

بررسی جزیره حرارتی شهر مبتنی بر اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی شهری

عباسعلی آروین

دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۵

چکیده

بررسی شرایط ریزاقليم‌شناسی شهری مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حرفه‌ای، واقعیت‌های ملموس‌تری را از جزیره حرارتی شهری بیان می‌کند. از این رو هدف این پژوهش بررسی شرایط ریزاقليمی و جزیره حرارتی شهری بر اساس داده‌های دمای ساعتی و روزانه ایستگاه‌های خودکار هواشناسی و آلوده‌سنجی تحت نظارت مرکز پایش و کنترل هوای شهرداری اصفهان می‌باشد. برای این منظور از روش آزمون همبستگی جهت بررسی اعتبار و صحت داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شهری استفاده شد که صحت داده‌های مذکور در سطح اطمینان ۹۹٪ تأیید شد. سپس جزیره حرارتی شهر بر اساس اختلاف دمای سطوح شهری و حومه بدست آمد. نتایج نشان داد متوسط سالانه جزیره حرارتی برابر با $UHI_{AN} = -1/27$ که نشان از عدم شکل‌گیری جزیره حرارتی در مقیاس سالانه دارد. حداقل جزیره حرارتی در تابستان $UHI_{SU} = -1/55$ و حداکثر آن در زمستان $UHI_{WI} = +0/96$ می‌باشد. به این ترتیب فقط در فصل زمستان متوسط دمای سطح شهر بیشتر از حومه است و جزیره حرارتی شهر بخوبی نمایان است. بررسی رژیم شبانه‌روزی دما در سطوح شهری و غیرشهری نشان داد دمای شهر در شب‌هنگام به دلیل تراکم بیشتر آلاینده‌های شهری ناشی از دمای کمتر شب و وارونگی‌های دمایی بخصوص در فصل سرد، بالاتر از محیط پیرامونی است. در حالی که در روزهنگام به دلیل انعکاس بیشتر سطوح شهری، دمای سطح شهر از محیط پیرامون کمتر است. به این ترتیب جزیره حرارتی از نظر فصلی در فصل سرد و از نظر تغییرات شبانه‌روزی در شب‌هنگام بروز می‌کند. از نظر مکانی خطوط هم‌گرما جزیره حرارتی شهری عمدتاً در شرق و شمال شرق اصفهان متراکم‌تر و رخنمون بیشتری دارد و کانون جزیره حرارتی بر شمال شرق اصفهان تمرکز دارد.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، ریزاقليم‌شناختی، جزیره حرارتی، شهر و پیرامون

مقدمه

شرایط اقلیمی که بطور مستقیم زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد در شهرها که بیشترین جمعیت دنیا را در خود جای داده است (مجتهدزاده، ۱۳۸۹: ۳۳) مشهودتر است. اگر چه با وجود تمام پیشرفت‌های بشری در شناخت شرایط هواشناسی و اقلیمی، خوشبختانه هنوز تغییر برنامه‌ریزی شده و دخالت در وضعیت هوا و اقلیم دور از دسترس بشر است. لیکن رفتار غیر عمد ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی، منجر به تولید آلودگی در

مقیاس کلان شده است که در مواردی امیال سودجویانه و منفعت طلبانه کارخانجات حاشیه شهرها یا متولیان ساخت و ساز شهری، شدت آلودگی جوی را افزایش داده است. این عامل بصورت ناخودآگاه موجب تغییر در شرایط اقلیمی شهر شده که اثر نامطلوب بر زندگی بشر گذاشته است. تغییر در شرایط ریزاقليم شهر منبعث از افزایش تراکم جمعیت شهرها است. برای مثال افزایش دمای پیرامون به سمت مرکز شهر تابع خطی از جمعیت است و با افزایش جمعیت شهر، دمای مرکز و پیرامون زیادتر می‌شود و در برخی

نشان داد اختلاف دمای میانگین شهر با حومه ۱ درجه سلسیوس و با فضای سبز شهری ۱/۸ درجه است در حالی که میانگین بیشینه دما در شهر نسبت به حومه، ۰/۹۵ درجه سلسیوس و نسبت به فضای سبز شهری ۳/۲ درجه بیشتر است. پورزیدی و همکاران (۱۳۹۹: ۱۶۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ به تحلیل فضایی زمانی جزایر حرارتی شهر گرگان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دو عامل اصلی یعنی شرایط اقلیمی و تغییرات بی‌برنامه در کاربری اراضی شهری در تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی شهر گرگان مؤثر هستند. والترز و براندسما^۵ (۲۰۱۲: ۷۱۸) به این نتیجه رسیدند که رابطه خطی بین جزیره حرارتی شهری در شب و تراکم جمعیت وجود دارد. یافته‌های ایشان نشان داد UHI در تابستان در شرایط شبانه قوی‌ترین است و با کاهش سرعت باد، کاهش پوشش ابر و افزایش فشار هوا در سطح دریا افزایش می‌یابد. در طول بهار و پاییز، UHI نسبت به تابستان پایین‌تر بود و در زمستان، هیچ UHI قابل توجهی مشاهده نشد. یاهیا و جانسون^۶ (۲۰۱۵) از نرم افزار ENVI-met برای محاسبه شاخص میانگین دمای تابش (MRT)^۷ و شاخص تعادل دمای فیزیولوژیکی (PET)^۸ استفاده کردند. نتایج نشان داد وقتی در اطراف ساختمان پوشش گیاهی وجود ندارد، ارتباط قوی و معناداری بین شاخص میانگین دمای تابشی و شاخص نمای آسمان^۹ (SVF) وجود دارد و وقتی پوشش گیاهی وجود ندارد این ارتباط ضعیف می‌شود. مقادیر MRT در فضاهای بین ساختمان‌ها پایین‌تر از خیابان‌ها است. این امر شاید به دلیل ریخت‌شناسی شهری فشرده با ساختمان‌های بلند باشد که سایه‌زنی را فراهم می‌کند و مانع از رسیدن اشعه خورشید به زمین می‌شود و بنابراین MRT پایین‌تر است. ایگناتیوس و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۵: ۱۳۳) به مطالعه و بررسی تأثیر بافت، چگالی و فرم شهری بر

شهرها به ۱۰ درجه می‌رسد. مایلز و ایسائو^۱ (۲۰۱۷) (جاجرمی، ۱۳۹۰: ۷۳-۷۲). با این حال بر اساس ماهیت شهر که پوشیده از سطوح منعکس کننده و براق و غیر قابل نفوذ هست، تغییرات دمای شهر به‌عنوان دمای محسوس، می‌تواند ناشی از تغییر در جنس سطوح باشد که این عامل می‌تواند در کنترل و مدیریت مدیران شهری قرار بگیرد. برای مثال طراحی و جهت‌گیری خیابان‌ها و هندسه آن تأثیر عمده‌ای بر محیط زیست شهری و جریان هوا و دسترسی به خورشید در یک کانون شهری دارد و عوامل کلیدی در تدارک یک محیط بی‌نظیر در یک محیط شهری است (شیشه‌گر، ۲۰۱۳). با اصلاح در شرایط مورفولوژی شهری، می‌توان به کاهش آلودگی و کاهش دمای شهری دست یافت (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). اگرچه بررسی‌های زیادی بر روی ریزاقلیم شهری و نیز جزیره حرارتی شهری عمدتاً مبتنی بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است (جانسون^۲، ۲۰۰۶؛ ایرینا و گارسیا^۳ (۲۰۱۶)، تسو و همکاران^۴ (۲۰۱۷)، موسوی باگی و همکاران (۱۳۹۱)، لیکن به دلیل محدودیت زمانی تصاویر به ساعات خاصی از شبانه‌روز، ماهیت ثبت دمای تشعشی، افتراق مناسبی و قابل قبولی از جزیره حرارت شهری به نمایش نمی‌گذارند و به نتایج کاربردی برای اصلاح ریزاقلیم شهری منجر نشده‌اند. از دیگر سو نبود ایستگاه‌های هواشناسی شهری در شهرهای ایران و یا عدم دسترسی به این سری داده‌ها باعث شده تحقیقات کمتری مرتبط با موضوع این پژوهش انجام گیرد و عمده تحقیقات پیرامون جزیره حرارتی شهری مبتنی بر تحلیل تصاویر ماهواره‌ای است. با این حال برخی تحقیقات به بررسی شرایط ریزاقلیم شهری مبتنی بر داده‌های هواشناختی پرداختند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۶: ۴۹۸) با استفاده از دیتالاگر به ثبت و بررسی دمای شهر بابل و مقایسه آن با دمای ناحیه اطراف پرداختند. نتایج

5. Wolters and Brandsma
6. Yahia and Johansson
7. Mean Radiant Temperature
8. Physiological Equivalent Temperature
9. Sky View Factor
10. Ignatius et al.

1. Miles and Esau
2. Jansson
3. Irina and Garcia
4. Tsou et al.

برای این منظور میزان مصرف انرژی ساختمان‌های منتخب در سئول در آگوست سال ۲۰۱۴ و داده‌های ۲۳ ایستگاه هواشناسی خودکار را مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد فرم شهری و ویژگی‌های شخصی افراد، رابطه معنی‌داری با مصرف انرژی ساختمان‌ها دارند. همچنین مشخص شده است که عناصر ریزاقليمی مانند سرعت باد و رطوبت با مصرف انرژی ساختمان‌ها مربوط می‌شود. شبیه‌سازی ریزاقليم ENVI-met و دمای شهری با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met توسط براردی و وانگ^۵ (۲۰۱۶: ۱۰) نشان داد که سازه‌های جدید شهری دمای هوای شهر را تا حدود ۱ درجه سانتیگراد در طول روز کاهش می‌دهد، در حالی که در طول شب تأثیرات ناچیز دارد و دما افزایش می‌یابد. علاوه بر این، میانگین دمای تابشی پس از ساخت و سازه‌های جدید به میزان قابل توجهی کاهش یافته و تأثیر UHI را در اواسط روزهای تابستان کاهش می‌دهد. یانگ و همکاران^۶ (۲۰۱۸: ۱۲) اثرات طراحی منظر بر ریزاقليم شهری و آسایش حرارتی شهری را در یک منطقه مسکونی مرتفع در آب و هوای گرمسیری سنگاپور مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند با اجرای طراحی منظر پیشنهادی، می‌توان تا ۱۲ درجه دمای محیط را کاهش داد. با این حال مواد جداره با قابلیت آلودگی بالا و نیز سطوح پوشیده با آب، اثر قابل توجهی بر کاهش استرس گرمایی در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب استوایی ندارد. ترکیبی از درختان سایه بر روی چمن، موثرترین استراتژی چشم انداز برای خنک کردن ریزاقليم شهری است

ضرورت پژوهش بر این نکته مترتب است که عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی در نواحی شهری منجر به هدایت پژوهشگران به سمت استفاده از روش‌های تجربی برای بررسی ریزاقليم شهری و تخمین دمای شهر می‌شود که اغلب تصویر صحیح از ریزاقليم و جزیره حرارتی شهری ارائه نمی‌دهد. لیکن تفاوت اصلی این پژوهش با سایر تحقیقاتی که بخصوص در

گرمای محسوس، دمای محیط، تهویه شهری و راحتی حرارتی در فضای باز پرداختند. نتایج نشان داد فضای وسیع بیشتر می‌تواند تهویه بهتر شهری، نور روز بیشتر در ساختمان‌ها و فعالیت اجتماعی عابران پیاده را به دلیل وجود منطقه بزرگتر در فضای باز راحت‌تر کند. لی چاپمن و مولر^۱ (۲۰۱۶: ۱۵) جزیره حرارتی شهری UHI سطح روباز و در سایه زمین را در بیرمنگام انگلستان با استفاده از دمای سطح زمین LST تصاویر MODIS و یک مجموعه داده‌های دمای هوای ایستگاه‌های خودکار مقایسه کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند در طول شب، شدت UHI همزمان با پایداری جو افزایش می‌یابد. نکته کلیدی اینکه جزیره حرارتی سایه تمایل دارد که با یک هسته بزرگتر از گرمای شهری در سمت شرق شهر تشکیل شود، در حالی که جزیره حرارتی روباز در سمت غرب شهر شکل می‌گیرد. این تفاوت به ویژه در شب مشخص‌تر است. مایلز و ایسائو^۲ (۲۰۱۷: ۱۳) ویژگی‌های فصلی و فضایی جزیره حرارتی شهری را در شهرهای شمال غربی سیبری مطالعه کردند و نشان دادند بین لگاریتم جمعیت و جزیره حرارتی شهری رابطه مثبتی وجود دارد و ۶۷-۶۵ درصد تغییرات جزیره حرارت شهری توسط لگاریتم جمعیت با مدل رگرسیونی تبیین می‌شود. رحیم‌پور و همکاران (۲۰۱۸: ۹۵) اثر محیط شهری را بر دما و بارش در مناطق شهری هلند مطالعه کردند. نتایج نشان می‌دهد که جزیره حرارتی شهر در مناطق مسکونی شهری قوی‌تر و بارش ۷ درصد بیشتر از مناطق روستایی است. لیائو و هئو^۳ (۲۰۱۸: ۶۴۷) اثر ویژگی‌های فضای شهری را بر روی ریزاقليم شهری مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند تغییرات ناهمگون مانند تغییر در عرض خیابان‌ها، مساحت و سطح اشتغال ساختمان‌ها، اثر قابل توجهی بر ریزاقليم شهری دارد. لسی و ژیانگ^۴ (۲۰۱۷: ۵۶۶) همبستگی‌های اثرات فرم ساختمان و ریزاقليم شهری را بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها بررسی کردند.

1. Lee Chapman and Muller
2. Miles and Esau
3. Liao and Heo
4. Lee and Jeong

5. Berardi and Wang
6. Yang et al.

شهری و فراهم کردن آسایش اقلیمی مؤثرتر باشد.

روش تحقیق

برای نیل به اهداف پژوهش از سه دسته داده‌ها استفاده شده است.

دسته اول: داده‌های دمای روزانه سال ۱۳۹۷ مربوط به وضعیت اقلیمی شهر اصفهان در ۴ ایستگاه آلوده سنجی میدان انقلاب، کاوه، خیابان میرزا طاهر و رهنان مجهز به ابزار ثبات شرایط هواشناسی است که عناصر دمای هوا، فشار سطح زمین، سرعت و جهت باد و رطوبت نسبی را بصورت خودکار ثبت و ضبط می‌کنند. مشخصات و موقعیت این ایستگاهها در جدول ۱ آورده شده است.

دسته دوم: اطلاعات مربوط به دمای روزانه سال ۱۳۹۷ پنج ایستگاه هواشناسی اطراف اصفهان شامل؛ ایستگاه‌های آزون-سنجی، فرودگاه، کبوترآباد، مورچه‌خورت و نجف‌آباد که تحت مدیریت سازمان هواشناسی است و از آن به‌عنوان دما حومه شهر استفاده گردید.

دسته سوم: داده‌های ساعتی مربوط به سه ماه فروردین، تیر و آبان ماه ۱۳۹۸ مربوط به دو مجموعه ایستگاه‌های فوق که از مراجع مذکور دریافت شد.

ایران انجام گرفته این است که بررسی ریزاقلیم و جزیره حرارتی شهری در این پژوهش مبتنی بر اطلاعات و آمار ایستگاه‌های حرفه‌ای هواشناسی شهری است که صحت و سقم داده‌های آن با داده‌های ایستگاه‌های استاندارد سازمان هواشناسی کالیبره شده و صحت آن تأیید گردیده است. با توجه به اینکه چنین ایستگاه‌هایی بندرت در نواحی شهری تأسیس و مدیریت می‌شود، لذا به دلیل عدم وجود چنین ایستگاه‌هایی در کشورمان، تحقیق در این زمینه در کشور ایران بسیار اندک است و آنچه نیز انجام شده بر اساس داده‌های ایستگاه‌های آماتور بوده که بصورت موقت و برای چند ساعت یا چند روز در برخی نواحی و آنهم بصورت غیر حرفه‌ای و تحت شرایط نه چندان علمی، دمای شهری را اندازه‌گیری و مورد استفاده قرار داده‌اند. از این رو بررسی شرایط ریزاقلیم شناختی شهر اصفهان بر اساس داده‌های و اطلاعات هواشناسی دقیق و حرفه‌ای ایستگاه‌های مرکز کنترل و پایش آلودگی شهرداری اصفهان از جمله ویژگی‌های این پژوهش است که شاید به دلیل عدم دسترسی به چنین داده‌هایی کمتر بدان پرداخته شده است. انجام پژوهش مبتنی بر اطلاعات واقعی اقلیم شهری می‌تواند در ارائه راهکارهای لازم برای اصلاح سطوح

جدول ۱: مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های هوا-آلوده سنجی شهرداری و ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور

نوع	ردیف	نام ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع
آلوده سنجی شهرداری	۱	انقلاب	۴۰	۳۸	۱۵۷۱
	۲	کاوه	۴۰	۴۲	۱۵۶۹
	۳	میرزا طاهر	۳۷	۳۸	۱۵۸۲
	۴	رهنان	۳۶	۴۱	۱۵۸۱
ایستگاه‌های هواشناسی	۱	آزون سنجی	۴۰	۳۷	۱۵۵۰
	۲	فرودگاه	۵۱	۴۵	۱۵۴۳/۵
	۳	نجف آباد	۲۳	۳۶	۱۶۴۱
	۴	مورچه خورت	۲۹	۰۶	۱۶۸۰
	۵	کبوتر آباد	۵۱	۳۲	۱۵۴۵

در این پژوهش روش تحقیق بصورت علی و همبستگی مبتنی بر تحلیل داده‌های اقلیمی می‌باشد. به این ترتیب که در ابتدا اعتبار، صحت و دقت داده‌های دمای روزانه ایستگاه‌های خودکار هوا-آلوده

سنجی شهرداری، با استفاده از روش همبستگی و گرافیکی مورد آزمون و بررسی قرار گرفت و با مقایسه این داده‌ها با داده‌های ایستگاه آزون-سنجی سازمان هواشناسی کشور، از صحت و دقت آنها اطمینان

تأیید قرار گرفت که نشان از دقت و صحت داده‌های ایستگاه‌های خودکار شهری می‌باشد.

حاصل شد. بر این اساس روابط همبستگی داده‌های دمای روزانه ایستگاه‌های هواشناسی شهری با دمای روزانه ایستگاه آزون سنجی در سطح ۹۹ درصد مورد

جدول ۲: ماتریس همبستگی ایستگاه‌های هوا-آلوده‌سنجی مرکز پایش شهرداری و ایستگاه آزونسنجی اصفهان

		ایستگاه‌های هوا-آلوده سنجی شهری				
		ایستگاه هواشناسی آزون سنجی	رهنان	انقلاب	کاوه	میرا طاهر
ایستگاه آزون سنجی	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۱**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۳**
	سطح معناداری (دودنباله)		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	تعداد	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵

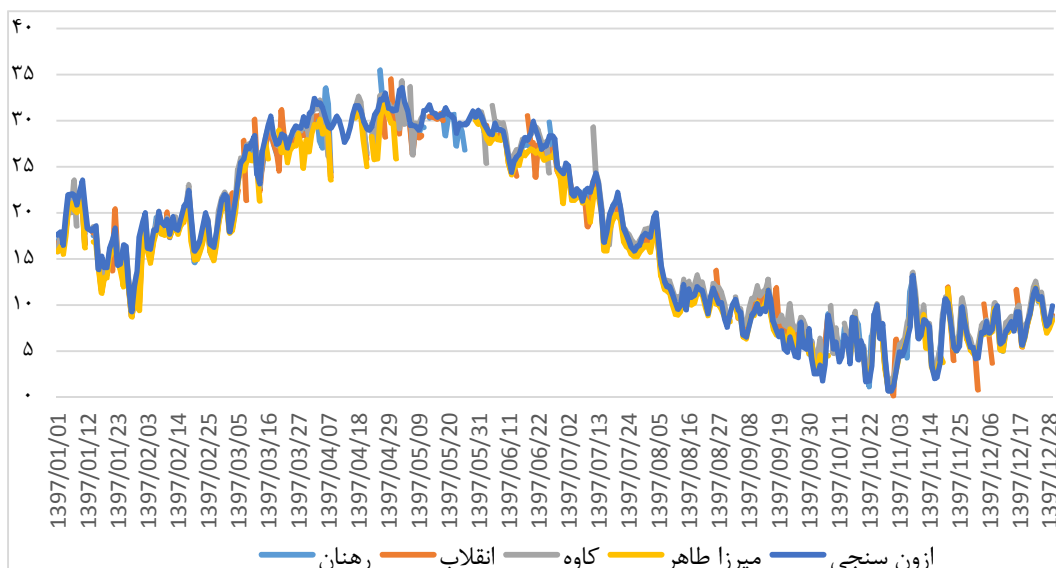
**ضریب همبستگی در سطح خطای ۰/۰۱ درصد معنادار است

خطا، که یکی از شروط اصلی هر مدل رگرسیونی است، مساله ای ندارد و اعتبار داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شهری بر اساس ایستگاه استاندارد سازمان هواشناسی کشوری تأیید می‌شود.

با عنایت به اینکه آماره دوربین واتسون بدست آمده از مدل رگرسیونی برابر ۱/۵۸۲ است و به صورت تقریبی از ۱/۵ بیشتر و از ۲/۵ کمتر است بنابراین مدل از نظر عدم وجود خود همبستگی بین جملات

جدول ۳: ضرایب رگرسیونی و مقدار آماره دوربین واتسون

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل یافته	خطای تخمین استاندارد	ضریب دوربین واتسون
۱	۰/۹۹۵ ^۳	۰/۹۹۱	۰/۹۹۰	۰/۹۳۵۹۳	۱/۵۸۲



شکل ۱: نمودار خط روند تغییرات روزانه دمای چهار ایستگاه هوا-آلوده‌سنجی مرکز پایش شهرداری اصفهان با روند تغییرات ایستگاه آزون‌سنجی سازمان هواشناسی کشور در دوره زمانی مشترک

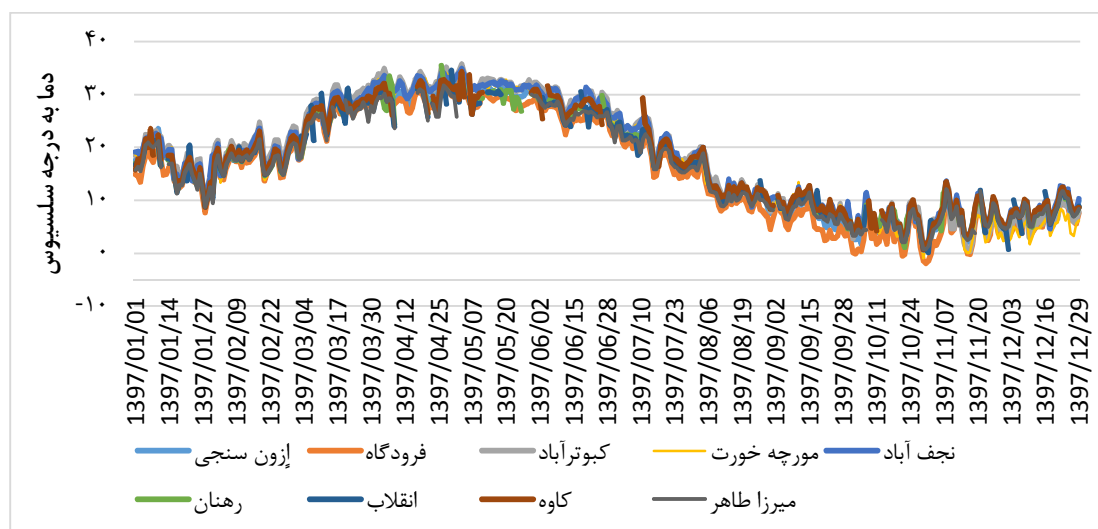
ایستگاه آزون‌سنجی اصفهان نشانه صحت، دقت و اعتبار این داده‌ها برای قضاوت در خصوص جزیره

همچنین انطباق و برهم قرارگیری خط روند تغییرات متوسط روزانه دمای چهار ایستگاه هوا-آلوده‌سنجی شهر اصفهان با روند تغییرات روزانه دمای

مورد مقایسه قرار گرفت تا تفاوت ماهوی بین دما در سطح شهر و دمای ایستگاه‌های هواشناسی در حومه شهر مشخص گردد. همانطور که از نمودار شکل ۳ مشخص است، تغییرات دما در چهار ایستگاه هوا-آلوده‌سنجی سطح شهر اصفهان از تغییرات دما در ایستگاه‌های هواشناسی حومه شهر پیروی می‌کند. از دیگر سو مقایسه متوسط سالانه دمای این ایستگاه‌ها نه تنها جزیره حرارتی را به نمایش نمی‌گذارد، بلکه موجب پیدایش جزیره سرمای در بعضی از ایستگاه‌ها نیز می‌شود.

بگذارد، جزیره سرمای شهر را نشان می‌دهد. از این رو برای پی بردن به واقعیت شرایط ریزاقلیم شناختی شهری از داده‌های دمای روزانه چهار ایستگاه هوا-آلوده‌سنجی مجهز به ابزار ثبت خودکار دمای هوا استفاده گردید که خوشبختانه این مهم در سال ۱۳۹۶ توسط شهرداری اصفهان محقق شد. لیکن داده‌های منظم در سال ۱۳۹۷ بدست آمد که در این پژوهش از آن بهره‌گیری شد.

برای بررسی جزیره حرارتی شهری ابتدا آمار روزانه در سال ۱۳۹۷ برای چهار ایستگاه هوا-آلوده‌سنجی سطح شهر در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه با هم



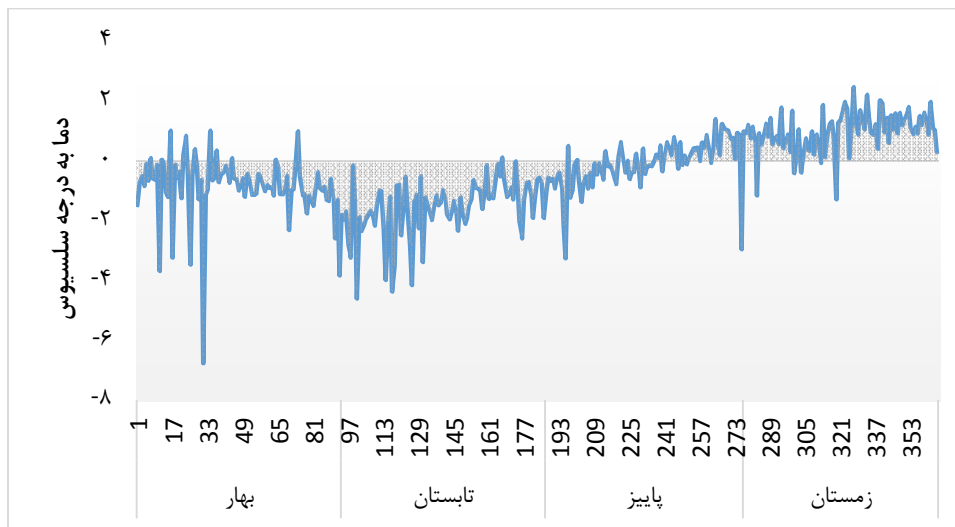
شکل ۳: انطباق خط روند تغییرات روزانه دما در چهار ایستگاه هوا-آلوده‌سنجی مرکز پایش شهرداری با پنج ایستگاه سازمان هواشناسی

تغییرپذیری بیشتر دما در ایستگاه‌های خارج از شهر است که نشان دهنده یکنواختی بیشتر دما در محدوده شهر است و تغییرات مکانی بیشتر دما در خارج از شهر است. این موضوع بخصوص در ایستگاه‌های کبوترآباد و مورچه خورت که خارج از محیط انسانی هستند بیشتر بچشم می‌خورد. بدینسان محیط انسانی متأثر از پدیده‌های آنتروپوژنیک موجب کاهش یکنواختی در تغییرات زمانی دما شده است که در ایستگاه‌های خارج از شهر بخصوص ایستگاه کبوترآباد که یک ایستگاه هواشناسی کشاورزی است، اثرات آنتروپوژنیک به حداقل کاهش می‌یابد.

بررسی و مقایسه متوسط سالانه دمای ۳۶۵ روز سال در ایستگاه‌های هوا-آلوده‌سنجی میرزا طاهر، کاوه، انقلاب و رهنان و پنج ایستگاه هواشناسی ایزون سنجی، فرودگاه، کبوترآباد، مورچه خورت و نجف آباد بر روی جدول شماره ۳ نشان می‌دهد متوسط دمای سالانه در سطح شهر ۱۷/۳۷۵ و در ایستگاه‌های هواشناسی پیرامون شهر ۱۷/۷۸ است که متوسط دمای سطح شهر ۰/۴۰۵ درجه پایین‌تر از دما در ایستگاه‌های حومه شهر است و لذا در مقیاس متوسط دمای سالانه، شهر سردتر از محیط پیرامون است. همچنین مقایسه انحراف معیار و واریانس ایستگاه‌ها داخل و خارج از شهری نشان دهنده

جدول ۴: مقایسه متوسط سالانه دما، انحراف معیار و واریانس در ایستگاه‌های هوا-آلوده سنجی با ایستگاه‌های هواشناسی حومه شهر اصفهان

ایستگاه‌های هواشناسی حومه شهر					ایستگاه‌های سطح شهر				
نجف آباد	مورچه خورت	کبوترآباد	فرودگاه	آزون سنجی	میرزا طاهر	کاوه	انقلاب	رهنان	
۱۸/۷	۱۷/۹	۱۸/۷	۱۵/۹	۱۷/۷	۱۶/۸	۱۸/۰	۱۷/۳	۱۷/۴	میانگین
۱۰/۴	۱۰/۳	۹/۷	۹/۷	۹/۶	۹/۰	۹/۱	۸/۹	۹/۱	انحراف معیار
۹۴/۹	۱۰۷/۷	۱۰۶/۸	۹۵/۱	۹۲/۰	۸۰/۴	۸۳/۱	۸۰/۲	۸۲/۳	واریانس



شکل ۴: روند تغییرات روزانه جزیره حرارتی UHI_{AN} شهری در فصول سال

شهر آشکار می‌گردد و با عبور از فصل گرم به سرد، جزیره حرارتی شهر به تدریج نمایان می‌شود، به این ترتیب در ۲۲۸ روز (۶۲/۵ درصد) اوقات سالانه دمای سطح شهر کمتر از حومه و فقط در ۱۳۷ روز (۳۷/۵ درصد) دمای سطح شهر بالاتر از حومه است. بررسی شرایط ریزاقليم‌شناختی شهری مبتنی بر دماهای ایستگاه‌های کاوه و انقلاب که در مرکز واقع شده‌اند نشان از دمای بالاتر این ایستگاه‌ها در فصل سرد سال یعنی اواخر پاییز و فصل زمستان دارد.

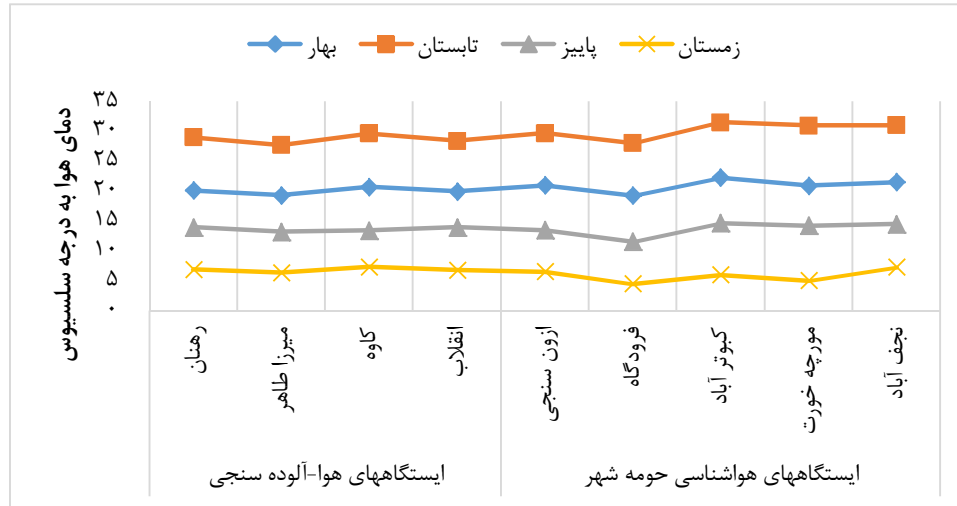
بررسی روند تغییرات مکانی متوسط فصلی دما نیز بر روی نمودار شکل شماره ۵ نشان می‌دهد، فقط در فصل زمستان دما در ایستگاه‌های داخل محدوده شهر بالاتر از دما ایستگاه‌های خارج از شهر است و لذا جزیره حرارتی بجز در فصل زمستان، در فصول دیگر قابل تشخیص نیست. جزیره حرارتی در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر با

تحلیل شرایط اقلیمی شهر و حومه مبتنی بر جزیره حرارتی شهر UHI بر اساس روند تغییرات روزانه دما واقعیت‌های ملموس‌تری را آشکار می‌سازد. بر همین مبنا جزیره حرارت شهر در مقیاس سالانه $1/27 - UHI_{AN}$ محاسبه گردید که نشان دهنده جزیره حرارتی منفی و عدم شکل‌گیری جزیره حرارتی در مقیاس سالانه است. به این ترتیب به‌طور میانگین در سال، دمای سطح شهر $1/27$ درجه سردتر از حومه شهر است که به عبارتی جزیره سرمای شهر را نشان می‌دهد.

ترسیم خط روند جزیره حرارتی شهر در مقیاس سالانه بر روی نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد دمای سطح شهر در فصول بهار و پاییز کمتر از دمای حومه شهر است و در فصل گرم باید به جزیره سرمای شهر اشاره داشت. در صورتی که از میانه پاییز تا اوایل بهار متوسط روزانه دمای سطح شهر بیشتر از حومه و جزیره حرارتی

است و جزیره حرارتی با حدود یک درجه سلسیوس قابل تشخیص است و در فصل تابستان دمای سطح شهر ۱/۵۵ درجه سردتر از حومه می‌باشد.

و $UHI_{AT} = -0/05$ ، $UHI_{SU} = -1/55$ ، $UHI_{SP} = -0/95$ و $UHI_{WI} = +0/96$ است. بر این اساس فقط در فصل زمستان متوسط دمای سطح شهر بیشتر از حومه شهر



شکل ۵: روند تغییرات مکانی دما در ایستگاه‌های داخل و خارج شهر در فصول سال



شکل ۶: جزئیات روند تغییرات فصلی و ماهانه جزیره حرارتی شهر

(۱۰/۸ درصد اوقات سال)، دمای شهر بالاتر از دمای حومه بوده است. به این ترتیب فقط در روزهای آغازین فصل بهار جزیره حرارتی شهر هویدا می‌شود. در تابستان فقط یک روز سال متوسط دمای سطح شهر

بررسی جزیره حرارتی شهری بر اساس اختلاف دمای شهر و حومه بر روی نمودارهای شکل ۶ نشان می‌دهد، در فصل بهار ۸۳ روز سال (۸۹/۲ درصد) دمای سطح شهر زیر میانگین و فقط در ۱۰ روز سال

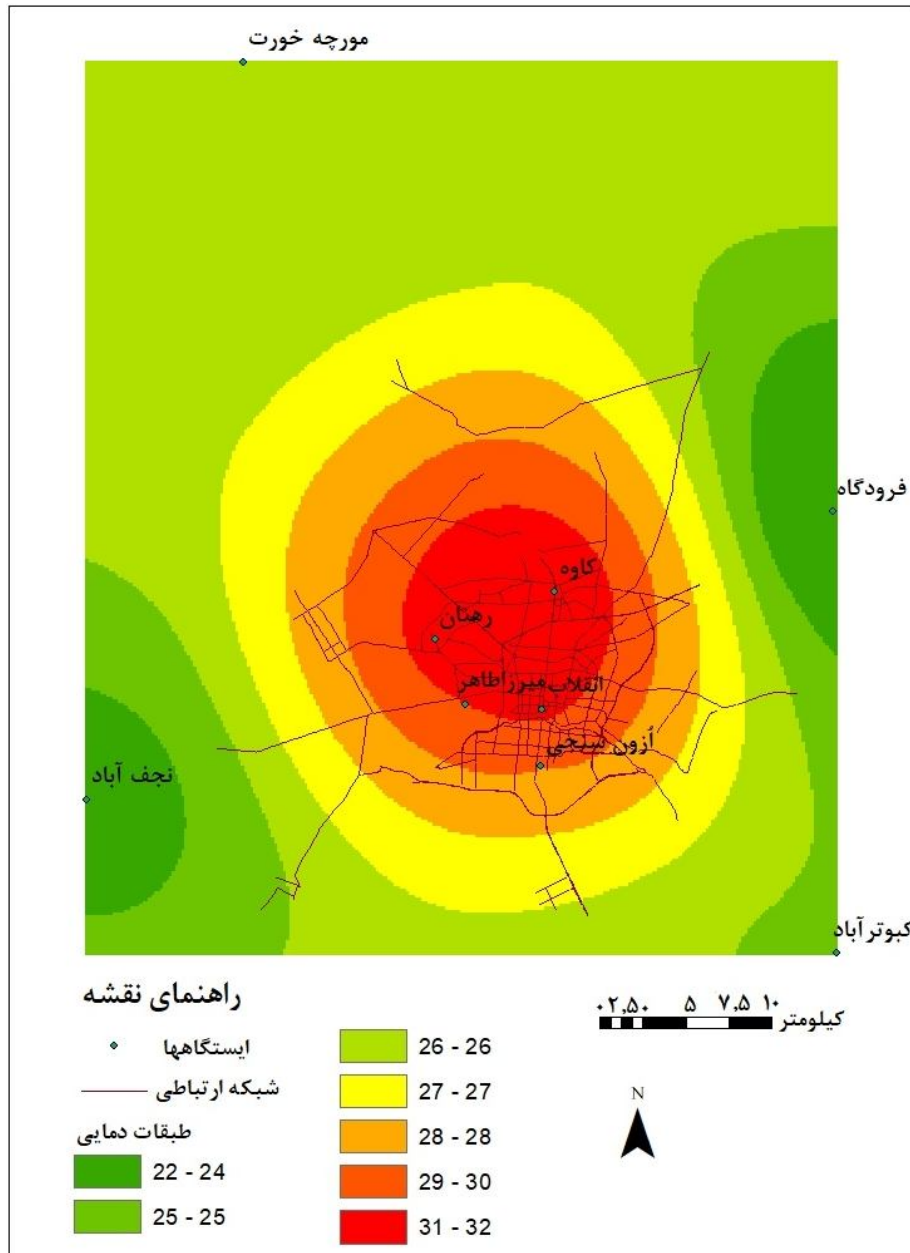
ایستگاه‌های خارج شهر بدست آمد که در نمودارهای شکل ۷ نشان داده شده است. برای مقایسه بهتر مقیاس محور عمودی هر دو نمودار یکسان در نظر گرفته شده تا تفاوت دمایی روز گرم و سرد ملموس‌تر باشد. این وضعیت هم برای فصل گرم و هم فصل سرد حاکمیت دارد. بدین معنا دمای سطح شهر در شب‌ها گرم‌تر از محیط پیرامون و در روزها سردتر از محیط پیرامون است. با توجه به داده‌های ساعتی در دسترس، تغییرات دما در دو روز یکی مربوط به فصل گرم و یکی مربوط به فصل سرد بررسی شد. در روز ۱۰ تیر ماه متوسط دمای شهر ۳۱/۴ و دمای پیرامون شهر ۳۲/۲ درجه است و جزیره حرارتی شهر ۰/۸- است. یعنی حدود یک درجه شهر سردتر از محیط پیرامون است که نشان دهنده جزیره حرارتی منفی تابستان است. در صورتی که در روز ۲۳ آذر، دمای شهر ۷/۸ و دمای پیرامون ۶/۷ درجه است و جزیره حرارتی شهر ۱/۱+ است. یعنی ۱/۱ درجه سلسیوس شهر گرم‌تر از محیط پیرامون است. بر اساس نمودار شکل ۷، همزمان با طلوع خورشید دمای پیرامون شهر افزایش می‌یابد، زیرا جذب تشعشع خورشید در محیط پیرامونی شهر به دلیل پوشش تیره‌تر نسبت به سطوح شهری، بیشتر است. در صورتی که در شب‌هنگام، نگهداشت گرمای شهر به دلیل پوشش بیشتر گازهای گلخانه‌ای، بیشتر و لذا دمای سطح شهر بیشتر از محیط پیرامون شهر است.

بالاتر از حومه شهر است و در ۹۲ روز سال (۹۸/۹ درصد اوقات سال) دمای سطح شهر کمتر از دمای حومه است. در فصل پاییز ۵۱ روز (۵۵/۵ درصد اوقات) متوسط دمای روزانه کمتر از دمای حومه و در ۴۰ روز (۴۴/۵ درصد اوقات سال) دمای سطح شهر بیشتر از دمای حومه است. در فصل زمستان ۵ روز (۵/۶ درصد) دمای شهر کمتر از حومه و در ۸۴ روز (۹۴/۴ درصد) دمای سطح شهر بیشتر از دمای حومه و جزیره حرارتی شهر کاملاً مشهود و هویدا است. به این ترتیب در فصول زمستان و پاییز که هوا سرد است جزیره حرارتی شهر کاملاً نمایان می‌گردد و در فصل تابستان بسیار ضعیف و در فصل بهار ضعیف است. این یافته‌های با نتایج کار میلز و ایسو (۲۰۱۷: ۶) مطابقت دارد، ایشان نیز به این نتیجه رسیدند که جزیره حرارتی در فصل زمستان ۶۰ درصد قوی‌تر از جزیره حرارتی در فصل تابستان است.

با توجه واکنش متفاوت سطوح شهری و غیر شهری در شب و روز نسبت به تغییرات دما، روند تغییرات شبانه‌روزی دما مورد بررسی قرار گرفت. بررسی جزیره حرارتی بر اساس تغییرات ساعتی دمای شبانه‌روز نشان می‌دهد جزیره حرارتی شهر در طول روز منفی و در شب مثبت است. به این مفهوم که جزیره حرارتی شهر در شب‌هنگام نمایان‌تر است و در طول روز جزیره سرمای بر شهر حاکمیت دارد و دمای سطح شهر از حومه پایین‌تر است. این مهم از طریق مقایسه دمای ساعتی ایستگاه‌های سطح شهر و



شکل ۷: وضعیت دما سطح شهر و حومه در تاریخ ۲۳ آذر به عنوان نماینده فصل سرد نمودار (سمت چپ) و ۱۰ تیر به عنوان نماینده فصل گرم (نمودار سمت راست)



شکل ۸: نقشه خطوط همدمای که شکل‌گیری جزیره حرارتی شهر را بر روی اصفهان نسبت به محیط اطراف بخصوص در شرق و شمال شرق نشان می‌دهد.

در شرق اصفهان بر اساس مطالعات پیشین می‌باشد. اگرچه این ممکن است به دلیل فاصله کمتر ایستگاه فرودگاه نسبت به مرکز شهر تبیین شود، لیکن شرایط برّی شرق اصفهان و ایستگاه فرودگاه و نیز تراکم بالای آلودگی در شرق شهر اصفهان را نباید از یاد برد. البته این شیب در جنوب اصفهان که به ایستگاه‌های آزون سنجی و کبوترآباد نیز نزدیک است، کمتر می‌باشد.

به منظور نمایش بهتر جزیره حرارتی شهر، خطوط همدمای شهر و پیرامون بر اساس داده‌های دمایی ساعت ۶ صبح به وقت محلی ایستگاه‌های هواشناسی خارج و هوا-آلوده‌سنجی داخل شهر ترسیم گردید (نقشه شکل ۸). بر این مبنا حداکثرهای دما مبتنی بر نواحی مرکزی شهر میدان انقلاب و ایستگاه کاوه می‌باشد. شیب تغییرات دما از مرکز شهر به سمت شرق بیشتر است که مبتنی بر حداکثر تراکم آلودگی

جمع بندی و نتیجه گیری

و براندسما (۲۰۱۲) همخوانی دارد. بررسی رژیم شبانه‌روزی دما در سطوح شهری و غیرشهری نشان می‌دهد دمای شهر در شب‌هنگام به دلیل سقف مسقف‌تر^۱ آلاینده‌های شهری، بالاتر از محیط پیرامونی است. در حالی که در روزهنگام به دلیل انعکاس بیشتر سطوح شهری، دمای سطح شهر از محیط پیرامونی کمتر است. بر این اساس اگرچه شرایط ریزاقلیم‌شناختی سطح شهری موجب کم شدن دمای شهری نسبت به محیط پیرامونی شهر در روز می‌شود، ولی در شب‌هنگام، آلودگی شهری مانع خروج گرمای کسب شده شهر در طول روز می‌شود و لذا دمای شهر در شب بالاتر از دمای محیط پیرامون است. به عبارتی دیگر جذب تشعشع خورشید در طول روز در محیط پیرامونی شهر به دلیل پوشش تیره‌تر نسبت به سطوح شهری، بیشتر و لذا دارای دمای بالاتر نسبت به محیط عریان و سطوح منعکس کننده و سفید شهری است. در صورتی که در شب‌هنگام، نگهداشت گرمای شهر به دلیل پوشش بیشتر گازهای گلخانه‌ای، بیشتر و لذا دمای سطح شهر بیشتر از محیط پیرامون شهر است.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای خسروی مدیر محترم نظارت و پایش آلودگی هوا شهرداری اصفهان و سرکار خانم مهندس محمودی کارشناس آمار و اطلاعات به خاطر همکاری در زمینه در اختیار نهادن داده‌ها و اطلاعات ایستگاه‌های شهر اصفهان تشکر و سپاس فراوان دارم. همچنین از مسئولین محترم اداره کل هواشناسی استان اصفهان به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های روزانه هواشناسی تشکر می‌کنم.

۲. حجازی‌زاده، زهرا. علی‌اصغر عبداللهی و سعید جوی‌زاده و آناهیتا عضدی قاجار. ۱۳۹۰. میکروکلیماتولوژی شهری با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور (RS) مطالعه موردی: شهر اصفهان. یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، تهران، انجمن جغرافیایی ایران، دانشگاه شهید بهشتی.
۳. جاجرمی، کاظم. (۱۳۹۰). اقلیم و شهر. تألیف ژیزل اسکورو. جلد اول. تهران، انتشارات اندیشه‌های گوهر بار.

بررسی ریزاقلیم و جزیره حرارت شهری صرفاً بر اساس داده‌های امواج حرارتی ماهواره‌ای که تابش زمین را نشان می‌دهد، با نتایج اغراق آمیز و دور از واقعیت همراه است. از دیگر سو بررسی ریزاقلیم شهری بر اساس ساختار سطوح جزیره‌ای شهر که فقط شرایط سطح کوچکی از شهر را مورد ملاحظه قرار می‌دهد با واقعیات ریزاقلیم کل شهر همخوانی ندارد. از این رو در این پژوهش بررسی و تجزیه و تحلیل ریز اقلیم و جزیره حرارتی شهری بر مبنای داده‌ها و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی حرفه‌ای داخل و بیرون شهر اصفهان صورت گرفت که تعداد قابل قبول ایستگاه‌های درون و برون شهری از جمله برتری‌های این پژوهش نسبت به پژوهش‌های دیگر است که جزیره حرارتی شهری را صرفاً بر مبنای تابش زمینی بر روی تصاویر ماهواره‌ای و یا بر اساس ایستگاه‌های آماتور مطالعه کرده‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش در مقیاس سالانه جزیره حرارتی با شاخص $UHI_{AN} = -1/27$ قابل تشخیص نیست و فقط در مقیاس متوسط فصلی در زمستان با شاخص $UHI_{WI} = +0/96$ آشکار می‌گردد. در فصل تابستان فقط یک روز جزیره حرارتی قابل تشخیص است. که با نتایج کار میلز و ایسو (۲۰۱۷: ۶) مطابقت دارد. با این حال جزیره حرارتی شهر هم در فصل گرم و هم در فصل سرد در شب‌هنگام بروز می‌کند. بر اساس تحلیل دمای شبانه‌روزی، در طول روز حتی روزهای آلوده فصل پاییز و زمستان، جزیره حرارتی شکل نمی‌گیرد و شکل‌گیری جزیره حرارتی فقط در شب‌هنگام صورت می‌گیرد که با نتایج لی چاپمن و مولر (۲۰۱۶) و والتر

منابع

۱. پورزیدی، علی محمد. بهلول علیجانی و مهری اکبری و پرویز ضیائی‌ان فیروزآبادی. تحلیل فضایی و زمانی جزایر حرارتی شهر گرگان. فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، سال دهم، شماره مسلسل سی و هشتم، صص ۱۷۲-۱۵۷.

۱. مقصود سقف لایه مرزی آلاینده‌هایی است که از نظر ارتفاعی آسمان شهر را از بقیه آسمان متمایز و جدا می‌سازد.

- Architecture and Building Engineering, JAABE.16 (3): 565-572.
13. Liao, Wei. Yeonsook Heo. 2018. The Effect of Urban Spatial Characteristics on Microclimate. 4th Building Simulation and Optimization Conference, Cambridge, UK: 11-12 September 2018.
 14. Miles, Victoria. Igor Esau. 2017. Seasonal and Spatial Characteristics of Urban Heat Islands (UHIs) in Northern West Siberian Cities. *Remote Sens*, 9(989): 1-15.
 15. Rahimpour Golroudbary, Vahid. Yijian Zeng and Chris M. Mannaerts and
 16. Zhongbo (Bob) Su. 2018. Urban impacts on air temperature and precipitation over The Netherlands. *CLIMATE RESEARCH*, 75: 95-109,
 17. Shishegar, N. 2013. Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons, *Journal of Clean Energy Technologies*, 1: 1, January
 18. Tsou, J. Zhuang, J., Yu Li and Zhang, Y. (2017). Urban Heat Island Assessment Using the Landsat 8 Data: A Case Study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science*, 1(10): 1-22.
 19. Wolters, Dirk. and Theo Brandsma. 2012. Estimating the Urban Heat Island in Residential Areas in the Netherlands Using Observations by Weather Amateurs. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 51: 711-721.
 20. Yahia, Moohamad Wasim. Erik Johansson. 2015. The role of urban design in enhancing the microclimate and thermal comfort in warm-humid Dar es Salaam Tanzania. ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, Dated: 15th June 2015.
 21. Yang, Wei. Yaolin Lin and Chun-Qing Li. 2018. Effects of Landscape Design on Urban Microclimate and Thermal Comfort in Tropical Climate. *Hindawi Advances in Meteorology*, 1-13.
 ۴. موسوی‌بایگی، محمد. بتول اشرف و علیرضا فرید حسینی و آمنه میان‌آبادی. ۱۳۹۱. بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دوره ۱، شماره ۱، صص ۳۵-۴۹.
 ۵. مجتهدزاده، غلامحسین. ۱۳۸۹. برنامه‌ریزی شهری در ایران. تهران. دانشگاه پیام نور.
 ۶. یوسفی، یدالله. فاطمه کاردل و همت‌اله رورده و محسن محتسبی‌خلعتبری. ۱۳۹۶. بررسی پدیده جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری روز به روز دمای تابستان شهر بابل. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوه ۴۹، شماره ۳، ۴۹۱-۵۰۱.
 7. Berardi, Umberto. Yupeng Wang. 2016. The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The Case of Toronto, *Sustainability*, 8 (822):1-12.
 8. Irina, T. and Garcia, E. H. 2016. Urban microclimate and thermal comfort modelling: Strategies for urban renovation, *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* 7(1):1-16.
 9. Ignatius, Marcel. Nyuk Hien Wonga and Steve Kardinal Jusufba. 2015. Urban microclimate analysis with consideration of local ambient temperature, external heat gain, urban ventilation, and outdoor thermal comfort in the tropics. *Sustainable Cities and Society*, 19: 121-135
 10. Jansson, Ch. 2006. Urban Micro-Climate and Surface Hydro meteorological Processes, TRITA-LWR Ph.D Thesis 1027, ISSN 1650-8602, ISRN KTH/LWR/PHD 1027-SE.
 11. Lee Chapman, J.A.A. and Muller, C.L. 2016. Quantifying the Daytime and Night-Time Urban Heat Island in Birmingham, UK: A Comparison of Satellite Derived Land Surface Temperature and High Resolution Air Temperature Observations, *Remote Sens*, 8, 153: 1-17.
 12. Lee, G., Jeong, Y. 2017. Impact of Urban and Building Form and Microclimate on the Energy Consumption of Buildings- Based on Statistical Analysis, *Journal of Asian*

