

بررسی تطبیقی شدت جزایر حرارتی بر اساس هندسه شهری (مطالعه موردی: محلات کوی ولیعصر و شنب‌غازان شهر تبریز)

حسن محمودزاده* - دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
فاطمه امان‌زاده - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گرایش مطالعات شهری و روستایی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۵

چکیده

این پژوهش با هدف شبیه‌سازی و محاسبه حداکثر شدت جزایر حرارت شهری (UHI_{max}) با توجه به شرایط هندسه شهری در مناطق کوی ولیعصر و شنب‌غازان تبریز با استفاده از معادله عددی - نظری Oke انجام شده است. برای اجرای این کار، نخست هندسه محلات مورد نظر با توجه به شعاع ۲۰ متری در کوی ولیعصر و ۱۵ متری در شنب‌غازان از محور معابر به بلوک‌های مجزایی تقسیم‌بندی شد و سپس نسبت عرض معابر و ارتفاع بناها (H/W) در نرم‌افزار GIS محاسبه و در پایان بر اساس معادله Oke، UHI_{max} محاسبه و شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان داد که در محلات مورد مطالعه هر چه بناها بلندتر و عرض معابر کمتر باشد میزان UHI_{max} بیشتر است و هر قدر عکس این شرایط حاکم باشد مقدار UHI_{max} نیز کمتر خواهد بود. همچنین، مشخص شد که در کوی ولیعصر، از میان ۱۰ بلوک، بلوک D با $1/9^{\circ}C$ و بلوک H با $8/2^{\circ}C$ دارای کمترین و بیشترین مقدار UHI_{max} است. در منطقه شنب‌غازان نیز بلوک G با $0/8^{\circ}C$ کمترین و بلوک B با $6/8^{\circ}C$ بیشترین UHI_{max} را به خود اختصاص داده‌اند. برآورد حاصل از مدل رگرسیون نیز نشان داد که عرض معابر در محلات مورد نظر نسبت به ارتفاع ساختمان‌ها اثر بیشتری در تغییرات UHI_{max} دارد. همچنین، نتایج حاصل از دمای سطح زمین نیز نشان داد که کوی ولیعصر در دو فصل زمستان و تابستان به ترتیب بیشترین و کمترین دما را دارد؛ در حالی که در منطقه شنب‌غازان تفاوت چندانی نداشته و دما در سطح پایینی قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: تبریز، جزایر حرارتی، کوی ولیعصر، محله شنب‌غازان، مدل عددی - نظری Oke، هندسه شهری.

مقدمه

امروزه، مناطق شهری نسبت به چند دهه پیش غالب‌ترین چشم‌اندازهای انسانی را تشکیل داده و تأثیرات قابل توجهی بر روی اکوسیستم محلی و جهانی برجای گذاشته‌اند. یکی از مخاطرات محیطی نوظهور ناشی از گسترش شهرنشینی پدیده جزیره حرارتی یا UHI است که با تفاوت درجه حرارت بین مناطق شهری نسبت به روستاهای اطراف آن شناخته می‌شود (دالوئین و بوزونت، ۲۰۱۵). شدت گرمای سطوح ساختمان‌های شهری در طول روز بیشتر از روستاهای اطراف شهر است؛ به طوری که از سپیده‌دم، دیوارهای ساختمان‌ها مانع تشعشعات خورشید می‌شود. در این حالت اگرچه تبخیر و تعرق ضعیف است، اثر حرارتی تشعشعات تشدید می‌شود (فرید، ۱۳۸۸). این اثر ساختمان‌ها در مراکز شهری به دلیل ارتفاع و فشردگی بیشتر بوده و موجب افزایش درجه حرارت در مراکز شهری می‌شود (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۷). جزیره حرارتی در دو محور افقی و عمودی قابل مطالعه بوده که در محور عمودی حرارت تا ارتفاع ۲۰۰ الی ۳۰۰ متری بالای سطح شهر اوج می‌گیرد و در روزهای صاف و بدون ابر زبانه‌ها به ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. این پدیده، که میلیون‌ها نفر از مردم سراسر جهان را تحت تأثیر قرار داده، هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش طبیعی سطح زمین از بین رفته و جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها، و سایر تأسیسات شهری می‌دهد (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱). به بیانی دیگر، با توسعه شهرنشینی و تبدیل اراضی کشاورزی و جنگلی به خانه‌ها و مناطق صنعتی، دمای مناطق شهری نسبت به دیگر مناطق افزایش یافته و سبب ایجاد پدیده جزیره حرارتی شهری می‌شود (اوک، ۱۹۷۳). به طور کلی، پدیده جزیره حرارتی ناشی از ویژگی‌های شهرسازی، آلودگی هوا، گرمای انسانی، وجود سطوح نفوذناپذیر در سطح شهر، خواص حرارتی مواد هندسه سطوح شهری است. بنابراین، هندسه شهری یکی از عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری جزیره حرارتی به‌شمار می‌رود و به واسطه پدیده بازتاب، جذب و نگهداری حرارتی با مبادله بین زمین و آسمان تعامل دارد (ناکاتا-اوساکی و همکاران، ۲۰۱۸).

شهرنشینی با تغییر انواع پوشش زمین در نواحی شهری به شکل‌گیری آب و هوای متمایزی منجر می‌شود که به آن آب و هوای شهری گفته می‌شود (راث و همکاران، ۱۹۸۹). نواحی از شهر، که دارای ساخت و سازهای کمتری هستند، به دلیل تفاوت در دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، و مقدار بارندگی با سایر نواحی شهری آب و هوای متفاوت‌تری دارند. این تفاوت‌ها عمدتاً به جهت تبدیل سطوح طبیعی به سطوح سفت از قبیل سنگ فرش، ساختمان، بتون، آسفالت، ساختمان‌های بلند، خیابان‌های باریک که دارای ظرفیت و قابلیت هدایت حرارتی بیشتری هستند، و همچنین وجود وسایل نقلیه، کارخانه‌ها، و وسایل تهویه‌کننده هواست (چن و همکاران، ۲۰۰۹). به بیانی دیگر، مناطق شهری آب و هوایی را که باعث ایجاد فضای شهری مختلف می‌شوند تغییر می‌دهند که این مسئله به دلیل تعدادی از عوامل پیچیده مانند از دست رفتن سرمایه در سطوح پوشش گیاهی، افزایش فعالیت انسانی، و ذخیره حرارتی در محیط شهری و همچنین تأثیر دره شهری است (لورمور و چونگ، ۲۰۱۲). همچنین، وسعت شهر و بافت کالبدی آن نیز در شدت یا ضعف این پدیده دخالت دارند. مثلاً، کاهش تعداد طبقات یا انفصال ساختمان‌ها از یکدیگر در برخی نقاط مانع تشکیل جزیره حرارتی شهری می‌شود. امروزه با توجه به رشد شهرنشینی و به دنبال آن توسعه شهرها، جزایر حرارتی در شهرهای بزرگ روند رو به رشدی در پیش گرفته‌اند (چن و همکاران، ۲۰۰۸). جزیره حرارتی با تغییر الگوی بادهای محلی، تقویت رشد ابرها و مه، افزایش رعد و برق، و تأثیر بر میزان بارش هوای شهری را پایین می‌آورد و سبب ناراحتی و عدم آسایش شهرنشینان می‌شود و با تأثیر بر سلامتی انسان‌ها احتمال بروز آسم و انواع بیماری‌های تنفسی دیگر را افزایش می‌دهد (لیو و زانگ، ۲۰۱۱). در کل، از جمله آثار تخریبی جزایر حرارتی شهری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱. افزایش انتشار

گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا؛ ۲. افزایش مصرف انرژی؛ اثر جزایر گرمایی ۵ الی ۱۰ درصد از اوج تقاضای برق برای سرمایه‌سازی ساختمان‌ها در شهرها را برعهده دارد؛ ۳. تهدید سلامتی: جزایر گرمایی می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامتی و رفاه اجتماعی شهروندان تأثیر بگذارند؛ ۴. کاهش کیفیت آب: سطوح گرم و سطوح بام گرمی اضافی را به سیلاب‌ها منتقل می‌کنند که به لوله‌های زهکشی می‌روند و دمای آب را بالا می‌برند و این آب به نهرها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، و برکه‌ها می‌ریزد. همچنین، تغییرات سریع گرما می‌تواند زیست‌بوم آبیان را به خطر اندازد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۶ به نقل از رضایی و دخت‌محمد، ۱۳۸۹: ۵۱).

در گذشته، مطالعه جزایر حرارتی شهری به طور سنتی با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی یا پیمایش‌های انجام شده به کمک وسایل نقلیه صورت می‌گرفت، اما امروزه از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور به دلیل داشتن وضوح مکانی بیشتر نسبت به داده‌های زمینی ایستگاه‌های هواشناسی، کاهش ضعف روش‌های سنتی و مطالعه دقیق‌تر بیشتر استفاده می‌شود (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱؛ علوی‌پناه، ۱۳۹۷). تصاویر سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع، به‌هنگام‌بودن، و توانایی کسب اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیس منبع اطلاعاتی مناسبی در تهیه نقشه‌های حرارتی و تخمین انرژی تشعشی سطح زمین به‌شمار می‌آیند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین، هندسه شهری با در نظر گرفتن ارتفاع ساختمان و عرض خیابان به محاسبه حجم شهرها و شبیه‌سازی شدت جزیره حرارتی در سطح زمین و در حد یک محله می‌پردازد که این مورد از عهده تصاویر ماهواره‌ای خارج است. با توجه به اینکه در برخی از شهرها محلاتی وجود دارد که در آن فضای خالی بزرگ در فواصل بین جلوی یک ساختمان با ساختمان‌های همسایه وجود دارد، هندسه شهری می‌تواند محاسبه دقیق‌تری از تغییر فاصله بین نمای ساختمان‌ها ارائه دهد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۶). تبریز، به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر شمال غرب کشور، با افزایش شتابان روند شهرنشینی و همچنین فعالیت‌های صنعتی و ساخت‌وسازهای عظیم ساختمانی در طی دهه‌های اخیر، لزوم بررسی جزایر حرارتی و تغییرات آن و همچنین شناسایی عوامل مؤثر بر آن را می‌طلبد. بدین منظور، در این تحقیق کوی ولیعصر به‌عنوان محله پُرتراکم و شب‌غازان به‌عنوان محله کم‌تراکم مطالعه و بررسی شده است. در این پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای به پایش جزیره حرارتی و رابطه این پدیده با هندسه شهری پرداخته شود.

در داخل و خارج از کشور تحقیقات بسیاری در رابطه با بررسی جزیره حرارتی به شیوه‌های متفاوت با داده‌های سنجش از دور و همچنین تحقیقاتی در زمینه محاسبه حجم شهرها و شبیه‌سازی جزیره حرارتی صورت گرفته است (جدول ۱). در مقایسه پژوهش حاضر با سایر مطالعات، مطالعات پیشین بیشتر بر روی الگوی دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص پوشش گیاهی و انواع کاربری زمین متمرکز بوده و در زمینه هندسه شهری کمتر کار شده است. بررسی مطالعات انجام‌گرفته در رابطه با شهر تبریز هم نشان می‌دهد که تا به حال آن طور که باید به مسئله جزیره حرارتی از دیدگاه هندسه شهری پرداخته نشده است. وجه تمایز تحقیق حاضر با پژوهش‌های انجام‌شده در بررسی شدت جزیره حرارتی محلات کوی ولیعصر و شب‌غازان شهر تبریز با توجه به تأثیر هندسه شهری است.

جدول ۱. پیشینه تحقیق

نویسندگان (سال)	عنوان	یافته‌های پژوهش
علیجانی و همکاران (۱۳۹۶)	محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری مورد مطالعه: محله کوچه‌باغ شهر تبریز	در محله کوچه‌باغ تبریز هر چه بناها بلندتر و عرض معابر کمتر باشد میزان شدت جزیره حرارتی بیشتر و هر قدر عکس این شرایط حاکم باشد مقدار جزیره حرارتی نیز کمتر خواهد بود.
کرمی‌راد و همکاران (۱۳۹۷)	سنجش تأثیر هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی در مقیاس خرد اقلیم (مورد پژوهی: فضای باز مجتمع مسکونی گل‌دشت شیراز)	توجه به چگونگی طراحی هندسه شهری و عوامل تأثیرگذار آن از قبیل ضریب دید آسمان، تناسبات دره شهری، و جهت‌گیری در خلق فضاهای باز شهری با کیفیت در فصول گرم سال اهمیت شایانی دارد.
محمودزاده و همکاران (۱۳۹۷)	تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد)	منطقه ۶ بیشترین دما و کمترین فضای سبز و منطقه ۱۲ کمترین دما و بیشترین فضای سبز را داراست.
مجنونی توتاخانه و رضائی (۱۳۹۸)	بررسی و ارزیابی وضعیت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای	اثر جزیره حرارت شهری بیشتر در مناطق شمالی این شهر قرار داشته که ناشی از وجود شهرک صنعتی و توپوگرافی کوهستانی است. همچنین، بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی تهران ارتباط وجود دارد؛ به نحوی که با کاهش پوشش گیاهی میزان دمای سطح این شهر افزایش یافته است.
محمد و سلمان (۲۰۱۸)	تأثیر هندسه و منطقه سبز شهری بر شکل‌گیری جزیره حرارتی شهری در شهر بغداد	در مقیاس سطح پیاده‌رو، هندسه شهری و مناطق سبز به‌طور قابل توجهی به کاهش T_s و T_{mrt} کمک می‌کند؛ در حالی که هیچ تأثیر قابل توجهی بر روی T_a ندارد. بیشترین تأثیرات ویتامین و T_{mrt} در طول ساعات روز بودند؛ در حالی که در طول شب هیچ تأثیری نداشتند.
رامیرز-آگیلار و سوزا (۲۰۱۹)	شکل شهری و تراکم جمعیت: تأثیرات بر شدت جزیره حرارتی شهری در بوگوتا، کلمبیا	تراکم بالای ۱۴۵۰۰ نفر در کیلومتر مربع باعث افزایش اختلاف دمای هوا بالاتر از ۱ درجه سانتی‌گراد، انسداد بیشتر آسمان، و کاهش مناطق سبز و پوشش گیاهی می‌شود. علاوه بر این، شکل شهری با پوشش اراضی و تغییرات مورفولوژی شهری-که ناشی از تراکم جمعیت است- تأثیر زیادی در تفاوت‌های دمایی دارد.
لاو و همکاران (۲۰۱۹)	آسایش حرارتی فضاهای باز در محیط‌های مختلف شهری شهرهای نیمه‌گرمسیری با تراکم بالا: رویکردی برای طبقه‌بندی نواحی آب و هوایی محلی (LCZ)	طبقه‌بندی LCZ یک مشخصه از هر دو محیط فیزیکی و حرارتی فراهم می‌کند. همچنین، یکی از اولین تلاش‌ها برای بررسی رابطه بین محیط حرارتی و ادراکات ذهنی با استفاده از سیستم طبقه‌بندی LCZ است.
لیانگ و همکاران (۲۰۲۰)	رابطه بین شکل شهری و شدت جزیره حرارتی در طول گردان‌های توسعه شهری	توسعه شهری، تراکم جمعیت، پیچیدگی هندسه شهری، و شاخص پوشش گیاهی همگی نقش مهم‌تری در افزایش جزیره حرارتی ایفا می‌کند؛ در حالی که نقش نور شب، کشیدگی هندسه، و پوشش جنگلی کمتر تأثیرگذار است که در این میان سهم نسبی هندسه شهری به‌تدریج در حال افزایش است و باید در سطح پیشرفته توسعه شهری ارزیابی شود.

منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۹

مبانی نظری

حرارت شهری یا جزیره حرارتی

برای اولین بار در سال ۱۸۳۳ پدیده جزیره حرارتی را لوک هاوارد در کتاب *اقلیم لندن* توصیف کرد. وی فرض کرد که گرمای اضافی در شهرها در طول تابستان به دلیل جذب بیشتر اشعه خورشید توسط سطوح عمودی شهر و فقدان دسترسی رطوبت برای تبخیر است (گارتلند، ۲۰۱۱). همچنین اوک (۱۹۸۱) جزو اولین کسانی بود که با در نظر گرفتن مورفومتری شهر که با نسبت H/W (ارتفاع ساختمان‌ها/ عرض معابر) در نظر گرفته می‌شود به بررسی یک مدل تجربی ساده در مورد جزیره حرارتی مبادرت کرد و به توسعه آن پرداخت که این مدل قادر به پیش‌بینی حداکثر شدت جزیره حرارتی در یک مکان است (ناکاتا-اوساکی و همکاران، ۲۰۱۸). از آن زمان تا به حال به دلیل توسعه بیشتر جوامع و شتاب یافتن فرایند شهرنشینی پدیده جزیره حرارتی مورد توجه محققان قرار گرفته است (چن و همکاران، ۲۰۰۹).

جزیره حرارت شهری نواحی‌ای از شهر را شامل می‌شود که نسبت به سایر نواحی دارای درجه حرارت بیشتری باشند و درجه حرارت آن‌ها در کل سطح مناطق شهری افزایش یافته باشد (هایدت و نیف، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، نام گذاری جزیره حرارت شهری به این دلیل است که خطوط هم‌دما به شکلی جزیره‌مانند ایجاد می‌شوند که تا حدودی شکل ناحیه شهری را منعکس و آن را از مناطق اطراف متمایز می‌کند (ووگ و اوک، ۲۰۰۳). جزیره حرارت شهری بر روی زمین و اتمسفر شکل می‌گیرد و شهر به اتمسفرش وابستگی شدیدی دارد، ولی در حومه شهر چنین وابستگی‌ای مشاهده نمی‌شود. مرکز شهر به علت وجود ساختمان‌های عمودی و خیابان‌های دره‌مانند در طول روز انرژی بیشتری جذب می‌کند و در تمام طول شب آن انرژی را در خود نگه می‌دارد. سطوح عمودی متعدد فرصت بیشتری برای جذب گرما دارند و بخش اعظم این گرما را به یکدیگر منعکس می‌کنند و بالاخره به آسمان برمی‌گردانند. هوای گرم به علت اجتماع

فشرده ساختمان‌های بلند بعداً سردتر می‌شوند و در حومه شهر پایین می‌آیند. هوای سرد حومه شهر به طرف مرکز شهر جریان پیدا می‌کند و جای هوای گرم را می‌گیرد. بدین‌سان، یک سیستم چرخشی جریان هوا ایجاد می‌شود که فقط به وسیله بادهای شدید قابل تغییر است (محرمی، ۱۳۹۳). هان^۱ اواسط قرن ۱۹ اظهار کرد که مرکز شهر دارای درجه حرارت بالاتری نسبت به نواحی اطراف آن است. وی بر این عامل از طریق ثبت اندازه‌گیری درجه حرارت تأکید کرده است (چاو و راث، ۲۰۰۶). فرایندهای متعددی در بین اجزای ساختار شهر حضور دارند که در عملکرد حرارتی شهر و تشکیل جزیره حرارتی مؤثرند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سطوح (آلبدو^۲، ظرفیت حرارتی^۳، هدایت حرارتی^۴) به علت جای‌گزینی پوشش گیاهی با استفاده از آسفالت و بتون؛

کاهش رطوبت سطحی مورد نیاز برای تبخیر و تعرق؛

تغییرات شار تابشی و جریان‌های نزدیک به سطح؛

انتشار گرمای انسان‌ساز (شیائو و همکاران، ۲۰۰۷).

به‌طور کلی، جزایر حرارتی را می‌توان به دو نوع سطحی^۵ و اتمسفری^۶ تقسیم کرد. فرایند و مکانیزم تشکیل این دو نوع جزیره حرارتی از لحاظ روش‌های شناسایی و اندازه‌گیری آن‌ها و تا حدی روش‌های کاهش اثرات آن‌ها با هم متفاوت است. جزیره حرارتی سطحی مربوط به دمای سطح زمین است که در تصاویر حرارتی نمایش داده می‌شود. در واقع، در این نوع جزیره حرارتی، با اندازه‌گیری اشعه مادون قرمز منتشرشده توسط سطوح می‌توان مناطق داغ شهری را شناسایی کرد. جزیره حرارتی شهری اتمسفری خود به دو نوع جزیره حرارتی لایه تاج پوشش (CLHI)^۷ و جزیره حرارتی لایه مرزی (BLHI)^۸ تقسیم می‌شود. جزیره حرارتی لایه پوششی (CLHI) در لایه‌های هوا یعنی از سطح زمین تا بالای درختان و ساختمان‌ها را شامل می‌شود. در مطالعات مربوط به جزایر حرارتی، دمای هوای لایه تاج پوش معمولاً در ارتفاع مردم یا در حدود ۱/۵ تا ۳ متر بالاتر از سطح زمین در نظر گرفته می‌شود. لایه مرزی جزیره حرارتی از سطح بالای ساختمان‌ها (پشت بام‌ها) و تاج درختان شروع می‌شود و تا نقطه‌ای که چشم‌اندازهای شهری جو را متأثر نمی‌سازند گسترش می‌یابد و تقریباً یک مایل را دربر می‌گیرد. ضخامت این لایه از ۱۰۰-۱۰۰۰ متر متغیر است (اوک، ۱۹۸۲). از بین این دو نوع جزیره حرارتی اتمسفری، جزیره حرارتی لایه پوششی در بیشتر تحقیقات مربوط به جزایر حرارت شهری مد نظر است (اندرو، ۲۰۱۲). در جدول ۲ به ویژگی‌های این دو نوع جزیره حرارتی (سطحی و اتمسفری) اشاره شده است.

1. Hann
2. Albedo
3. Thermal Capacity
4. Thermal Conductivity
5. Surface
6. Atmospheric
7. Canopy Layer Urban Heat Island
8. Boundary Layer Urban Heat Island

جدول ۲. ویژگی‌های اساسی جزیره حرارتی سطحی و اتمسفری

ویژگی	جزیره حرارتی سطحی	جزیره حرارتی اتمسفری
گسترش زمانی	- حضور در طول تمام روز و شب - بیشترین اوج در طول روز در تابستان	- در طول روز ممکن است از نظر گسترش مکانی کوچک باشد یا اصلاً تشکیل نشود - بیشترین اوج در شب یا قبل از غروب و در زمستان اتفاق می‌افتد
نقطه اوج (بیشترین اوج شرایط جزایر حرارتی)	دارای تنوع مکانی و زمانی زیاد روز ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد شب ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد	تنوع کمتر روز: ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد شب: ۷ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد
روش معمول شناسایی	اندازه‌گیری غیرمستقیم سنجش از دور	اندازه‌گیری مستقیم ایستگاه‌های ثابت هواشناسی تراورهای سیار
تصویر معمول	تصاویر حرارتی	نقشه همدم نمودار حرارتی

منبع: اوک، ۱۹۹۷

شدت جزیره حرارتی

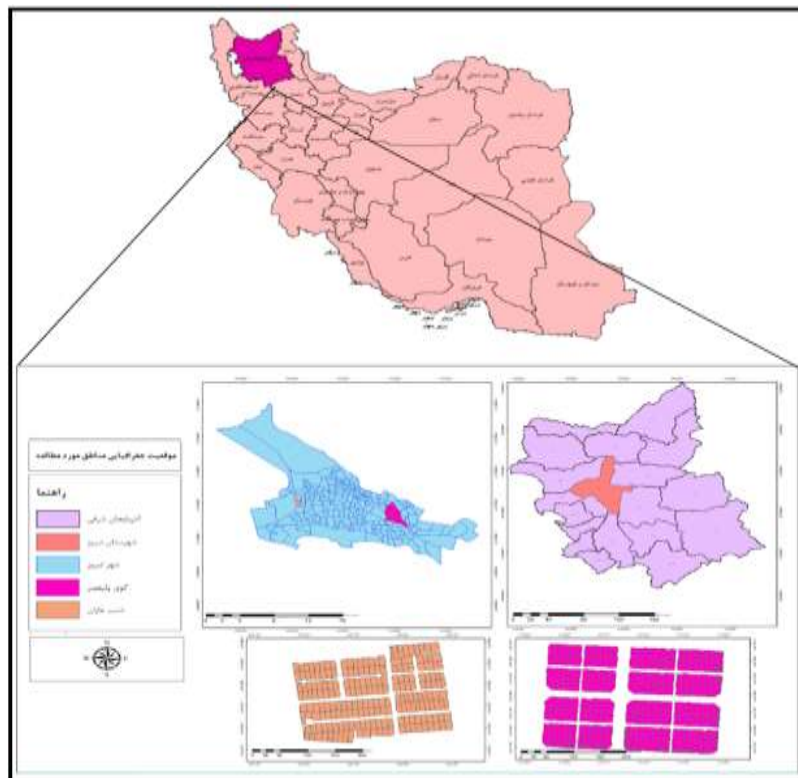
دمای یک شهر از دمای چشم‌انداز آن بیشتر است و ویژگی یک جزیره گرم را داراست (کاوپانی، ۱۳۹۲). درجه حرارت جزیره حرارتی شهرها در یک نقطه از حداکثر مقدار خود برخوردار است. بنابراین، اختلاف دمای بین نقطه مزبور و دمای حومه شهر به‌عنوان شدت جزیره حرارتی تلقی می‌شود. اوک (۱۹۸۷) شدت جزیره حرارتی را به‌صورت $\Delta T_{u-r(max)}$ تعریف می‌کند که به‌عنوان اختلاف بین اوج دمای سطح شهر و حداکثر دمای مناطق روستایی هم‌جوار است؛ جایی که آثار جزیره حرارتی بر آن بی‌اثر فرض می‌شود (مونتاوز و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به نظریات راجکا پان، جیمی و لیم (۲۰۱۴)، عوامل مؤثر بر وقوع و شدت جزیره حرارتی به دو دسته تقسیم می‌شود: دسته اول: عوامل هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، رطوبت و پوشش ابر؛ دسته دوم: محصول طراحی شهری شامل تراکم ساختمانی، نسبت ابعاد، عامل دید آسمان، و مواد ساختمانی (ناکاتا-اوساکی و همکاران، ۲۰۱۸). شدت جزیره حرارتی بستگی شدیدی به سیستم‌های هواشناسی دارد؛ به‌طوری که در طول روز نسبتاً ضعیف است و در شب‌های آرام (بدون باد) و صاف دارای بیشترین مقدار است (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱). به عبارتی دیگر، بیشینه شدت جزیره حرارتی معمولاً در ساعات شبانه و کمینه آن در ساعات روزانه رخ می‌دهد. از آنجا که بیلان انرژی در شهرها تغییر می‌کند، شدت جزیره حرارتی نیز متغیر است. بنابراین، الگوی جزیره حرارتی به لحاظ فضایی و زمانی در شهرهای مختلف یکسان نیست (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲). در پهنه‌هایی که جزیره حرارتی شدت بیشتری دارد، میزان پوشش گیاهی کم و سطوح نفوذناپذیر انسان‌ساخت بیشتر مشاهده می‌شود (شیان و کرین، ۲۰۰۶). کاهش شدت جزیره حرارتی شهری به معنای پیشگیری از هدررفت سرمایه، ذخیره‌سازی انرژی، و جلوگیری از آلودگی هوا و آثار زیان‌بار آن بر سلامت جسمی، روحی، و روانی جامعه است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به گرم‌شدن جهانی زمین، اتخاذ تمهیدات لازم در زمینه کاهش شدت جزیره حرارتی ضرورتی دوچندان دارد.

داده‌ها و روش پژوهش

محدوده مورد مطالعه

شهر تبریز بین ۴۶/۱۷ درجه تا ۴۶/۳۹ درجه طول شرقی و ۳۸/۰۱ درجه تا ۳۸/۱۴ درجه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). این شهر با ۲۴۴/۵۱ کیلومتر مربع مساحت، پس از تهران و مشهد، سومین شهر بزرگ کشور محسوب می‌شود.

جمعیت شهر تبریز در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۱۵۹۳۳۷۳ نفر بوده که با توجه به این رقم ششمین شهر پرجمعیت ایران محسوب می‌شود. کوی ولیعصر یکی از محله‌های پرجمعیت شهر تبریز است. کنسولگری کشورهای ترکیه و جمهوری آذربایجان در مناطق شمالی این کوی قرار گرفته‌اند. همچنین، شهرداری منطقه ۵ تبریز در جنوب و یکی از ساختمان‌های شهرداری مرکزی تبریز در مرکز کوی ولیعصر واقع شده‌اند. مرکز تجارت جهانی تبریز، که نخستین مرکز تجارت جهانی ایران شناخته می‌شود، نیز در شمال این منطقه واقع شده است. این کوی به دو قسمت ولیعصر جنوبی و شمالی تقسیم می‌شود که از سمت ولیعصر شمالی به اتوبان پاسداران و از سمت ولیعصر جنوبی به اتوبان کسایی دسترسی دارد. شنب‌غازان یکی از مناطق غرب تبریز است و بدون احتساب اراضی غیرمسکونی از طرف شمال به خیابان فرهنگ و خیابان قدس و از جنوب به خیابان ۲۲ بهمن یا خیابان راه‌آهن و از غرب به جاده سنتو یا بلوار کارگر و از شرق به خیابان دامپزشکی یا شهید نجاتی محدود می‌شود. این محله در همسایگی محلات «آخونی»، «خطیب»، «حکم‌آباد»، «قراملک»، و «خانه‌سازی» یا «شهرک امام» قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر روش توصیفی-تحلیلی و دارای ماهیت توسعه‌ای-کاربردی است. در این پژوهش داده‌های مورد نیاز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، اسنادی، و میدانی به دست آمد. در این پژوهش از داده‌های زیر استفاده شد: ۱. نقشه کاربری اراضی شهر تبریز ۱:۲۰۰۰؛ این نقشه از سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تبریز به صورت شیب فایل تهیه شد که مربوط به سال ۱۳۹۰ است؛ ۲. dem ۱:۲۰۰۰؛ ۳. لایه طبقات ساختمان‌ها؛ لایه طبقات ساختمان‌ها از معاونت شهرسازی و معماری-شهرداری تبریز به صورت شیب فایل تهیه شد که مربوط به سال ۱۳۹۰ است؛ ۴. لایه

شبکه معابر: لایه شبکه معابر نیز از معاونت شهرسازی و معماری - شهرداری تبریز به صورت شیب فایل تهیه شد؛ ۵. تصویر لندست: در این تحقیق از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده^۱ OLI و^۲ TIRS در گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۴ برای سال‌های ۲۰۱۹/۰۱/۱۳ و ۲۰۱۹/۰۸/۱۲ استفاده شده است. برای اجرای محاسبه نسبت ارتفاع- عرض (H/W)، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 10.5 محور مرکزی معابر تعیین و سپس جهت تعیین ارتفاع متوسط ساختمان‌های مؤثر در تغییرات جزیره حرارتی شعاع ۲۰ متری سمت چپ و راست محور معابر برای کوی ولیعصر و شعاع ۱۵ متری برای منطقه شنب غازان در نظر گرفته شد (انتخاب شعاع‌ها به پهنای معابر بستگی دارد). پس از انتخاب شعاع مناسب هر دو منطقه، بلوک‌های مورد نظر استخراج و تفکیک شد. با توجه به تعداد طبقات ساختمان (۱ تا ۵) برای منطقه شنب غازان و (۱ تا ۱۱) برای کوی ولیعصر، ارتفاع متوسط هر بلوک و میزان همگنی یا ناهمگنی هر بلوک تعیین شد. با توجه به معابر، بلوک‌های مناطق مورد مطالعه به ۱۰ بلوک مختلف از A تا J تفکیک شد. پس از انتخاب شعاع مناسب بلوک ساختمانی در هر محور، ارتفاع ساختمان‌ها نیز به سه دسته کم، متوسط، و زیاد طبقه‌بندی شد. سپس، با استفاده از نسبت H/W، شدت جزیره حرارتی در هر بلوک محاسبه شد. همچنین، برای برآورد اثر عرض معابر و ارتفاع ساختمان بر تغییرات شدت جزیره حرارتی شهر تبریز، مدل رگرسیون چندگانه به کار گرفته شد. نهایتاً پس از محاسبه شدت جزیره حرارتی در مناطق کوی ولیعصر و شنب غازان، شدت جزایر حرارتی هر دو منطقه با هم مقایسه شد و با نقشه دمای سطح زمین (LST)^۳ اخذ شده از سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ تطبیق داده شد. در این پژوهش از نرم‌افزارهای زیر استفاده شد:

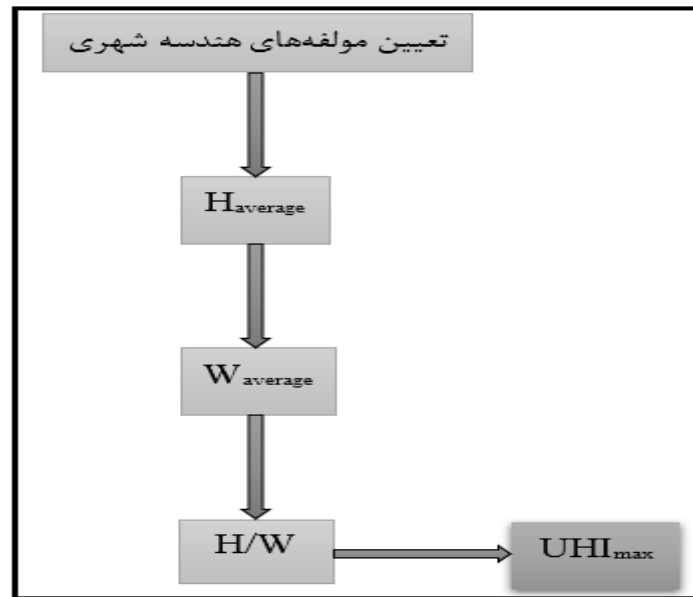
نرم‌افزار ARC GIS: در این تحقیق از نرم‌افزار ARC GIS 10.5 برای تهیه نقشه همگن و ناهمگنی در بلوک‌ها، نقشه تفکیک نهایی بلوک‌های مناطق مورد مطالعه و نقشه دمای سطح زمین استفاده شد و همچنین سه‌بعدی‌سازی بلوک‌ها در ARC Scene انجام شد؛

نرم‌افزار ENVI: در این تحقیق از ENVI 5.3 برای تصحیحات لازم بر روی تصویر حرارتی لندست ۸ استفاده شد؛

نرم‌افزار SPSS: در این تحقیق برای انجام دادن رگرسیون خطی چندمتغیره بر روی داده‌های اخذ شده از تصاویر استفاده شد.

به نظر اوک، تجزیه و تحلیل مورفومتری می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب جهت بررسی اثر تغییرات ساختار شهری بر روی جزیره حرارتی شهر مورد توجه قرار گیرد (گو و چانگ، ۱۹۹۹). شکل ۲ مراحل اجرایی مدل Oke را نشان می‌دهد.

1. Operational Land Imager
2. Thermal Infrared Sensor
3. Land Surface Temperature



شکل ۲. مراحل اجرای مدل Oke

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

در این روش هندسه شهری شامل ارتفاع بنا عرض خیابان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (دالوئین و بوزونت، ۲۰۱۵).

$$\Delta T_{u-r(max)} = 7.45 + 3.97 \ln(H/W)$$

رابطه (۱)

$$\Delta T_{u-r(max)} = \text{حداکثر شدت جزیره حرارتی}$$

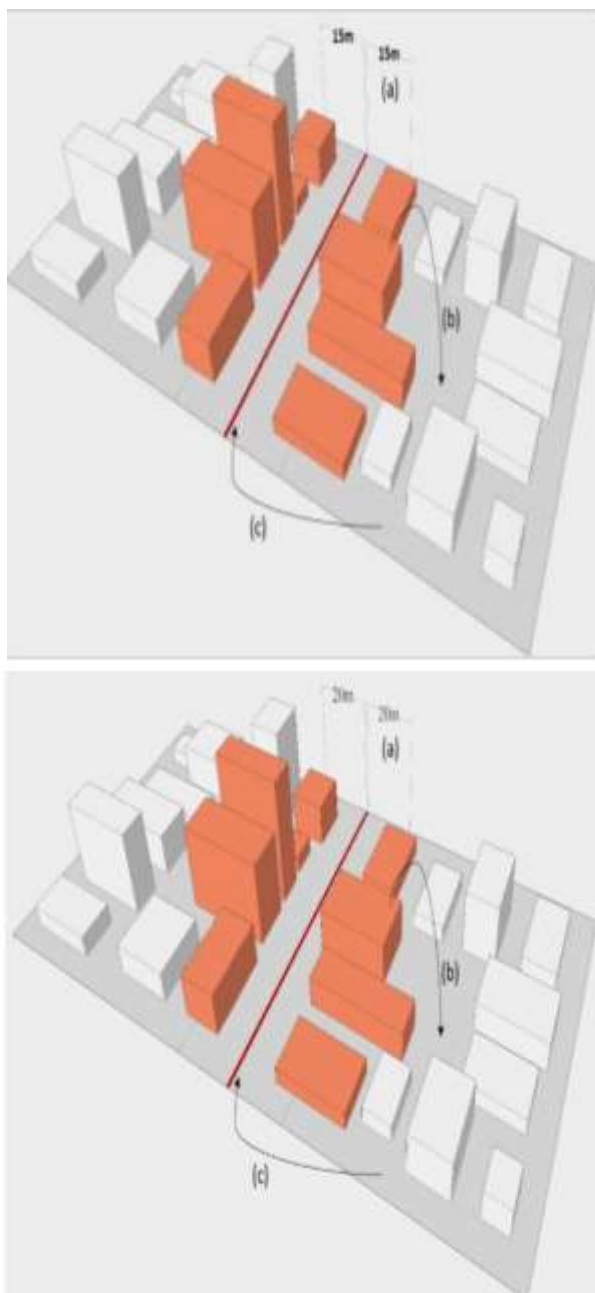
$$H/W = \text{نسبت بین ارتفاع متوسط ساختمان و عرض متوسط خیابان}$$

مبنای نظری - عددی مورد بحث نشان می‌دهد که شبیه‌سازی نسبت H/W یکی از راه‌های مناسب برای توصیف هندسه شهری است. افزایش مقدار این نسبت می‌تواند به افزایش جزیره حرارتی شهری از طریق مدل‌سازی منجر شود (ناکاتا - اوساکی و همکاران، ۲۰۱۵). این مدل مزیت‌های بسیاری نسبت به سایر روش‌های برآورد جزیره حرارتی شهری دارد. بنابراین، پارامتر انتخاب شده برای محاسبه هندسه شهری نسبت H/W و مدل استفاده شده برای تخمین شدت حداکثر جزیره حرارتی مدل Oke است.

بحث و یافته‌ها

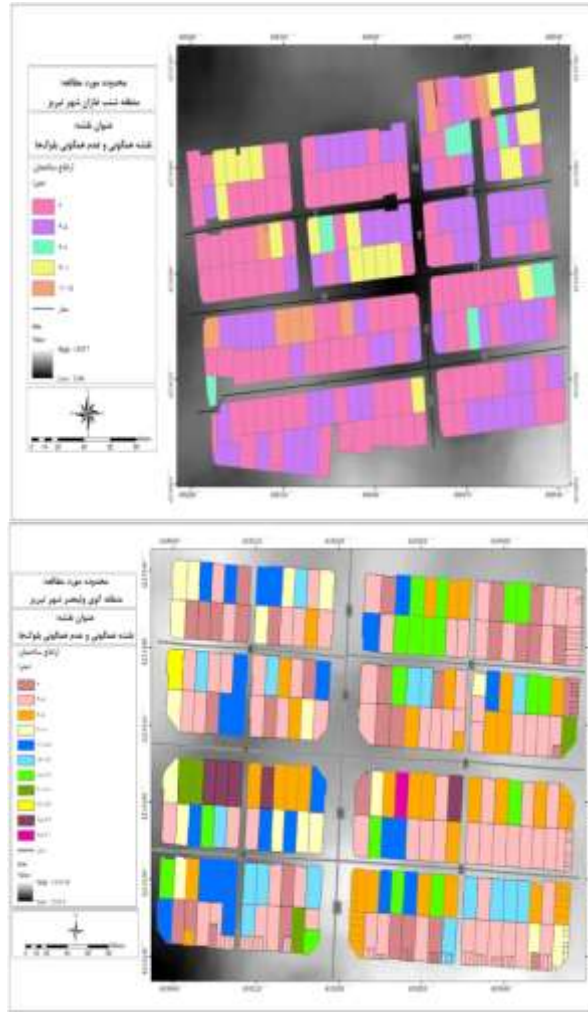
نتایج حاصل از انتخاب شعاع مناسب و بلوک‌بندی

در محدوده ولعصر پهنای معابر ۴۰ متر است. بنابراین، پس از تعیین محور مرکزی معابر، شعاع ۲۰ متری سمت چپ و راست معابر در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب شعاع ۲۰ متری زیاد بودن عرض معابر در این منطقه است. پهنای معابر در شب غازان ۳۰ متر است. بنابراین، در این منطقه نیز پس از تعیین محور مرکزی معابر شعاع ۱۵ متری در سمت چپ و راست معابر در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب شعاع ۱۵ متری کم بودن عرض معابر در این منطقه است (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل‌های ۳ و ۴. به ترتیب از راست به چپ نحوه انتخاب شعاع مناسب در سمت چپ و راست معابر کوی ولیعصر و شنب غازان
منبع: علیجانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ناکاتا-اوساکی و همکاران، ۲۰۱۸

با توجه به معابر، بلوک‌های مورد نظر در هر دو منطقه به ۱۰ بلوک A تا J استخراج و تفکیک شد. با توجه به تعداد طبقات ساختمان‌ها در کوی ولیعصر (۱ تا ۱۱ طبقه)، ارتفاع متوسط هر بلوک به چهار دسته کم (۳ متر)، متوسط (۸ متر)، زیاد (۱۵ متر)، و خیلی زیاد (۳۰ متر) و در منطقه شنب غازان نیز با توجه به تعداد طبقات ساختمان‌ها (۱ تا ۵ طبقه)، ارتفاع متوسط هر بلوک یعنی ارتفاع کم (۳ متر)، متوسط (۸ متر)، و زیاد (۱۵ متر) طبقه‌بندی شد. بنابراین، میزان همگنی و ناهمگنی بلوک‌ها و تفکیک نهایی بلوک‌ها تعیین شد (شکل‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۸).



شکل‌های ۵ و ۶. به ترتیب از راست به چپ نقشه همگن و ناهمگنی در بلوک‌های کوی ولیعصر و شنب غازان
منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

متوسط ارتفاع بناهای واقع در شعاع تعیین شده از رابطه ۲ و عرض متوسط معابر از رابطه ۳ محاسبه شدند.

$$H = \frac{h1+h2+h3+...+h4}{3} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$H = \frac{h1+h2+h3+...+h4}{x} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$W = \frac{Dr1+Dr2+Dr3+...+Dry}{y} + \frac{DI1+DI2+DI3+...+DIz}{z} \quad \text{رابطه (۳)}$$

H= ارتفاع متوسط هر بلوک

h= ارتفاع هر ساختمان در شعاع مورد نظر

W= عرض متوسط هر خیابان

Dr= فاصله هر بنا تا شعاع مورد نظر در بلوک‌های سمت راست

DI = فاصله هر بنا تا شعاع مورد نظر در بلوک‌های سمت چپ

برای برآورد اثر عرض معابر و ارتفاع ساختمان بر تغییرات شدت جزیره حرارتی شهر تبریز، مدل رگرسیون چندگانه به کار گرفته شد. نهایتاً پس از محاسبه شدت جزیره حرارتی در مناطق کوی ولیعصر و شنب غازان، شدت جزایر حرارتی هر دو منطقه با هم مقایسه شد و با نقشه دمای سطح زمین (LST)^۱ اخذ شده از سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ تطبیق داده شد. محاسبه دمای سطحی پس از تصحیحات لازم روی تصویر حرارتی و محاسبه گسیلمندی بر اساس رابطه ۴ محاسبه شد.

$$LST = \frac{TB}{1 + (\lambda * \frac{TB}{P}) \ln(e)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

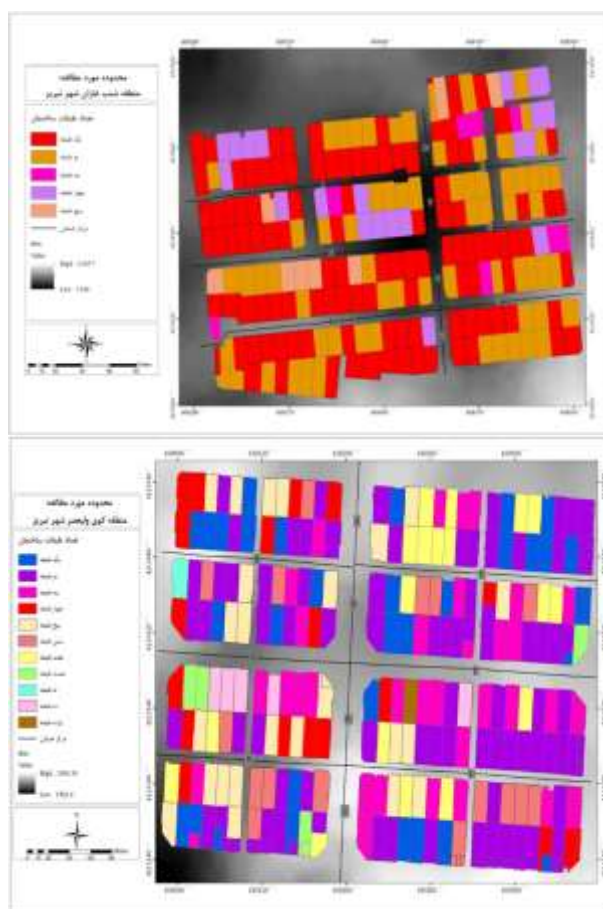
LST = دمای سطح زمین بر حسب درجه سانتی‌گراد

TB = درجه حرارت در سطح سنجنده

λ = طول موج رادیانس بر حسب متر

P = برابر با ۱,۴۳۸

e = گسیلمندی سطح زمین



شکل‌های ۷ و ۸. به ترتیب از راست به چپ نقشه تفکیک نهایی بلوک‌های کوی ولیعصر و شنب غازان

منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

¹. Land Surface Temperature

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

پس از محاسبات هندسه کوی ولیعصر، نتایج حاصل از خروجی (جدول ۳) نشان داد که بلوک‌های A، C، E، G، H، I و J از نظر ارتفاع ساختمان به صورت ناهمگن توزیع شده‌اند، اما توزیع بلوک‌های B، D و F نشان از پیکربندی استاندارد آن‌ها دارد. اگرچه بلوک‌های F و E از نظر عرض معابر تنوع کمتری نسبت به سایر بلوک‌ها دارند، از نظر ارتفاع ساختمان‌ها (۱۲/۲ و ۸/۴) دارای الگوهای مختلفی هستند که ارزش حداکثر UHI آن‌ها به ترتیب ۵/۴ و ۴ درجه است. سه بلوک A، D و G علاوه بر اینکه از لحاظ عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها بسیار شبیه هم‌اند، از نظر نسبت H/W و ارزش شدت جزیره حرارتی با مقادیر ۲/۸، ۱/۹ و ۲/۹ درجه با یکدیگر همخوانی دارند. دو بلوک J و G نیز از نظر عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها به صورت کامل شبیه هم‌اند. همچنین، مشخص شد که بیشترین اختلاف نسبت H/W بین دو بلوک D با ضریب ۰/۲۵ و بلوک H با ضریب ۱/۲۳ برقرار است؛ این تفاوت موجب شده است که اختلاف حداکثر شدت جزیره حرارتی نیز بین دو بلوک به مقدار ۶/۳ درجه به ثبت برسد.

جدول ۳. داده‌های خروجی حاصل از محاسبات مورفومتری کوی ولیعصر

Axis	H med(m)	W med(m)	H/W ratio	UHI max(c)
A	۸,۷	۲۸	۰,۳۱	۲,۸
B	۸	۸,۸	۰,۹۰	۷
C	۸,۷	۱۱,۸	۰,۷۳	۶,۱
D	۷,۴	۲۹,۲	۰,۲۵	۱,۹
E	۱۲,۲	۱۹,۸	۰,۶۱	۵,۴
F	۸,۴	۱۹,۳	۰,۴۳	۴
G	۹,۲	۲۸,۳	۰,۳۲	۲,۹
H	۱۱,۴	۹,۲	۱,۲۳	۸,۲
I	۹	۱۲,۹	۰,۶۹	۵,۹
J	۹,۲	۲۸,۳	۰,۳۲	۲,۹

منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

نتایج حاصل از محاسبات مورفومتری منطقه شب غازان (جدول ۴) نیز نشان داد که بلوک‌های A، B، C، D و E از نظر ارتفاع ساختمان به صورت ناهمگن توزیع شده‌اند، اما بلوک‌های F، G، H، I و J به صورت همگن توزیع شده‌اند و نشان از پیکربندی استاندارد آن‌ها دارد. اگرچه بلوک‌های F و C از نظر عرض معابر دارای تنوع کمتری نسبت به سایر بلوک‌ها هستند، از نظر ارتفاع ساختمان‌ها (۵/۱ و ۴/۱) دارای الگوهای مختلفی هستند که ارزش حداکثر UHI آن‌ها به ترتیب ۶/۶ و ۶ درجه است. دو بلوک I و H علاوه بر اینکه از لحاظ عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها بسیار شبیه به هم‌اند، از نظر نسبت H/W و ارزش شدت جزیره حرارتی با مقادیر ۴/۲ و ۴/۶ درجه با یکدیگر همخوانی دارند. از نظر ارتفاع ساختمان‌ها، دو بلوک D و C با ۵/۱ متر و همچنین بلوک‌های J و F با ۴/۱ متر اگرچه یکسان‌ان، از نظر عرض معابر به ترتیب ۶/۲، ۱۳/۲، ۵/۸ و ۱۶/۴ تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهند.

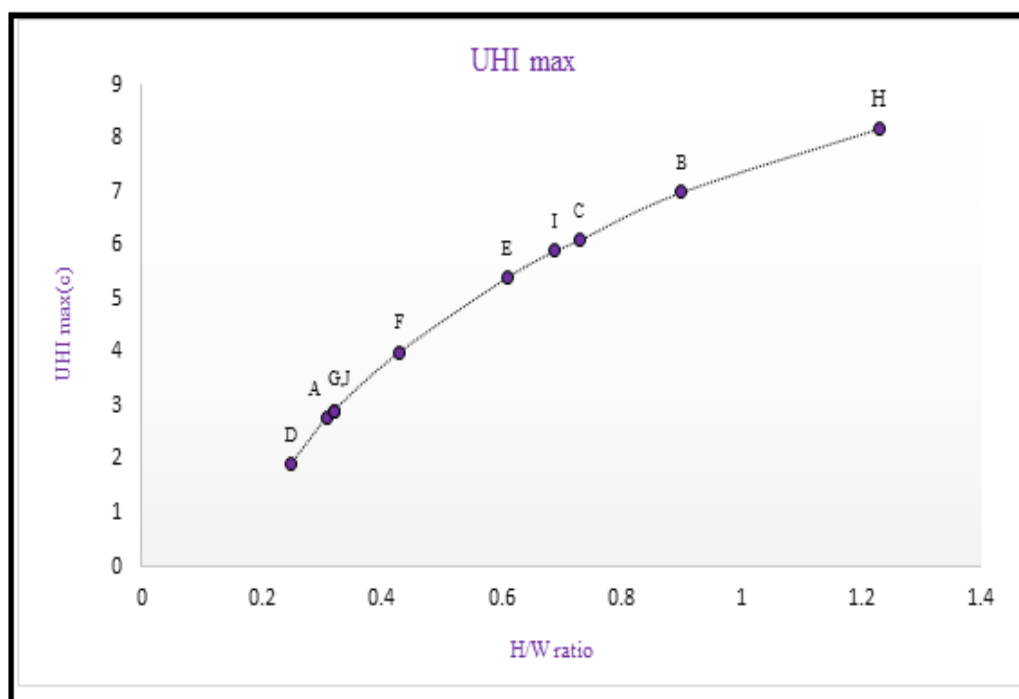
با توجه به نسبت H/W مندرج در جدول‌ها، می‌توان گفت میزان نسبت H/W بر اقلیم منطقه و میزان حرارت اطراف ساختمان‌ها و معابر اثر می‌گذارد. هر چه میزان این نسبت بزرگ‌تر شود جزیره حرارتی شهر نیز با روند صعودی همراه خواهد بود. به عبارتی دیگر، هر چه میزان ارتفاع متوسط ساختمان نسبت به متوسط عرض معابر زیاد باشد جزیره حرارتی شهر نمود بیشتری پیدا می‌کند، زیرا پس‌داد انرژی به واسطه کم‌بودن عرض خیابان در امتداد قائم کم شده و باعث به تله

افتادن حرارت و عدم پس‌داد آن به محیط خارج از شهر می‌شود. نتایج بررسی‌های اوساکی و همکاران (۲۰۱۵) و علیجانی و همکاران (۱۳۹۶) با نتایج این تحقیق یعنی مؤثر بودن نسبت H/W بر شدت جزیره حرارتی مطابقت دارد. شکل ۹ ارتباط بین نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معابر و حداکثر جزیره حرارتی در سطح کوی ولیعصر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹، می‌توان اذعان کرد که هر چه مقدار نسبت H/W افزایش یابد بر میزان شدت جزیره حرارتی افزوده می‌شود. همچنین، با توجه به شکل ۹، می‌توان دریافت که بلوک D با ۱/۹ درجه دارای کمترین و بلوک H با ۸/۲ درجه بیشترین شدت جزیره حرارتی را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، می‌توان اذعان کرد که با توجه به عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها، بلوک D استانداردترین و بلوک H غیراستانداردترین پیکربندی را در این منطقه داراست.

جدول ۴. داده‌های خروجی حاصل از محاسبات مورفومتری منطقه شنب‌غازان

Axis	H med(m)	W med(m)	H/W ratio	UHI max(c)
A	۴٫۷	۱۳	۰٫۳۶	۳٫۳
B	۴٫۶	۵٫۴	۰٫۸۵	۶٫۸
C	۵٫۱	۶٫۲	۰٫۸۲	۶٫۶
D	۵٫۱	۱۳٫۲	۰٫۳۸	۳٫۶
E	۶٫۲	۹	۰٫۶۸	۵٫۹
F	۱٫۴	۵٫۸	۰٫۲۰	۶
G	۳٫۶	۱۸٫۴	۰٫۱۹	۰٫۸
H	۴	۸٫۷	۰٫۴۵	۴٫۲
I	۴٫۲	۸٫۴	۰٫۵	۴٫۶
J	۱٫۴	۱۶٫۴	۰٫۰۸	۱٫۷

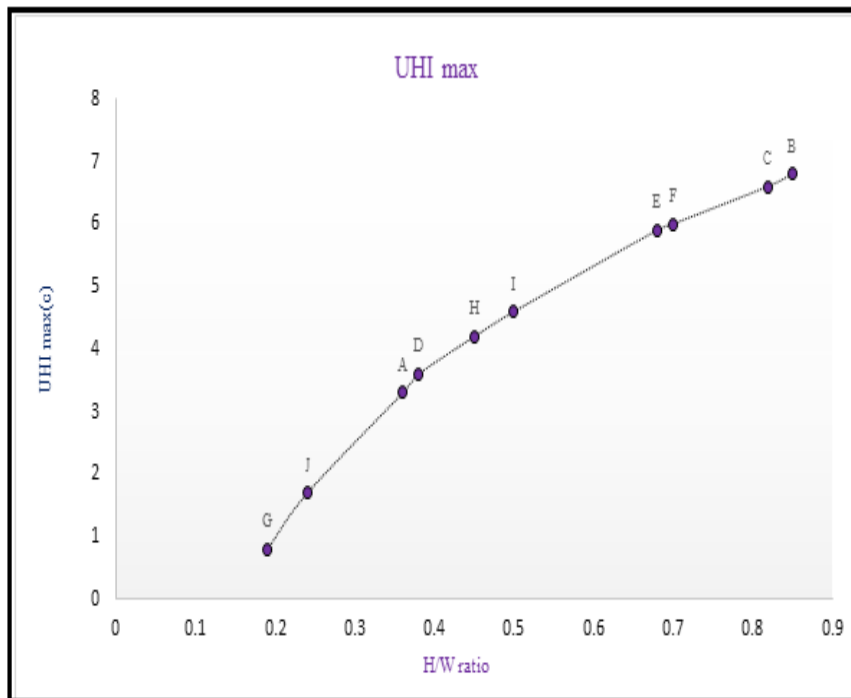
منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۹. ارتباط بین شدت UHI شبیه‌سازی شده و نسبت H/W کوی ولیعصر

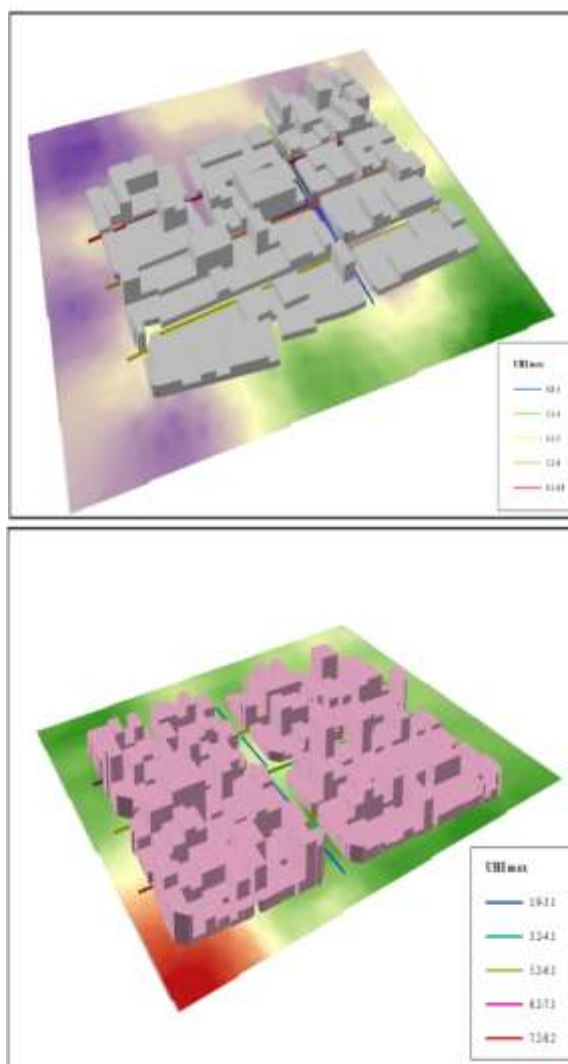
منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

شکل ۱۰ نیز ارتباط بین نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معابر و حداکثر جزیره حرارتی در سطح منطقه شنب غازان را نشان می‌دهد. در این منطقه نیز با توجه به شکل ۱۰ می‌توان گفت هر چه مقدار نسبت H/W افزایش یابد بر میزان شدت جزیره حرارتی افزوده می‌شود. همچنین، با توجه به شکل ۱۰ می‌توان دریافت که بلوک G با ۰٫۸ درجه کمترین و بلوک B با ۶٫۸ درجه بیشترین شدت جزیره حرارتی را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، می‌توان گفت، با توجه به عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها، بلوک G استانداردترین و بلوک B غیراستانداردترین پیکربندی را در این منطقه دارا می‌باشند.



شکل ۱۰. ارتباط بین شدت UHI شبیه‌سازی شده و نسبت H/W منطقه شنب غازان
منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ می‌توان گفت که پیکربندی نامناسب هندسه شهری به وسیله ساختمان‌های مرتفع و عرض کم معابر سبب سکون هوا و کاهش سرعت باد در محدوده شهری می‌شود. از این رو، برای تسهیل خروج حرارت از سطح شهر باید عرض معابر و ارتفاع ساختمان را متناسب هم در نظر گرفت تا باعث به‌دام‌انداختن انرژی مازاد در سطح معابر شهرها نشود. زیرا این مسئله افزایش شدت جزیره حرارتی سطح شهر را در پی خواهد داشت. نتایج این بررسی یعنی ارتباط بین جزیره حرارتی و نسبت ارتفاع ساختمان بر عرض معابر با نتایج بررسی‌های ذکر شده در متن مطابقت دارد. پس از محاسبه نسبت H/W ، نتایج حداکثر شدت UHI در مناطق مورد مطالعه شهر تبریز با استفاده از نرم‌افزار ArcScene به صورت مدل سه‌بعدی شبیه‌سازی و ترسیم شد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).



شکل‌های ۱۱ و ۱۲. به ترتیب از راست به چپ نمایش سه‌بعدی نتایج حاصل از شبیه‌سازی کوی ولیعصر و شنب‌غازان در ArcScene: منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

در مجموع، با توجه به تجزیه و تحلیل خروجی حاصل از معادلات انجام‌شده، نتایج شبیه‌سازی بر اساس مدل Oke نشان داد که در کوی ولیعصر، زمانی که نسبت H/W بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۲ است، حداکثر شدت جزیره حرارتی در محدوده ۱/۹ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد باقی می‌ماند. اما وقتی که نسبت H/W در محدوده ۰/۴۳ تا ۱/۲۳ متفاوت است، ارزش حاصل از حداکثر جزیره حرارتی بین ۴ تا ۸/۲ درجه خواهد بود. در منطقه شنب‌غازان نیز زمانی که نسبت H/W بین ۰/۱۹ تا ۰/۳۸ است، حداکثر شدت جزیره حرارتی در محدوده ۰/۸ تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد باقی می‌ماند. اما وقتی که نسبت H/W در محدوده ۰/۴۵ تا ۰/۸۵ متفاوت است، ارزش حاصل از حداکثر جزیره حرارتی بین ۴/۲ تا ۶/۸ درجه خواهد بود. ذکر این نکته لازم است که این مدل نشان می‌دهد، در صورت وجود تنوع یا ناهمگنی بزرگ‌تر، شدت جزیره حرارتی در ضرایب پایین‌تر H/W نسبت به ضرایب بالاتر H/W بیشتر خواهد بود. یعنی هر قدر ناهمگنی بین ارتفاع ساختمان‌ها و عرض معابر زیاد باشد، شدت جزیره حرارتی نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین، ساختمان‌های شهری با نما و ابعاد هندسی مختلف و بلندمرتبه به‌ویژه زمانی که عرض خیابان و کوچه‌ها کم باشد باعث جذب بیشتر انرژی و تولید گرمای بیشتر می‌شوند.

بررسی عوامل مؤثر بر میزان جزیره حرارتی

در این تحقیق به منظور بررسی عوامل مؤثر بر میزان شدت جزیره حرارتی- با استفاده از تحلیل رگرسیون چندمتغیره- دو متغیر عرض معابر و ارتفاع ساختمان تحلیل رگرسیونی شدند. یکی از عوامل مدنظر در تحلیل رگرسیون استقلال خطاها (تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی شده توسط معادله رگرسیون) از یکدیگر است. بدین منظور، در این پژوهش از آزمون دوربین- واتسون استفاده شد. جدول ۵ نشان می‌دهد آزمون دوربین- واتسون برابر ۱/۹۰۸ است که در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد. بنابراین، عدم همبستگی بین خطاها (استقلال خطاها) پذیرفته شد. با توجه به جدول ۵، اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته تحقیق در سطح اطمینان ۰/۹۹ معنی‌دار شده است؛ بنابراین، می‌توان بر اساس جدول ضرایب، معادله رگرسیونی را نوشت. با توجه به جدول ۵، عرض معابر به‌عنوان قوی‌ترین متغیر تأثیرگذار معنی‌دار وارد تحلیل شده که با ضریب رگرسیونی ۰/۹۰۶- به‌تنهایی ۰/۹۱ تغییرات متغیر جزیره حرارتی را پیش‌بینی کند. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متغیرهای مستقل بر وابسته تحقیق، می‌توان معادله رگرسیونی را به شرح زیر نوشت:

$$UHI = 2.872 - 0.906 W + 0.247 H \quad \text{رابطه (۵)}$$

UHI = جزایر حرارتی

W = عرض معابر

H = ارتفاع ساختمان

با توجه به نتایج حاصله از برآورد مدل رگرسیون چندمتغیره عوامل مؤثر بر میزان شدت جزیره حرارتی کوی ولیعصر شهر تبریز، ضریب رگرسیونی (B) برای متغیر عرض معابر معادل ۰/۹۰۶- بود. یعنی با یک واحد افزایش عرض معابر، میزان جزیره حرارتی ۰/۹۰۶- واحد کاهش می‌یابد. ضریب رگرسیونی به‌دست‌آمده برای متغیر ارتفاع ساختمان ۰/۲۴۷ بود. بنابراین، با یک واحد افزایش به ارتفاع ساختمان میزان جزیره حرارتی ۰/۲۴۷ واحد افزایش می‌یابد (جدول ۵).

جدول ۵. اثرات عرض معابر و ارتفاع ساختمان بر نوسان جزیره حرارتی کوی ولیعصر شهر تبریز

گام	متغیر مستقل	R	R2	AD R2	B	Beta	T	Sig	F	Sig(F)
۱	عرض معابر	۰/۹۶۱	۰/۹۲۳	۰/۹۱۳	۰/۹۰۶	-۰/۹۰۵	-۱۷/۱۹۹	۰/۰۰	۹۶/۰۳۶	۰/۰۰
۲	ارتفاع ساختمان	۰/۹۹۱	۰/۹۸۲	۰/۹۷۶	۰/۲۴۷	۰/۲۴۸	۴/۷۱۷	۰/۰۲	۱۸۶/۶۷۷	۰/۰۰

دوربین- واتسون: ۱/۹۰۸
B ثابت: ۲/۸۷۲

منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

با توجه به جدول ۶ سطح اطمینان ۰/۹۹ معنی‌دار شده است. آزمون دوربین- واتسون برابر ۱/۷۵۱ است. بنابراین، در این تحلیل هم عدم همبستگی بین خطاها (استقلال خطاها) پذیرفته شد. با توجه به جدول ۶ عرض معابر با ضریب رگرسیونی ۰/۸۹۰- و ضریب تعیین ۰/۹۲ بیشترین تأثیر را در جزیره حرارتی داشته و ارتفاع ساختمان با ضریب رگرسیونی ۰/۲۴۴ و ضریب تعیین ۰/۹۷ کمترین تأثیر را داشته است. عرض معابر با ضریب رگرسیونی ۰/۸۹۰- نشان می‌دهد، با یک واحد افزایش عرض معابر، میزان جزیره حرارتی ۰/۸۹۰- واحد کاهش می‌یابد. همچنین، ضریب رگرسیونی برای ارتفاع ساختمان با ۰/۲۴۴ نیز نشان داد که با افزایش یک واحد به ارتفاع ساختمان، میزان جزیره حرارتی ۰/۲۴۴ واحد افزایش می‌یابد. معادله رگرسیونی نیز در این منطقه به‌صورت رابطه ۶ است.

$$UHI = 2.023 - 0.890 W + 0.244 H \quad \text{رابطه (۶)}$$

جدول ۶. اثرات عرض معابر و ارتفاع ساختمان بر نوسان جزیره حرارتی منطقه شنب غازان شهر تبریز

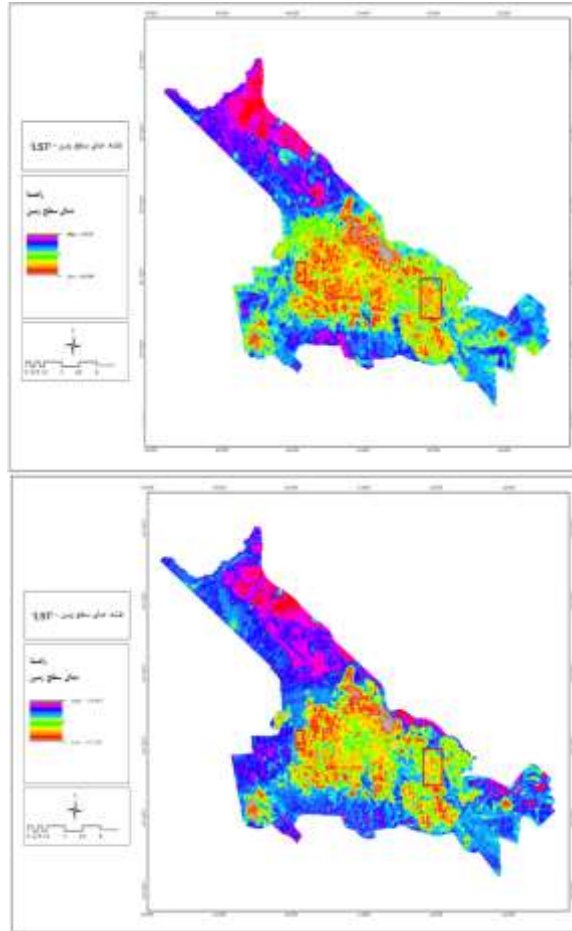
گام	متغیر مستقل	R	R ²	R ² AD	B	Beta	T	Sig	F	Sig(F)
۱	عرض معابر	۰٫۹۶۴	۰٫۹۳۹	۰٫۹۲۰	-۰٫۸۹۰	-۰٫۸۸۸	-۱۷٫۰۲۵	۰٫۰۰۰	۱۰۴٫۷۹۸	۰٫۰۰۰
۲	ارتفاع ساختمان	۰٫۹۹۱	۰٫۹۸۳	۰٫۹۷۸	۰٫۲۴۴	۰٫۲۴۴	۴٫۶۶۹	۰٫۰۰۲	۱۹۹٫۵۴۱	۰٫۰۰۰

دوربین - واتسون: ۱٫۷۵۱ B ثابت: ۲٫۰۲۳

منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

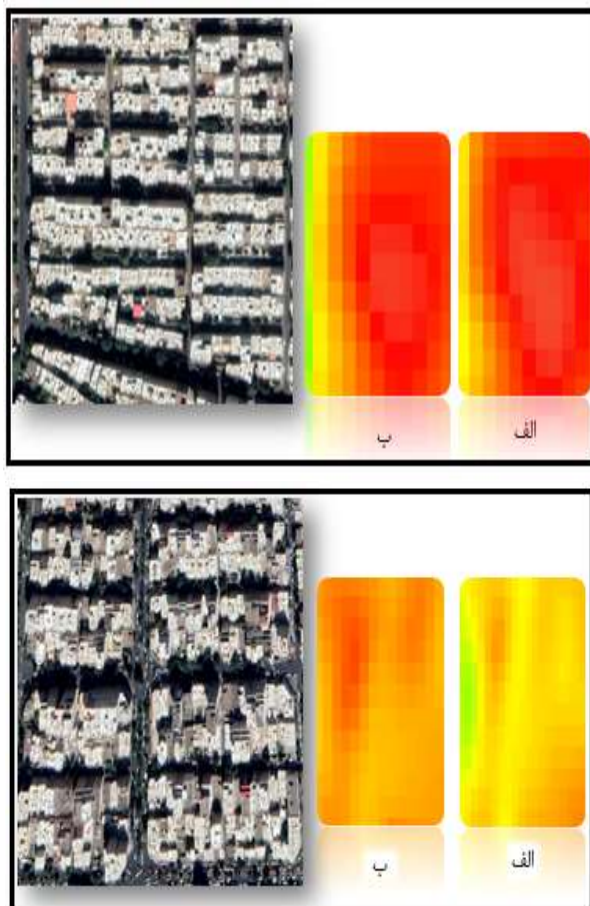
همان‌طور که نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد، متغیر عرض معابر در هر دو منطقه کوی ولیعصر و شنب غازان بیشترین تأثیر را دارد و متغیر ارتفاع ساختمان دارای کمترین تأثیر است. در مقایسه عرض معابر دو منطقه می‌توان گفت که کوی ولیعصر با ضریب تعیین ۰٫۹۱ کمترین تأثیر و منطقه شنب غازان با ضریب تعیین ۰٫۹۲ بیشترین تأثیر را دارد. ارتفاع ساختمان نیز به‌تنهایی با ضریب تعیین ۰٫۶ در کوی ولیعصر نسبت به منطقه شنب غازان با ضریب تعیین ۰٫۵ بیشترین تأثیر را داشته است. در مجموع، می‌توان گفت تغییرات جزیره حرارتی شهر تبریز تحت تأثیر عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها قرار دارد. بنابراین، تراکم ساختمانی و کاهش فضاهای باز شهری باعث کاهش سرعت باد می‌شود و از انتقال آلودگی و حرارت سطح شهر جلوگیری می‌کند و بر حرارت شهری می‌افزاید. همچنین، ارتفاع ساختمان‌ها مقدار تابش دریافت‌شده و ساطع‌شده به وسیله زیرساخت‌های شهری را تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث می‌شوند که حداکثر جزیره حرارتی افزایش یابد؛ بدین‌صورت که در طی روز موج کوتاه به‌سرعت به سطح می‌رسد، ولی در طی شب گرمای ذخیره‌شده در خیابان‌ها و ساختمان‌ها به‌آهستگی به هوا منعکس می‌شود و هر اندازه که ارتفاع ساختمان‌ها بیشتر و عرض معابر کمتر باشد روند کاهش دما نیز کندتر می‌شود. ضمن آنکه ساختمان‌های بلندمرتبه، علاوه بر آنکه مانعی بر سر راه وزش بادهای هستند، گرمای بیشتری را در خود ذخیره می‌کنند و روند خنک‌شدن هوا را با تأخیر مواجه می‌کنند و بر شدت جزیره حرارتی شهری می‌افزایند.

در این پژوهش از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ در گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۴ برای سال‌های ۲۰۱۹/۰۱/۱۳ و ۲۰۱۹/۰۸/۱۲ استفاده شده است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نقشه دمایی مناطق مورد مطالعه شهر تبریز به‌ترتیب برای سال‌های ۲۰۱۹/۰۱/۱۳ و ۲۰۱۹/۰۸/۱۲ ارائه شده است.



شکل‌های ۱۳ و ۱۴. به ترتیب از راست به چپ نقشه دمای سطح زمین مناطق مور مطالعه شهر تبریز برای ژانویه و آگوست ۲۰۱۹ (سانتی‌گراد)
منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

با توجه به شکل‌های ۱۵ و ۱۶ مشخص شد که کوی ولیعصر در دو فصل زمستان و تابستان به ترتیب بیشترین و کمترین دما را دارد؛ در حالی که دمای سطح زمین در هر دو فصل زمستان و تابستان در منطقه شب‌غازان تفاوت چندانی نداشته و دما در این منطقه در سطح پایینی قرار دارد. استفاده ترکیبی از پارامترهای هندسه شهری در نحوه توزیع حرارت در دو منطقه شهری و در دو بازه زمانی نوآوری این تحقیق است. مشارکت تحقیق با موارد زیر اضافه و اصلاح شد.



شکل‌های ۱۵ و ۱۶. به ترتیب از راست به چپ کوی ولیعصر و سنب‌غازان. شکل‌های الف و ب جزایر ایجادشده به ترتیب در فصل زمستان و تابستان
منبع: نتایج پژوهش، ۱۳۹۹

نتایج این تحقیق با تحقیقات ریو و بایک (۲۰۱۲) که با مطالعه عوامل ایجادکننده جزیره گرمای شهری و سهم نسبی آن‌ها در شدت UHI در بازه زمانی روز و شب، گرمای انسانی، سطوح غیر قابل نفوذ، و هندسه شهری سه‌بعدی را در کنار گرمای اضافی ذخیره‌شده در دیواره‌های عمودی، تابش خورشید، و کاهش سرعت باد را شبیه‌سازی کردند مطابقت دارد، که مشخص شد نقش هندسه شهری بیش از عوامل دیگر در کاهش و افزایش مقادیر جزیره حرارتی است. مطالعه ناکاتا-اوساکی و همکاران (۲۰۱۸) که با برنامه توسعه‌ای تحت عنوان THIS همراه بوده و در دو شهر برزیلی اجرا شده از لحاظ مؤثر بودن نسبت H/W بر شدت جزیره حرارتی مطابقت دارد. بنابراین، با تحقیق حاضر همخوانی دارد. لیانگ و همکاران (۲۰۲۰) چگونگی رابطه بین هندسه شهری و شدت UHI در امتداد شیب توسعه شهری برای مناطق شهری جینگ جین جی در چین در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، و ۲۰۱۵ را مطالعه کردند و نشان دادند که توسعه شهری، تراکم جمعیت، پیچیدگی هندسه شهری، و شاخص پوشش گیاهی همگی نقش مهم‌تری در افزایش جزیره حرارتی ایفا می‌کنند، که در این میان سهم نسبی هندسه شهری به تدریج در حال افزایش است و باید در سطح پیشرفته توسعه شهری ارزیابی شود و از جنبه هندسه شهری و تأثیر آن با تحقیق مقاله حاضر همخوانی دارد. به نظر می‌رسد در تحقیقات آتی باید به طرز استفاده از انرژی کارآمد با استفاده از اثرات هندسه شهری در توزیع دمای شهرها پرداخته شود.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که افزایش جمعیت و ساختوسازها در کلان‌شهر تبریز باعث افزایش درجه حرارت شهری شده است. نتایج اخذشده از هر دو منطقه نمایانگر این بود که شرایط فیزیکی و هندسی شهر تبریز تأثیر بسیار زیادی در افزایش جزیره حرارتی شهر بر جای می‌گذارد؛ به طوری که هر قدر ساختمان‌ها بلندمرتبه‌تر و با فاصله نزدیک به هم و عرض معابر کمتر باشد مقدار شدت جزیره حرارتی بیشتر است و بالعکس این شرایط، مقدار شدت جزیره حرارتی کمتر خواهد بود. با کاهش اندازه عرض معابر، الگوی بادهای محلی تغییر یافته است و به ندرت می‌توانند آزادانه در معابر گردش کنند و حرارت را به خارج از محیط هدایت و دمای آنجا را تعدیل نمایند. معابر کم‌عرض در طول روز گرما را جذب می‌کنند و تا ساعت‌ها پس از غروب آفتاب آن را در محیط شهری نگه می‌دارند. این معابر کم‌عرض همانند دره‌ای عمیق و باریک به کاهش طول موج بلند تابش از محیط عرض باریک خیابان منجر می‌شوند و گرما را در سطح معابر نگه می‌دارند که این عمل موجب بالا رفتن شدت جزیره حرارتی می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان داد، در کوی ولیعصر، از میان ۱۰ بلوک، بلوک D با ۱/۹ درجه و بلوک H با ۸/۲ درجه سانتی‌گراد دارای کمترین و بیشترین مقدار شدت جزیره حرارتی هستند. در منطقه شب غازان نیز از میان بلوک‌ها، بلوک G با ۰/۸ درجه کمترین و بلوک B با ۶/۸ درجه بیشترین شدت جزیره حرارتی را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، می‌توان اذعان کرد که با توجه به عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها در کوی ولیعصر و منطقه شب غازان به ترتیب بلوک D و G استانداردترین و بلوک H و B غیراستانداردترین پیکربندی را در این مناطق دارا می‌باشند. نتایج نهایی نشان داد با اینکه ارتفاع ساختمان در افزایش شدت جزیره حرارتی نقش بسزایی دارد، بر اساس برآورد حاصل از مدل رگرسیون چندمتغیره، اثر عرض معابر در کوی ولیعصر با ۰/۹۱ بسیار بیشتر از ارتفاع ساختمان با ۰/۶ و در منطقه شب غازان با ۰/۹۲ بسیار بیشتر از ارتفاع ساختمان با ۰/۵ در تغییرات شدت جزیره حرارتی نقش دارد. همچنین، مقایسه متغیرهای عرض معابر و ارتفاع ساختمان در مناطق مورد مطالعه نشان داد که عرض معابر در کوی ولیعصر کمترین تأثیر را نسبت به منطقه شب غازان داشته و ارتفاع ساختمان‌ها بالعکس. نتایج حاصل از دمای سطح زمین در مناطق مورد مطالعه نیز نشان داد که کوی ولیعصر در دو فصل زمستان و تابستان به ترتیب بیشترین و کمترین دما را دارد؛ در حالی که دمای سطح زمین در هر دو فصل زمستان و تابستان در منطقه شب غازان تفاوت چندانی نداشته و دمای سطح زمین در این منطقه در سطح پایینی قرار دارد.

سپاسگزاری

از معاونت شهرسازی و معماری - شهرداری تبریز و سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تبریز جهت در اختیار گذاشتن داده‌های مورد استفاده قدردانی می‌شود.

منابع

۱. رضانی، بهمن و دخت‌محمد، سیده‌مریم، ۱۳۸۹، شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی در شهر رشت، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۱، شماره ۱، صص ۴۹-۶۴.
۲. شکیب، علیرضا؛ ضیائی‌ان فیروزآبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود و نامداری، سودابه، ۱۳۸۸، تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM و TM، مجله سنجش/از دور و GIS، سال ۱، شماره ۱، صص ۳۹-۵۶.
۳. صادقی‌نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول و ضیائی‌ان، پرویز، ۱۳۹۱، تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۱، شماره ۴، صص ۱-۱۷.

۴. عزیز، قاسم؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ مهدیان ماه‌فروزی، مجتبی و میری، مرتضی، ۱۳۹۲، تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهری تهران از الگوهای همدیدی جو، فصل‌نامه محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۴، صص ۵۵-۶۶.
۵. عشقی، ابوالفضل و قنبرزاده، هادی، ۱۳۸۷، مابانی میکروکلیماتولوژی و آب و هوای محلی، مشهد: سخن‌گستر.
۶. علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۹۷، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، تهران: دانشگاه تهران.
۷. علیجانی، بهلول؛ طولابی‌نژاد، میثم و صیادی، فریبا، ۱۳۹۶، محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری مورد مطالعه: (محلّه کوچک‌باغ شهر تبریز)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۴، شماره ۳، صص ۹۹-۱۱۲.
۸. فرید، یداله، ۱۳۸۸، جغرافیا و شهرشناسی، تبریز: دانشگاه تبریز.
۹. کاویانی، عباس؛ سهرابی، تیمور و دانش کار آراسته، پیمان، ۱۳۹۲، تخمین دمای سطح زمین با استفاده از شاخص اختلاف نرمال‌شده (NDVI) در تصاویر سنجنده‌های MODIS و Landsat ETM، نشریه هواشناسی کشاورزی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۴-۲۵.
۱۰. کرمی‌راد، سینا؛ آبادی، محمدعلی و حبیبی، امین، ۱۳۹۷، سنجش تأثیر هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی در مقیاس خرداقلیم در فضای باز مجتمع مسکونی گل‌دشت شیراز، فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۸، شماره ۲۹، صص ۱۶۱-۱۷۲.
۱۱. مجنون توتاخانه، علی و رمضانی، محمد ابراهیم، ۱۳۹۸، بررسی و ارزیابی وضعیت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، دوره ۷۲، شماره ۱، صص ۲۹-۴۳.
۱۲. محرمی، جاوید، ۱۳۹۳، بررسی نقش کاربری اراضی در تولید جزیره گرمایی شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
۱۳. محمودزاده، حسن؛ نقدبیشتی، افسانه و مؤمنی، سحر، ۱۳۹۷، تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۷، شماره ۲۷.
۱۴. موسوی بایگی، محمد؛ اشرف، بتول؛ فرید حسینی، علیرضا و میان‌آبادی، آمنه، ۱۳۹۱، بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، مجله جغرافیا و مخابرات محیطی، سال ۱، شماره ۱، صص ۳۵-۴۹.
۱۵. هاشمی، سیدمحمود؛ علوی‌پناه، سیدکاظم و دنیاروندی، مرتضی، ۱۳۹۲، ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی، فصل‌نامه محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۱، صص ۷۲۳-۷۳۴.
16. Andrew, F., 2012, *Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain*, Division of Physical Geography and Ecosystem Analysis, Lund University.
17. Chen, H.; Ooka, R. and Kato, S., 2008, Study on optimum design method for pleasant outdoor thermal environment using genetic algorithms (GA) and coupled simulation of convection, radiation and conduction, *Building and Environment*, Vol. 43, No. 1, PP. 18-30.
18. Chen, H.; Ooka, R. and Kato, S., 2008, Study on optimum design method for pleasant outdoor thermal environment using genetic algorithms (GA) and coupled simulation of convection, radiation and conduction. *Building and Environment*, 43(1), 18-30.
19. Chow, W. T. and Roth, M., 2006, Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 26, No. 15, PP. 2243-2260.
20. Dhalluin, A. and Bozonnet, E., 2015, Urban heat islands and sensitive building design—A study in some French cities' context, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 19, PP. 292-299.
21. Gartland, L., 2011, *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*, Oficina de Textos.
22. Goh, K. C., & Chang, C. H. (1999). The relationship between height to width ratios and the heat island intensity at 22: 00 h for Singapore. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 19(9), 1011-1023.
23. Heidt, V. and Neef, M., 2008, *Benefits of urban green space for improving urban climate*, In *Ecology, planning, and management of urban forests* (pp. 84-96). Springer, New York, NY.
24. Lau, K. K. L.; Chung, S. C. and Ren, C., 2019, Outdoor thermal comfort in different urban settings of sub-tropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification, *Building and Environment*, Vol. 154, PP. 227-238.

25. Levermore, G. J. and Cheung, H. K. W., 2012, A low-order canyon model to estimate the influence of canyon shape on the maximum urban heat island effect, *Building Services Engineering Research and Technology*, Vol. 33, No. 4, PP. 371-385.
26. Liang, Z.; Wu, S.; Wang, Y.; Wei, F.; Huang, J.; Shen, J. and Li, S., 2020, The relationship between urban form and heat island intensity along the urban development gradients, *Science of The Total Environment*, Vol. 708, 135011.
27. Liu, L. and Zhang, Y., 2011, Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong, *Remote Sensing*, Vol. 3, No. 7, PP. 1535-1552.
28. Mahmoudzadeh, H.; Naghdbishi, A. and Momeni, S., 2018, The Impact of Urban Use on Creation of Thermal Islands (Case Study: Mashhad City), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Vol. 7, No. 27, PP. 105-119.
29. Mohammed, Y., & Salman, A. (2018). Effect of urban geometry and green area on the formation of the urban heat island in Baghdad city. In *MATEC web of Conferences* (Vol. 162, p. 05025). EDP Sciences.
30. Montávez, J. P.; González-Rouco, J. F. and Valero, F., 2008, A simple model for estimating the maximum intensity of nocturnal urban heat island, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 28, No. 2, PP. 235-242.
31. Nakata-Osaki, C. M.; Souza, L. C. L. and Rodrigues, D. S., 2015, *A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry*.
32. Nakata-Osaki, C. M.; Souza, L. C. L. and Rodrigues, D. S., 2018, THIS–Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 67, PP. 157-168.
33. Oke, T. R. (1997). Urban environments. The surface climates of Canada, 303-327.
34. Oke, T. R., & Cleugh, H. A. (1987). Urban heat storage derived as energy balance residuals. *Boundary-Layer Meteorology*, 39(3), 233-245.
35. Oke, T. R., 1973, City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment (1967)*, Vol. 7, No. 8, PP. 769-779.
36. Oke, T. R., 1981, Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations, *Journal of climatology*, Vol. 1, No. 3, PP. 237-254.
37. Oke, T. R., 1982, The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 108, No. 455, PP. 1-24.
38. Rajagopalan, P., Lim, K. C., & Jamei, E. (2014). Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. *Solar Energy*, 107, 159-170.
39. Ramírez-Aguilar, E. A. and Souza, L. C. L., 2019, Urban form and population density: Influences on Urban Heat Island intensities in Bogotá, Colombia, *Urban Climate*, Vol. 29, 100497.
40. Roth, M.; Oke, T. R. and Emery, W. J., 1989, Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, No. 11, PP. 1699-1720.
41. Ryu, Y. H. and Baik, J. J., 2012, Quantitative analysis of factors contributing to urban heat island intensity. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(5), 842-854.
42. Voogt, J. A. and Oke, T. R., 2003, Thermal remote sensing of urban climates, *Remote sensing of environment*, Vol. 86, No. 3, PP. 370-384.
43. Xian, G. and Crane, M., 2006, An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data, *Remote Sensing of environment*, Vol. 104, No. 2, PP. 147-156.
44. Xiao, R. B.; Ouyang, Z. Y.; Zheng, H.; Li, W. F.; Schienke, E. W. and Wang, X. K., 2007, Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 19, No. 2, PP. 250-256.