

محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری

مورد مطالعه: محله کوچه باغ شهر تبریز

بهلول علیجانی، استاد اقلیم شناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

میثم طولابی نژاد^۱، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

فریبا صیادی، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

چکیده

این تحقیق باهدف جهت شبیه سازی و محاسبه حداکثر شدت جزیره حرارتی (UHI_{max}) با توجه به شرایط هندسه شهری در منطقه کوچه باغ شهر تبریز با استفاده از معادله عددی - نظری Oke به رشته تحریر درآمد. جهت انجام این کار، ابتدا هندسه محله مورد نظر با توجه به شعاع ۱۵ متری از محور معابر به بلوک های مجزایی تقسیم بندی شد. سپس نسبت عرض معابر (W) و ارتفاع بناها (H) در نرم افزار GIS محاسبه و در پایان بر اساس معادله Oke، شدت UHI_{max} محاسبه و شبیه سازی گردید. نتایج حاصل از این شبیه سازی نشان داد، که در محله کوچه باغ تبریز هر چه بناها بلندتر و عرض معابر کمتر باشد میزان شدت جزیره حرارتی بیشتر، و هر قدر عکس این شرایط حاکم باشد، مقدار UHI_{max} نیز کم تر خواهد بود. همچنین زمانی که نسبت H/W در منطقه شهری مورد مطالعه بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۱ است، UHI_{max} بین ۵ تا ۶/۶ درجه سانتی گراد باقی می ماند؛ اما وقتی که نسبت H/W در محدوده ۱/۰۱ تا ۱/۹۸ قرار داشته باشد، ارزش UHI_{max} بین ۷/۵ تا ۱۰/۲ درجه خواهد بود. نتایج دیگر این مدل نشان داد که، در این محله بلوک A با ۵ درجه و بلوک H با ۱۰/۲ درجه سانتی گراد دارای کمترین و بیشترین مقدار شدت UHI می باشند. بنابراین می توان گفت که بلوک A استانداردترین و بلوک H غیر استانداردترین پیکربندی را در این محله دارا بودند. برآورد حاصل از مدل رگرسیون نیز نشان داد که عرض معابر (با ۹۱/۶ درصد) نسبت به ارتفاع ساختمان (با ۶/۶ درصد) اثر بیش تری در تغییرات UHI_{max} دارد.

واژگان کلیدی: جزیره حرارتی، شبیه سازی UHI ، هندسه شهری، معادله Oke، شهر تبریز.

Email:

۱ - نویسنده مسئول:
meysam.toulabi@gmail.com

مقدمه

اقلیم شهری به شدت تحت تأثیر فرایندهای ناشی از کار و زندگی شهری قرار دارد. گسترش شهرها و به دنبال آن افزایش ساخت‌وسازهای انسانی باعث به وجود آمدن تغییراتی در اقلیم شهری شده است. افزایش درجه حرارت شهرها نسبت به اطراف یکی از اثراتی است که به دخالت مستقیم انسان‌ها مرتبط است. گرمایش ساختمان‌ها، آلودگی هوا و استفاده از مصالح نامناسب در کف‌سازی خیابان‌ها و کوچه‌ها (مانند آسفالت خیابان‌ها به واسطه رنگ تیره در جذب انرژی) از عوامل تأثیرگذار بر پدیده جزایر حرارتی شهری به حساب می‌آید. این اثر شرایط نامطلوبی را برای شهروندان باعث می‌شود. توجه به سطوح شهری شامل سطوح پیاده و سواره و بام‌ها در کاهش این اثر، بزرگ‌ترین نقش را دارد.

غالباً با شهرها به واسطه اقلیم خاصی که نسبت به حومه خود دارند، دارای اقلیم ویژه‌ی هستند که به آن اقلیم شهری اطلاق می‌شود. از معضلاتی که امروزه بیشتر شهرهای بزرگ با آن روبه‌رو هستند، پدیده جزیره حرارتی شهری یا (UHI) می‌باشد. تفاوت درجه حرارت بین مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی را جزیره حرارتی شهری می‌گویند (Dhalluin & Bozonnet, 2010; 292). امروزه با توجه به رشد شهرنشینی و به دنبال آن توسعه شهرها، جزایر حرارتی در شهرهای بزرگ روند روبه‌رشدی را در پیش گرفته‌اند (Chen et al, 2009; 12). به‌طور کلی، جزیره حرارتی شهر ناشی از ویژگی‌های شهرسازی، آلودگی هوا، گرمای انسانی، وجود سطوح نفوذناپذیر در سطح شهر، خواص حرارتی مواد و هندسه سطوح شهری می‌باشد (Osaki et al, 2010; 2). پدیده جزیره حرارتی شهر نتیجه عوامل بسیاری است که در ذیل به صورت خلاصه آورده شده است: (۱) هندسه (مورفومتری) شهری، (۲) خواص حرارتی مواد، که باعث افزایش ذخیره شدن گرمای محسوس در بافت شهر می‌شود (۳) گرمای انسانی آزاد شده که نتیجه احتراق‌ها، سوخت و متابولیسم حیوانات است. (۴) گازهای گلخانه‌ی شهری، که منجر به ازدیاد تابش موج بلند، آلوده شدن و در نتیجه گرم‌تر شدن اتمسفر شهر می‌شود. (۵) کاهش سطوح تبخیر در شهرها، به این معنی که بیشتر انرژی به صورت حرارت محسوس و کمتر به صورت گرمای نهان آزاد می‌شود. (۶) کاهش انتقال تلاطم گرما از درون خیابان می‌شود (Oke et al, 1991; 340). به‌طور کلی دماهای شبانه (مانند دمای کمینه) بیشتر تحت تأثیر آثار شهری قرار می‌گیرد و توسعه شهرنشینی می‌تواند روند افزایشی دماهای کمینه شهرها را تشدید کند. به هنگام روز به دلیل تلاطم و اختلاط و افزایش ارتفاع لایه مرزی، میزان گرمای تولید شده در شهرها در حجم خیلی وسیع‌تر توزیع می‌گردد و در نتیجه تفاوت چندانی بین روند افزایشی دماهای بیشینه شهر و حومه نمی‌رود (رنجبر سعادت آبادی، ۱۳۸۴: ۶۲).

امروزه مطالعات اقلیم شهری بیشتر بر روی آن دسته از عناصر شهر متمرکز و تثبیت شده که نقش مهمی در تغییر عناصر اقلیمی بازی می‌کنند. ارتباط بین کاربری اراضی و دمای سطحی در شهرها ارتباط نزدیکی با ساختار فضایی محیط حرارتی شهری دارد (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۲: ۲). این ارتباط نشان می‌دهد که در بعضی از مناطق شهری نقاط خاصی پدید می‌آیند که دمای سطحی آن‌ها نسبت به سایر مناطق تغییرات چشم‌گیری دارند. جزیره حرارتی باعث افزایش دمای بعضی از مناطق شهری خواهد شد که این موضوع با عوامل متعدد انسانی و طبیعی در ارتباط است (Streutker, 2003; 283). از جمله اثرات مخرب ناشی از جزایر حرارت شهری می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ۱- افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ی و آلودگی هوا - ۲- افزایش مصرف انرژی: اثر جزایر گرمایی ۵ الی ۱۰ درصد از اوج تقاضای برق برای سرمایش ساختمان‌ها در شهرها را بر عهده دارد. ۳- تهدید سلامتی: جزایر گرمایی می‌توانند

به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامتی و رفاه اجتماعی شهروندان تأثیرگذارند. روزها و شب‌های گرم‌تر به همراه آلودگی هوا، می‌توانند باعث ایجاد ناراحتی‌های عمومی، مشکلات تنفسی، خستگی، گرم‌زدگی و مرگ‌ومیرهای ناشی از گرما شود. ۴- کاهش کیفیت آب: سطوح گرم و سطوح بام گرمی اضافی را به سیل آب‌ها 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. بنابراین بررسی وضعیت پراکندگی تابش‌های حرارتی و ارتباط آن‌ها با انواع کاربری‌های موجود، در شناخت میکروکلیمای نواحی مختلف شهرها دارای اهمیت زیادی می‌باشد. با توجه به این که تمرکز زیاد آلاینده‌ها اعم از سیستم حمل و نقل شهری و صنایع در هر قسمت از شهر باعث افزایش میزان گازهای آلاینده می‌گردد، این گازها به دلیل عبور امواج کوتاه خورشیدی از خود و جذب امواج بلند زمینی، پدیده گلخانه‌ای را در محل استقرار خود تشدید می‌کند، که این پدیده عامل مهمی در افزایش دمای منطقه محسوب شده، جزایر گرمایی را شدت بخشیده و بدلیل اینکه تقریباً نیمی از جمعیت دنیا در شهرها زندگی می‌کنند (رضانی و دخت‌محمد، ۱۳۸۹: ۵۱)، جزیره گرمایی به طور مستقیم سلامتی و آسایش ساکنان شهر را تحت تأثیر قرار داده و باعث بسیاری از معضلات شهری و زیست‌محیطی می‌گردد؛ بنابراین انجام پژوهش‌هایی از این دست که با سلامتی انسان سروکار دارد، ضرورتی دو چندان می‌یابد.

اوک (۱۹۸۱)، جزو اولین کسانی بود که با در نظر گرفتن مورفومتری شهر به بررسی یک مدل تجربی ساده در مورد جزیره حرارتی مبادرت نموده و به توسعه آن پرداخت. این مدل قادر به پیش‌بینی حداکثر شدت جزیره حرارتی در یک مکان است. هندسه شهری (مورفومتری) به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری جزیره حرارتی می‌باشد. در بسیاری از مطالعات (اوک، ۱۹۸۱؛ Oliveira et al, ۲۰۰۹; Memon et al, ۲۰۱۰; Marciotto et al, ۲۰۱۰; Memonet et al, ۲۰۱۰; al, ۲۰۱۰; Levermore & Cheug, ۲۰۱۲) مورفومتری شهر با نسبت H/W (ارتفاع ساختمان‌ها/عرض خیابان‌ها) در نظر گرفته‌اند. با توجه به مطالعات اوک (۱۹۸۱) و (Svensson et al, ۲۰۰۲)، سه نوع مدل می‌توان برای تحقیقات مربوط آب‌وهوا در محیط‌های شهری اعمال کرد: عددی، فیزیکی و مدل‌های تجربی. برای بررسی بیلان انرژی و پیش‌بینی جزایر حرارتی، بسیاری از محققان شبیه‌سازی عددی (Zinzi et al, ۲۰۰۲; Santo; Han et al, ۲۰۰۷; Atkinson, ۲۰۰۳) یا شبیه‌سازی تجربی (Fahmy et al, ۲۰۱۲; al, ۲۰۱۲; et Balazs et al, ۲۰۰۹; Jusuf & Hien, ۲۰۰۹; Chen et al, ۲۰۰۸) به کار گرفته‌اند. مدل‌های تجربی در مرحله اول بر اساس مشاهدات بیلان انرژی سطح (SEB) است. مدل‌های تجربی در مرحله اول بر اساس مشاهدات بیلان انرژی سطح به منظور تولید جریان انرژی از لایه سطحی، با استفاده از روابط آماری به دست‌آمده از مشاهدات به شبیه‌سازی می‌پردازند که این روابط عبارت‌اند از الگوریتم‌های آماری، پارامترها، فرمول‌های مهندسی و مفهوم کیفی می‌باشد. در بین مدل‌های تجربی، روش‌های محیطی رایج‌ترین می‌باشند که این روش به رابطه بین شدت جزیره حرارتی شهر و پارامترهای هواشناسی و دیگر پارامترهای فیزیکی مؤثر بر شکل‌گیری آن‌ها می‌پردازد. (Nakata et al, ۲۰۱۵)، در مقاله‌ی با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی، که در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) گنجانده شده بود، به منظور محاسبه حداکثر شدت جزایر حرارت شهری بر اساس داده‌های هندسه شهری اقدام کردند. پس از مطالعه و انتخاب ابزار GIS موجود، به شبیه‌سازی جزیره حرارتی شهر در حالات مختلف شهری پرداختند. (Dhalluin and Bozonnet, ۲۰۱۵)، در تحقیقی در فرانسه در مورد راهکارهای

۱. Surface Energy Balance

۲. Geographic Information Systems

کاهش مقدار جزیره حرارتی شهر دریافتند که چندین روش جهت این کار می‌توان استفاده نمود. از جمله این راهکارها می‌توان به استفاده از ماسه‌های رنگی در پشت‌بام ساختمان‌ها، ایجاد فضای سبز بر بام ساختمان‌ها و استفاده از پوشش‌های خاص در نما و سقف بناها اشاره کرد. در تحقیقی دیگر (Bokaie et al, ۲۰۱۶)، به بررسی رابطه بین سطح زمین و پوشش زمین در تهران و حومه آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست پرداختند. نتایج نشان داد که بین دمای سطح زمین و پوشش زمین یک همبستگی منفی وجود دارد که این عامل در درجه اول به پوشش زمین در شهر تهران برمی‌گردد. (Theeuwes et al, ۲۰۱۶) با استفاده از یک مدل ابداعی ساده، مقدار جزیره گرمایی شهر را برای ۱۴ شهرستان در سراسر شمال غربی اروپا را محاسبه کرده و دریافتند که بین دره عمیق و باریک در منطقه شهری و مناطق روستایی اختلاف درجه حرارت وجود دارد.

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه جزیره حرارتی صورت گرفته است. از جمله: رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۵)، با مطالعه بر روی آثار جزیره حرارتی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین نشان دادند که افزایش قابل‌ملاحظه روند دمای کمینه تهران در مقایسه با بیشینه آن‌هاست. همچنین روند افزایش میانگین سالانه دمای کمینه در تهران تقریباً چهار برابر ورامین می‌باشد. این اختلاف‌های فاحش در روند افزایشی دمای کمینه تهران نسبت به ورامین بیانگر آثار شهری از جمله آزاد شدن گرمای دست‌ساز بشر و مصنوعی زیاد و در نتیجه ایجاد جزیره حرارتی و تغییرات اقلیم محلی در تهران می‌باشد. به منظور شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره حرارتی در شهر رشت رضانی و دخت‌محمد (۱۳۸۹)، با ۹ ایستگاه سینوپتیک و آمار روزانه طی بهمن ۸۵ تا خرداد ۸۶ به تحقیق پرداختند. نتایج نشان داد که اختلاف دمایی معادل ۵ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد بین مرکز جزیره حرارتی با نواحی اطراف در شرایط حداقل دمایی و اختلاف دمایی معادل ۳ الی ۵/۶ سانتی‌گراد در شرایط دمایی بیشینه به وجود می‌آید. صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱)، با تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از GIS و RS پرداختند. بررسی تغییرات زمانی شدت جزیره حرارتی تهران نیز نشان داد که مقدار شاخص نسبت جزیره حرارتی روند افزایشی دارد و از ۰/۱۱ سال ۱۹۸۶ به ۰/۱۵ در ۲۰۱۰ رسیده است. الحسینی المدرسی و همکاران (۱۳۹۴)، به استخراج جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر ASTER پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد که در مکان‌هایی که دارای پوشش گیاهی بیشتری هستند از دمای پایین‌تری نسبت به مکان‌هایی که فاقد پوشش گیاهی هستند برخوردارند. پورخباز و همکاران (۱۳۹۴)، با بررسی جزایر حرارتی در مناطق شهری مشهد دریافتند که بیشترین میانگین دما در زمین بایر شامل: مناطق شهری (مسکونی، رفاهی، حمل‌ونقل) و کمترین دما در زمین‌های کشاورزی و فضای سبز مشاهده گردید.

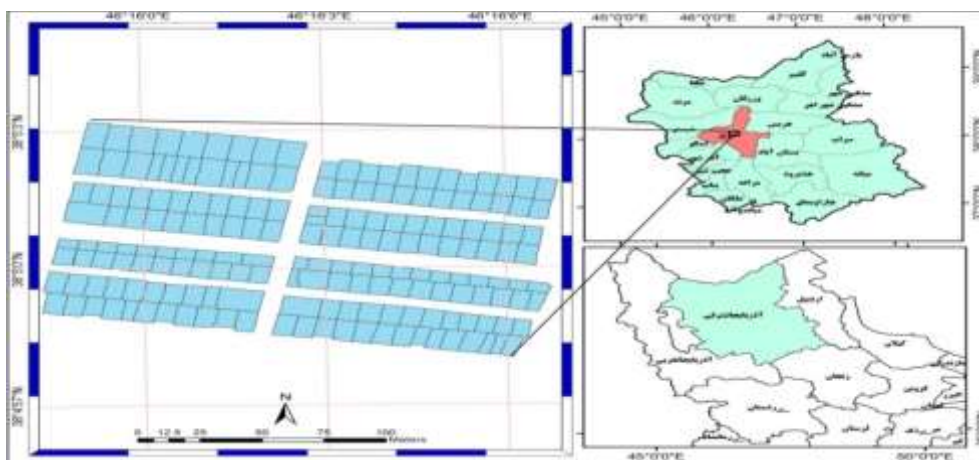
اکثر تحقیقات انجام شده در مورد اندازه‌گیری جزیره حرارتی شهر به شرایط دمای شهر توجه کرده‌اند (۲۰۱۴، Sailor, Guri & Apurba, ۲۰۱۴) و به هندسه شهر کمتر توجه شده است. در صورتی که هندسه و مورفولوژی شهر بویژه آرایش فضایی خیابان‌ها و فضاهای باز شهری و ابعاد ساختمان‌ها و خیابان‌ها در میزان جذب و دفع انرژی و به تبع آن میزان مصرف انرژی فسیلی نقش اساسی دارند (Neolia, et al, ۲۰۱۴)؛ ولی تاکنون کم‌تر تحقیقی در جهان و بخصوص ایران منتشر شده است که با شبیه‌سازی شرایط هندسه شهری، اثر ارتفاع بنا و عرض خیابان را بر روی شدت جزیره حرارتی شهر آشکار سازند؛ اما این تحقیق در نوع خود برای اولین بار در ایران به صورت مدون به رشته تحریر درآمد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، شبیه‌سازی و محاسبه حداکثر شدت جزیره حرارتی با توجه به شرایط

هندس شهری در منطقه کوچه‌باغ شهر تبریز می‌باشد که به نوبه خود در زمره اولین مطالعات صورت گرفته در ایران می‌باشد

داده‌ها و روش کار

رشد سریع شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر در افزایش دمای سطحی زمین در شهرها می‌باشد که باعث ایجاد پدیده جزیره گرمایی شهری در شهرها نسبت به مناطق پیرامونی آن‌ها شده است. بررسی وضعیت تابش خورشید با توجه به کاربری اراضی شهری در شناخت میکروکلیمای شهرها مؤثر است به گونه‌ای که کاربری‌های مختلف شهری دارای الگوهای دمایی متفاوتی هستند که دمای سطح زمین را متأثر می‌سازند (ایزدی و محمدی، ۱۳۹۴). روش‌های سنتی مطالعه جزیره گرمایی شهری بیشتر بر اساس داده‌های دمای ایستگاه‌های هواشناسی و یا پیمایش‌های انجام شده به وسیله وسایل نقلیه صورت می‌گرفت. استفاده از فن سنجش‌ازدور برای اندازه‌گیری و مطالعه جزیره گرمایی شهری روش نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر جایگزین روش‌های قدیمی‌تر شده است. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی با وجود قدرت تفکیک زمانی بالا و ثبت طولانی داده‌ها، از قدرت تفکیک مکانی پایینی برخوردارند. همچنین تعداد محدود این ایستگاه‌ها و فاصله زیاد بین آن‌ها، باعث کاهش دقت در تعمیم آمار به سایر نقاط می‌شود که خود موجب کاهش دقت مطالعات و تحلیل‌های مربوط به میکروکلیمای شهری می‌گردد. داده‌های سنجش‌ازدور نیز با وجود کوتاه بودن دوره ثبت و قدرت تفکیک زمانی محدودی که دارند، دارای قدرت تفکیک مکانی بالا و سطح دید گسترده‌ای هستند (محرمی، ۱۳۹۳: ۲۶). برخی از مطالعات مربوط به محاسبه نسبت H/W تنها با در نظر گرفتن عرض خیابان و یا اضافه کردن اندازه پیاده‌رو، و یا تنها با مراجعه به تصاویر ماهواره‌ای که قدرت تفکیک نسبتاً کمی دارند صورت گرفته است. اما از مزیت‌های این روش علاوه بر سهولت در وارد کردن داده‌ها، می‌توان به محاسبه حجم شهرها و شبیه‌سازی شدت جزیره حرارتی در سطح زمین و در اندازه یک محله اشاره نمود که این عمل از عهده تصاویر ماهواره‌ای خارج است. با توجه به اینکه محلاتی در برخی شهرها وجود دارد که در آن یک فضای خالی بزرگی در فواصل بین جلوی یک ساختمان با ساختمان‌های همسایه وجود دارد، این روش توسعه یافته می‌تواند محاسبه دقیق‌تری از تغییر فاصله بین نمای ساختمان‌ها داشته باشد.

منطقه مورد مطالعه محدوده کوچه‌باغ در تقاطع خیابان‌های قدس و فروردین واقع در شهر تبریز می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۲: موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

جهت انجام این تحقیق از معادله عددی-نظری اوک که در سال (۱۹۸۱) ارائه داد، استفاده گردید. به نظر اوک، تجزیه و تحلیل مورفومتریک می تواند به عنوان یک ابزار مناسب جهت بررسی اثر تغییرات ساختار شهری بر روی جزیره حرارتی شهر مورد توجه قرار گیرد (Chuan Goh & Hung Chang, ۱۹۹۹; ۱۱۰۱). در این روش هندسه شهری شامل ارتفاع بنا، عرض خیابان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می گردد (دالوین و بوژنت، ۲۰۱۵: ۲۹۴)

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

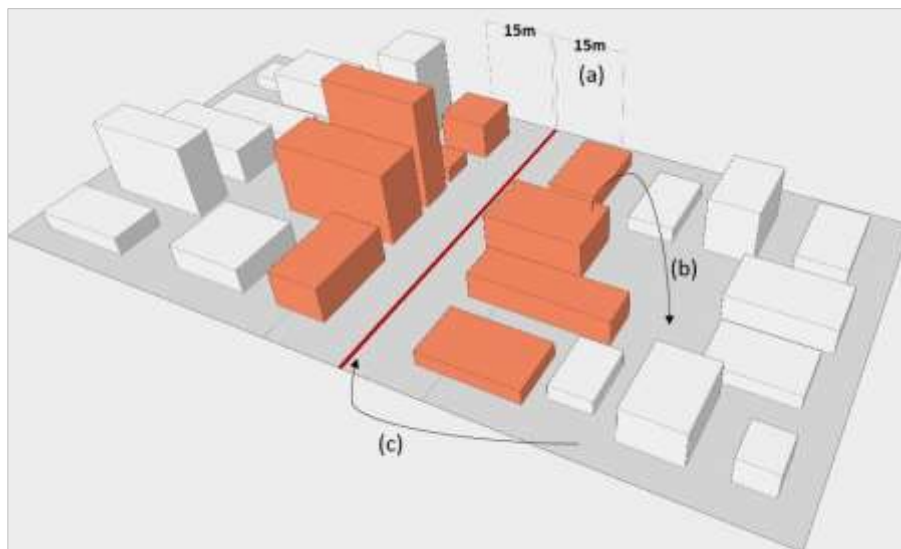
رابطه (۱)

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

H/W = نسبت بین ارتفاع متوسط ساختمان و عرض متوسط خیابان

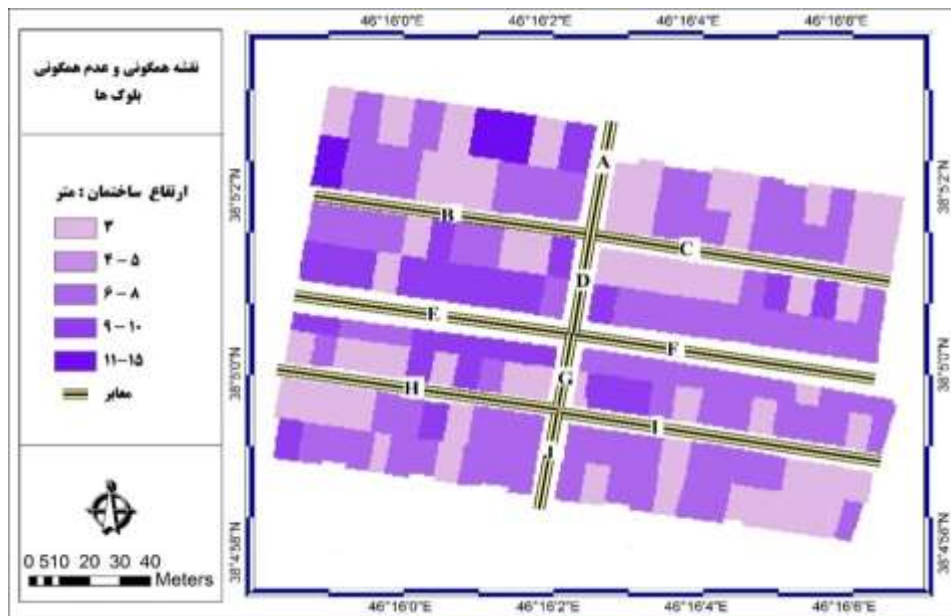
مبنای نظری- عددی مورد بحث نشان می دهد که شبیه سازی نسبت H/W یکی از راه های مناسب برای توصیف هندسه شهری است. افزایش مقدار این نسبت می تواند به افزایش جزیره حرارتی شهر از طریق مدل سازی منجر شود (اوساکی و همکاران، ۲۰۱۵، ۳). این مدل ها مزیت های بسیاری نسبت به سایر روش های برآورد جزیره حرارتی شهری دارد. با توجه به گفته های فوق، پارامتر انتخاب شده برای محاسبه هندسه شهری نسبت H/W و مدل استفاده شده برای تخمین شدت حداکثر جزیره حرارتی، مدل OKE می باشد.

جهت انجام محاسبه نسبت ارتفاع-عرض (H/W)، ابتدا با استفاده از نرم افزار Arc GIS ۱۰٫۳ محور مرکزی معابر تعیین و سپس جهت تعیین ارتفاع متوسط ساختمان های مؤثر در تغییرات جزیره حرارتی، شعاع ۱۵ متری سمت چپ و راست محور معابر در نظر گرفته شد (شکل ۲). (دلیل انتخاب شعاع ۱۵ متری، کم بودن عرض معابر در منطقه مورد مطالعه می باشد).



شکل ۲: نحوه انتخاب شعاع مناسب در سمت چپ و راست معابر (دالوین و بوژنت، ۲۰۱۵)

پس از انتخاب شعاع مناسب (۱۵ متری)، بلوک‌های موردنظر استخراج و تفکیک گردید. با توجه به تعداد طبقات ساختمان (۱ تا ۵ طبقه)، و ارتفاع متوسط هر بلوک یعنی ارتفاع کم (۳ متر)، متوسط (۸ متر) و زیاد (۱۵ متر) میزان همگنی و یا ناهمگنی هر بلوک تعیین شد (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه همگن و ناهمگنی در بلوک‌های منطقه مورد مطالعه

متوسط ارتفاع بناهای واقع در شعاع ۱۵ متری از رابطه (۲) و عرض متوسط معابر از رابطه (۳) محاسبه شدند.

$$H = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_x}{x} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$W = \frac{Dr_1 + Dr_2 + Dr_3 + \dots + Dr_y}{y} + \frac{DI_1 + DI_2 + DI_3 + \dots + DI_z}{z} \quad \text{رابطه (۳)}$$

H: ارتفاع متوسط هر بلوک

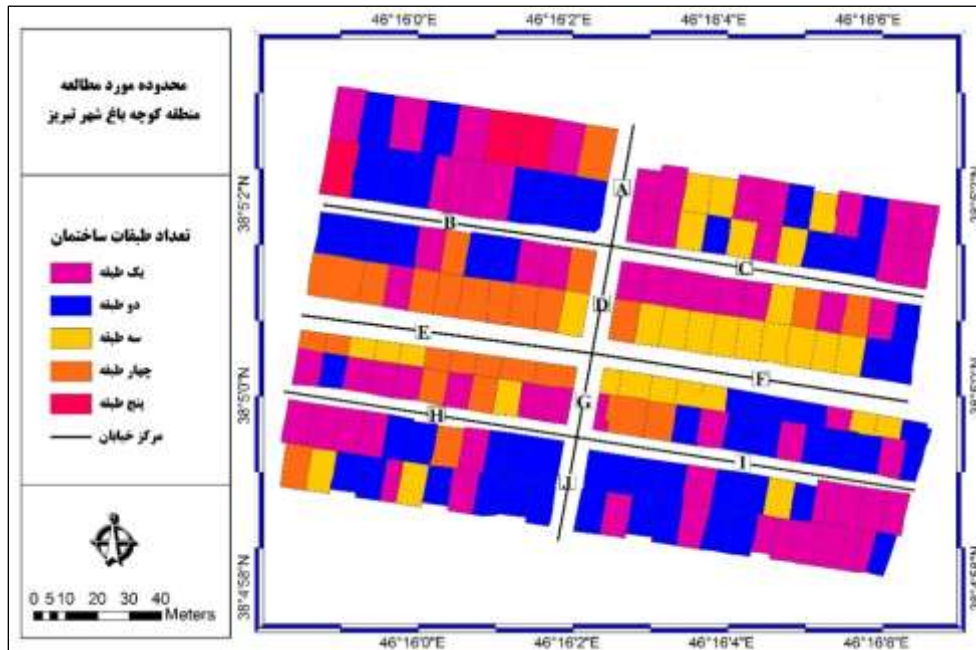
h: ارتفاع هر ساختمان در شعاع موردنظر

W: عرض متوسط هر خیابان

Dr: فاصله هر بنا تا شعاع موردنظر در بلوک‌های سمت راست

DI: فاصله هر بنا تا شعاع موردنظر در بلوک‌های سمت چپ

با توجه به معابر، بلوک‌های منطقه مورد مطالعه به ۱۰ بلوک مختلف از A تا J تفکیک گردید (شکل ۴). پس از انتخاب شعاع ۱۵ متر بلوک ساختمانی در هر محور، ارتفاع ساختمان‌ها نیز به سه دسته‌ی کم (۳ متر)، متوسط (۸ متر) و زیاد (۱۵ متر) طبقه‌بندی گردید. سپس با استفاده از نسبت H/W، شدت جزیره حرارتی در هر بلوک محاسبه گردید. نهایتاً جهت برآورد اثر عرض معابر و ارتفاع ساختمان بر تغییرات شدت جزیره حرارتی شهر تبریز، مدل رگرسیون چندگانه بکار گرفته شد.



شکل ۴: تفکیک نهایی بلوک‌های منطقه مورد مطالعه

شرح و تفسیر نتایج

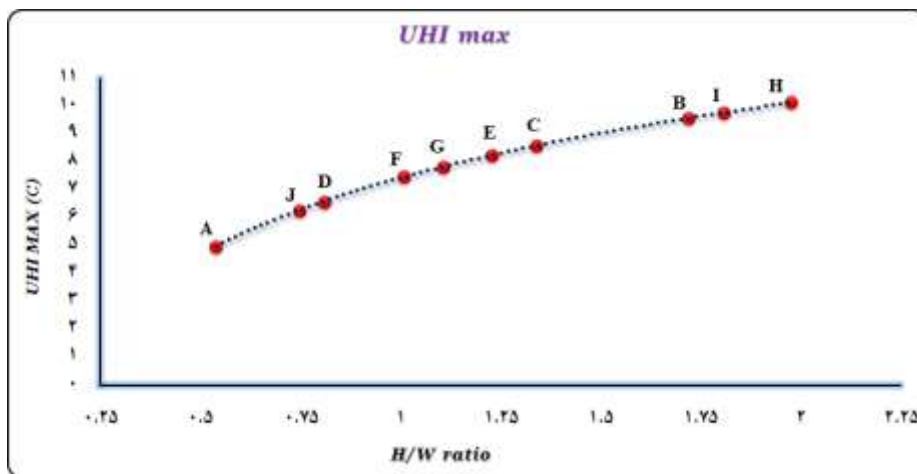
پس از محاسبه هندسه منطقه مورد مطالعه، نتایج حاصل از خروجی مدل (جدول ۱) نشان داد که بلوک‌های E، G و D از نظر ارتفاع ساختمان به صورتی ناهمگن توزیع شده‌اند، اما توزیع بلوک‌های C، I و J نشان از پیکربندی استاندارد آن‌ها دارد. اگرچه بلوک‌های E، F و I از نظر عرض معابر دارای تنوع کمتری نسبت به سایر بلوک‌ها دارند، اما از نظر ارتفاع ساختمان‌ها (۸/۶، ۷ و ۵ متر) دارای الگوهای مختلفی هستند که ارزش حداکثر UHI آن‌ها به ترتیب ۸/۳، ۷/۵ و ۶/۳ درجه می‌باشد. سه بلوک B، H و I علاوه بر اینکه از لحاظ عرض معابر و ارتفاع بناها بسیار شبیه هستند، از نظر نسبت H/W و ارزش شدت جزیره حرارتی با مقادیر ۹/۶، ۹/۸ و ۱۰/۲ درجه به یکدیگر همخوانی دارند. هم‌چنین مشخص شد که بیش‌ترین اختلاف نسبت H/W، بین دو بلوک A با ضریب ۰/۵۴ و بلوک H با ضریب ۱/۹۸ برقرار است؛ این تفاوت نسبت موجب شده است که اختلاف حداکثر شدت UHI نیز بین این دو بلوک به مقدار ۵/۲ درجه به ثبت برسد.

با توجه به نسبت H/W مندرج در جدول (۱) می‌توان گفت که، هرچه میزان این نسبت بزرگ‌تر شود، جزیره حرارتی شهر نیز با روند صعودی همراه خواهد بود. به عبارتی دیگر هرچه میزان ارتفاع متوسط ساختمان نسبت به متوسط عرض خیابان زیاد باشد جزیره حرارتی شهر نمود بیش‌تری پیدا می‌کند، زیرا پس داد انرژی به واسطه کم بودن عرض خیابان در امتداد قائم کم شده و باعث به تله افتادن حرارت و عدم پس داد آن به محیط خارج از شهر می‌شود.

جدول ۱: داده‌های خروجی حاصل از محاسبات مورفومتری

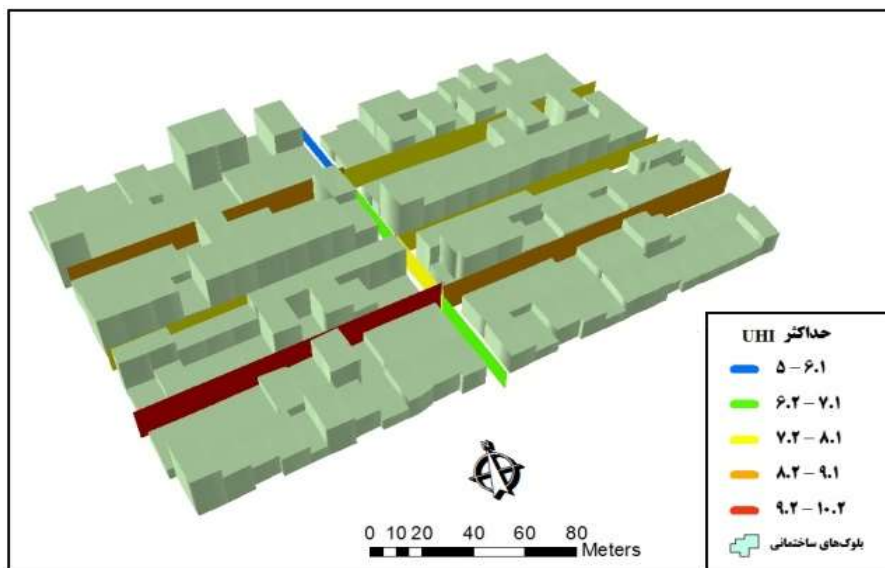
| Axis | H med (m) | W med (m) | H/W ratio | UHI max(c) |
|------|-----------|-----------|-----------|------------|
| A | ۴/۶ | ۸/۵ | ۰/۵۴ | ۵ |
| B | ۵/۵ | ۳/۲ | ۱/۷۲ | ۹/۶ |
| C | ۴/۸ | ۳/۶ | ۱/۳۴ | ۸/۶ |
| D | ۶/۲ | ۷/۷ | ۰/۸۱ | ۶/۶ |
| E | ۸/۶ | ۷ | ۱/۲۳ | ۸/۳ |
| F | ۷ | ۶/۹ | ۱/۰۱ | ۷/۵ |
| G | ۷/۲ | ۶/۵ | ۱/۱۱ | ۷/۹ |
| H | ۵/۵ | ۲/۸ | ۱/۹۸ | ۱۰/۲ |
| I | ۵/۱ | ۲/۸ | ۱/۸۱ | ۹/۸ |
| J | ۵ | ۶/۷ | ۰/۷۵ | ۶/۳ |

شکل ۵ ارتباط بین نسبت ارتفاع ساختمان به پهنای معابر و حداکثر جزیره حرارتی در سطح شهر را نشان می‌دهد. با توجه به روند نمودار می‌توان ادعان داشت که هر چه مقدار نسبت H/W افزایش یابد، بر میزان شدت جزیره حرارتی افزوده می‌شود. با توجه به نمودار می‌توان دریافت که بلوک A با ۵ درجه دارای کمترین و بلوک H با ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد بیشترین شدت UHI را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که با توجه عرض معابر و ارتفاع بناها، بلوک A استانداردترین و بلوک H ناهمگن‌ترین و غیراستانداردترین پیکربندی را در این محله دارا می‌باشند. پیکربندی نامناسب باعث می‌شود که خروج انرژی در سطح شهر به‌واسطه عرض کم معابر و ارتفاع زیاد ساختمان‌ها با مشکل روبه‌رو شود. از این‌رو برای تسهیل خروج حرارت از سطح شهر بایستی هم‌عرض معابر و هم‌ارتفاع ساختمان مناسبی در نظر گرفت که باعث به دام انداختن انرژی مازاد در سطح معابر شهرها نشود؛ زیرا این مسئله افزایش شدت جزیره حرارتی سطح شهر را در پی خواهد داشت.



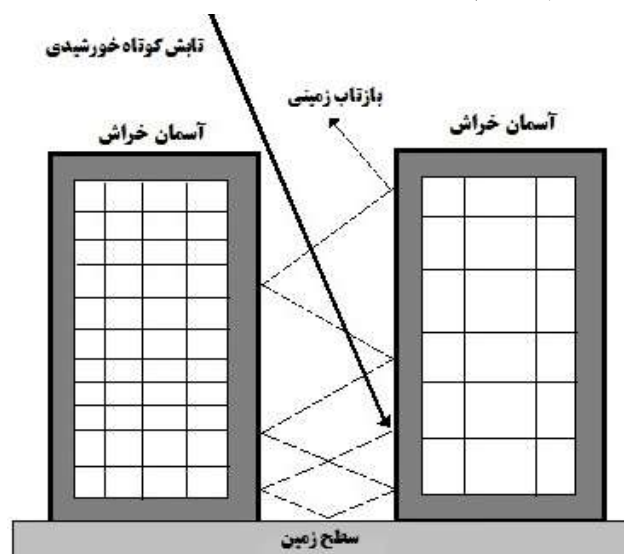
شکل ۵ ارتباط بین شدت UHI شبیه‌سازی شده و نسبت H/W

پس از محاسبه نسبت H/W، نتایج حداکثر شدت UHI در محله کوچه‌باغ شهر تبریز با استفاده از نرم‌افزار ArcScene به صورت مدلی سه‌بعدی شبیه‌سازی و ترسیم گردید (شکل ۶).



شکل ۶: نمایش سه‌بعدی نتایج نهایی حاصل از شبیه‌سازی در ArcScene

در مجموع با توجه به تجزیه و تحلیل خروجی حاصل از معادلات انجام‌شده؛ نتایج شبیه‌سازی بر اساس مدل OKE نشان داد که در منطقه شهری مورد مطالعه، زمانی که نسبت H/W بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۱ است، حداکثر شدت جزیره گرمایی در محدوده ۵ تا ۶/۶ درجه سانتی‌گراد باقی می‌ماند. اما وقتی که نسبت H/W در محدوده ۱/۰۱ تا ۱/۹۸ متفاوت است، ارزش حاصل از حداکثر UHI بین ۷/۵ و ۱۰/۲ درجه خواهد بود. لازم به ذکر 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 و عرض معابر زیاد باشد، شدت UHI نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین ساختمان‌های شهری با نما و ابعاد هندسی مختلف و بلندمرتبه با پیچیدگی بازتابش حرارت محسوس، به‌ویژه زمانی که عرض خیابان و کوچه‌ها کم باشد باعث جذب بیشتر انرژی و تولید گرمای بیشتر می‌شوند (شکل ۷).



شکل ۷: اثرگذاری ساختمان در جلوگیری از خروج سریع تابش‌های بلند زمینی

به منظور برآورد اثر عرض معابر و ارتفاع بنا بر نوسان جزیره حرارتی شهر تبریز، رگرسیون یک و چندمتغیره مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ درج گردیده است.

جدول ۲: اثر تجمعی عرض معابر و ارتفاع بنا بر نوسان جزیره حرارتی شهر تبریز

| متغیر | معادله رگرسیون | ضریب تعیین (درصد) R-Sq |
|----------------|--|------------------------|
| اثر عرض معابر | $11.8 - 0.686 W \text{ med}$ | ۹۱/۶ |
| اثر ارتفاع بنا | $7.38 + 0.099 H \text{ med}$ | ۶/۶ |
| اثر تجمعی | $9.05 + 0.563 H \text{ med} - 0.797 W \text{ med}$ | ۹۸/۲ |

با توجه به معادله رگرسیون چند متغیره (جدول ۲)، عرض معابر با ضریب تعیین ۹۱/۶ درصد بیشترین تأثیر را بر جزیره حرارتی شهر تبریز داشته و ارتفاع بنا تنها ۶/۶ درصد را به خود اختصاص داده است. در مجموع می توان گفت که ۹۸/۲ درصد از 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 شده و از انتقال آلودگی و حرارت سطح شهر جلوگیری کرده و بر حرارت شهری می افزاید. همچنین ارتفاع ساختمانها نیز با توجه به نوع پخش تابش باعث می شوند که حداکثر UHI افزایش یابد؛ بدین صورت که در طی روز موج کوتاه به سرعت سطح رسیده ولی در طی شب، گرمای ذخیره شده در خیابانها و ساختمانها به آهستگی به هوا منعکس می شود، و هر اندازه که ارتفاع ساختمانها بیشتر و عرض معابر کم تر باشد، روند کاهش دما نیز کندتر می گردد. ضمن آنکه ساختمانهای بلندمرتبه، علاوه بر آنکه مانعی بر سر راه وزش بادهای هستند، گرمای بیش تری را در خود ذخیره کرده و روند خنک شدن هوا را با تأخیر مواجه و بر شدت UHI شهری می افزایند.

نتیجه گیری

نتایج نمایانگر این واقعیت بود که شرایط فیزیکی و هندسی شهر تأثیر بسیار زیادی بر افزایش جزیره حرارتی شهر بر جای می گذارد، به طوری که هر قدر بناها بلندمرتبه تر و عرض معابر کمتر باشد مقدار حداکثر شدت جزیره حرارتی بیش تر و هر قدر این شرایط عکس باشد مقدار شدت UHI کم تر خواهد بود. با کاهش اندازه عرض معابر، الگوی بادهای محلی تغییر یافته و به ندرت می توانند آزادانه در معابر گردش داشته و حرارت را به خارج از محیط هدایت و دمای آنجا را تعدیل نمایند. معابر کم عرض، در طول روز، گرما را جذب کرده و تا ساعتها پس از غروب آفتاب آن را در محیط شهری نگه می دارد. این معابر کم عرض همانند دره ای عمیق و باریک منجر به کاهش طول موج بلند تابش از محیط عرض باریک خیابان شده و گرما را در سطح معابر نگه می دارد، که این عمل موجب بالا رفتن UHI_{max} می شوند. همان طوری که نتایج نشان داد، از میان سایر بلوکها، بلوک A با ۵ درجه و بلوک H با ۱۰/۲ درجه سانتی گراد دارای کمترین و بیشترین مقدار شدت UHI می باشند. بنابراین می توان گفت که با توجه عرض معابر و ارتفاع بناها، بلوک A استانداردترین و بلوک H ناهمگن ترین و غیراستانداردترین پیکربندی را در این محله دارا می باشند.

نهایتاً نتایج نشان داد، با اینکه ارتفاع ساختمان در افزایش شدت جزیره حرارتی نقش بسزایی دارد، اما بر اساس برآورد حاصل از مدل رگرسیون، اثر عرض معابر با ۹۱/۶ درصد بسیار بیش تراز ارتفاع ساختمان با ۶/۶ درصد در تغییرات شدت جزیره حرارتی (UHI_{max}) نقش دارد.

نتایج مطالعات انجام شده در سطح جهان از جمله اوک (۱۹۸۱) و بوژنت و دالوین (۲۰۱۵) نشان داد که ارتباط تنگاتنگی بین مرفولوژی شهر و شدت جزیره حرارتی وجود دارد. همچنین مطالعات محققان ایرانی از جمله صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۳) و رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۵) نیز نتیجه این تحقیق را تأیید می‌نمایند. نتایج اکثر تحقیقات انجام شده در ایران، گویای آن بوده‌اند که بین هندسه شهری با شدت جزیره حرارتی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد به نحوی که هر قدر عرض معابر و ارتفاع بناها ناهمگن‌تر باشند، شدت جزیره حرارتی بیشتر خواهد بود و بالعکس.

منابع

- ایزدی، آریتا و سمیه محمدی. ۱۳۹۴. بررسی عوامل مؤثر بر جزیره گرمایی شهر تبریز، کنفرانس بین‌المللی انسان، معماری، عمران و شهر، تبریز، مرکز مطالعات راهبردی معماری و شهرسازی.
- الحسینی المدرسی، علی؛ مهدی ساعتی، سیدعقیل ابراهیمی. ۱۳۹۴. استخراج جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر ASTRA اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ۱۰-۱.
- پورخباز، علیرضا؛ سیدسعیدرضا احمدی‌زاده؛ عاطفه ناصری و ناصر پرویان. ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل جزایر حرارتی در مناطق شهری مشهد، اولین کنفرانس بین‌المللی معماری، شهرسازی، مهندسی، هنر و محیط زیست، تهران، پژوهشکده هنر و معماری.
- رمضانی، بهمن؛ سیده‌مریم دخت‌محمد. ۱۳۸۹. شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره‌گرمایی در شهر رشت، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، (۱۱): ۴۹-۶۴.
- رنجبر سعادت‌آبادی، علی؛ عباسعلی اکبری بیدختی، سیدعلیرضا صادقی‌حسینی. ۱۳۸۵. آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین، مجله محیط‌شناسی، ۳۲(۳۹): ۵۹-۶۸.
- رنگزن، کاظم؛ محمدعلی فیروزی؛ ایوب تقی زاده و رامین مهدی زاده، (۱۳۹۲). بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از GIS و R.S: نمونه موردی: شهر اهواز، اولین سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری، تهران، اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲.
- صادقی‌نیا، علیرضا؛ بهلول علیجانی، پرویز ضیائیان. ۱۳۹۱. تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۴): ۱-۱۷.
- محرمی، جاوید. ۱۳۹۳. بررسی نقش کاربری اراضی در تولید جزیره گرمایی شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.

Atkinson B W. ۲۰۰۳. Numerical modelling of urban heat-island intensity. *Boundary Layer Meteorology*, ۱۰۹(۳):۲۸۵-۳۱۰. DOI: ۱۰.۱۰۲۳/A:۱۰۲۵۸۲۰۳۲۶۶۷۲.

Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümegehy, Z., Geiger, J., & Szegedi, S. ۲۰۰۹. Simulation of the mean urban heat island using ۲D surface parameters: Empirical modelling, verification and extension. *Meteorological Applications*, ۱۶(۳), ۲۷۵-۲۸۷. DOI: ۱۰.۱۰۰۲/met.۱۱۶.

Bokaie M, KheirkhahZarkesh M, DaneshkarArasteh P, Hosseini A. ۲۰۱۶. Assessment of Urban Heat Island Based on the Relationship between Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover in Tehran, *Journal sustainable cities and society*, ۲۳(۱): ۹۴-۱۰۴, DOI.org/doi:۱۰.۱۰۱۶/j.scs.۲۰۱۶.۰۳.۰۰۹.

- Chen Q., J. Ren., Z. Li., C. N. ۲۰۰۹. Urban Heat Island Effect Research in Chengdu City Based on Modis data. In proceedings of ۳rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE ۲۰۰۹, Beijing, China, PP ۱۱-۱۳.
- Chen, H., R. Ooka and S. Kato. ۲۰۰۸. 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*, ۴۳(۱): ۱۸-۳۰. DOI: <http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.buildenv.۲۰۰۶.۱۱.۰۳۹>.
- CHuangoh, K., HingChen, Ch. ۱۹۹۹. The relationship between height to width ratio and the Heat Island intensity at ۲۲:۰۰ h for Singapore, *Int. J. Climatol.* ۱۹(۹):۱۰۱۱-۱۰۲۳, DOI: ۱۰.۱۰۰۲/(SICI)۱۰۹۷-۰۰۸۸(۱۹۹۹۰۷)۱۹:۹<۱۰۱۱::AID-JOC۴۱۱>۳.۰.CO;۲-U.
- Dhalluin, A ;Bozonnet, E. ۲۰۱۵. Urban heat islands and sensitive building design – A study in some French cities’ context, *Sustainable Cities and Society*, ۱۹: ۲۹۲-۲۹۹, <http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.scs.۲۰۱۵.۰۶.۰۰۹>.
- Fahmy M, Mokhtar H, Gira, A. ۲۰۱۲. Adaptative urban form design on a climate change basis; A case study in Nuba, Egypt. ICUC۸ – ۸th International Conference on Urban Climates, ۶th-۱۰th August, ۲۰۱۲, UCD, Dublin Ireland.
- Guri,B.Apurba,K.D,(۲۰۱۴),Summertime Urban Heat Island Study For Guwahati City India, *Sustainable Cities And Society*, ۱۱, ۶۱-۶۶.
- Han S, Mun S, Huh J. ۲۰۰۷. Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Proceeding: Building Simulation Korea ۲۰۰۷.
- Jusuf SK, Hien WN. ۲۰۰۹. Development of empirical models for an estate level air temperature prediction in Singapore. Proceedings Second International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands. pp: ۱۹-۲۳.
- Levermore GJ, Cheug HKW .۲۰۱۲. 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*, ۳۳(۴):۳۷۱-۳۸۵, <http://journals.sagepub.com/toc/bsea/۳۳/۴>.
- Marciotto ER, Oliveira AP, Hanna SR . ۲۰۱۰. Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall canyon energy budget scheme, *Building and Environment*, ۴۵(۱۱):۲۴۹۷-۲۵۰۵, DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.buildenv.۲۰۱۰.۰۵.۰۱۲.
- Memon RA, Leung DY, Liu CH. ۲۰۱۰. Effects of building aspect ratio and wind speed on air temperatures in urban-like street canyons. *Building and Environment*, ۴۵:۱۷۶-۱۸۸, <http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.buildenv.۲۰۰۹.۰۵.۰۱۵>.
- Nakata O C. M, De Souza L. C. L, Rodrigues D.S. ۲۰۱۵. A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometr, Proceedings of CUPUM ۲۰۱۵, Conference Cambridge, Massachusetts (USA), PP: ۱-۱۶, <http://hdl.handle.net/۱۸۲۲/۳۸۸۴۵>
- Neolia,L.A, Erica N.C,M. Alicia Canton,(۲۰۱۴), Classification Of Building Materials Use In The Urban Envelopes According To Thire Capacity For Mitigation Of The Urban Heat Island In Semiarid Zones, *Energy And Buildings* . vol ۶۹, pp۲۲-۳۲.
- Oke T.R, Johnson GT, Steyn DG, Watson ID. ۱۹۹۱. Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night – Part ۲: Diagnosis and causation. *Boundary Layer Meteorology*, ۵۶(۴):۳۳۹-۳۵۸. DOI: ۱۰.۱۰۰۷/BF۰۰۱۱۹۲۱۱.
- Oke T.R. ۱۹۸۱. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*. ۱(۳):۲۳۷-۲۵۴, DOI: ۱۰.۱۰۰۲/joc.۳۳۷۰۰۱۰۳۰۴.
- Oke, TR. ۱۹۸۴. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, ۷(۱):۱-۱۰, DOI: ۱۰.۱۰۱۶/۰۳۷۸-۷۷۸۸(۸۴)۹۰۰۴۰-۹.

- Oliveira P, MJN, Gonçalves HJP, Ferrão PMC. ۲۰۰۹. Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate, *Building and Environment*, ۴۴(۱):۱۷۷-۱۸۷, DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.buildenv.۲۰۰۸.۰۲.۰۰۴ .
- Sailor, D.G(۲۰۱۴), Risk Of Summertime Extreme Thermal Conditions In Buildings As a Result Of Climate Change And Exacerbation Of Urban Heat Islands, *Building and Environment*, vol ۷۸, pp ۸۱-۸۸.
- Santo MA, Maggiotto G, Stocker J, Carruthers D, Sabatino SD. ۲۰۱۲. Comparison of ADMS-Temperature and Humidity model and ENVIMET and measured temperature values. ICUC۸ – ۸th International Conference on Urban Climates, ۶th-۱۰th August, ۲۰۱۲, UCD, Dublin Ireland.
- Streutker, D. R. (۲۰۰۳). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*, ۸۵, ۲۸۲-۲۸۹.
- Svensson M, Eliasson I, Holmer B. ۲۰۰۲. A GIS based empirical model to simulate air temperature variations in the Göteborg urban area during the night, *Climate Research*, ۲۲(۳): ۲۱۵-۲۲۶, DOI: ۱۰.۳۳۵۴ / cr.۲۲۲۱۵.
- Theeuwes, N. E., Steeneveld, G.-J., Ronda, R. J. and Holtslag, A. A. M. ۲۰۱۶. A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *Int. J. Climatology*, ۳۷: ۴۴۳-۴۵۴. DOI: ۱۰.۱۰۰۲/joc.۴۷۱۷.
- Zinzi M, Carnielo E, Marinelli E. ۲۰۱۲. Thermal and solar characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures. ICUC۸ – ۸th International Conference on Urban Climates, ۶th-۱۰th August, ۲۰۱۲, UCD, Dublin Ireland.