۱٦	سطوح نسبتاً گرم
۱-	۲۸/۵۸	٤/٦٤	سطوح سرد معتدل	۳	۳۳/۲۲	۵/٤۰	سطوح با بار گرمای بالا
۰	۳۸۹/۵٦	٦۳/۲۷	سطوح معتدل	٤ -۵	۳۰/۸۲	٤/٦۸	سطوح با بار گرمای شدید

در صورتی‌که سطوح نسبتاً گرم تا بسیار گرم (پهنه‌های با بافت فشرده ساختمانی و فضاهای با ظرفیت تهویه و پویایی ضعیف هوا)، بالای ۱۸درصد کل مساحت شهر را می‌پوشاند. سطوح سرد عموماً در حواشی کوهستانی شمال و شرق و پهنه‌های با بارگرمای محیطی در مرکز و مناطق ۲۱، ۱۹، ۱۲ و ۱۱ قرار دارند. امکان تبادل هوای بین آن‌ها از طریق ایجاد گذرهای اکولوژیک و فضاهای سبز بزرگراهی با جهت شمالی جنوبی قابل طرح و اجراست؛ همچنان‌که شهر سنگاپور با راهبرد توسعه شبکه‌های اکولوژیک شهری از طریق توسعه پیاده راه‌ها و مسیرهای دوچرخه به همراه احداث فضاهای سبز ردیفی افزون بر اتصال فضای شهری به حومه روستایی و طبیعی، جابه‌جایی و جریان هوا را بین حومه و شهر بهبود داده است *(بریفیت و همکاران، ۲۰۰٤)*.

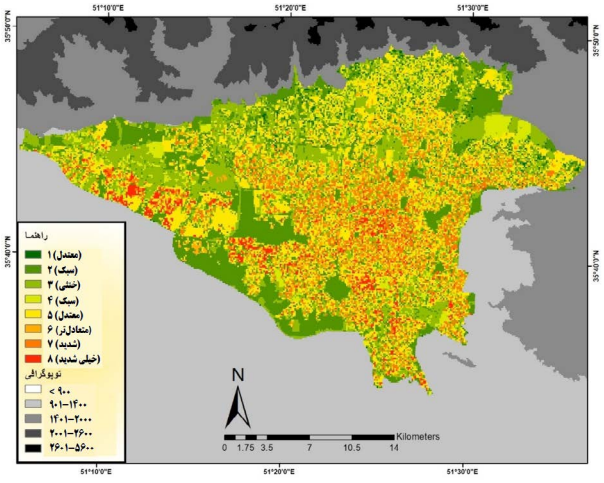
خروجی نقشه قابلیت پویایی و تهویه طبیعی شهر تهران گویای این است که در بیش از ٤۱درصد محدوده شهر قابلیت جریان هوا صفر است که ناشی از تراکم بالای ساختمانی در مناطق مرکزی، شرقی و شمال‌شرقی شهر است. کمتر از ۳۰ درصد شهر از وضعیت مطلوب جابه‌جایی هوا برخوردار است که عموماً در مناطق ۹ (محدوده فرودگاه مهرآباد)، ۱۸ و ۱۹ (زمین‌های زراعی) و منطقه ۲۲ است که دارای زمین‌های بایر و باز بیشتری است. البته منطقه ۲۲ در حال بارگذاری گسترده ساختمانی و فعالیتی است (جدول٤).

نقشه نگاره (۱۰) مناطق مختلف تهران را بر اساس تلفیق ویژگی‌های بار حرارتی و ظرفیت پویایی، از مناطق با سرمایش متوسط تا مناطق با گرمایش بسیار قوی نشان می‌دهد. این نقشه اطلاعات بسیار مهمی در مورد شرایط محیطی و اقلیمی شهر تهران دارد. نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری تهران مناطق مرکزی، نوار جنوب تا غرب را با شرایط اقلیمی خیلی شدید نمایش می‌دهد. در این محدوده‌ها لکه‌های داغ زیادی به‌دست آمده است که تحت‌تأثیر نوع کاربری آن‌ها در مناطق مرکزی شهر با بافت ریز و متراکم و در نوار جنوب تا غرب تهران در منطقه ۲۱ با حضور سیلوها و ساختمان‌های صنعتی گویای شرایط

جدول٤: طبقات و مساحت ظرفیت تهویه طبیعی هوا در شهر تهران

طبقه	مساحت به کیلومتر مربع	درصد از مساحت کل	طبقه	مساحت به کیلومتر مربع	درصد از مساحت کل
٦ و ۵ (ظرفیت پویایی بالا)	۲/۵٤	۰/٤۱	۲ (نسبتاً پایین)	۵۱/۳٤	۸/۲۹
٤ (نسبتاً بالا)	۱۷۹/٦٤	۲۹/۰۱	۱ (پایین)	۹٤/٤۷	۷/۷٤
۳ (متوسط)	۸۱/٦۱	۱۳/۱۸	۰ (نبود پویایی)	۲۵٦/۲۲	٤۱/۳۷
جمع				٦۱۵	۱۰۰

جذب تابش خورشیدی و جذب مقادیر بالای انرژی بوده و به‌دلیل ضعیف بودن ظرفیت پویایی، تهویه طبیعی هم بسیار پایین است. در این مناطق فاکتور دید آسمان (SVF) نیز به دلیل فشردگی بافت و شبکه معابر متراکم و کم‌عرض پایین است که خود باعث محبوس‌شدن انرژی گرمایی در داخل بافت، کاهش جریان هوا و افزایش بار گرمای محیطی و شکل‌گیری جزیره گرمای شهری می‌شود *(دیرکسن و همکاران، ۲۰۱۹)*. همچنان‌که بقایی‌پور و نصراللهی (۲۰۱۹) در پژوهشی نشان دادند که شهرهای با برج‌ها و بناهای بلند با کاهش دید آسمان عامل مهمی در افزایش دمای هوا و ایجاد جزیره گرمای شهری هستند. در تهران به سمت مناطق بالای شهر از میزان بار گرمایی و رنگ‌های قرمز کاسته شده و در زمین‌های با کاربری فضاهای سبز و باز وضعیت اقلیم شهری معتدل نمایش داده شده است.



نگاره۱۰: نقشه طبقه‌بندی شده تحلیل آب‌وهوای شهری تهران

جدول (۵) میزان مساحت و درصد مشارکت هرکدام از طبقات را در نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری تهران نشان می‌دهد. بنابراین طبقات اقلیمی دو و سه با شرایط بار سرمایی اندک و شرایط خنثی، مجموعاً ٤٧درصد محدوده شهری تهران، بالاترین فضاهای شهری را اشغال کرده‌اند. این دو طبقه اقلیمی شامل فضاهای باز و سبز شهری هستند که اراضی وسیعی از مناطق غرب و شمال و نوار میانی شهر را در بر می‌گیرند. سه طبقه اقلیمی با بار گرمای نسبتاً شدید تا بسیار شدید با حدود ۱۱۸ کیلومتر مربع، حدود ۱۹درصد از مساحت کل فضای شهری تهران را عموماً در مناطق مرکزی و نوار جنوب تا جنوب‌غرب پوشش می‌دهند. این مناطق با ارتفاع پست، تراکم ساختمانی بالا، پایین بودن سرانه فضای سبز شهری، قابلیت تهویه طبیعی و تراکم بالای کارخانجات مشخص می‌شوند.

جدول۵: میزان مساحت و درصد مشارکت مناطق طبقه بندی شده اقلیمی شهر تهران

طبقات تحلیلی	میزان مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)
(معتدل) ۱	۱/۰٤	٦/٤٢
(بار سرمایی اندک) ۲	۲۳/۲۹	۱٤۳/۹۲
(شرایط خنثی) ۳	۲۳/۸٦	۱٤٦/٤۰
(بار گرمای اندک) ٤	۱۰/٤۸	٦٤/۳۲
(بار گرمای متوسط) ۵	۲۲/۰۸	۱۳۵/٤۸
(بار گرمای نسبتاً قوی) ٦	۷/۲۹	٤٤/۷۷
(بار گرمای شدید) ۷	۸/۹۵	۵٤/۹۱
(بار گرمای بسیار شدید) ۸	۲/۹٦	۱۸/۱۷
مجموع	۱۰۰	٦۱۳/٤۰

هشت طبقه اقلیمی به‌دست آمده در نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری در جدول (٤) با نوع عملکرد آن‌ها مشخص شده‌اند. طبقات اقلیمی دو و سه که ٤٧درصد فضای شهری تهران را اشغال کرده‌اند، با بار گرمایی منفی و پایین و ظرفیت پویایی خوب مشخص می‌شوند و اثر آن‌ها بر آسایش حرارتی اندک و خنثی ارزیابی شده است. سه طبقه اقلیمی ٦ تا ۸ با حدود ۱۹درصد مساحت فضای شهری تهران، با بار گرمایی نسبتاً زیاد تا بسیار زیاد مشخص شده و گرمایش نسبتاً بالا تا بسیار بالا دارند. این محدوده‌های شهری جزء مناطق مسئله‌دار شهری تهران محسوب شده و نیاز به تعدیل بار گرمای محیطی دارند. لازم است به‌صورت جزئی‌تر و مکان‌مند طبقات آب‌وهوایی به شرح زیر تحلیل

شوند.

طبقه ۱: این طبقه با میزان ۱/۰٤ درصد از مساحت شهری تهران، کمترین میزان مساحت شهر تهران را در اختیار دارد. عمده مناطقی که این طبقه وجود دارد، مناطق شمالی تهران شامل مناطق ۱، ۲، ۳، ٤ و ۵ شهرداری تهران و همچنین قسمت‌هایی از منطقه ٦ و ۲۲ است. مهم‌ترین ویژگی این طبقه پایین بودن بار گرمای محیطی و وجود ظرفیت پویایی بسیار مناسب است که سبب جابه‌جایی هوا و ایجاد اثر سرمایشی در سطح زمین شده و بار گرمایی موجود را کاهش می دهد.

طبقه ۲: این طبقه با میزان ۲۳/۲۹ درصد از مساحت شهری تهران به همراه طبقه ۳ بیشترین مساحت فضای شهری تهران را اشغال کرده‌اند. این طبقه اقلیمی در همه مناطق شهر تهران پراکنده است و به‌صورت متمرکزتری، قسمت‌های زیادی از مناطق ۹، ۱۸، ۱۹، ۲۲ و ۱ شهرداری تهران را پوشش می‌دهد. این طبقه همچون طبقه ۱، دارای بار حرارتی منفی است و ظرفیت پویایی و تهویه طبیعی در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد و از شرایط تنش گرمایی به دور است.

طبقه ۳: این طبقه ۲۳/۸٦ درصد از مساحت شهری تهران را در بر گرفته است و بیشترین میزان مساحت شهر تهران را در اختیار دارد. تقریباً در تمامی مناطق شهری تهران پراکنده است و به‌صورت گسترده‌تر و متمرکزتر، بخش‌های زیادی از مناطق ۲، ۳، ٤، ۵، ۱۵و ۲۲ شهرداری تهران را پوشش داده است. شرایط بار حرارتی در مناطق این طبقه پایین می‌باشد و شرایط ظرفیت پویایی نیز در حالت خوبی قرار دارد که سبب می‌شود شرایط در این مناطق در حالتی شبیه خنثی بودن یعنی حالت ایده‌آلی که نه سرمایش و نه گرمایش آزاردهنده وجود نداشته باشد.

طبقه ٤: این طبقه ۱۰/٤۸ درصد از مساحت شهری تهران را در بر گرفته است و به گونه‌ی نسبتاً برابر در تمامی مناطق شهری تهران پراکنده است. بخش شمالی منطقه ٤ و بخش مرکزی منطقه ۲۲ را به شکل هسته‌ی متمرکزی پوشش داده است و در مناطق ۱۵، ۱٦ و ۱۸ نیز به همین صورت مناطقی را در برگرفته است. شرایط مناطق این طبقه نیز در حالت بینابینی قرار دارد به این معنا که بار حرارتی در برخی نقاط به‌صورتی اندک و در برخی نقاط نیز وجود ندارد و ظرفیت پویایی نیز در چنین حالت نرمالی برقرار است.

طبقه ۵: ۲۲/۰۸ درصد از مساحت شهری تهران را پوشش داده است. پراکندگی آن به شکل گسترده‌ای، سراسر سطوح شهری تهران را در بر گرفته و قسمت‌های جنوب و شرق منطقه ۲۱ شهرداری تهران بیشترین میزان از این طبقه را در اختیار دارند. بار حرارتی نسبتاً متوسطی در مناطق این طبقه وجود دارد و میزان ظرفیت پویایی پایین است؛ به‌طوری‌که این مناطق از ظرفیت پایین جابه‌جایی هوا برخوردارند و شرایط آسایش حرارتی نیز در حالت گرمایش متوسط قرار دارد.

طبقه ٦: ۷/۲۹ درصد از مساحت شهری تهران را در اختیار دارد. پراکندگی آن بیشتر در مناطق مرکزی شهر تهران به‌صورت متمرکزی وجود دارد و به سمت مناطق حومه شهر میزان پراکندگی آن کاهش می‌یابد. مناطق ۳، ٦ و ۱۷شهرداری تهران بیشترین میزان پوشش این طبقه را در اختیار دارند و بخش کوچک غربی از منطقه ۱۸را هسته نسبتاً متمرکزی از این طبقه تشکیل داده است. بار حرارتی در مناطق این طبقه در وضعیت متوسط است که بخش‌هایی از آن بار حرارتی نسبتاً زیادی دارد و میزان ظرفیت پویایی در تمامی مناطق در حالتی ناچیز است.

طبقه ۷: ۸/۹۵ درصد از مساحت شهری تهران را در بر گرفته و به شکل کاملاً متمرکزی در مناطق مرکزی تهران پراکنده شده است (به‌خصوص مناطق ٦، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و بخش‌های جنوبی مناطق ۲ و ۵ و همین‌طور منطقه ۲۱ شهرداری تهران در سمت غربی شهر). شرایط اقلیمی در مناطق این طبقه در وضعیت بار گرمای محیطی بالا قرار دارد و ظرفیت پویایی نیز، محدود است.

طبقه ۸: ۲/۹٦ درصد از مساحت شهری تهران را در بر گرفته است. در مناطق شمالی تهران وجود ندارد اما در مناطق

جدول٦: طبقه‌بندی اقلیم شهری و نوع اثر آن‌ها بر آسایش حرارتی در شهر تهران

طبقه اختصاص داده شده	طبقه بندی اقلیم شهری	تأثیر بر آسایش حرارتی
۱	بار حرارتی منفی در میزان متوسط و پتانسیل دینامیکی خوب	سرمایش متوسط
۲	بار حرارتی منفی در میزان اندک و پتانسیل دینامیکی خوب	سرمایش اندک
۳	بار حرارتی پایین و پتانسیل دینامیکی خوب	خنثی
٤	برخی نقاط وجود بار حرارتی و برخی نقاط وجود پتانسیل دینامیک کم	گرمایش اندک
٥	بار گرمایی متوسط و پتانسیل دینامیکی کم در برخی نقاط	گرمایش متوسط
٦	بار گرمایی متوسط نسبتاً زیاد و پتانسیل دینامیکی ناچیز	گرمایش نسبتاً قوی
۷	بار حرارتی بالا و پتانسیل دینامیکی ناچیز	گرمایش قوی
۸	بار حرارتی بسیار بالا و پتانسیل دینامیکی ناچیز	گرمایش بسیار قوی

جنوب، جنوب غرب و غرب تهران به دو صورت متمرکز و پراکنده وجود دارد. مناطق متمرکز آن در بخش‌های عمده‌ای از منطقه ۲۱، قسمت جنوبی منطقه ۹ و شمالی منطقه ۱۸، بخش شمالی منطقه ١٦ و دو بخش نزدیک به هم در مناطق ۱۱ و ۱۲ به‌صورت شرقی - غربی، قرار دارد. بخش‌های پراکنده این طبقه به‌صورت جزئی، برخی مناطق جنوبی شهر را پوشش داده است. مناطق این طبقه به‌عنوان گرم‌ترین مناطق شهری تهران شناخته می‌شوند و بار حرارتی بسیار بالایی وجود دارد و ظرفیت پویایی نیز، بسیار ناچیز است.

نتیجه‌گیری

بر پایه نتایج به‌دست آمده از نقشه بار گرمایی شهر تهران، مناطق مرکزی، جنوبی و غربی (در منطقه ۲۱) از وضعیت بار گرمای محیطی بالا و نامطلوبی برخوردارند. بسیاری از بخش‌های مناطق چهار، یک، دو، پنج و ۲۲ شهرداری با بار گرمای محیطی پایین و وضعیت مطلوب اقلیمی مشخص شده‌اند. مناطق مرکزی با تراکم ساختمانی بالا، کمبود فضاهای سبز شهری و سطح ارتفاعی پایین‌تر، از بار گرمایی بالایی برخوردارند و به سمت مناطق حومه در شمال شهر به دلیل مجاورت با کوهستان و پهنه‌های با ظرفیت مناسب هوای خنک و مطبوع، در جنوب شهر با حضور زمین های زراعی و مناطق غربی با کاهش بارگذاری ساختمانی و حضور فضاهای سبز با بار گرمایی پایین به‌دست آمدند که با مطالعه سدودی و همکاران (۲۰۱٤)، بستانچی (۱۳۹۸) و کردبچه (۱۳۹۹) همخوانی دارد.

نتایج حاصل از بررسی نقشه تحلیل آب‌وهوای شهری نشان می‌دهد که ۵۹ درصد از مساحت مناطق شهر تهران که عمدتاً در بخش‌های شمالی و بالادستی شهر تهران واقع شده‌اند، وضعیت تهویه هوای کافی و تنش گرمایی ناچیزی دارند. حدود ۱۹ درصد از مساحت شهر تهران که عمدتاً مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب‌غربی تهران هستند، از شرایط گرمایشی، تنش گرمایی و نبود آسایش حرارتی و تهویه هوا ضعیف، رنج می‌برند. وضعیت منطقه ۲۱ شهرداری در جنوب‌غرب نامناسب‌تر است و شرایط محیطی و اقلیمی این منطقه با حضور انواع کارخانجات، سیلوها و صنایع آلاینده دستخوش تغییرات زیادی شده است.

در تحقیقی لیو و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از نقشه آب‌وهوای شهری و با جمع‌آوری داده‌ها در سه موضوع شرایط گرمایی، شرایط تهویه طبیعی و آلودگی شهری، به نگاشت و تدوین نقشه‌های تحلیل آب‌وهوای شهری با تأکید بر موضوع آلودگی هوا برای شهر شیامن چین پرداختند، در صورتی‌که در پژوهش حاضر، تمرکز بیشتر بر موضوع بار گرمای محیطی و جابه‌جایی هوا و اثرات مکانی آن‌ها قرار گرفته است. نقشه‌های تحلیل آب‌وهوای شهری، با وجود مقادیری خطا و اشتباه، چون با لایه‌های اطلاعات مکانی و مشخصات ساختاری و فیزیکی شهر تهیه می‌شوند نسبت به

نقشه‌های سنتی مبتنی بر داده‌های اقلیمی، از نتایج واقعی‌تری برخوردار هستند و بنابر این نقشه تحلیل آب‌وهوایی پایه مناسبی برای تهیه نقشه دستورالعمل آب‌وهوای شهری محسوب می‌شود. در شهر تهران نیز با مقایسه خروجی مطالعه و مقایسه آن‌ها با مطالعات با نوع داده‌های متفاوت و روش پژوهش‌های بیشتر سنجش از دوری نتایج مشابهی ارائه شده و مناطق با جزیره گرمای شهری (بار گرمایی بالا) مشابهی به‌دست آمده است.

شهرهای امروز جهان در بخش محیطی بیشتر از هر موضوعی با بار گرمای محیطی انسان‌ساخت مواجه هستند و بیشتر برنامه‌های توسعه و مدیریت شهری در کاهش بار گرمایی متمرکز هستند؛ که این سامانه نگاشت نقشه‌های آب‌وهوای شهری بستر مناسبی برای برنامه‌ریزی طبیعت محور در شهرها فراهم می‌کند.

در نتیجه شرایط اقلیم شهر تهران که ناشی از مؤلفه‌های سیاره‌ای و منطقه‌ای دارای دو فصل مجزای گرم و سرد است، عوامل محلی و فیزیکی سطوح شهری طبقات اقلیمی متنوعی ایجاد کرده‌اند. شرایط و مسائل اقلیمی وضع موجود شهر تهران افزون بر متأثر شدن از موقعیت‌های سیاره‌ای و منطقه‌ای آن، از جنبه محله‌بندی شدت و ضعف بار گرمای محیطی، ظرفیت تهویه تحت‌تأثیر ویژگی‌های فیزیکی، کالبدی، پراکنش انواع کاربری‌ها و زیرساخت‌های سبز شهری است، به‌طوری‌که در پژوهش حاضر با تمرکز بر داده‌های واقعی مکانی با نگاهی متفاوت به اقلیم شهری، خروجی‌های به‌دست آمده را برای برنامه‌ریزی شهری کاربردی می‌کند.

منابع و مآخذ

۱- ادیبی سعدی‌نژاد، عسگری؛ فاطمه، علی (۱۳۹۹). اثرات توسعه فیزیکی شهر تهران بر اراضی حاشیه آن. ششمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری، مدیریت شهری و محیط زیست، کرج ۲۰ مرداد ۱۳۹۹.

۲- بستانچی، حسام (۱۳۹۸). سنجش شدت و ارزیابی پیامدهای جزیره گرمای شهری مطالعه موردی منطقه ۱۲ شهرداری تهران، پایان‌نامه فوق لیسانس در رشته آب‌وهواشناسی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۳- بکائیان، شمسی‌پور، علیخواه‌اصل؛ فاطمه، علی‌اکبر، مرضیه (۱۳۹۹). پایش روند تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر توسعه فیزیکی شهر تهران. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۱)، ٦۱-۷۸.

٤- پورجوان، خسرو (۱۳۹۸). تبیین شهر هوشمند و راهکارهای حمل و نقل هوشمند شهری. فصلنامه علمی کارفن، ١٦(٤٥)، ٣٤-١٥.

۵- توانا مهربانی، نوحه‌گر؛ فرح، احمد (۱۳۹۵). بررسی اثرات گسترش فیزیکی شهر بر آلودگی هوا و صوت با استفاده از GIS و AHP (مطالعه موردی: پهنه ی شمال شرق تهران). پنجمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران - مرکز همایش های بین المللی رازی- بهمن ماه ۱۳۹۵.

٦- دادی‌زاده، ملکوتی، مرادی، رستمی؛ مرضیه، حسین، عباس (۱۳۹٤). بررسی تغییرات زمانی- مکانی باد سطحی در منطقه کلان شهر تهران. دومین کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست.

۷- سجادی، افراسیابی‌راد، توکلی‌نیا، یوسفی؛ ژیلا، محمدصادق، جمیله، حسین (۱۳۹۷). ارزیابی و تحلیل وضعیت منابع آب و خاک در مناطق ۲۲گانه شهر تهران با استفاده از مدل نیروی محرکه، فشار، وضعیت و پاسخ. نشریه اکوهیدرولوژی. ٤(۱)، ۱۱۸-۱۰۳.

۸- شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱٤۰۱). نگاشت آب‌وهوای شهری، توصیه‌های برنامه‌ریزی، مؤسسه انتشارات دانشگاه

تهران، چاپ اول، تهران.
۹- کردبچه، زهرا (۱۳۹۹). علل وقوع جزیره گرمای شهری در تهران (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ شهرداری تهران)، پایان‌نامه فوق لیسانس در رشته آب‌وهواشناسی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
10- Baghaeipoor, G., & Nasrollahi, N. (2019). The Effect of Sky View Factor on Air temperature in High-rise Urban Residential Environments, Journal of daylighting, 6, 42-51.
11- Baumueller, J., Hoffmann, U. & Reuter, U. (1992). Climate booklet for urban development, Ministry of Economy Baden-Wuerttemberg (Wirtschaftsministerium), Environmental Protection Department.
12- Baumueller, J. (2006). Implementation of climatic aspects in urban development: the example Stuttgart. In Paper Presented at the Urban Climate & Urban Greenery. 42–52, PGBC, Hong Kong.
13- Baumueller, J., Esswein, H., Hoffmann, U. and Reuter, U. (2009). Climate Atlas of a metropolitan region in Germany based on GIS. In Paper Presented at the 7th International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan.
14- Bokaie, M., Shamsipour, A.A., Khatibi, P. & Hosseini, A. (2019). Seasonal monitoring of urban heat island using multi-temporal Landsat & MODIS images in Tehran. International Journal of Urban Sciences. 23(2): 269-285.
15- Briffett, G., Soodhi, N. & Yuen, B. (2004). Green corridors and the quality of urban life in Singapore, Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium, 56-63.
16- Dirksen, M., Ronda, R.J., Theeuwes, N.E. & Pagani, G.A. (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies, Urban Climate; https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100498.
17- Heike, S.N., Kossmann, M. and Buchholz, S. (2020). Meteorological information for climate-proof urban planning - The example of KLIMPRAX, Urban Climate; 32, 100614.
18- Koopmans, S., Heusinkveld, B.G. and Steeneveld, G.J. (2020). A standardized Physical Equivalent Temperature urban heat map at 1-m spatial resolution to facilitate climate stress tests in the Netherlands, Building and Environment; 181, 106984.
19- Liu, Sh., Song, D. and Yu. B. (2017). The Objective and Methodology of Urban Climate Map for the City of Xiamen, Procedia Engineering; 180, 462-470.
20- Matzarakis, A. and Mayer, H. (2000). Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas. Seminar on Environmental Protection, Environment and Health. Thessaloniki, Greece: 155-166.
21- Matzarakis, A. (2005). Country report: urban climate research in Germany. IAUC Newsletter 11: 4–6.
22- Merlier, L., Kuznik, F., Rusaouen, G. and Salat, S. (2017). Derivation of generic typologies for microscale urban airflow studies, Sustainable Cities and Society; 36, DOI: 10.1016/j.scs. 2017.09.017
23- Moghbel, M. & Shamsipour, A.A. (2019). Spatiotemporal characteristics of urban land surface temperature and UHI formation: a case study of Tehran, Iran. Theoretical and Applied Climatology. 137, 2463–2476.
24- Ng E, Ren C (2015) "The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning. Chapter 10, Urban climatic map studies in China, Hong-Kong, Routledge", London.
25- Ng, E., Ren, C., Katzschner, L. and Yau, R. (2009). Urban climatic studies for the hot and humid tropical coastal city of Hong Kong. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan, 29 June–3 July. Available at: http://www.ide. titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/254693-2-090422170338-003. pdf (Accessed 10 February 2014).
26- Ren, C., Ng, E., & Katzschner, L. (2010). Urban Climatic Map Studies: A Review. International Journal of Climatology.
27- Shuyu L., Song, D., &Yu, B. (2017). The Objective and Methodology of Urban Climate Map for the City of Xiamen. Procedia Engineering 180: 462-470. https://doi. org/10.1016/j.proeng.2017.04.205.
29- Sodoudi, S., Shahmohammadi, P., Vollack, K., Cubasch, U. and Che-Ani, A.I. (2014). Mitigating the

urban heat island effect in megacity Tehran. Advances in Meteorology, 2014, 547974.

29- Sun, Sh., Linwei, T., Wangnan, C., Lai, P.C., Paulina, PYW., Ruby, S-L., Tonya, G.M., Krämer, A. and Wong, C-M. (2019). Urban climate modified short-term association of air pollution with pneumonia mortality in Hong Kong, Science of the Total Environment; 646, 618–624.

30- Yamamoto, Y. (2006). Measures to mitigate urban heat Islands. Science & Technology Trends Quarterly Review 54: 65–83.

31- Yamamoto, Y. (2007). Measures to mitigate urban heat Islands. Global Change and Sustainable Development 1(2): 18–46.

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-ND 3.0)