

بررسی پدیده جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری روز به روز دمای تابستان شهر بابل

یدالله یوسفی* - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
فاطمه کاردل - استادیار گروه زیست دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران
همت‌اله رورده - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
مولود محتسبی خلعتبری - دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آب و هوای شهری، دانشگاه مازندران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۱

چکیده

تراکم جمعیت در شهرها سبب افزایش دمای ناحیه مرکزی می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی اختلاف دمایی ناشی از جزیره حرارتی و اثر آن در تغییرپذیری دمای شهر بابل است. از سه دستگاه دیتالاگر ثبت‌کننده داده در محیط‌های بافت متراکم شهری، حومه، و فضای سبز شهری استفاده شد. تغییرپذیری دما و رطوبت نسبی به مدت هشتاد روز (۱۵ تیر تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۴) با گام یک‌ساعته بررسی شد. اختلاف دمای میانگین ایستگاه شهری با حومه ۱ و با فضای سبز ۱/۸ درجه بوده است. کمترین میانگین رطوبت در محیط شهری (۶۷ درصد) و بیشترین در فضای سبز (۷۷ درصد) مشاهده شد. اختلاف روزبه‌روز دمای میانگین ($DTD(t_{mean})$) و روز به روز دمای بیشینه ($DTD(t_{max})$) شهر از حومه و فضای سبز بیشتر است، اما اختلاف روزبه‌روز دمای کمینه ($DTD(t_{min})$) در شهر کمتر از دو محیط دیگر است. تفاوت تغییرپذیری دمای بیشینه و کمینه (ΔDTD) شهر از دو منطقه دیگر بیشتر بوده و در فضای سبز تقریباً صفر است. این میزان‌ها بیانگر تغییرپذیری بیشتر دمای شهر است. نتایج نشان می‌دهد جزیره حرارتی ایجادشده در بابل در تغییرپذیری روزبه‌روز دمای آن مؤثر است. در شهرهای متوسط می‌توان اثر جزیره حرارتی بر دما و رطوبت را دید و فضای سبز در کاهش دمای بابل نقش مهمی دارد.

کلیدواژه‌ها: بابل، بافت شهری، تغییرپذیری روزبه‌روز دما، جزیره حرارتی، رطوبت نسبی.

مقدمه

شهرنشینی در قرن نوزدهم، بعد از انقلاب صنعتی، در کشورهای توسعه‌یافته به سرعت رشد و توسعه یافت و از آن زمان بر وسعت شهرها به سرعت افزوده شد. مراکز شهری نیز به دلیل تمرکز فعالیت‌های تجاری متراکم‌تر شدند. رشد بی‌رویه و تراکم ساختمان‌ها، به‌خصوص در مراکز شهری، مشکلاتی برای ساکنان شهرها ایجاد کرد که تا آن زمان بی‌سابقه بود. یکی از مسائلی که در نتیجه رشد بدون برنامه‌ریزی در شهرها به‌وجود آمد پدیده جزیره حرارتی^۱ بود. جزیره حرارتی مشخص‌ترین اثر شهر بر ویژگی‌های آب و هوایی هر مکانی است (کاوایانی، ۱۳۸۰: ۲۳۵). این پدیده به شکل افزایش دمای محیط شهری نسبت به مناطق اطراف خود پدیدار می‌شود (سولسکی و همکاران، ۲۰۰۴). جزیره حرارتی هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش‌های طبیعی جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها، و سایر تأسیسات شهری می‌دهند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۶). این تغییر باعث می‌شود تابش ورودی در طی روز در لابه‌لای ساختار

شهری به دام بیفتد و در هنگام شب بازتابش شود؛ در نتیجه فرایند سردشدن طبیعی سطح زمین در طی شب با سرعت کمتری اتفاق می‌افتد. بنابراین، دمای هوای شهرها معمولاً از دمای هوا در مناطق حومه بیشتر خواهد بود (اک، ۱۹۷۳: ۷۶۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۴۳). در حالی که درصد بیشتری از سطح زمین‌های غیرشهری دارای پوشش گیاهی یا پوشیده از خاک مرطوب‌اند و گرمای جذب‌شده در این مناطق از طریق تبخیر به خنک‌شدن سطح زمین‌های غیرشهری منجر می‌شود.

اندازهٔ جزیرهٔ حرارتی از شهری به شهر دیگر با توجه به توپوگرافی محلی و خصوصیات و ویژگی‌های آب‌وهوایی متفاوت است. حتی اگر اقلیم جهانی در حال گرم‌شدن نباشد، شهرها با مشکل افزایش دما به دلیل اثر پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی روبه‌رو هستند و معمولاً این پدیده در شب‌هنگام رخ می‌دهد (کالنا و کی، ۲۰۰۳؛ هاورتر، ۲۰۱۲: ۲). اثر جزیرهٔ حرارتی ابتدا در لندن و شهرهای اروپایی مشاهده شد و به دنبال آن در شهرهای دیگر مانند نیویورک و شیکاگو این پدیده شناخته شد. پدیدهٔ مزبور هم‌اکنون یک پدیدهٔ مهم محیطی به‌شمار می‌رود و در بیشتر شهرهای بزرگ اثر جزیرهٔ حرارتی دیده می‌شود (یاموموتو، ۲۰۰۵: ۶۶). این پدیده در فرایندهای زیستی، اقتصادی، و هواشناختی نیز تأثیرگذار است. عدم برنامه‌ریزی مناسب و توسعهٔ شهری می‌تواند در تشدید آن تأثیر مستقیم داشته باشد. جزیرهٔ حرارتی، علاوه بر اینکه می‌تواند تهدیدی جدی بر سلامت شهروندان در فصول گرم در مناطق گرمسیر به‌شمار آید، گاه باعث ایجاد یک کم‌فشار حرارتی کوچک‌مقیاس در شهرها می‌شود و شرایط را برای ایجاد یک جریان سطحی به صورت نسیم از حومه به داخل شهر و انتقال آلودگی از اطراف به داخل شهر فراهم می‌کند (اسکورو، ۱۳۸۷: ۱۴۹). همچنین، گرمای شهرها سبب به گل نشستن زودهنگام گیاهان و درختان و طولانی‌شدن فصل رشد آن‌ها می‌شود (کاویانی، ۱۳۸۰: ۲۳۹). پژوهش‌های متعددی در شهرهای بزرگ و صنعتی جهان نشان می‌دهد که شهرنشینی موجب ایجاد تغییرات فراوان در پارامترهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین شده و به تبع آن تغییرات بسیار زیادی در وضع هوا و آب و هوای محلی به‌وجود آورده است (کاتان و پیلک، ۱۹۹۵: ۱۹۴؛ بایک و چان، ۱۹۹۷: ۴۷۵). بررسی ساختار جزیرهٔ حرارتی شهر سئول (کیم و بایک، ۲۰۰۵) نشان داد که این پدیده به شکل گسترده در مرکز آن به‌وجود می‌آید. در بررسی دیگری، با استفاده از ثبت‌کنندهٔ خودکار (دیتالاگر)^۱ دمای نصب‌شده بر روی دوچرخه در طول مسیر پُرتراфик شهر اوترخت هلند در دو زمان متفاوت، نشان داده شد که مراکز تاریخی و مسیرهای پُرتراфик و بزرگراه‌های اطراف شهر دارای بیشترین دما بوده‌اند (براندسما و والترز، ۲۰۱۲: ۱۰۵۱). لوکوشنکو و کورنوا (۲۰۱۴) در بررسی جزیرهٔ حرارتی مسکو، با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه ثابت در منطقهٔ شهری و چهار ایستگاه در منطقهٔ روستایی نشان دادند که رشد عمودی این پدیده در این شهر بسیار کم بوده و به‌طور معمول تا ارتفاع حدود ۳۰۰ متری از سطح زمین جزیرهٔ حرارتی وجود دارد. پائولینا و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی جزیرهٔ حرارتی شهر هنگ‌کنگ با استفاده از ۵۸ سنسور مجهز به ثبت‌کنندهٔ خودکار دما و رطوبت نسبی به مدت هفده روز متوالی در فصل تابستان و هفده روز در فصل زمستان نشان دادند که جزیرهٔ حرارتی در همهٔ ساعات شبانه‌روز در این شهر تشکیل شده و شدت جزیرهٔ حرارتی در تابستان بیشتر بوده است. بررسی ویژگی‌های جزیرهٔ حرارتی شهر بانکوک در تایلند، با استفاده از داده‌های دمای هوا به صورت ساعتی سی‌ساله از چهار ایستگاه هواشناسی در یک منطقهٔ روستایی و سه ایستگاه شهری، نشان داد که جزیرهٔ حرارتی در بانکوک در حال افزایش است. بیشترین شدت جزیرهٔ حرارتی در ماه دسامبر و عموماً در هنگام شب و بعد از غروب آفتاب است (آریفویدودو و تاناکا، ۲۰۱۵: ۴۲۷).

مطالعهٔ آثار جزیرهٔ حرارتی و شهرنشینی بر وضع هوا و اقلیم محلی کلان‌شهر تهران با مقایسهٔ داده‌های ایستگاه‌های مهرآباد و ورامین نشان می‌دهد که اختلاف میانگین چهل‌سالهٔ دماهای کمینهٔ تهران با ورامین در ماه سپتامبر دارای بیشترین و در فوریه دارای کمترین مقدار بوده است (رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۹). همچنین، بررسی

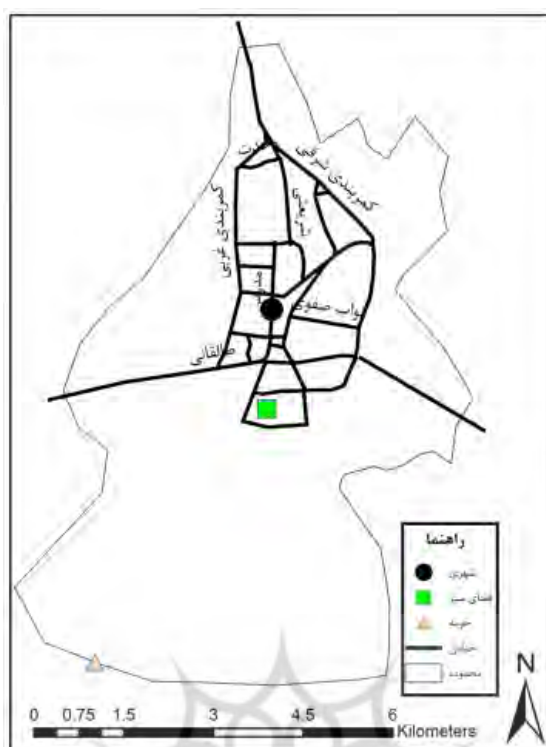
تغییرات مکانی آن نشان می‌دهد سرعت و جهت باد نقش زیادی در تغییرات مکانی هسته جزیره حرارتی دارد و از لحاظ الگوهای هم‌دیدگی جوی نیز جزیره حرارتی تهران در زمان حاکمیت شرایط پُرفشاری به علت سکون هوا افزایش می‌یابد و در شرایط کم‌فشاری عکس این حالت رخ می‌دهد (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴۴؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۴). بررسی محدوده مکانی تشکیل جزیره حرارتی شهر رشت نشان داد که در این شهر اختلاف دمایی معادل ۵ تا ۶٫۴ درجه سانتی‌گراد بین مرکز شهر با اطراف آن در شرایط کمینه دما و اختلاف دمایی معادل ۳ تا ۵٫۶ درجه سانتی‌گراد در شرایط دمای بیشینه وجود دارد (رمضانی و دخت‌محمد، ۱۳۸۹: ۶۲). بررسی اثر جزیره حرارتی مشهد بر روی تغییرات خرداقلیم ریزش‌های جوی نشان داد که در ایستگاه مشهد تغییرات دمایی ناشی از جزیره حرارتی با روند تغییرات بارندگی همبستگی معنی‌داری دارد و با اطمینان قابل قبولی می‌توان تأثیر جزیره حرارتی را بر روی بارندگی در این شهر پذیرفت (غضنفری مقدم و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۶۴).

عمده پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه در کلان‌شهرهای کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه انجام گرفته است. در ایران نیز پدیده جزیره حرارتی برای تعداد کمی از کلان‌شهرها بررسی شد، اما برای دیگر شهرهای کشور پژوهشی برای شناخت آن ثبت نشده است. شهر بابل دومین شهر پرجمعیت استان مازندران است و در طول سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ همانند اغلب شهرهای ایران با افزایش سریع جمعیت روبه‌رو بوده و یکی از شهرهای مهاجرپذیر استان مازندران است. پیامدهای فضایی رشد این شهر به صورت گسترش بی‌رویه شهر و اضافه‌شدن بی‌برنامه محله‌های جدید به محدوده شهر و تغییر تراکم و بافت کالبدی شهر ظاهر شده است. با گسترش بی‌رویه این شهر ایجاد جزیره حرارتی در آن دور از انتظار نخواهد بود. هدف از این تحقیق بررسی شکل‌گیری جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرات روز به روز دمای شهر به صورت مقایسه محیط بافت متراکم شهری با دو محیط متفاوت فضای سبز شهری و حومه آن است. با توجه به دانش ما، اثر جزیره حرارتی بر تغییرات روز به روز دما در شهرهای بخش‌های جنوبی دریای خزر تا به حال بررسی نشده است. بدین منظور، با نصب دمانگارهای خودکار در سه محیط متفاوت با توان تفکیک زمانی بالا در تابستان سال ۱۳۹۴ این پدیده واکاوی شد. برنامه‌ریزان شهری، سازمان حفاظت محیط‌زیست، بخش فضای سبز و عمران شهرداری‌ها، و دیگر ارگان‌های ذی‌ربط می‌توانند از نتایج این تحقیق بهره‌مند شوند.

مواد و روش‌ها

روش‌های گوناگونی برای بررسی جزیره حرارتی وجود دارد. متداول‌ترین روش استفاده از داده‌های هواشناسی است. از آنجا که ایستگاه‌های هواشناسی عموماً در خارج شهرها احداث شده‌اند (اسکورو، ۱۳۸۷: ۸۳)، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی ریاضی نیز در سال‌های اخیر رایج شد. کاربرد هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی است. روش‌های سنجش از راه دور به بررسی دمای سطوح مختلف بر روی زمین می‌پردازند. این دماها برای استاندارد تعریف‌شده که نشان‌دهنده دمای هوا به شکل متعارف است نیست. با در نظرگیری موارد یادشده، روش مورد استفاده در این تحقیق روش تجربی با استفاده از داده‌های برداشت‌شده به صورت میدانی است.

این بررسی در شهر بابل در استان مازندران انجام شد (شکل ۱). به دلیل نبود ایستگاه هواشناسی در این شهر، سه دستگاه مجهز به ثبت‌کننده خودکار یا دیتالاگر از نوع MIC 98583 USB-Data Logger, Taiwan (شکل ۲) با قابلیت ثبت داده‌های دما و رطوبت نسبی در فواصل زمانی متفاوت در محیط‌های مختلف- داخل بافت متراکم شهری، حومه شهر، و فضای سبز شهری- نصب شد.



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه‌های موقت ثبت داده‌های هواشناسی در بابل

مکان اول در مرکز شهر، که دارای تراکم بالای جمعیت و بناها و مکانی پُرتراфик در ساعات اداری است، به‌عنوان ایستگاه شهری، انتخاب شد. مکان دوم، به‌عنوان فضای سبز، در منطقه‌ای با پوشش متراکم و درختان کهن سال واقع در دانشگاه علوم پزشکی بابل با مساحتی حدود چهار هکتار و در حدفاصل ایستگاه شهری و حومه شهر انتخاب شد. فضای سبز در فاصله ۱۶۹۰ متری از ایستگاه شهری و ۴۸۱۰ متری از ایستگاه حومه شهر قرار دارد. مکان سوم در خارج از بافت شهری به‌عنوان حومه شهر انتخاب شد. این مکان در بخش جنوبی شهر در انتهای روستای نجارکلا و در فاصله افقی ۶۳۵۰ متری از ایستگاه شهری واقع شده است (شکل ۲). ایستگاه مرکز شهر در ارتفاع ۲ متری، فضای سبز در ۵ متری، و حومه نیز در ۷ متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد.

برای نصب سنسورها، جعبه چوبی مشبکی، که جریان هوا بتواند از آن عبور کند، مطابق استاندارد سازمان هواشناسی طراحی و ساخته شد. جعبه پایش در ارتفاع حدود ۲٫۵ متری از سطح زمین قرار داده شد.



شکل ۲. دیتالاگر مورد استفاده برای ثبت داده‌های دما و رطوبت نسبی در بابل

قبل از نصب دستگاه‌ها در محیط‌های موردنظر، این دستگاه‌ها توسط شرکت سازنده کالیبره و در ایستگاه هواشناسی آزمایش شدند. برداشت داده‌های دما و رطوبت نسبی در سه محیط متفاوت به مدت ۸۰ روز پی‌درپی در فصل تابستان از ۱۴ تیر تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۴ در فواصل زمانی یک ساعت انجام شد و در نهایت بیش از ۱۹۲۰ داده متوالی به دست آمد. در این پژوهش به بررسی تغییر روز به روز دما با توجه به اثر جزیره حرارتی بر رفتار دما پرداخته شده است. برای این هدف از دو روش تلفیقی استفاده شد: ۱. تغییرپذیری روز به روز دما^۱ (DTD)؛ ۲. تفاوت تغییرپذیری روز به روز دما^۲ (ΔDTD) استفاده شد.

نخست کارل و همکاران (۱۹۹۵) تغییرپذیری روز به روز دما را برای مقاصد اقلیمی به کار بردند و در ادامه توسط گاف (۲۰۰۸) توسعه یافت. تغییرپذیری روز به روز دما بر رابطه^۱ استوار است (گاف، ۲۰۰۸؛ وو و همکاران، ۲۰۱۶: ۳):

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{DTD} = \sum |t_i - t_{i-1}| / (n - 1)$$

در این معادله $\sum |t_i - t_{i-1}|$ مجموع قدر مطلق تفاضل دمای دو روز متوالی (هر روز با روز قبل از آن) برای مدت زمان معین (مثلاً ماهانه) و n تعداد کل داده‌هاست.

پس از به دست آوردن DTD (اختلاف دمای روز به روز) با رابطه^۱ برای دو زمان مختلف بیشینه و کمینه به عنوان ورودی برای رابطه بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه تفاوت اختلاف دمای روز به روز بیشینه و کمینه به عنوان شاخص DTD^۲ ذ به شکل رابطه^۲ بررسی می‌شود.

$$\text{رابطه ۲} \quad \Delta \text{DTD} = \text{DTD}(t_{\max}) - \text{DTD}(t_{\min})$$

این معادله نشان‌دهنده تفاضل میان تغییرات روز به روز بیشینه دمای روزانه ($\text{DTD}_{(\max)}$) با تغییرات روز به روز کمینه دمای روزانه ($\text{DTD}_{(\min)}$) است. مقادیر مثبت آن بیانگر تغییرات بیشتر دما در روز و مقادیر منفی بیانگر تغییرات بیشتر دما در شب‌هنگام است (تام و همکاران، ۲۰۱۵: ۳).

تفاوت معنی‌داری دما (بیشینه و کمینه) و رطوبت نسبی روزانه محیط‌های مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) آزمون شد. سپس، تغییرپذیری دمای روز به روز بر اساس روابط DTD و ΔDTD برای هر سه محیط محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و R انجام شد.

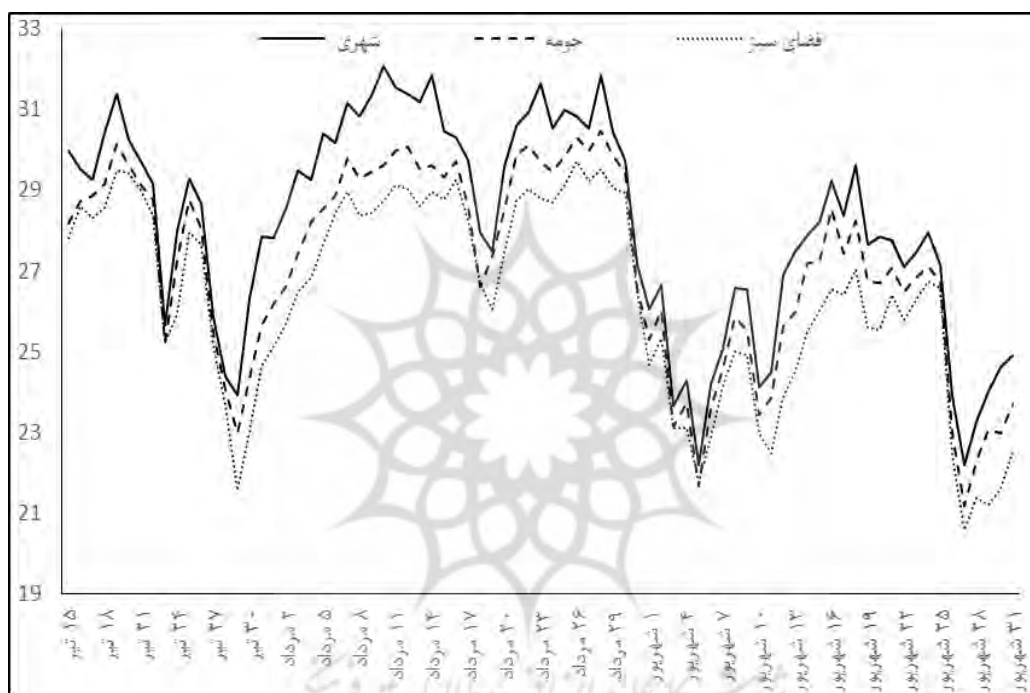
یافته‌های پژوهش

با توجه به داده‌های استخراج‌شده دما به صورت ساعتی از سه محیط متفاوت شهر بابل نتایج درخور توجهی به دست آمد. میانگین هشتادروزه دما در محیط شهری حدود ۲۸٫۲ درجه سانتی‌گراد، حومه ۲۷٫۲، و فضای سبز شهری ۲۶٫۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. از لحاظ دمایی، کلیه شاخص‌های دمایی محیط شهری نسبت به دو مکان دیگر (حومه و فضای سبز) دارای میزان بیشتری است. میزان انحراف معیار میانگین داده‌ها در دو محیط شهری و حومه تقریباً یکسان است، اما در فضای سبز دارای میزان کمتری است (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های دمایی به دست‌آمده برای سه محیط در بابل در مدت هشتاد روز از ۱۴ تیر تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۴

محیط	میانگین	میانگین بیشینه‌ها	میانگین کمینه‌ها	بیشینه مطلق	کمینه مطلق	انحراف معیار
شهری	۲۸٫۱۷۵	۳۲٫۹۷۷	۲۴٫۲۷۰	۴۰٫۷	۱۸٫۲	۳٫۹۸
حومه	۲۷٫۱۸۰	۳۲٫۲۷	۲۲٫۸۷۲	۳۹٫۵	۱۷٫۲	۴٫۴
فضای سبز	۲۶٫۳۶۷	۲۹٫۷۰۸	۲۲٫۹۶۰	۳۴٫۶	۱۶٫۲	۳٫۵

بیشترین اختلاف دمایی میان شهر با حومه به میزان ۴/۳ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۱۴ روز دوشنبه، ۳۰ شهریور ۱۳۹۴، رخ داده است. میزان اختلاف دمایی در این زمان میان فضای سبز با شهر نیز بسیار درخور توجه بوده و به حدود ۷/۱ درجه رسیده است. بیشترین اختلاف دمایی میان شهر با فضای سبز به میزان ۷/۵ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۱۵ روز دوشنبه، ۲۹ تیر ۱۳۹۴، رخ داده است. اختلاف دماهای جزئی میان مکان‌های بررسی شده گاه به شکل معکوس (دمای بیشتر در حومه و فضای سبز نسبت به شهر) در چند مورد نیز پدیدار شده‌اند. این رفتار معکوس میان حومه و محیط شهری مشخص‌تر است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نیز نشان داد کمینه دمای شهر به طور معنی‌داری بیشتر از حومه شهر و فضای سبز شهری بوده است ($p < 0.05$). تغییرپذیری زمانی میانگین دمای سه مکان بررسی شده نشان می‌دهد که در اغلب موارد دمای شهر بیش از حومه و میزان آن در حومه نیز از فضای سبز بیشتر بوده است (شکل ۳).



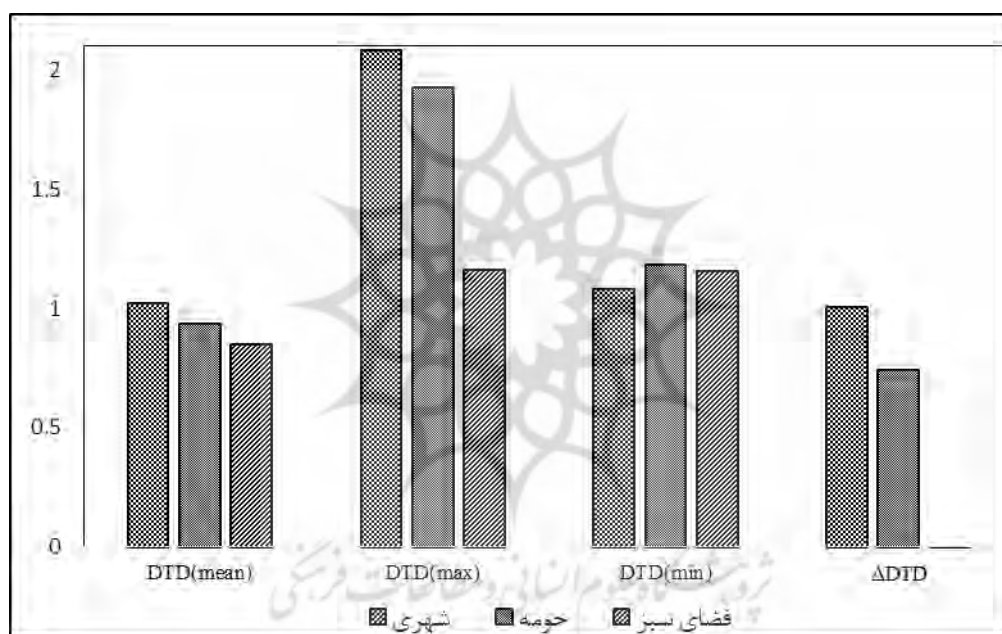
شکل ۳. نمودار تغییرات میانگین دمای روزانه در سه محیط مورد بررسی در بابل

دمای بیشینه فضای سبز شهری به طور معنی‌داری کمتر از محیط شهری و حومه بوده است ($p < 0.05$). بررسی تغییرات روز به روز در محیط‌های مختلف در دوره مورد بررسی نشان‌دهنده تفاوت در سه محیط انتخابی است. با توجه به اینکه بیشینه دما در روز و کمینه دما در طی شب رخ می‌دهد، اگر مقدار ΔDTD مثبت باشد، نشان‌دهنده آن است که مقدار $DTD(t_{max})$ یا تغییرپذیری دمای روزانه بیشتر از تغییرپذیری دمای شبانه است. هرچه این میزان از صفر بیشتر باشد تفاوت بیشتر و هرچه کمتر باشد نشان‌دهنده تفاوت تغییرپذیری کمتری است. با توجه به نتایج دریافت‌شده از محاسبه داده‌ها، میزان تغییرپذیری روز به روز دمای میانگین $DTD(t_{mean})$ و بیشینه $DTD(t_{max})$ در محیط شهری بیش از دو محیط دیگر (یافت شهری و حومه) است و به همین ترتیب میزان آن در حومه بیش از فضای سبز است. در مقابل میزان $DTD(t_{min})$ در شهر کمتر از حومه و فضای سبز است. اختلاف تغییرپذیری روز به روز دماهای کمینه و بیشینه نیز در شهر دارای بیشترین و در فضای سبز دارای کمترین میزان است (جدول ۲).

جدول ۲. میزان تفاوت تغییرپذیری دما در سه محیط مختلف بررسی شده در بابل

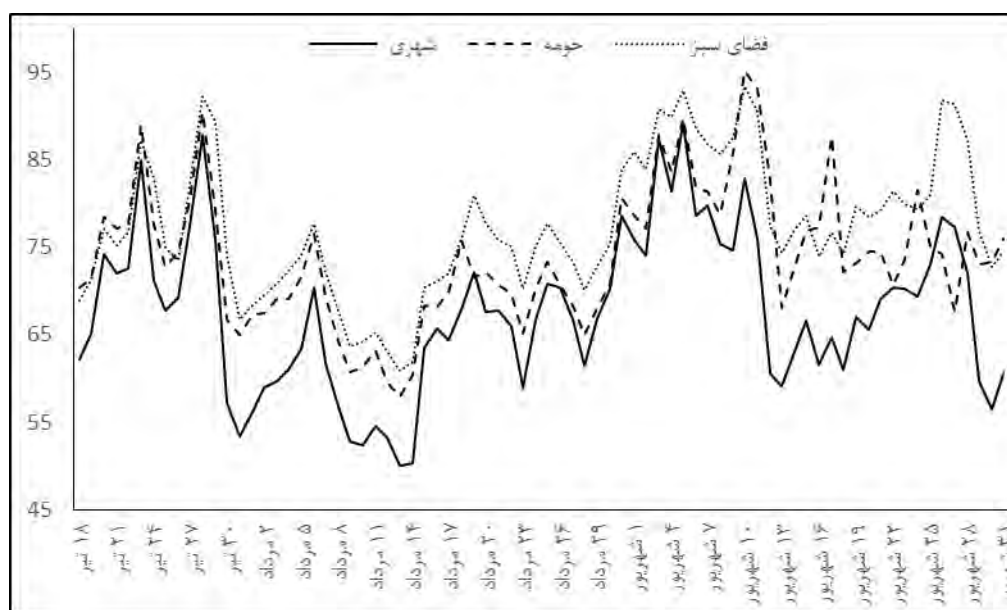
محیط	$DTD(t_{mean})$	$DTD(t_{max})$	$DTD(t_{min})$	ΔDTD
بافت متراکم شهری	۱/۰۲۱	۲/۰۸۳	۱/۰۷۹	۱/۰۰۳
حومه	۰/۹۳۷	۱/۹۲۵	۱/۱۸۳	۰/۷۴۲
سبز شهری	۰/۸۵۰	۱/۱۶۱	۱/۱۵۶	۰/۰۰۵

بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار ΔDTD فضای سبز کمتر از دو محیط دیگر (مرکز شهر و حومه) و نزدیک به صفر است. همچنین، در هر سه مورد مقدار $DTD(t_{max})$ بیشتر از $DTD(t_{min})$ است که نشان دهنده تغییرات بیشتر دما در روز در هر سه محیط بررسی شده است (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار تفاوت $DTD(t_{max})$ ، $DTD(t_{min})$ و ΔDTD در سه محیط شهری، فضای سبز، و حومه بابل

یکی از اثرهای مستقیم افزایش دما کاهش رطوبت نسبی است. با توجه به افزایش دما در اثر جزیره حرارتی، اولین تأثیر مورد انتظار کاهش رطوبت نسبی در شهر نسبت به مناطق حومه و فضای سبز است. داده‌های برداشت شده نیز نشان داد که میانگین، کمینه، و بیشینه رطوبت نسبی شهر در مقایسه با فضای سبز و حومه شهر دارای میزان کمتری است (شکل ۵). میانگین رطوبت نسبی ایستگاه واقع در شهر ۶۷ درصد، حومه ۷۳ درصد، و برای فضای سبز ۷۷ درصد است.



شکل ۵. نمودار تغییرات میانگین رطوبت نسبی روزانه در سه محیط شهری، فضای سبز، و حومه بابل

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش تجربی و مطالعات میدانی با به‌کارگیری سه دستگاه دیتالاگر در سه محیط متفاوت شهری، فضای سبز شهری، و حومه شهر بابل و دریافت داده‌های دما و رطوبت به مطالعه جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرات روز به روز دما پرداخته شد. اولین نتیجه مستقیم از داده‌ها نشان می‌دهد که در دوره مورد بررسی اختلاف دمای میانگین میان ایستگاه شهری با حومه حدود ۱ درجه و با فضای سبز شهری حدود ۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. تفاوت میانگین بیشینه دماهای روزانه شهر با حومه حدود ۰/۹۵ و با فضای سبز ۳/۲ درجه سانتی‌گراد و اختلاف میانگین کمینه دماهای روزانه شهر با حومه ۱/۳۹ و با فضای سبز ۱/۳۱ درجه سانتی‌گراد است. به نظر می‌رسد این اختلاف دمایی به دلیل انبوه بودن پوشش گیاهی در محیط دانشگاه علوم پزشکی به شکل دمای کمتر و به دلیل وجود بناها و خودروها در محیط شهری با دمای بیشتر پدیدار می‌شود. اثر شهر بر روی دما همیشه به شکل دمای بالاتر در همه ساعات‌های شبانه‌روز نبوده است و گاه در حومه و فضای سبز شهری نسبت به محیط شهری ثبت شده است؛ اما در بیشتر مواقع بررسی شده، محیط شهری دارای دمای بیشتری نسبت به محیط‌های پیرامونی به‌ویژه فضاهای سبز بوده است. بالاترین میانگین رطوبت نسبی (۷۷ درصد) در فضای سبز و کمترین میزان آن در شهر (۶۷ درصد) می‌تواند یکی از پیامدهای اولیه جزیره حرارتی در محیط شهری باشد. گیاهان، به‌ویژه درختان، با ایجاد سایه در روی سطح زمین، به طور غیرمستقیم و با رهاسازی رطوبت در جو باعث خنکی محیط می‌شوند. این نتایج حاکی از آن است که تخلیه گرما به صورت گرمای نهان تبخیر در فضای سبز نسبت به محیط مسکونی شهر بیشتر است.

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش براندسما و والترز (۲۰۱۲: ۱۰۵۱)، که در بیشینه و کمینه دمای مرکز پُرتراфик شهر اوترخت هلند و حومه به ترتیب به اختلاف ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و ۰/۶ درجه سانتی‌گراد دست یافتند، مطابقت دارد. این در حالی است که نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ساختار جزیره حرارتی شهر سئول (کیم و بایک، ۲۰۰۵) به اختلاف دمایی بیشتری (۲/۲ درجه) در مرکز آن شهر اشاره دارد.

اختلاف حداکثری ۴/۵ درجه‌ای میان حومه و بافت شهری و ۷/۵ درجه‌ای میان فضای سبز با بافت شهری بابل همسو با نتایج بررسی اختلاف دمایی شهر رشت معادل ۳ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد بین مرکز شهر با اطراف آن است (رمضانی و دخت‌محمد، ۱۳۸۹: ۶۲). شدت و میزان پدیده جزیره حرارتی بسته به اقلیم و ساختار شهری می‌تواند بسیار

متفاوت باشد. مثلاً بررسی جزیره حرارتی توسط پاتولینا و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که شدت جزیره حرارتی در تابستان ۱۰/۴ و در زمستان ۹/۵ درجه سانتی‌گراد در شهر هنگ‌کنگ است.

تغییرات روز به روز دما نشان داد که مقدار $DTD(t_{mean})$ در شهر از حومه و فضای سبز بیشتر است. این حالت نشان می‌دهد تغییرپذیری میانگین دما در شهر بابل بیش از دو محیط دیگر است. این در حالی است که این میزان در فضای سبز داخل شهر کمتر از حومه است. با توجه به این، می‌توان دریافت فضای سبز یکی از عوامل کاهنده نوسان دما در این شهر است. بررسی شرایط تغییرپذیری دمای بیشینه $DTD(t_{max})$ نیز نشان‌دهنده بیشترین میزان در شهر و کمترین میزان آن در فضای سبز است؛ اما میزان آن در همه بخش‌ها دارای افزایش درخور توجهی نسبت به دیگر پارامترهای دما است. نتایج به‌دست‌آمده بیان‌کننده این واقعیت است که در همه محیط‌ها میزان تغییرپذیری دمای بیشینه به نسبت بیشتر از دمای کمینه و میانگین است. نکته درخور توجه اینکه میزان $DTD(t_{min})$ در فضای شهری کمتر از دو محیط حومه و فضای سبز است. از آنجا که اثر شهر بر دمای کمینه بیش از دیگر دماهاست، می‌توان دریافت تغییرپذیری کمتر دمای شبانه در بافت متراکم شهری بابل نسبت به دو فضای سبز و حومه در اثر تشکیل جزیره حرارتی است. میزان DTD در بافت شهری از حومه و فضای سبز بیشتر است و در فضای سبز دارای کمترین میزان و نزدیک به صفر است. نتایج پژوهش ما با نتایج پژوهش تام و همکاران (۲۰۱۵) - که نشان دادند میزان DTD در همه پنج شهر بررسی‌شده بیشتر از مناطق روستایی آن‌ها بوده است - مطابقت دارد. این میزان‌ها بیانگر تفاوت بیشتر تغییرات دمای روزانه و شبانه در شهر و نبود تفاوت تغییر روز به روز دمای روزانه با تغییر روز به روز دمای شبانه در فضای سبز است. این نتیجه می‌تواند در اثر وجود منابع بیشتر تولید انرژی روزانه در شهر باشد که همراه با تغییرپذیری بیشتر دما در روز خواهد بود. در طول روز، گرم‌شدن سطوح ساختمان‌های شهری به دلیل ظرفیت بسیار زیاد ذخیره انرژی سریع‌تر از مناطق برون‌شهری است. بنابراین، دمای هوای شهرها، به‌خصوص در مراکز آن، به دلیل تمرکز بیشتر سطوح فیزیکی گرم‌تر می‌شود. طی شب، گرمای روزانه ذخیره‌شده در خیابان‌ها و ساختمان‌ها به آهستگی به هوا با طول موج بلند بازگردانده می‌شود که این موضوع روند کاهش دما را کندتر می‌کند.

این نتایج با تعادل انرژی در مناطق شهری برابر است؛ زیرا محیط‌های شهری دارای رطوبت کمتر است و ذخیره‌سازی گرمای آن‌ها بیشتر است. تابش ورودی خورشید، به‌عنوان حرارت محسوس، در محیط‌های شهری ذخیره می‌شود و سپس در محیط اطراف در شب رها می‌شود. این منبع از حرارت باعث تغییراتی در دما، به‌ویژه در دمای کمینه (t_{min})، می‌شود. در حدود ۹۵ درصد از ساعت‌های شبانه بررسی‌شده در محیط شهری، دما نسبت به دو محیط سبز و حومه دارای میزان بیشتری بوده است.

در پژوهش تام و همکاران (۲۰۱۵) در محیط روستایی، میزان $DTD(t_{min})$ نسبت به $DTD(t_{max})$ بیشتر بود؛ در نتیجه، میزان DTD منفی به دست آمده بود؛ در صورتی که در تحقیق ما میزان DTD در برای حومه شهر مثبت و برای فضای سبز شهری مثبت و نزدیک به صفر بوده است. هر چه میزان DTD در برای محیط روستایی در مقایسه با محیط شهری کوچک‌تر باشد نشان از شدت بیشتر اثر جزیره حرارتی است. با توجه به اینکه پژوهش تام و همکاران (۲۰۱۵) در کشور کانادا و امریکا با اقلیم و ساختار شهری و روستایی متفاوت با تحقیق حاضر انجام شد، مشاهده اثر و شدت پدیده جزیره حرارتی متفاوت در این تحقیق دور از انتظار نیست. منطقه حومه شهر بابل، به سبب ساخت‌وسازهای بی‌رویه و جاده‌های آسفالتی و تبدیل اراضی کشاورزی، مطابقت کمتری با مناطق روستایی کشورهای کانادا و امریکا دارد. در نتیجه، شدت این اثر در شهر بابل کمتر از شهرهای بررسی‌شده در مطالعه تام و همکاران (۲۰۱۵) بوده است.

بر اثر از بین رفتن پوشش سطح طبیعی، همانند پوشش گیاهی و خاک، و ایجاد سطوح فیزیکی مصنوعی شهری همچون ساختمان و آسفالت و سایر تأسیسات در طول روز انرژی خورشیدی توسط این سطوح بیشتر جذب می‌شود؛ در نتیجه، نوسان روزانه دما بیش از نوسان شبانه آن خواهد بود. از طرفی، با توجه به میزان بسیار کم تفاوت‌های دمایی

فضای سبز و نیز تفاوت بیشتر یا به عبارت بهتر دامنه بیشتر تغییر دما در شهرها (در شب و روز)، می‌تواند با افزایش فضای سبز در شهرها به میزان زیادی از نوسان دما در شهر بابل کاست. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که جزیره حرارتی نه تنها بر میزان دمای بابل تأثیر داشته، بلکه در تغییرپذیری دما نیز اثر درخور توجهی گذاشته است. همچنین، تشکیل جزیره حرارتی فقط منحصر به کلان‌شهرها نیست و در شهرهای متوسط نیز می‌تواند اثر شهر را بر روی ویژگی‌های آب و هوایی به‌ویژه دما و رطوبت مشاهده کرد. تغییرات روز به روز دما نیز می‌تواند ابزاری کارآمد برای تشخیص اثر شهر بر ویژگی‌های دمایی باشد.

سپاس‌گزاری

نگارندگان مقاله بر خود فرض می‌دانند از مساعدت و همکاری آقای رضویان، رئیس نمایندگی بیمه آسیا و حراست دانشگاه علوم پزشکی بابل، و آقای فیروزپور در این مجال قدردانی و تشکر نمایند.

منابع

- اسکورو، ژ. (۱۳۸۷). *اقلیم و شهر*، ترجمه کاظم جاجرمی، چ ۲، تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات اندیشه‌های گوهربار.
- رضائی، ب. و دخت محمد، س.م. (۱۳۸۹). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی شهر رشت، *مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۶۴-۴۵: (۱۱)
- رنجبر سعادت‌آبادی، ع؛ آزادی، م؛ علی‌اکبری بیدختی، ع. و صادقی حسینی، ع. (۱۳۸۴). مطالعه موردی جزیره گرمایی تهران و شبیه‌سازی عددی آن، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۱: ۶۳-۸.
- شمسی‌پور، ع؛ مهدیان ماه‌فروزی، م؛ اخوان، ه. و حسین‌پور، ز. (۱۳۹۱). واکاوی جزیره گرمایی شهر تهران، *مجله محیط‌شناسی*، ۳۸ (۴۰): ۵۶-۴۵.
- عزیزی، ق؛ شمسی‌پور، ع.؛ مهدیان ماه‌فروزی، م. و میری، م. (۱۳۹۲). تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهری تهران از الگوهای همدیدی جو، *مجله محیط‌شناسی*، ۳۹ (۴): ۶۶-۵۵.
- غضنفری مقدم، م.ص؛ علیزاده، ا؛ ناصری مقدم، م. و فرید حسینی، ع. (۱۳۸۹). بررسی اثر جزیره گرمایی شهری بر روند تغییرات ریزش‌های جوی مشهد، *نشریه آب‌و‌خاک*، ۲۴ (۲): ۳۶۶-۳۵۹.
- کاوایانی، م. (۱۳۸۰). *میکروکلیماتولوژی*، تهران: سمت.
- موسوی بایگی، م؛ اشرف، ب؛ فرید حسینی، ع. و میان‌آبادی، آ. (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳۵-۴۹.
- Arifwidodo, S.D. and Tanaka, T. (2015). The Characteristics of Urban Heat Island in Bangkok, Thailand, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195: 423-428.
- Azizi, Gh.; Shamsipur, A.; Mahdian Mahfrouzi, M. and Miri, M. (2013). Effect of intensity of Tehran Heat Island from synoptic patterns of atmosphere, *Journal of Environmental Studies*, 39(4): 55-66.
- Baik, J.J. and Chun, H.Y. (1997). A dynamical model for urban heat islands, *Boundary-Layer Meteorology*, 83: 463-477.
- Brandsma, T. and Wolters, D. (2012). Measurement and statistical modeling of the urban heat island of the city of Utrecht (Netherlands), *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(6): 1046-1060.
- Cotton, W.R. and Pielke, R.A. (1995). *Human Impacts on Weather and Climate*, Cambridge University Press, pp. 288.
- Escourror, G. (1999). *Le climat et la ville*, Translated by Kazim Jajarmi, Second edition, Goharbar Institutes of Publishing, Tehran.
- Ghazanfari Moghadam, Ms.; Alizadeh, A.; Naseri Moghaddam, M. and Farid Hosseini, A. (2010). Investigating the

- Effect of Urban Heat Island on the Trend of precipitation changes in Mashhad, *Water and Soil Journal*, 24(2): 366-359.
- Gough, W.A. (2008). Theoretical considerations of day-to-day temperature variability applied to Toronto and Calgary, *Canada data. Theoretical and Applied Climatology*, 94(1-2): 97-105.
- Hoverter, S.P. (2012). Adapting to urban heat: a tool kit for local governments, *Georgetown Climate Center*, PP. 81.
- Kalnay, E. and Magi, C. (2003). Impact of Urbanization and Land-Use Change on Climate, *Nature*, 423: 528-531.
- Karl, T.R.; Knight, R.W. and Plummer, N. (1995). Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, *Nature*, 377: 217-220.
- Kaviani, M. (2001). *Microclimatology*, Tehran: Samt.
- Kim, Y.H. and Baik, J.J. (2005). Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul, *Journal of Applied Meteorology*, 44(5): 591-605.
- Lokoshchenko, M.A.; Korneva, I.A.; Kochin, A.V.; Dubovetskiy, A.Z.; Kulizhnikova, L.K. and Ye, R.P. (1991). *Vertical range of urban heat island in Moscow*, PP. 3-8.
- Mousavi Bayige, M.; Ashraf, B.; Farid Hosseini, A. and Meyanabadi, A. (2012). Study of the Heat Island of Mashhad using satellite imagery and fractal theory, *Geography and environmental hazards journal*, PP. 35-49.
- Oke, T.R. (1973). City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment*, 7(8): 769-779.
- Paulina, W.; Poh-Chin, L. and Melissa, H. (2015). Temporal Statistical Analysis of Urban Heat Islands at the Microclimate Level, *Procedia Environmental Sciences*, 26(June): 91-94.
- Ramezani, B. and Dokht Muhammad, SA. (2000). Recognition of the Spacing Range of Heat Island Formation in Rasht, *Journal of Urban Planning Research*, 1(1): 64-45.
- Ranjbar Saadatabadi, A.; Azadi, M.; AliAkbari Bidokhti, A. and Sadegh Hosseini, A. (2005). Case Study of Tehran Thermal Island and its Numerical Simulation, *Journal of Physics of Earth and Space*, 1: 63-8.
- Shamsipur, A.; Mahdian Mahfroozi, M.; Akhavan, H. and Hosseinpour, Z. (2012). Examination of Heat Island of Tehran, *Journal of Environmental Studies*, 38(40): 56-45.
- Solecki, W.D.; Rosenzweig, C.; Pope, G.; Chopping, M. and Goldberg, R. (2004). Environmental Assessment and Risk Analysis Element Research Project Summary Urban Heat Island and Climate Change: An Assessment of Interacting and Possible Adaptations in the Camden, New Jersey Region, *Strategies*, PP. 1-5.
- Tam, B.Y.; Gough, W.A. and Mohsin, T. (2015). The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation, *Urban Climate*, 12: 1-10.
- Wang, Y.; Berardi, U. and Akbari, H. (2015). The Urban Heat Island Effect in the City of Toronto, *Procedia Engineering*, 118: 137-144.
- Wu, F.T.; Fu, C.; Qian, Y.; Gao, Y. and Wang, S.Y. (2016). High-frequency daily temperature variability in China and its relationship to large-scale circulation, *International Journal of Climatology*.
- Yamamoto, Y. (2005). Measures to Mitigate Urban Heat Islands, Environmental and Energy Research Unit, *Quarterly Review*, 18: 65-83.