

واکاوی جزیره گرمایی رویه زمین در شهرهای ارومیه و تبریز و ارتباط آن با وردش‌های پهنه آبی دریاچه ارومیه

محمد دارند* - استاد گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
مسعود مرادی - پژوهشگر پسادکتری گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳

چکیده

پایش مکانی و زمانی جزیره گرمایی شهری با داده‌های دورسنجی رو به افزایش است و یکی از مهم‌ترین دلایل آن ارائه اطلاعات مکانی بیشتر از دمای شهرها نسبت به داده‌های زمینی است. هدف از این پژوهش واکاوی اثر نوع پوشش زمین در منطقه خارج از شهر بر جزیره گرمایی شهری است. به این منظور، از دمای رویه زمین مودیس در چهار برداشت روزانه برای برآورد شدت جزیره گرمایی شهرهای تبریز و ارومیه بهره گرفته شده است. به منظور بررسی اثر نوع پوشش حومه شهر بر شدت جزیره گرمایی، گونه‌های غالب پوشش زمین در اطراف این دو شهر جداگانه کندوکاو شد. همچنین، بررسی وردش‌های زمانی گسترده دریاچه ارومیه و ارتباط آن با شدت جزیره گرمایی از دیگر اهداف این پژوهش است. یافته‌ها نشان داد نوع پوشش حومه اثر چشم‌گیری در شدت جزیره گرمایی و سرمای رویه دارد. هر کدام از دو شهر مورد واکاوی با توجه به نوع و تراکم پوشش اطراف آن رفتار متفاوتی را، به‌ویژه در وردش‌های درون‌سالانه جزیره گرمایی، نشان می‌دهند. تغییر نوع پوشش حومه بر جزیره گرمایی ارومیه اثر بیشتری نسبت به تبریز دارد. این شرایط در پیوند با تغییرات گسترده دریاچه ارومیه نیز در شهر ارومیه چشم‌گیرتر است. یافته‌ها همچنین گویای این است که افت‌وخیز بیشتر دمای رویه زمین نسبت به دمای هوا جزیره گرمایی شدیدتری را نیز برای شهرها به‌دست می‌دهد.

واژگان کلیدی: جزیره گرمایی شهری، دریاچه ارومیه، دمای رویه زمین، مودیس.

مقدمه

روند شهرنشینی در ایران بر اساس سرشماری‌های مرکز آمار از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ با شتاب زیادی افزایش یافته و از ۳۱/۴ درصد به ۷۴ درصد رسیده است. این شرایط، به‌ویژه در کلان‌شهرها، چشم‌گیرتر است و نیازمند انتخاب روش‌های متناسب با افزایش جمعیت و فعالیت‌های شهری است. در این میان آب و هوای شهر و فرایندهای مؤثر بر آن اهمیت زیادی دارد. اختلاف میان دمای مناطق شهری و روستایی یکی از این پدیده‌های مهم اقلیمی است که در دهه‌های گذشته بررسی شده است (اوک، ۱۹۸۲: ۴؛ رضوان و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۵). در این میان برتری داده‌های ماهواره‌ای در برداشت اطلاعات مکانی بیشتر و نیز هزینه پایین‌تر آن نسبت به اندازه‌گیری‌های زمینی سبب شده است استفاده از این داده‌ها در پژوهش‌های اقلیم شهری گسترش یابد (ووگت و اوک، ۲۰۰۳: ۳۷۴). یکی از مواردی که در کاربرد این داده‌ها اهمیت زیادی دارد چگونگی انتخاب حومه شهر است. دمای رویه زمین در حومه شهر پوشش‌های زمینی گوناگونی را شامل می‌شود. با توجه به اثر چشم‌گیر نوع پوشش گیاهی بر دمای رویه زمین، واکاوی اثر نوع پوشش‌ها بر جزیره گرمایی شهری ضرورت دارد. در همین راستا بررسی پوشش گیاهی در اطراف دو شهر تبریز و ارومیه وردش‌های مکانی

چشم‌گیری را نشان داده است. جزیره گرمایی حاصل از این داده‌ها را اصطلاحاً جزیره گرمایی رویه‌پایه^۱ می‌نامند. بسته به اقلیمی که شهر در آن برپا شده است، روش‌های گوناگونی در انتخاب حومه شهر به کار می‌رود (مسعودیان و منتظری، ۱۳۹۹: ۳۸). روش‌های گوناگون می‌تواند شدت جزیره گرمایی در یک شهر را متفاوت نشان دهد که اگر تغییرات زمانی و مکانی را نیز در نظر بگیریم، می‌تواند سبب خطا در برآورد جزیره گرمایی شهری شود (لی و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۳۳).

عواملی مانند شاخص پوشش گیاهی، نوع کاربری زمین، ارتفاع، و داده‌های هواشناسی از عواملی است که ارتباط آن با وردش‌های جزیره گرمایی شهری بررسی و اثبات شده است. با این حال، تفاوت‌های شبانه‌روزی، فصلی، و مکانی را نیز نشان داده است (لی و همکاران، ۲۰۲۰: ۷). همچنین، رویه‌های نفوذناپذیر که نشان از ساخت‌وسازهای انسانی در محدوده شهری است می‌تواند به‌عنوان شاخصی در جهت ارزیابی شدت جزیره گرمایی شهری رویه‌پایه به کار رود (چن و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۲). این رویه‌های نفوذناپذیر به‌عنوان عامل وردش‌های دمای رویه زمین در مناطق شهری شناسایی شده که دارای همبستگی پایداری با دمای رویه زمین است (سانگ و وو، ۲۰۱۶: ۱۰۷). در همین راستا و در پژوهشی دیگر در ده شهر بزرگ ایتالیا افزایش قابل توجه جزیره گرمایی در بخش‌هایی با پوشش تنک درختی به‌ویژه در مراکز شهرها رخ داده است. همچنین، افزایش شدت جزیره گرمایی در راستای افزایش رویه‌های نفوذناپذیر رخ داده است. در شهرهای ساحلی نیز اثر کاهشی دریا در جزیره گرمایی اثبات شده است (مورایتو و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۶).

از نگاهی دیگر، پیش‌بینی‌های قابل اطمینان از اختلاف میان مناطق شهری و روستایی برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت شهرها ضروری است. پیش‌بینی دمای رویه زمین در محدوده شهر و اطراف آن به‌منظور شبیه‌سازی شدت جزیره گرمایی در سال‌های آینده مورد توجه پژوهشگران بوده است (متیو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴؛ سکرته‌کین و زادباقر، ۲۰۲۱: ۹). ارزیابی روش‌های مختلف در معرفی حومه شهر مشخص کرده است که این روش‌ها بر شدت جزیره گرمایی در روزها بیشتر از شب‌ها اثر دارد و نیز در ۳۱ شهر چین اثر ارتفاع و پهنه‌های آبی بر شدت جزیره گرمایی چشم‌گیر بوده است (یاو و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۱). بررسی وردش‌های تابستانه و زمستانه جزیره گرمایی شهری با داده‌های زمینی و ماهواره‌ای نشان داده است که جزیره گرمایی شهری بر اساس داده‌های ماهواره‌ای در شب‌ها گرم‌تر و فصل گرم سال شدیدتر بوده است، اما در پیش از ظهر تابستان جزیره گرمایی رخ داده است. داده‌های دمای هوا در ارتفاع دومتری نیز رفتار مشابهی در برآورد جزیره گرمایی شهری نشان داده است (پاتولو و ماهالوف، ۲۰۱۹: ۱۸۴۹).

بررسی عوامل مؤثر بر شدت جزیره گرمایی در پنج شهر بزرگ بنگلادش نشان داده است که افزایش جمعیت، نبود فضای سبز و فعالیت‌های انسانی مهم‌ترین عوامل بوده است. همچنین، بررسی روند جزیره گرمایی، مقادیر مثبت در روزها برای چهار شهر و روند منفی در شب‌ها یک شهر را نشان داده است (دیوان و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۰). به دلیل رابطه معکوس میان وردش‌های پوشش گیاهی و دمای رویه زمین اثر آن بر جزیره گرمایی نیز بررسی شده است (تپانوسیان و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۱). در ارزیابی اثر عوامل محیطی و انسانی بر جزیره گرمایی در شانزده شهر چین، عوامل انسانی مؤثرتر از عوامل محیطی بوده و در میان آن‌ها نقش توسعه شهری بسیار چشم‌گیر بوده است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱: ۱). مقایسه جزیره گرمایی رویه زمین از داده‌های ماهواره‌ای با جزیره گرمایی بر مبنای دمای هوا یک رابطه خطی را نشان می‌دهد که ۴۰ درصد از وردش‌ها در نتایج این دو سری داده با هم مشترک بوده است. نتایج همچنین نشان داده است که داده‌های ماهواره‌ای قابلیت استفاده در یک مدل ثابت جهانی برای واکاوی جزیره گرمایی شهری را دارد (گالو و اون، ۱۹۹۹: ۸۱۱). مجموعه‌ای از داده‌های دمای رویه زمین ماهواره و دمای هوا در ارتفاع دومتری در بررسی فصلی بودن شدت جزیره گرمایی لندن استفاده شده است. توانایی مدل ساخته‌شده با این داده‌ها در بررسی تفاوت میان دو سری داده

¹. Surface Urban Heat Island (SUHI)

و نیز واکاوی جزیره گرمایی رضایت‌بخش بوده است. نتایج نشان داده است که وردش فصلی در انرژی ورودی خورشید می‌تواند بر شدت جزیره گرمایی حاصل از دمای رویه زمین اثر گذارد (ژو و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۹۳).

در ایران نیز علاوه بر پژوهش‌هایی که با دمای هوا در مورد جزیره گرمایی شهری انجام شده است (رضانی و دخت‌محمد، ۱۳۸۹: ۶۳؛ سعادت‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۹؛ شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۱)، در برخی پژوهش‌ها از داده‌های دورسنجی استفاده شده است. شدت جزیره گرمایی در شهر اهواز با استفاده از داده‌های ترا و آکوا مودیس بررسی شده است (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸: ۸۶). نتایج حاکی از رخداد جزیره گرمایی در روز هنگام و جزیره گرمایی در شب هنگام اهواز بوده است. جزیره گرمایی در دو بخش شرقی و غربی اهواز و متأثر از رودخانه کارون رخ داده است. بررسی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی شهر یزد طی سیزده سال با تصاویر ماهواره لندست نشان داده است که تغییرات سریع در کاربری اراضی، افزایش مساحت سازه و کاهش پوشش گیاهی با افزایش مساحت جزیره گرمایی شهر یزد ارتباط مستقیم دارد (مزیدی و حسینی، ۱۳۹۴: ۹). همچنین، تخریب پوشش گیاهی به‌منظور توسعه شهری در بخش‌هایی از تهران با افزایش شدت جزیره گرمایی این مناطق ارتباط دارد که با کمک تصاویر ماهواره به اثبات رسیده است و افزایش شدید دمای کمینه شبانه‌روزی در بخش‌های تغییر یافته از پیامدهای آن بوده است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۵).

تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه با استفاده از داده‌های دو ماهواره مودیس و لندست بررسی شده است. روز هنگام و دوره گرم سال جزیره گرمایی شهری را نشان داده است اما در شب هنگام عکس آن رخ داده است. تقسیم سری زمانی به دو بخش، کاهش شدت جزیره گرمایی در دوره دوم نسبت به دوره اول را نشان داده است (مجرد و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۲). بررسی اثر شرایط همدید جو بر شدت جزیره گرمایی شهر تهران نشان داده است که شرایط پُرفشار و افزایش اختلاف سرعت باد میان حومه و داخل شهر بر شدت جزیره گرمایی شهری می‌افزاید. همچنین، شرایط عکس آن نیز صادق است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۳). واکاوی جزیره گرمایی مشهد با تصاویر ماهواره لندست نشان داده است که در تیر و امرداد تراکم پوشش گیاهی و رطوبت خاک کاهش جزیره گرمایی را همراه دارد. بزرگراه‌ها و مناطق مسکونی نیز بخش‌هایی با جزیره گرمایی شدید بوده است و با توسعه شهر بر تعداد جزیره‌های گرمایی افزوده می‌شود (کارکن سیستانی و دوستان، ۱۳۹۴: ۱۲۳). از مطالعه پژوهش‌های انجام شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که شهرهای مختلف با توجه به اقلیمی که در آن برپا شده‌اند از یک سری عوامل دور و نزدیک اثر می‌پذیرند. بنابراین، در بررسی جزیره گرمایی در دو شهر تبریز و ارومیه کاربری زمین به‌عنوان عاملی تعیین‌کننده واکاوی می‌شود. علاوه بر این، وردش‌های زمانی مساحت دریاچه ارومیه نیز بررسی خواهد شد تا میزان و نحوه ارتباط تغییرات ذخیره این پهنه آبی با شدت جزیره گرمایی در این دو شهر ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های دورسنجی برای بررسی جزیره گرمایی استفاده شده است. سنجنده مودیس بر روی دو ماهواره ترا و آکوا اطلاعات گوناگونی را در سطح جهانی برداشت می‌کند. دمای رویه زمین^۱ یکی از آن‌هاست که با دقت مکانی یک کیلومتر مربع ارائه می‌شود. این داده‌ها در کاشی‌های ۱۲۰۰*۱۲۰۰ یاخته‌ای تنظیم شده است. در این پژوهش از کاشی شماره 21,۷06h که شمال غرب ایران را پوشش می‌دهد استفاده شده است. این داده‌ها برای ماهواره ترا از اواخر سال ۱۳۷۸ و برای آکوا از اواسط ۱۳۸۱ در دسترس است. در این پژوهش از دوره آماری مشترک دو ماهواره از اواخر سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷ استفاده شده است. ترا و آکوا هر کدام دو بار در شبانه‌روز کل زمین را پایش می‌کنند. در این پژوهش

1. Terra & Aqua

2. MODIS Land Surface Temperature

هر چهار برداشت به منظور مقایسه تغییرات شبانه‌روزی جزیره گرمایی به کار رفته است. این داده‌ها از تارنمای داده زمین سازمان ناسا به آدرس <https://search.earthdata.nasa.gov/search> گرفته شده است. بر اساس کنترل کیفی انجام شده روی پایگاه داده مودیس (ون، ۲۰۱۳: ۲۱)، در این پژوهش از داده‌هایی با کیفیت خوب دمای رویه زمین مودیس استفاده شده است که در آن یاخته‌های مشکوک به اثر ابرهای نازک و هواویزهای هواپیهر کنار گذاشته شده است.

یکی دیگر از داده‌های مودیس، که در این پژوهش استفاده شده است، نوع پوشش زمینی مودیس^۱ است (فرایدل و سولا-مناش، ۲۰۱۹: ۳) که در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و مقیاس زمانی سالانه ارائه می‌شود. این داده‌ها بر اساس سیستم‌های طبقه‌بندی گوناگونی ارائه شده است. بررسی طبقه‌بندی‌ها نشان داد که سیستم طبقه‌بندی پوشش زمینی فائو^۲ پوشش‌های زمینی ایران را به خوبی نمایش می‌دهد، زیرا در مناطق خشک و نیمه‌خشک تفکیک مناسب‌تری از پوشش گیاهی را ارائه داده است. بنابراین، سیستم طبقه‌بندی پوشش زمینی فائو (اضافه شده به ورژن شش پوشش زمینی مودیس) از میان لایه‌های طبقه‌بندی موجود انتخاب شده است. این داده‌ها، پیش از ارائه، در محیط‌های مختلف با اندازه‌گیری‌های سایت زمینی مقایسه شده است تا از صحت آن اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، کنترل کیفیت این داده‌ها پیش از انتشار آن انجام شده و یاخته‌ها بر اساس میزان کیفیت آن معرفی شده است (استرالر و همکاران، ۱۹۹۹: ۴۵). جدول ۱ تعریف بخشی از کاربری‌های طبقه‌بندی فائو را نشان می‌دهد که در منطقه مطالعاتی ارزیابی شده‌اند. این داده‌ها توسط مرکز داده‌های زمین ناسا در بخش داده‌های پوشش زمین با اعمال روش طبقه‌بندی نظارت‌شده تولید شده است. در این پژوهش از دوره آماری موجود برای این داده‌ها از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است.

جدول ۱. بخشی از طبقه‌بندی کاربری اراضی به روش فائو

(فرایدل و سولا-مناش، ۲۰۱۹: ۱۳)

| توضیحات | نام کاربری زمین |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| حداقل ۶۰ درصد بدون پوشش گیاهی (ماسه، سنگ، خاک) | زمین بایر |
| حداقل ۶۰ درصد از رویه زمین آب است | پهنه آبی |
| حداقل ۳۰ درصد پوشیده از ساختمان، آسفالت، یا انسان‌ساخت | شهر و ساختمان |
| حداقل ۱۰ درصد پوشیده از علفزار یک‌ساله (کوتاه‌تر از ۲ متر) | علفزار طبیعی |
| ۴۰ تا ۶۰ درصد کشتزار و بیش از ۱۰ درصد درخت طبیعی | ترکیب جنگل و کشتزار |
| ۴۰ تا ۶۰ درصد کشتزار همراه با علفزار طبیعی | ترکیب کشتزار و علفزار |
| یاخته‌های همراه با پوشش ابر یا بدون کیفیت | نبود آماری |

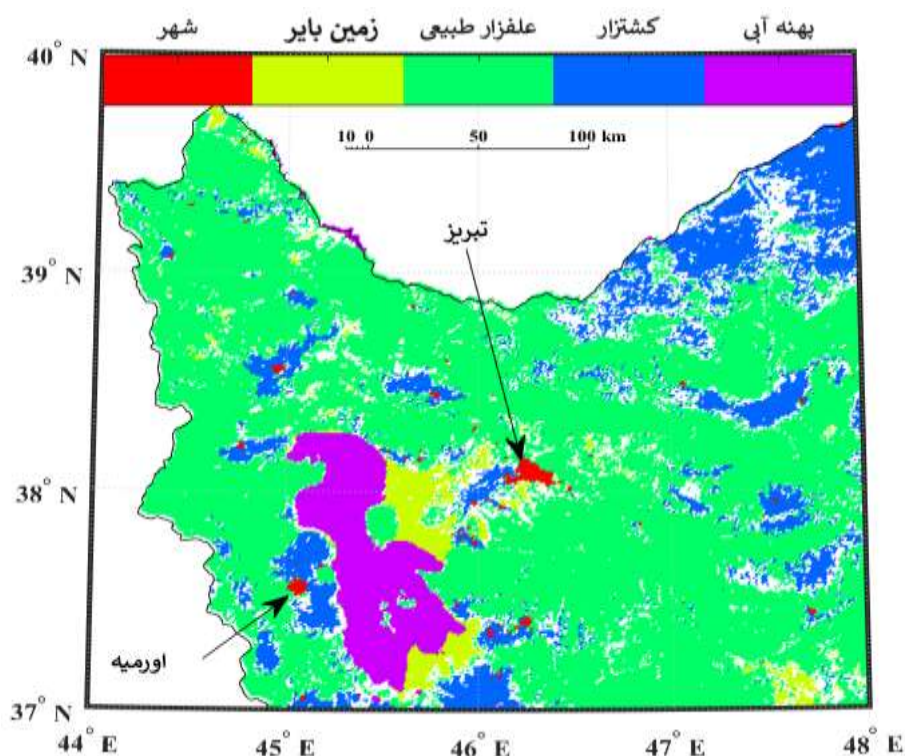
به منظور بررسی تغییرات مساحت دریاچه ارومیه از فرآورده دیگر مودیس استفاده شده است. این فرآورده یک سری زمانی از مساحت دریاچه‌های جهان را ارائه می‌دهد. داده‌های مورد نظر از طبقه‌بندی پیکسل‌ها به آب و خشکی و با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشینی به دست آمده است. این داده‌ها برای هر دریاچه در دوره پایش مودیس فراهم شده است (خندلوال و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۱۶). گام زمانی این داده‌ها هشت‌روزه و دقت مکانی آن ۲۵۰ متر است. این داده‌ها تا اواخر سال ۱۳۹۵ در دسترس است و ابتدای دوره مورد بررسی نیز ۱۳۸۱ انتخاب شده است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده دو شهر تبریز و ارومیه و نیز مناطق روستایی اطراف آن بخشی از منطقه مورد مطالعه این پژوهش است. بخش دیگر منطقه مورد مطالعه دریاچه ارومیه است که میان این دو شهر قرار دارد. شهر تبریز سومین شهر بزرگ ایران پس از تهران و مشهد است که در سرشماری سال ۱۳۹۵ بیش از یک و نیم میلیون نفر جمعیت داشته است.

1. MODIS Land Cover Type

2. Food and Agriculture Organization (FAO)



شکل ۱. پوشش‌های کاربری زمین در شمال غرب ایران بر اساس داده‌های پوشش زمینی مودیس

علاوه بر این، تبریز قطب صنعتی و اقتصادی شمال غرب ایران شناخته می‌شود. پس از تبریز، ارومیه دومین شهر پرجمعیت شمال غرب ایران است که بیش از ۷۳۰ هزار نفر را در خود جای داده است. فاصله تبریز و ارومیه تا دریاچه به ترتیب ۸۴ و ۱۷ کیلومتر است. در شکل ۱ با استفاده از داده‌های کاربری اراضی مودیس طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ پوشش‌های غالب زمین ترسیم شده است که شامل پهنه‌های آبی، شهر و ساختمان، زمین بایر، و پوشش‌های گیاهی از نوع کشتزار و علفزار طبیعی است.

شدت جزیره گرمایی شهری

الف) تعیین محدوده مطالعاتی

نخستین گام در بررسی جزیره گرمایی شهری تعیین محدوده شهر و حومه برای ارزیابی آن است. بدین منظور، نخست مرز منطقه شهری تبریز و ارومیه در گوگل ارث رسم و سپس مختصات جغرافیایی این مرز در یاخته‌های مودیس مشخص شده است. برای تعیین پهنه‌ای که در بررسی دمای شهر و حومه استفاده می‌شود، گستره‌ای به اندازه یک برابر یاخته‌های شهری در اطراف آن انتخاب شده است. این گستره برای شهر تبریز $۳۶,۱۴ \times ۵۴,۶۸$ کیلومتر مربع (۲۳۰۱ یاخته) و برای ارومیه $۲۶,۸۷۹ \times ۳۶,۱۴۸$ کیلومتر مربع (۱۱۳۱ یاخته) را در بر می‌گیرد. این محدوده‌ها مبنای بررسی شدت جزیره گرمایی در دو شهر مورد بررسی بوده است. بزرگی جزیره گرمایی رویه زمین در هر شهری وابستگی زیادی به چگونگی انتخاب یاخته‌های حومه شهر دارد. بنابراین، ویژگی‌های جغرافیایی و نیز مکان قرارگیری این یاخته‌ها نسبت به یاخته‌های شهر در بزرگی جزیره گرمایی شهر مؤثر است (کاتاوکا و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۱۱۶).

ب) تعیین کاربری زمین در حومه شهر

در این پژوهش از داده‌های سالانه کاربری زمین مودیس طی دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ برای شناسایی کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. محدوده شهری و نوع پوشش‌های زمینی فراگیر در اطراف شهر با استفاده از این داده‌ها به دست آمده است. با توجه به اینکه در برخی یاخته‌های کاربری زمین مودیس، تغییر کاربری در طول دوره آماری رخ داده است، نخست فراوانی هر کدام از پوشش‌های کاربری زمین در طی پانزده سال آماری برای هر یاخته شمارش شده است و در ادامه فقط یاخته‌هایی که در بیش از ۷۵٪ بازه زمانی یادشده (فراوانی زمانی گونه‌های کاربری زمین) به یک کاربری مشخص تعلق داشته‌اند یاخته معرف آن در نظر گرفته شد.

در این گستره از میان یاخته‌های بخش حومه آن دسته از پوشش‌های کاربری که در مجموع بیش از دوسوم حومه شهر را در طول دوره آماری مورد بررسی دربر می‌گیرند شناسایی شده‌اند (فراوانی مکانی گونه‌های کاربری زمین). با استفاده از این دو معیار، فراوانی زمانی و مکانی کاربری زمین در اطراف شهر پوشش‌های غالب زمین که می‌توانند اثر بیشتری بر وردش‌های دما داشته باشند مشخص شد.

ج) چگونگی برآورد جزیره گرمایی شهری

پس از تعیین گونه‌های غالب در پوشش زمین، محدوده حومه برای هر کدام از آن‌ها و نیز یک بار برای تمام پهنه حومه جزیره گرمایی برآورد شده است. برآورد شدت جزیره گرمایی شهری بر اساس فرمول ۱ انجام شده است:

$$SUHI_{LST} = LST_u - LST_r \quad \text{رابطه ۱}$$

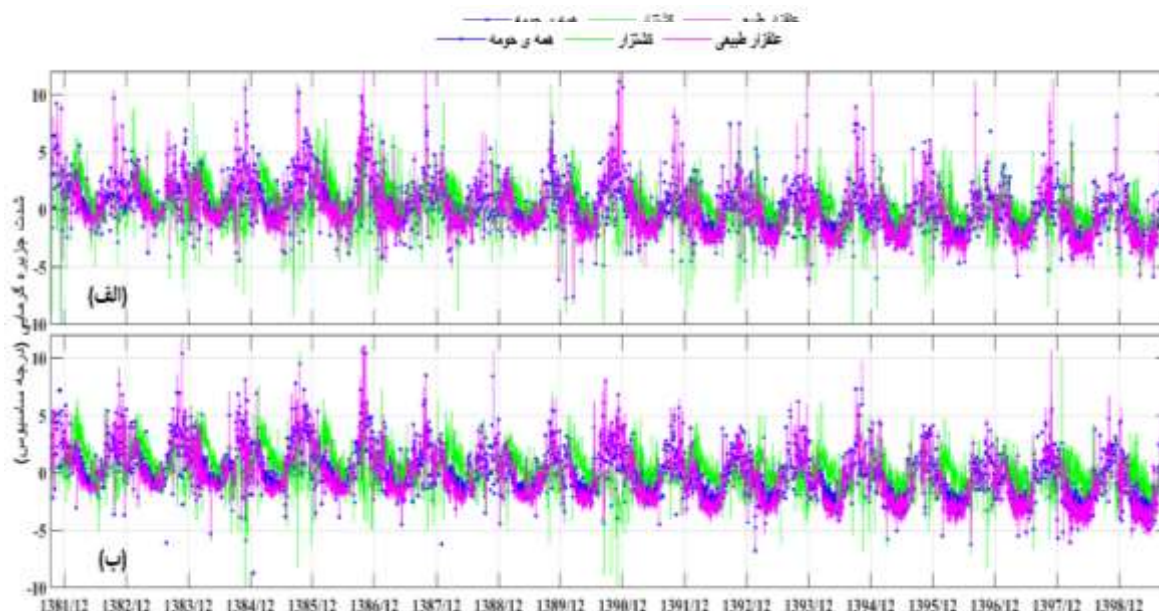
که در آن $SUHI_{LST}$ شدت جزیره گرمایی رویه زمین، LST_u دمای رویه زمین در پهنه‌های شهری است. برای برآورد LST_r توزیع فراوانی دمای رویه زمین در گستره حومه به دست آمده است. برای این منظور فراوانی دمای رویه با گام‌های ۰/۵ درجه سلسیوس از کمینه تا بیشینه برآورد شده است. سپس دمایی که بیشترین فراوانی رخداد را در گستره حومه مورد نظر داشت به عنوان نماینده دما در آن گستره انتخاب و در رابطه یک به عنوان LST_r جای‌گزین شده است. در ادامه به منظور بررسی ارتباط شدت جزیره گرمایی رویه با وردش‌های دریاچه ارومیه منحنی توزیع فراوانی از مقادیر جزیره گرمایی بررسی شده است. برای این منظور، توزیع فراوانی رخداد مقادیر مختلف جزیره گرمایی محاسبه شده است. به این صورت که مقادیر جزیره گرمایی به دست آمده از کمینه تا بیشینه و در گام‌های ۰/۵ درجه‌ای دسته‌بندی و سپس توزیع فراوانی رخداد جزیره گرمایی در هر دسته محاسبه شده است. این فراوانی‌ها در زمان‌هایی که گستره دریاچه به ترتیب بین ۱ تا ۲ و بیش از ۲ انحراف معیار از میانگین دوره کمتر بود واکاوی شده است.

نتایج و بحث

شدت جزیره گرمایی شهری از اختلاف میان دمای رویه زمین مودیس در پهنه شهر و حومه آن برآورد شده است. برتری داده‌های دورسنجی در پایش مکانی بهتر نسبت به داده‌های زمینی این امکان را فراهم کرده است تا بتوان جزیره گرمایی را بر اساس اختلاف دمای رویه‌های گوناگون در پهنه حومه با پهنه شهری برآورد کرد. بررسی کاربری زمین در اطراف دو کلان‌شهر تبریز و ارومیه با داده‌های کاربری زمین مودیس نشان می‌دهد که دو گونه علفزار طبیعی (مرتع) و کشتزار پوشش غالب‌اند (شکل ۱). برآورد شدت جزیره گرمایی بر مبنای هر کدام از این دو و نیز با لحاظ کردن کل حومه شهر در برآورد نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد که در شکل‌های ۲ تا ۵ آمده است.

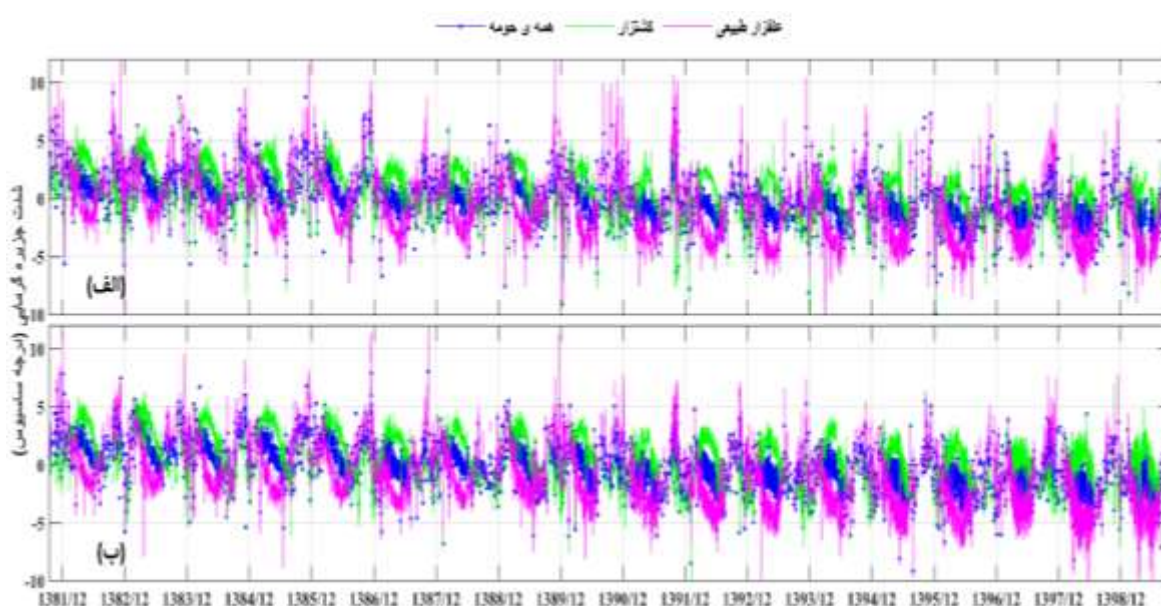
سری زمانی شدت جزیره گرمایی روز هنگام تبریز در دو برداشت آکوا و ترا در شکل ۲ آمده است. جزیره گرمایی شهری دارای وردش‌های دوره‌ای است که به صورت چرخه‌های سالانه رخ داده است. در بخشی از این چرخه سالانه، که منطبق بر دوره گرم سال است، کشتزار جزیره گرمایی شدیدتری را نشان می‌دهد. همچنین، در این زمان از سال برآورد جزیره گرمایی شهری نسبت به پهنه علفزار طبیعی در بیشتر موارد نشان‌دهنده جزیره گرمایی در تبریز است. این شرایط

در دوره سرد سال وارونه است و برآورد جزیره گرمایی با پوشش‌های کشتزار و علفزار طبیعی به ترتیب جزیره گرمایی و گرمایی را نشان می‌دهد. جزیره گرمایی با در نظر گرفتن همه حومه شهر در بیشتر موارد مقادیری میان دو گونه کشتزار و علفزار طبیعی را نشان می‌دهد. با این حال، با چرخه سالانه در علفزار طبیعی همخوانی بیشتری دارد. رخدادهای جزیره گرمایی به ویژه در طول روز و تابستان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دور از انتظار نیست (سالامانکا و همکاران، ۲۰۱۹؛ ۱۸۶۰؛ مجرد و همکاران، ۱۳۹۷؛ ۴۸۶؛ مسعودیان و منتظری، ۱۳۹۹؛ ۴۱). در این زمان‌ها در حومه غالباً خشک شهر بخش زیادی از انرژی دریافتی خورشید مستقیماً به گرمای محسوس تبدیل شده و افزایش دما را در پی دارد. در مقابل، در محدوده شهری، گرمای نهان بخار آب بخش بیشتری از انرژی خورشیدی را مصرف می‌کند و سبب ثبت دماهای پایین‌تر نسبت به حومه می‌شود.

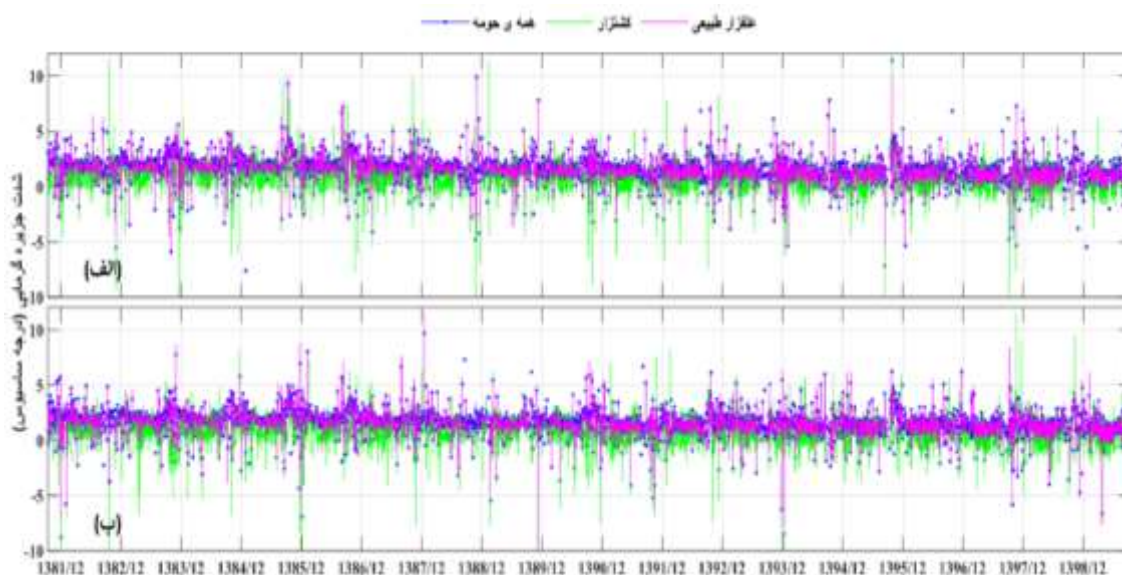


شکل ۲. سری زمانی شدت جزیره گرمایی شهری تبریز برای آکوا (الف) و ترای روز (ب)

شدت جزیره گرمایی روز هنگام در شهر ارومیه نیز چرخه‌های سالانه را در سری زمانی نشان می‌دهد (شکل ۳). شدت جزیره گرمایی ارومیه نسبت به تغییر پوشش زمینی انتخاب شده برای حومه شهر تفاوت‌های آشکار و چرخه‌های سالانه کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد، اما وردش‌های سالانه آن همانند تبریز است. کاربرد علفزار طبیعی به عنوان حومه شهر در ارومیه جزیره گرمایی شدیدتری را در روز هنگام و دوره گرم سال نسبت به تبریز نشان می‌دهد. این پدیده می‌تواند به دلیل گستره کمتر ارومیه نسبت به تبریز و در نتیجه جزیره گرمایی ضعیف‌تر در ارومیه باشد. این شرایط در مقایسه رخدادهای جزیره گرمایی بالاتر از ۵ درجه سلسیوس در این دو شهر نیز به اثبات رسیده است؛ به گونه‌ای که در دیده‌بانی‌های آکوا و ترای روز هنگام شهر ارومیه به ترتیب ۱۹۶ و ۱۲۸ مورد را تجربه کرده است؛ در حالی که این تعداد برای تبریز ۱۳۶ و ۱۰۹ مورد بوده است. در مورد تعداد رخدادهای جزیره گرمایی نسبت به پوشش علفزار طبیعی در حومه، آکوا، و ترای روز هنگام ارومیه به ترتیب ۲۲۲ و ۲۸۹ و تبریز ۹ و ۲۹ مورد را نشان می‌دهد.



شکل ۳. سری زمانی شدت جزیره گرمایی شهری ارومیه برای آکواوی روز (الف) و برای روز (ب)

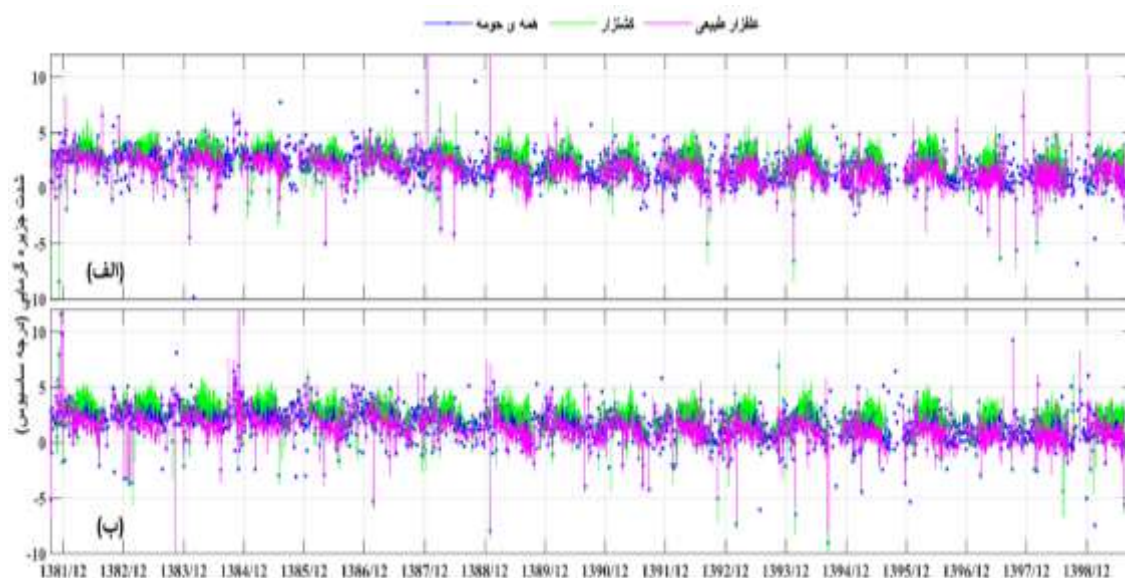


شکل ۴. سری زمانی شدت جزیره گرمایی شهری تبریز برای آکواوی شب (الف) و برای شب (ب)

شدت جزیره گرمایی تبریز در آکوا و برای شب هنگام (شکل ۴) ورودش‌های کمتری را در سری زمانی نشان می‌دهد. بررسی میزان انحراف از میانگین در ۲۴ سری زمانی مورد بررسی نشان داد که کمترین مقادیر به آکواوی شب در تبریز (۱/۱۲-۱/۱۷) و بیشترین مقادیر به برای روز در ارومیه (۳-۲/۶۸) اختصاص دارد. چرخه‌های سالانه در جزیره گرمایی شب هنگام بسیار کمتر و به‌سختی قابل تشخیص است. در شب هنگام فراوانی رخدادهای جزیره گرمایی بسیار بیشتر است (بیش از ۶۰ درصد در شب هنگام و ۳۰ تا ۴۵ درصد در روز هنگام) و برخلاف روز پوشش رویه کشتزار جزیره گرمایی را کمتر از پوشش علفزار طبیعی و همه حومه نشان می‌دهد. در شب هنگام تابستان کشتزارها به دلیل برخورداری از رطوبت بالای خاک با شتاب کمتری کاهش دما را تجربه می‌کنند. در

نتیجه دمای رویه نزدیک و بعضاً بیشتری از رویه‌های شهری داشته است. در مقابل علفزار طبیعی که پوشش غالباً مرتعی را داراست در شب‌هنگام سریع‌تر افت دما را تجربه می‌کند و جزیره گرمایی مرتبط با آن نیز شدیدتر خواهد بود (شکل ۴).

جزیره گرمایی شهری ارومیه در شب‌هنگام تفاوت‌های آشکاری را در مقایسه با تبریز نشان می‌دهد؛ نخست اینکه چرخه‌های سالانه در وردش‌های جزیره گرمایی ارومیه به خوبی دیده می‌شود که حاکی از افزایش جزیره گرمایی شب‌هنگام در دوره گرم سال و کاهش آن در دوره سرد است. دومین تفاوت عمده در میزان جزیره گرمایی برآوردشده با پوشش‌های مختلف حومه شهر است. برخلاف تبریز در ارومیه پوشش کشتزار در بیشتر روزهای سال جزیره گرمایی بالاتری را نسبت به پوشش علفزار و طبیعی و همه حومه نشان می‌دهد و علفزار طبیعی کمترین مقادیر جزیره گرمایی شب‌هنگام را در طول سری زمانی نشان می‌دهد (شکل ۵). جزیره گرمایی شدیدتر از ۵ درجه سلسیوس در ارومیه کمتر از یک درصد کل رخدادها را دربر می‌گیرد و از این میزان تعداد بیشتری مربوط به دیده‌بانی آکوای شب‌هنگام است که نزدیک‌ترین دیده‌بانی به دماهای کمینه شبانه‌روزی است. بررسی‌های بیشتر با استفاده از آزمون معناداری پراش (فیشر)^۱ نشان داد که پراش سری زمانی جزیره گرمایی میان دو شهر ارومیه و تبریز در ۱۰ سری از ۱۲ سری زمانی موجود و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. این دو سری شامل آکوای روز و آکوای شب است در حالتی که همه پوشش‌های حومه لحاظ شده باشد. در این دو سری میزان پراش کوچک‌تر اما بسیار نزدیک به حد بحرانی بوده است.



شکل ۵. سری زمانی شدت جزیره گرمایی شهری ارومیه برای آکوای شب (الف) و تری شب (ب)

ارتباط جزیره گرمایی با وردش‌های پهنه آبی دریاچه ارومیه

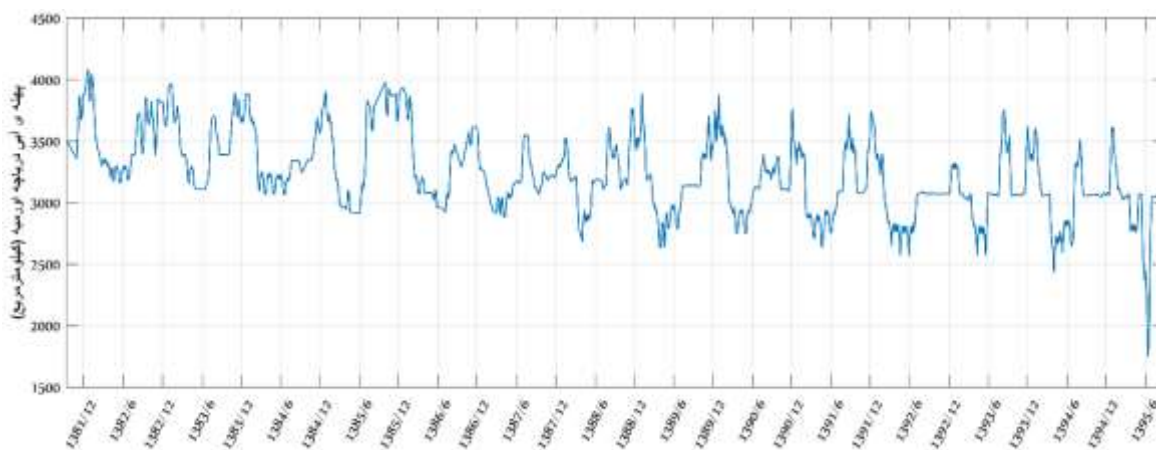
پهنه‌های آبی، به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های دمایی عمده، نقش زیادی در چرخه روزانه و فصلی دما دارد و پیوند آن با جزیره گرمایی شهری نیز بررسی شده است (کاسگراف و برکلهامر، ۲۰۱۸: ۸). همچنین، اثر کمیت، ریخت، و پراکنش مکانی پهنه‌های آبی بر وردش‌های دمای شهر اثبات شده است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۶). وردش‌های گسترده دریاچه ارومیه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ در شکل ۶ آمده است. بر اساس این داده‌ها، که به‌طور

1. Fisher

میانگین هر هشت روز یک بار دریاچه را پایش می‌کند، برخی ویژگی‌های آماری دریاچه ارومیه برآورد و در جدول ۲ تنظیم شده است. سری زمانی وردش‌ها در گستره دریاچه چرخه‌های درون‌سالانه چشم‌گیر را نشان می‌دهد. همچنین، در این نمودار روند رو به کاهش گستره دریاچه ارومیه در سری زمانی دیده می‌شود. در کمترین میزان با ۱۷۵۸/۵ کیلومترمربع در مهر ۱۳۹۵ رسیده است.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری سری‌های زمانی گستره دریاچه ارومیه بر مبنای داده‌های دورسنجی از ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ (کیلومتر مربع)

| کمینه | بیشینه | انحراف معیار | میانگین | روند (کیلومترمربع در سال) |
|--------|--------|--------------|---------|---------------------------|
| ۱۷۵۸/۵ | ۴۰۸۱/۶ | ۳۰۵/۰۸ | ۳۲۱۳/۴ | -۰/۰۷۵ (اطمینان ۹۹ درصد) |

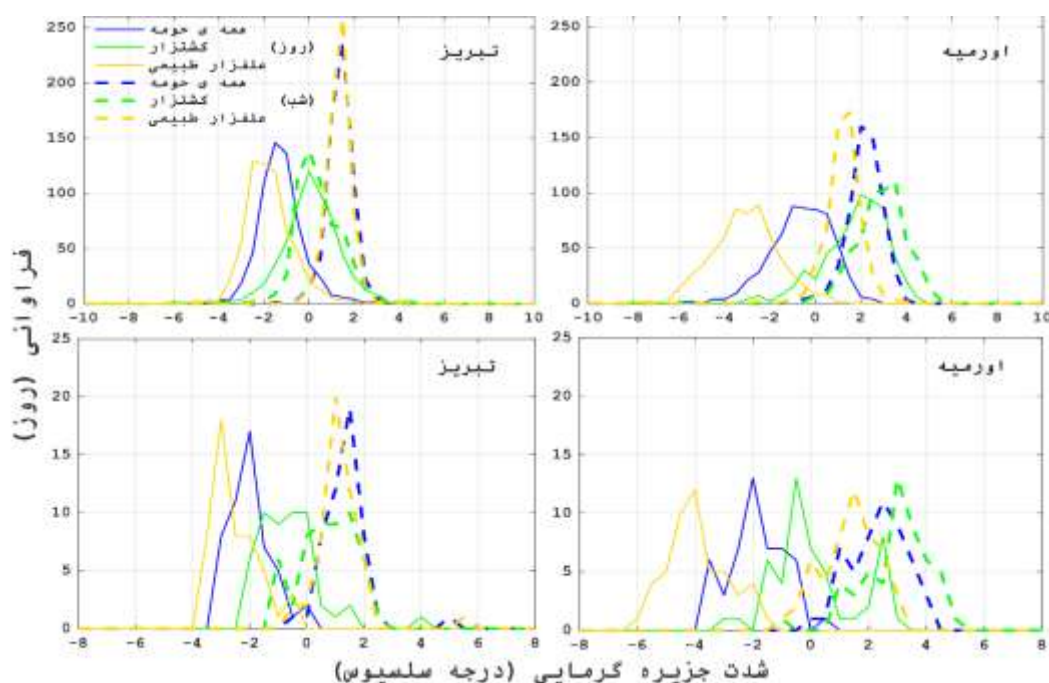


شکل ۶. سری زمانی وردش‌های پهنه آبی دریاچه ارومیه از اواخر سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ بر حسب کیلومترمربع

ارتباط میان وردش‌های گستره دریاچه ارومیه و شدت جزیره گرمایی دو شهر تبریز و ارومیه بررسی شده است. به این منظور پراکنش فراوانی برای مقادیر مختلف جزیره گرمایی در زمان‌هایی برآورد شده است که گستره دریاچه ۱ تا ۲ انحراف معیار کوچک‌تر از میانگین دوره آماری بوده است. این حالت بخشی از فصل کم‌آبی دریاچه را در طول سال نشان می‌دهد. شکل ۷ بالا یافته‌های این برآورد را در دو برداشت شبانه‌روز مودیس آکوا نشان می‌دهد. همچنین، نوع انتخاب گستره حومه و رفتار جزیره گرمایی نسبت به آن برآورد شده است. در کل، پراکنش فراوانی جزیره گرمایی مقادیر مثبت و بزرگ‌تر را بیشتر در شب‌هنگام نشان می‌دهد و فراوانی بیشتر در تبریز نسبت به ارومیه دیده می‌شود. در دو وضعیت انتخابی شامل همه حومه شهر و علفزار طبیعی تفاوت چشم‌گیری میان شدت جزیره گرمایی شب و روز دیده می‌شود. اما در حالتی که کشتزار به‌عنوان حومه انتخاب شده است پراکنش فراوانی‌ها در شب و روز تقریباً یکسان است. در روزهنگام با وجود انحراف معیار منفی گستره دریاچه، جزیره سرمایی رویه زمین بیشترین فراوانی را داراست. اما در شب‌هنگام شدت جزیره گرمایی رویه در هر دو شهر تبریز و ارومیه غالباً بیش از دو درجه سلسیوس است (شکل ۷ بالا).

بررسی فراوانی مقادیر شدت جزیره گرمایی در شرایطی که گستره دریاچه ۲- انحراف معیار و بزرگ‌تر است در شکل ۷ پایین آمده است که گستره دریاچه ارومیه را در پایین‌ترین مقادیر نشان می‌دهد. تحت این شرایط جزیره گرمایی شدیدتر در شهر ارومیه رخ داده است (تا ۵ درجه سلسیوس در شب‌هنگام). در تبریز پراکنش فراوانی‌ها تقریباً همانند شرایطی است که ۱- تا ۲- انحراف معیار بر گستره دریاچه حاکم بوده است (تا ۳ درجه سلسیوس در شب‌هنگام). اما فراوانی یک‌روزه نیز برای جزیره گرمایی ۴ تا ۶ روزه در تبریز دیده می‌شود که در ترازهای بالاتر دریاچه رخ نداده است.

جزیره گرمایی ارومیه اگرچه به تعداد کمتر اما غالباً شدت بیشتری را نسبت به تبریز نشان می‌دهد که، با توجه به اندازه کوچک‌تر شهر ارومیه نسبت به تبریز، می‌تواند در ارتباط با فاصله کمتر آن از دریاچه و تأثیرپذیری بیشتر از وردش‌های آن باشد. به‌گونه‌ای که در روزها نیز بخش بیشتری از رخدادهای جزیره گرمایی ارومیه در مقادیر مثبت است. همچنین، در انتخاب پوشش‌های مختلف به‌عنوان حومه شهر تفاوت چشم‌گیری در پراکنش فراوانی روز نسبت به شب را نشان می‌دهد در حالی که این اختلاف در تبریز کمتر است.

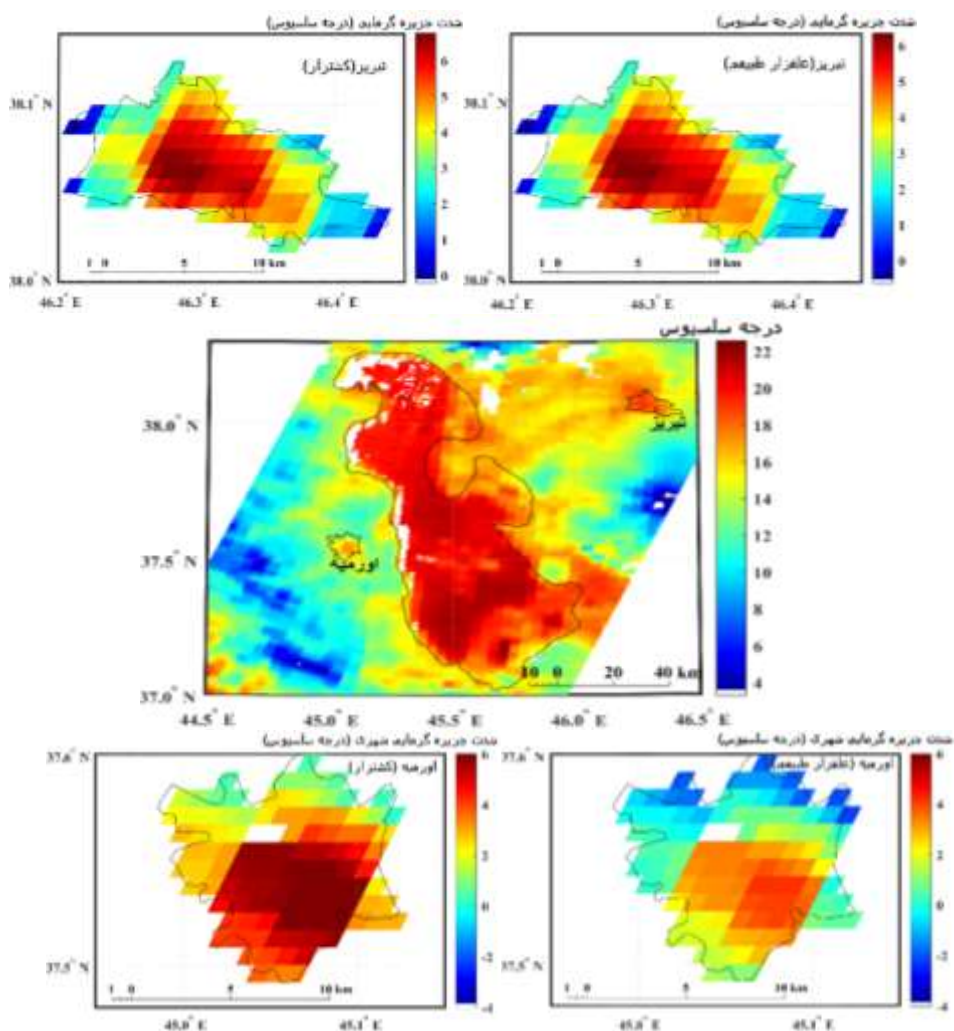


شکل ۷. پراکنش فراوانی جزیره گرمایی تبریز و ارومیه در آکواای روز و شب هم‌زمان با کمینه سالانه در تراز دریاچه. بالا: از یک تا دو انحراف معیار پایین‌تر از میانگین سری زمانی، پایین: بیش از دو انحراف معیار پایین‌تر از میانگین سری زمانی در شکل ۸ پراکنش مکانی دمای رویه زمین و شدت جزیره گرمایی رویه در روز ۷ شهریور ۱۳۹۱ به‌عنوان نمونه‌ای از الگوی مکانی شدت جزیره گرمایی رویه ترسیم شده است. در رسم این شکل داده‌های آکواای شب‌هنگام در حدود ساعت ۱:۳۰ بامداد به‌کار رفته است. در این زمان از سال گستره دریاچه ارومیه در پایین‌ترین تراز سالانه خود قرار دارد. پهنه آبی و یا مرطوب دریاچه در شب‌هنگام به‌ویژه در دوره گرم سال به دلیل ذخیره انرژی بیشتر نسبت به پوشش‌های اطراف گرم‌تر است و دماهای بیش از ۲۲ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. در مقابل بلندی‌های غرب ارومیه و جنوب شرقی تبریز (کوه سه‌سند) دماهای زیر ۱۰ درجه سلسیوس را در این زمان تجربه می‌کنند که نزدیک به دمای کمینه شبانه‌روز است.

شدت جزیره گرمایی رویه زمین نسبت به پوشش‌های کشتزار و علفزار طبیعی جداگانه ترسیم شده است. از نظر الگوی مکانی، تفاوتی میان جزیره گرمایی شهری نسبت به تغییر نوع پوشش زمین در حومه شهر دیده نمی‌شود، اما پوشش کشتزار جزیره گرمایی را نسبت به علفزار طبیعی کمی شدیدتر نشان می‌دهد. در هر دو مورد، بیشینه شدت جزیره گرمایی بر بخش‌های مرکزی و بافت متراکم شهر قرار دارد و بخش‌های شرقی و غربی جزیره گرمایی ضعیف یا صفر دارند.

تغییر پوشش زمین انتخابی برای حومه شهر اثر چشم‌گیری در شدت جزیره گرمایی ارومیه و پراکنش مکانی آن دارد. انتخاب پوشش کشتزار، به‌عنوان حومه، جزیره گرمایی تا شش‌درجه‌ای را برای بخش‌های مرکزی تا شرق و جنوب شرق

ارومیه نشان می‌دهد؛ در حالی که پوشش علفزار طبیعی به‌عنوان حومه شهر جزیره گرمایی پایین‌تری (تا ۴ درجه) در این بخش‌ها نشان می‌دهد. در بخش‌های حاشیه‌ای شهر، به‌ویژه در شمال، کاربرد علفزار طبیعی به‌عنوان حومه جزیره گرمایی تا ۴- درجه را نشان می‌دهد. در فصل گرم سال، این بخش‌های حاشیه‌ای، که همجوار کشتزارها و باغ‌های اطراف شهر هستند، نسبت به علفزار طبیعی دمایی پایین‌تری دارند و جزیره گرمایی را نشان می‌دهند (شکل ۸). این میزان اختلاف در شدت جزیره گرمایی نسبت به چگونگی انتخاب حومه شهر نشان‌دهنده اهمیت آن و ضرورت توجه ویژه به ویژگی‌های محیطی اطراف هر شهر در بررسی جزیره گرمایی آن است.



شکل ۸. دمای رویه زمین در ۷ شهریور ۱۳۹۱ و پراکنش مکانی شدت جزیره گرمایی رویه زمین در تبریز و ارومیه

نتیجه‌گیری

محاسبه شدت جزیره گرمایی رویه زمین با داده‌های دورسنجی مودیس نشان داد که در مواردی به‌ویژه در روزهای گرم جزیره گرمایی در بخش‌هایی از دو شهر تبریز و ارومیه رخ می‌دهد. شدت جزیره گرمایی و گرمایی برآورده شده بسته به نوع پوشش انتخابی به‌عنوان حومه شهر می‌تواند تغییر کند. بنابراین، مطالعه جزیره گرمایی در گروهی شناخت ویژگی‌های محیطی و آب‌وهوای پس‌زمینه است (مسعودیان و منتظری، ۱۳۹۹: ۳۹) که امروزه به کمک داده‌های دورسنجی قابل شناسایی است. کشتزار به‌عنوان حومه شهر در شب‌ها گرمایی شدیدتری را نسبت به علفزار طبیعی نشان می‌دهد؛ در حالی که در روزها عکس آن اتفاق می‌افتد. استفاده از تمامی کاربری‌های موجود به‌عنوان حومه شهر

شدت جزیره گرمایی را در بین این دو نشان می‌دهد. دلیل آن غلبه دو پوشش علفزار طبیعی و کشتزار بر بخش زیادی از گستره حومه در اطراف تبریز و ارومیه است. این نتایج نشان می‌دهد که پوشش گیاهی، علاوه بر اثرهایی که در کاهش شدت جزیره گرمایی شهرها دارد (لی و همکاران، ۲۰۲۰: ۷؛ مورایتو و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۶؛ دیوان و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۰؛ مزیدی و حسینی، ۱۳۹۴: ۹؛ منصوری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۵)، بر وردش‌های دما در حومه شهر نیز اثر زیادی دارد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک در صورت توسعه فعالیت‌های کشاورزی در حومه شهر اثر آن بر جزیره گرمایی محاسبه شده نمود بیشتری خواهد داشت.

شدت جزیره گرمایی رویه زمین در روزها و به‌ویژه در ارومیه چرخه‌های درون‌سالانه چشم‌گیری را نشان می‌دهد که می‌تواند در ارتباط با وردش‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی باشد که بر شدت جزیره گرمایی تأثیرگذار است. در شب‌هنگام این چرخه‌های درون‌سالانه بسیار کمتر است و در تبریز به‌سختی دیده می‌شود. شدت جزیره گرمایی تبریز نوسان‌های درون‌سالانه ضعیف‌تری دارد. این تفاوت می‌تواند در ارتباط با وسعت بیشتر تبریز و حاکمیت یک اقلیم شهری قوی‌تر در آن باشد که سبب می‌شود نوسان جزیره گرمایی در آن کمتر از شهر ارومیه باشد، زیرا نسبت به تبریز گسترش، تراکم، و جمعیت کمتری دارد. با این حال، همانند بسیاری از پژوهش‌های پیشین، جزیره سرمایی غالباً در روزها رخ داده است (پائولو و ماهالوف، ۲۰۱۹: ۱۸۴۹؛ دیوان و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۰) و شب‌هنگام در هر دو شهر با تقویت جزیره گرمایی همراه است. به‌نظر می‌رسد با توجه به اثر زیاد رویه‌های ناهمگون بر اندازه‌گیری دمای رویه زمین در روزها (وان، ۱۹۹۹: ۴۵)، اندازه‌گیری‌های شب‌هنگام با دقت بهتری می‌تواند شدت جزیره گرمایی شهری را به‌دست دهد. در همین راستا برداشت‌های شب‌هنگام رویه زمین مودیس، به‌ویژه در آکوا که نزدیک‌ترین برداشت به دماهای کمینه است، می‌تواند در پایش شدت جزیره گرمایی و تغییرات زمانی-مکانی آن به‌ویژه در روزهای گرم سال سودمند باشد.

مقایسه دو شهر تبریز و ارومیه در بررسی جزیره گرمایی رویه زمین روشن ساخت که نوع پوشش زمین در اطراف شهرها و اندازه شهر دو عامل مهم در میزان برآورد جزیره گرمایی رویه زمین‌اند. همچنین، به دلیل فاصله کمتر شهر ارومیه تا دریاچه ارتباط قوی‌تری میان جزیره گرمایی آن با کاهش گستره دریاچه دیده می‌شود که می‌تواند عاملی در تشدید بیشتر جزیره گرمایی شب‌هنگام در شهر ارومیه باشد.

سپاس‌گزاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و نوآوران کشور برای پشتیبانی مالی این پژوهش در قالب پروژه پسادکتری نویسنده دوم قدردانی می‌شود.

منابع

- رضانی، ب. و دخت محمد، س. م. (۱۳۸۹). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی در شهر رشت، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۱(۱): ۴۹-۶۴.
- شمسی پور، ع.؛ مهدیان ماه فروزی، م.؛ اخوان، ه. و حسین پور، ز. (۱۳۹۱). واکاوی رفتار روزانه جزیره گرمایی شهر تهران، مجله محیط شناسی، ۳۸(۴): ۴۵-۵۶.
- عزیزی، ق.؛ شمسی پور، ع.؛ مهدیان ماه فروزی، م. و میری، م. (۱۳۹۲). تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهری تهران از الگوهای همدیدی جو، مجله محیط شناسی، ۳۹(۴): ۵۵-۶۶.
- کارکن سیستانی، م. و دوستان، ر. (۱۳۹۴). جزیره گرمایی کلان شهر مشهد، مجله جغرافیا و توسعه فضای شهری، ۲(۲): ۱۳۳-۱۳۸.
- مجرد، ف.؛ نصریه، م. و هاشمی، س. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره ای، مجله فیزیک زمین و فضا، ۲(۲): ۴۴-۴۹۴.
- مسعودیان، س. ا. و ترکی، م. (۱۳۹۸). واکاوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلان شهر اهواز به کمک داده های مودیس، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۳۰(۷۳): ۷۵-۹۲.
- مسعودیان، س. ا. و منتظری، م. (۱۳۹۹). رفتار زمانی - مکانی جزیره گرمایی کلان شهر اصفهان، مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۴): ۳۵-۴۶.
- مزیدی، ا. و حسینی، ف. (۱۳۹۴). تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده های سنجنش از دور، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۸): ۱-۱۲.
- منصوری، س.؛ خالدی ش.؛ برنا ر. و اسدیان، ف. (۱۳۹۸). اثر تغییرات کاربری و کاهش فضای سبز شهری بر تشدید جزیره گرمایی و آلودگی شهر تهران (مطالعه موردی: منطقه یک)، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران)، ۱۷(۶۳): ۱۱۴-۱۲۹.
- Azizi, G.; Shamsipour, A.; Mahdian Mahfrouzi, M. and Miri, M. (2014). Intensities of the Urban Heat Island of Tehran under the Influence of Atmospheric Synoptic Patterns, *Journal of Environmental Studies*, 39(4): 55-66.
- Karkon Sistani, M. and Doostan, R. (2015). Heat Island of Mashhad Metropolis, *Geography and Urban Space Development*, 2(3): 123-138.
- Masoodian, S.A. and Torkey, M. (2019). Climatology of Surface Urban Heat Island of Ahwaz Metropolis, *Geography and Environmental Planning*, No. 73, PP. 75-92.
- Masoodian, S.A. and Montazeri, M. (2020). Tempo-spatial behavior of Surface Urban Heat Island of Isfahan Metropolitan Area, *Journal of Natural Environmental Hazards*, No. 24, PP. 35-46.
- Mansouri, S.; Khaledi, Sh.; Borna R. and Asadian, F. (2020). Effect of Land Use Change and Urban Green Space Reduction on Intensification of Heat Island and Pollution in Tehran (Case Study: Region One), *Geography*, No. 63, PP. 114-129.
- Mazidi, A. and Hoseini, F.S. (2015). Effects of Changing Land Use and Land Cover on the Heat Island in Urban Area of Yazd Using Remote Sensing Data, *Geography and Development Iranian Journal*, No. 38, PP. 1-12.

- Mojarrad, F.; Naserieh, M. and Hashemi, S. (2018). Investigation of Periodic and Seasonal Variations of Urban Heat Island (UHI) at Night and Day Using Satellite Imagery in Kermanshah City, *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(2): 479-494.
- Ramezani, B. and Dokht Mohammad, S.M. (2010). Recognition of the spatial boundary of heat island formation in Rasht city, *Journal of Research and Urban Planning*, No. 1, pp. 49-64.
- Shamsipour, A.; Mahdian Mahfrouzi, M.; Akhavan, H. and Hoseinpour, Z. (2013). An Analysis on Diurnal Actions of the Urban Heat Island of Tehran, *Journal of Environmental Studies*, 38(4): 45-56.
- Chen, M.; Zhou, Y.; Hu, M. and Zhou, Y. (2020). Influence of Urban Scale and Urban Expansion on the Urban Heat Island Effect in Metropolitan Areas: Case Study of Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration, *Remote Sensing*, No. 12, PP. 1-19.
- Cosgrove, A. and Berkelhammer, M. (2018). Downwind footprint of an urban heat island on air and lake temperatures, *Climate and Atmospheric Sciences*, *Climate and Atmospheric Science*, No. 2, PP. 1-10.
- Dewan, A.; Kiselev, G.; Botje, D.; Iftekhhar Mahmud, G.; Bhuian, M.H. and Hassan, Q.K. (2021). Surface urban heat island intensity in five major cities of Bangladesh: Patterns, drivers and trends. *Sustainable Cities and Society*, No. 71, PP. 1-12.
- Friedl, M. and Sulla-Menashe, D. (2019). *MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, Sioux Falls, South Dakota.
- Gallo, K.P. and Owen, K.W. (1999). Satellite-Based Adjustments for the Urban Heat Island Temperature Bias. *Journal of Applied Meteorology*, No. 38, PP. 806-813.
- Kataoka K.; Matsumoto F.; Ichinose T. and Taniguchi M. (2009). Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years, *Science of the total environment*, No. 407, PP. 3112-3119.
- Khandelwal, A.; Karpatne, A.; Marlier, M.; Kim, J.; Lettenmaier, D.P. and Kumar, V. (2017). An approach for global monitoring of surface water extent variations in reservoirs using MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, No. 202, PP. 113-128.
- Li, K.; Chen, Y.; Wang, M. and Gong, A. (2019). Spatial-temporal variations of surface urban heat island intensity induced by different definitions of rural extents in China, *Science of the Total Environment*, No. 669, PP. 229-247
- Li, L.; Chen, Zha, Y. and Zhang, J. (2020). Spatially non-stationary effect of underlying driving factors on surface urban heat islands in global major cities, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, No. 90, PP. 1-12.
- Mathew, A.; Sreekumar, S.; Khandelwal, S. and Kumar, R. (2019). Prediction of land surface temperatures for surface urban heat island assessment over Chandigarh city using support vector regression model, *Solar Energy*, No. 186, PP. 404-415.
- Morabito, M.; Crisci, A.; Guerri, G.; Messeri, A.; Congedo, L. and Munafò, M. (2021). Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences. *Science of the Total Environment*, No. 751, PP. 1-19.
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, No. 108, PP. 1-24.

- Palou, F.S. and Mahalov, A. (2019). Summer- and Wintertime Variations of the Surface and Near-Surface Urban Heat Island in a Semiarid Environment. *Weather and Forecasting*, No. 34, PP. 1849-1865.
- Rizwan, A.M.; Dennis, L.Y.C. and Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, *Journal of Environmental Sciences*, 20(1): 120-128.
- Sekertekin, A. and Zadbagher, E. (2021). Simulation of future land surface temperature distribution and evaluating surface urban heat island based on impervious surface area, *Ecological Indicators*, No. 122, PP. 1-11.
- Song, Y. and Wu, C. (2016). Examining the impact of urban biophysical composition and neighboring environment on surface urban heat island effect, *Advances in Space Research*, No. 57, PP. 96-109.
- Strahler, A.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E. and Moody, A. (1999). *MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*. Boston University, Boston.
- Tepanosyan, G.; Muradyan, V.; Hovsepyan, A.; Pinigin, G.; Medvedev, A. and Asmaryan, S. (2021). Studying spatial-temporal changes and relationship of Land Cover and Surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. *Building and Environment*, No. 187, PP. 107390.
- Voogt, J.A. and Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, No. 86, PP. 370-384.
- Wan, Z. (1999). *MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document*, University of California, Santa Barbara.
- Wan, Z. (2013). *Collection-6 MODIS Land Surface Temperature products users' guide*, ERI, University of California, Santa Barbara.
- Wang, Z.; Meng, Q.; Allam, M.; Hu, D.; Zhang, L. and Menenti, M. (2021). Environmental and anthropogenic drivers of surface urban heat island intensity: A case-study in the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, No. 128, PP. 1-14.
- Yang B.; Meng F.; Xinli, K. and Ma C. (2015). The Impact Analysis of Water Body Landscape Pattern on Urban Heat Island: A Case Study of Wuhan City, *Advances in Meteorology*, No. 2015 (ID:416728), PP. 1-7.
- Yao, R.; Wang, L.; Huang, X.; Niu, Y.; Chen, Y. and Niu, Z. (2018). The influence of different data and method on estimating the surface urban heat island intensity, *Ecological Indicators*, No. 89, PP. 45-55.
- Zhou, B.; Lauwaet, D.; Hooyberghs, H.; Ridder, KD.; Kropp, JP. and Rybski, D. (2016). Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, No. 55, PP. 493-505.