



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۳، دوره ۶، شماره ۴، ۹۵۴-۹۴۰

واکاوای ارتباط آلودگی‌های مناطق شهری با جزایر حرارتی شهرستان اردبیل^۱

برومند صلاحی^{ID}، مهدی فروتن^۲، امیرحسام پاسبان^۳

۱- استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

salahi@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران. mahdi.frotan23@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران. a.hesam773@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

چکیده

آلودگی‌های هوا ناشی از فعالیت‌های بشری در شهرها منجر به ایجاد جزایر حرارتی شده و باعث افزایش دما و کاهش کیفیت هوا می‌شود. هدف این پژوهش بررسی ارتباط بین این آلودگی‌های مناطق شهری با جزایر حرارتی در شهرستان اردبیل می‌باشد. در این راستا ابتدا در سامانه گوگل ارث انجین با فراخوانی داده‌های ماهواره سنتینل ۲ و ۱، نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل ترسیم و با ضریب کاپا میزان درستی و دقت کلی آن بررسی شد. در گام بعد، جهت بررسی آئروسول‌های شهرستان اردبیل از داده‌های ماهواره سنتینل ۵ استفاده و روند روزانه آن با روش رگرسیون به دست آمد. میزان چولگی آئروسول‌ها برای سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ محاسبه و نقشه تراکم آلودگی‌های شهرستان اردبیل ترسیم شد. سپس با فراخوانی داده‌های ماهواره مودیس اقدام به ترسیم نقشه آنومالی دما و جزیره حرارتی شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ شد و روند LST شب در بازه زمانی مذکور و نمودار نیم‌رخ جزیره حرارتی LST شب به دست آمد. با استخراج داده‌های نقشه‌های تراکم آئروسول‌های شهری با جزایر حرارتی در نرم‌افزار ArcGis، همبستگی دما و جزیره حرارتی شهرستان اردبیل بررسی شد. نتایج نشان داد بین این دو پدیده رابطه مستقیمی برقرار است بدین‌گونه که میزان آئروسول‌های روزانه در شهرستان اردبیل از اواسط ۲۰۲۱ میلادی شیب صعودی به خود گرفته و چولگی منفی آن نشان از افزایش آلودگی‌ها با تراکم و رخداد زیاد در نواحی داخل شهری داشته است. نقشه تراکم آلودگی‌ها نیز نشان داد در نواحی داخل شهری و جاده‌های بین‌شهری شهرستان اردبیل، میزان آئروسول به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در نتیجه،

^۱ مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نوع دوم به شماره قرارداد ۱۴۰۲/۵/۹/۲۳۱۵۷ است که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است. مجری طرح:

جناب آقای دکتر برومند صلاحی



آنومالی دما در مناطق شهری و مسکونی افزایش قابل توجهی داشته و منجر به تشکیل جزیره حرارتی با دمای متوسط ۸/۲۲ درجه سانتی گراد شده که در تیرماه به بیشینه خود رسیده است.

کلیدواژگان: آلودگی شهری، تصاویر ماهواره‌ای، جزیره حرارتی، شهرستان اردبیل.

مقدمه

آلودگی هوا از پراهمیت‌ترین مسائل در مطالعات آب و هوایی محسوب می‌شود که بر سلامتی موجودات زنده تأثیر فراوانی دارد. افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش جمعیت منجر به ازدیاد هواپیزها و غبار و دود مه شده است (غفاری گیلانده و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۱۶). مهاجرت مردم از روستاها به شهرها پدیده‌ای مستمر بوده که با ظهور عصر صنعتی در قرن هجدهم شتاب گرفت. نقطه اوج بین توازن جمعیتی شهری و روستایی در سال ۲۰۰۸ به دست آمد، زمانی که جمعیت شهری جهان از جمعیت روستایی پیشی گرفت و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۷۰ درصد از جمعیت جهان شهرنشین باشد (UNFPA, 2022; Piracha and Chaudhary, 2022). اگرچه شهرنشینی به‌طور قابل توجهی کیفیت زندگی و آسایش انسان را بهبود بخشیده است، اما منجر به برخی مشکلات ناخواسته از جمله آلودگی هوا و جزایر حرارتی شهری (UHI^۲) نیز شده است. در بعضی موارد، آلودگی هوای شهری ناشی از استفاده وسایل نقلیه به‌ویژه خودروهای فرسوده است (Singh et al., 2017: 100). قرن گذشته شاهد تغییرات چشم‌گیری در فناوری‌های حمل و نقل بوده است که در آن شهرها به سمت حومه‌های کم‌تراکم وابسته به خودرو گسترش یافته‌اند. عصر خودروها بخصوص خودروهای فرسوده در همه جا را می‌توان مقصر بسیاری از مشکلات آلودگی هوای شهرهای معاصر دانست. جزایر حرارتی شهر (UHI) مختص شهرهای بزرگی است که در آن دمای مرکز شهر برای همه کلان‌شهرهای بزرگ به‌جز شهرهای بزرگ بیابانی بالاتر از مناطق روستایی یا طبیعی اطراف است. گرمای شهری که به‌عنوان یک خطر نامرئی نام‌گذاری شده است در برخی کشورها به دلیل تأثیرات تغییرات آب و هوایی، بیش‌ترین پتانسیل مرگ و میر انسانی را دارد (Nimish et al., 2022). در طول دوره ۲۰۲۱-۱۹۰۰ امواج گرما در سراسر جهان منجر به مرگ ۱۷۱۸۵۶ نفر شد (EM-DAT, 2022). گرم شدن محیط شهری در بسیاری از شهرهای جهان به‌عنوان یک تهدید جدی برای سلامت انسان شناخته شده است. از طرفی دیگر تغییر در کاربری اراضی و پوشش زمین به‌دلیل تأثیرات محیط‌زیستی مانند کاهش فضای سبز و توسعه جزایر حرارتی شهری (UHI) به یک نگرانی عمده محیط‌زیستی تبدیل شده است. افزایش دمای هوای شهرها به شکل جزیره‌ای و محلی پدیده جزیره حرارتی شهری نامیده می‌شود (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۰). مدل‌سازی هوا در مطالعات پدیده‌های حدهای اقلیمی اهمیت دارد (ذرتی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰؛ اسمعیل‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲). در الگوی ارزیابی کلی توسعه پایدار، تغییر دمای سطح

²- Urban Heart Island (UHI)

زمین (LST^۳) معیار مهمی برای تعیین ارزیابی کیفیت محیط زیست است (Dai et al., 2010: 247). تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با جزیره حرارتی شهری و ارتباط آن با کاربری اراضی و آلودگی هوا در داخل و خارج کشور انجام شده است. ژیاو و مودی^۴ (۲۰۰۵)، رابطه بین تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین در منطقه گوانجنگ در جنوب چین را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که پراکندگی جزایر حرارتی در مناطق شهری با توزیع الگوی پوشش اراضی رابطه مستقیم دارد. وانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی جزایر حرارتی شهری شهر شنزن چین پرداختند. نتایج نشان داد که میزان دمای سطح زمین شهر شنزن در سطوح غیرقابل نفوذ شهری به طور چشمگیری بیش تر از مناطق دارای پوشش گیاهی است. از طرفی دیگر این دو عامل بر مؤلفه دمای سطح زمین (LST) شنزن تأثیرگذار بودند. گریگوراش^۶ و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی و بررسی جزایر حرارتی شهر بخارست (رومانی). نتایج بیانگر این بود که از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ با افزایش کاربری شهری و اراضی زراعی و کاهش اراضی جنگلی، دمای هوا در سطح شهر افزایش یافته و جزایر حرارتی شهری در بخارست روند رو به رشدی داشته است. وانگ و همکاران (۲۰۲۱) رابطه جزیره حرارتی شهری و آلاینده‌های هوا و عوامل مؤثر بر آن‌ها را در دلتای رودخانه یانگ‌تسه، چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آلودگی هوا در شهرهای داخلی بدتر از شهرهای ساحلی بود. همچنین یک همبستگی مثبت و معنی‌دار بین غلظت O₃ و UHI در روز و یک همبستگی منفی با سایر آلاینده‌ها و میزان LST برقرار است. آن‌ها همچنین دریافتند که پوشش گیاهی، موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و شدت توسعه اقتصادی بر UHI و آلودگی هوا اثر دارد. رشید^۷ و همکاران (۲۰۲۲)، به بررسی تأثیر تغییر کاربری زمین و شهرنشینی بر میزان جزیره حرارتی شهری در شهر نارایانگانج، بنگلادش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که LST به‌ویژه در جایی که صنایع سنگین و شهرک‌های صنعتی تأسیس شده بودند به‌شدت تحت تأثیر مناطق ساخته شده قرار گرفته است. میانگین LST بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۹ به میزان ۱/۸۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. از یک طرف یک همبستگی منفی بین LST و NDVI^۸ برقرار است که نشان می‌دهد پوشش گیاهی دمای شهری را ضعیف می‌کند. در مقابل، همبستگی مثبت بین LST و NDBI^۹ نشان می‌دهد مناطقی که سنگفرش شده‌اند میزان دمای سطح زمین را تشدید می‌کنند و باعث ایجاد جزیره حرارتی شهری (UHI) می‌شوند. مناطقی که در اطراف پوشش گیاهی و مناطق آبی قرار دارند دمای نسبتاً پایین‌تری را نشان می‌دهد. فنگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۳) جهت بررسی تغییرات در آلودگی هوا، دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری در طول قرنطینه COVID-19 در سه شهر چین

³- Land surface temperature (LST)

⁴- Xiao and Moody

⁵- Wang

⁶- Grigoras

⁷- Rashid

⁸- Normalized Difference Vegetation (NDVI)

⁹- Normalized Difference Built-up (NDBI)

¹⁰- Feng

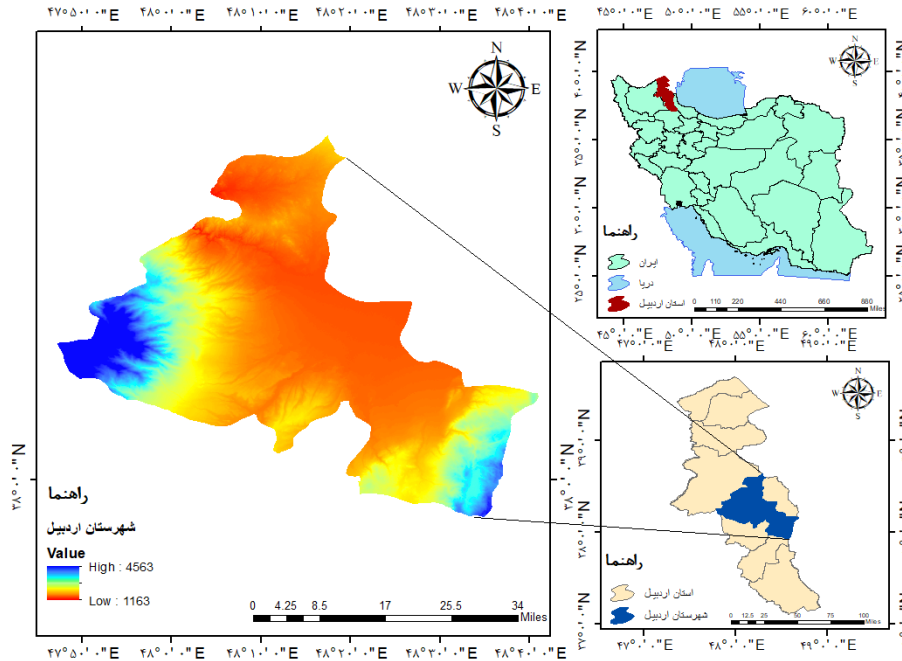
را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که در طول دوره قرنطینه COVID-19 (فوریه ۲۰۲۰)، سطوح AOD و آلاینده‌های جوی ذرات ریز به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. در این میان، PM_{2.5} و NO₂ در تمام توده‌های شهری بیش از ۱۴ درصد کاهش یافته است. از طرفی دمای سطح در هر سه توده شهری بیش از ۱ درجه سانتی‌گراد در طول قرنطینه افزایش یافته که عمدتاً به دلیل عوامل آب و هوایی بوده است. کاهش شدت جزیره حرارتی شهری شبانه (UHI_{night}) در سه توده شهری بیش از ۲۵ درصد از مقدار مشاهده شده در روز بود. کاهش جزایر حرارتی سطحی در شب عمدتاً به دلیل کاهش فعالیت‌های انسانی و انتشار آلاینده‌های هوا است. اگرچه محدودیت‌های سخت‌گیرانه بر روی فعالیت‌های انسانی تأثیر مثبتی بر آلودگی هوا و UHI دارد، اما با کاهش سیاست‌های قرنطینه، این تغییرات به سرعت بازگردانده شدند. اصغری سراسکانرود و اسدی (۱۳۹۹)، به بررسی اثرات کاربری‌های مختلف شهرستان اصفهان بر ایجاد جزایر حرارتی پرداختند. نتایج کار آن‌ها حاکی از این بود که دمای مناطق کویری به دلیل فقدان پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۲۰۰۰ حدود ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است اما مناطق دارای آب به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر ۱۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دما داشته و در نهایت با شاخص موران مشخص نمودند که دمای سطح زمین به شکل خوشه‌ای توزیع یافته است. خدمت‌زاده و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی ارتباط تغییرات کاربری زمین با شکل‌گیری جزایر حرارتی در حریم شهر ارومیه با استفاده از سنجش از دور پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در سال ۲۰۱۸ با افزایش مناطق مسکونی، میانگین دما نیز حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است هم‌چنین بیان داشتند با توسعه شهری، مساحت اراضی باغی و زراعی به ترتیب با بیش از ۴۹ و ۳۰ درصد کاهش داشته است و بین دمای سطح زمین و پوشش سطح رابطه معنی‌داری وجود دارد. در پژوهشی دیگر احمدی و همکاران (۱۳۹۸)، تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر شکل‌گیری جزایر حرارتی شهر قاین را مورد مطالعه قرار دادند و با توجه به مساحت کاربری‌های اراضی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به این نتیجه دست یافتند که مساحت اراضی بایر و مراتع کاهشی بوده و افزایش دما را در این مناطق به دنبال داشته و در مقابل، در مناطقی که اراضی کشاورزی، پوشش گیاهی و باغات روند افزایشی داشته از میانگین دما کاسته شده است. آن‌ها هم‌چنین دریافتند که از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ که رشد شهری بیش‌تر شده بر روند دما نیز افزوده شده است. عرب و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی و تحلیل پویایی کاربری اراضی و تأثیر آن بر جزایر حرارتی شهری در شهر مشهد پرداختند. نتایج نشان داد مساحت کاربری کشاورزی-باغ تا سال ۲۰۱۸، به دلیل تبدیل به مناطق شهری و مسکونی ۹/۳۸ درصد کاهش داشته و این تغییر در کاربری اراضی منجر به افزایش دما و تشکیل جزیره حرارتی در شهر مشهد شده است. گلستانی و همکاران (۱۴۰۱)، به تحلیل ارتباط دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در شکل‌گیری جزیره حرارتی و مخاطرات آن در شهر اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد وسعت شهری افزایش یافته و درعین حال وسعت اراضی باغی و مراتع کاهش یافته و جزایر حرارتی با ازدیاد مساحت کاربری‌های مسکونی و توسعه شهری افزایش یافته است ولی در مناطق کشاورزی از میزان حرارت گرمای کاسته شده است. در پژوهشی دیگر شاهینی‌فر و شاهنده (۱۴۰۲)، به بررسی تصاویر سنتینل ۳ در

شناسایی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با پوشش گیاهی در شهر کرمانشاه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با در نظر گرفتن واقعیت‌های عینی، روش مورد استفاده برای تشخیص جزایر حرارتی و درک ارتباط بین سازوکارهای تشکیل جزایر حرارتی با پوشش گیاهی و پارک‌ها در عرصه شهری از کارایی بالایی برخوردار است. از این رو پایش مداوم تغییر کاربری زمین یکی از چالش‌های اصلی برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در کلان‌شهرها است.

با توجه به آنچه که بیان شد، برای بررسی دقیق و کامل ارتباط رشد و توسعه شهری با پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، هم‌چنان به مطالعات بیش‌تر و گسترده‌ای در مناطق مختلف جهان با اقلیم‌های گوناگون نیاز است. بر این اساس نواحی شمال غربی ایران از جمله استان اردبیل با موقعیت خاص جغرافیایی از جمله کوهستانی بودن، اقلیم خاص و پوشش گیاهی بسیار متنوع آن گزینه‌ای مناسب برای این‌گونه پژوهش‌ها هستند. در دهه‌های گذشته به دلیل گسترش فیزیکی شهری، تغییرات کاربری اراضی محسوسی در شهرستان اردبیل صورت گرفته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تبدیل کاربری کشاورزی، مراتع و فضای سبز به کاربری‌های ساخته‌شده اشاره کرد. این تغییرات، شرایط اقلیمی خاصی از نظر دمای هوا، رطوبت و بارش در این شهرستان ایجاد شده است. هدف از این پژوهش بررسی ارتباط کاربری‌ها و آلودگی‌های مناطق شهری با جزایر حرارتی در استان اردبیل می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان اردبیل در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت این شهرستان حدود ۱۱۰۸۱ کیلومتر مربع است. شهرستان اردبیل شامل سه بخش و دارای ۱۱ دهستان و ۱۸۰ روستا می‌باشد (ایمانی و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۷۷). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی شهرستان اردبیل را در ایران و استان اردبیل نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان اردبیل در ایران و استان اردبیل (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

روش پژوهش

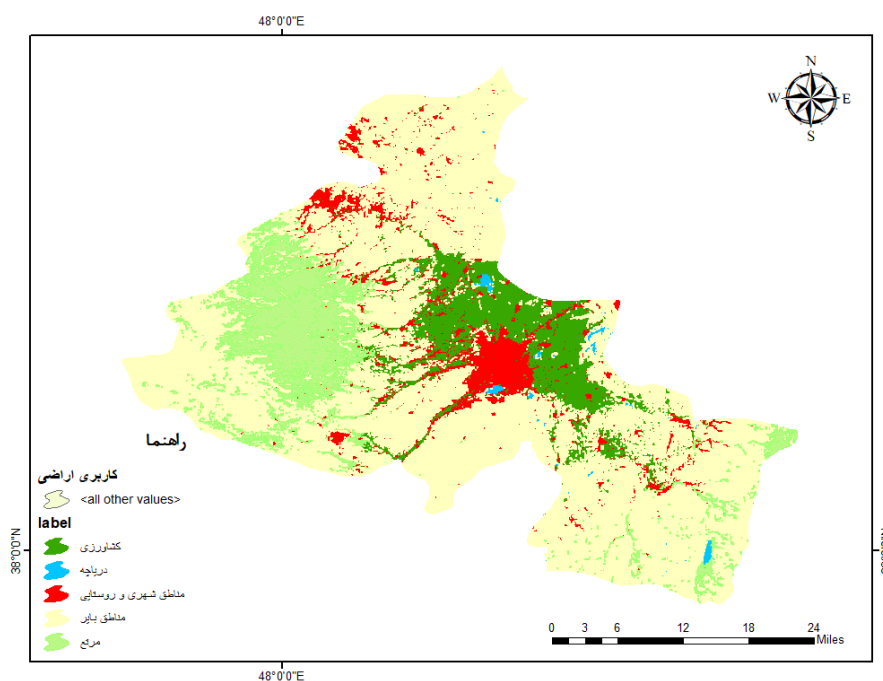
در این پژوهش ارتباط بین آلودگی‌های شهرستان‌های استان اردبیل با جزایر حرارتی آن مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا ابتدا در محیط برنامه‌نویسی گوگل ارث انجین، با فراخوانی داده‌های ماهواره سنتینل ۲ (باند ۲-۸) و سنتینل ۱ (باند VV^{11} و VH^{12}) و با استفاده از DEM ۳۰ متری شهرستان اردبیل و شاخص NDVI، به برداشت و نمونه‌برداری از ۵ کلاس (مناطق کشاورزی، دریاچه، مناطق شهری، مناطق بایر و مرتع) پرداخته شد و نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل به دست آمد و با وارد نمودن دستور ضریب کاپا، میزان درستی و دقت کلی آن بررسی شد. جهت بررسی آئروسول‌های شهرستان اردبیل از داده‌های ماهواره سنتینل ۵، باند `absorbing_aerosol_index` استفاده شد و با روش رگرسیونی و چولگی، روند روزانه آئروسول‌ها برای سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ بررسی و نقشه تراکم آلودگی‌های شهرستان اردبیل ترسیم شد. در گام بعد، با فراخوانی داده‌های ماهواره مودیس (ترا) MOD11A2.061 و باند `LST_Night_1km` در محیط گوگل ارث انجین و کدنویسی در آن اقدام به ترسیم نقشه آنومالی دما و جزیره حرارتی شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ شد و روند `LST` شب در بازه زمانی مذکور و - نیم‌رخ جزیره حرارتی `LST` شب نمایش داده شد. در مرحله آخر نقشه‌های تراکم آلودگی هوا با جزیره حرارتی در محیط نرم‌افزار ArcGis فراخوانی شد و پس از استخراج داده‌های آن به بررسی همبستگی بین این دو پدیده پرداخته شد.

¹¹- Single co-polarization, vertical transmit/vertical receive

¹²- Dual-band cross-polarization, horizontal transmit/vertical receive

یافته‌های پژوهش

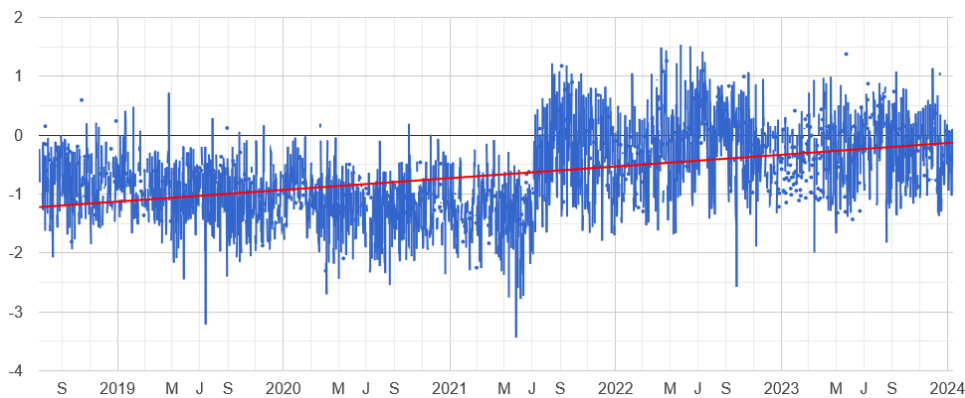
شکل ۲، نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل را نشان می‌دهد. این تصویر با فراخوانی داده‌های ماهواره سنتینل ۲ (باند ۸-۲) و سنتینل ۱ (باند VH، VV) در محیط برنامه‌نویسی گوگل ارث انجین با کمک DEM ۳۰ متری و شاخص NDVI به دست آمد و محدوده‌های اشغال‌شده توسط هر کاربری (مناطق کشاورزی، دریاچه، مناطق شهری و روستایی، مناطق بایر و مرتع) به نمایش گذاشته شد. نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل نشان می‌دهد که دریاچه، مناطق کشاورزی، مناطق شهری و روستایی، مناطق بایر و مراتع به ترتیب ۲۴۷، ۳/۸۱، ۳/۲۱، ۱/۷۳ و ۲/۷۹ کیلومترمربع از سطح شهرستان اردبیل را اشغال نموده‌اند. لازم به ذکر است دقت کلی و ضریب کاپای نقشه مذکور پس از وارد نمودن دستور مربوطه، مقدار ۹۴٪ برای هر کدام برآورد گردید.



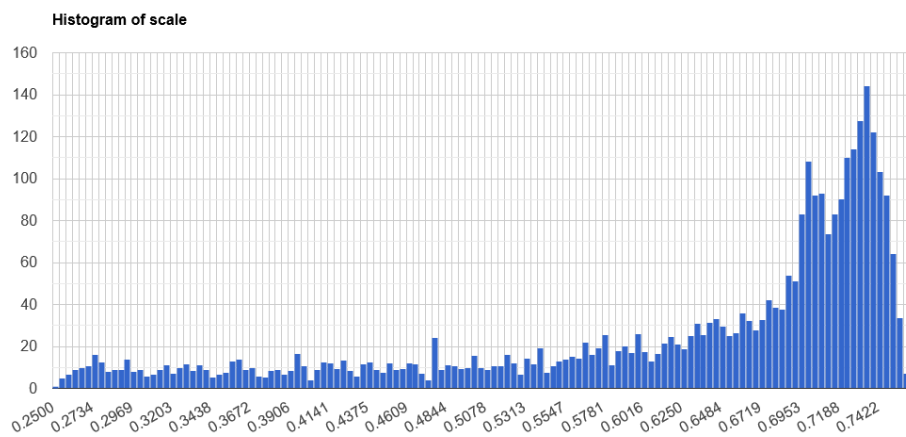
شکل ۲. نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل با داده‌های ماهواره سنتینل ۲ و سنتینل ۱ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

نوسان روزانه آئروسول‌های شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ با داده‌های ماهواره سنتینل ۵ باند absorbing_aerosol_index با روش رگرسیونی نمایش داده شده است (شکل ۳) که در آن محور عمودی مربوط به دامنه نوسان آئروسول و محور افقی مربوط به سال‌های مورد مطالعه است. از شکل ۳ مشخص است که آئروسول‌های شهرستان اردبیل از سال ۲۰۱۸ تا اواسط ۲۰۲۱ روند خنثی با دامنه نوسان مقدار زیر صفر داشته و به یکباره از این تاریخ به بعد شیب صعودی به خود گرفته است. در شکل ۴، هیستوگرام آلودگی‌های شهرستان اردبیل در طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ با داده‌های ماهواره سنتینل ۵ باند absorbing_aerosol_index نشان داده شده است. محور افقی مربوط به مقدار آئروسول‌های باند مذکور است که دامنه‌ها بین صفر تا یک قرار گرفته و محور عمودی مربوط به تعداد و فراوانی آئروسول‌ها است. با توجه به این نمودار مشخص است که آلودگی شهرستان اردبیل چولگی منفی داشته و آئروسول‌هایی که بیش‌تر از مقدار

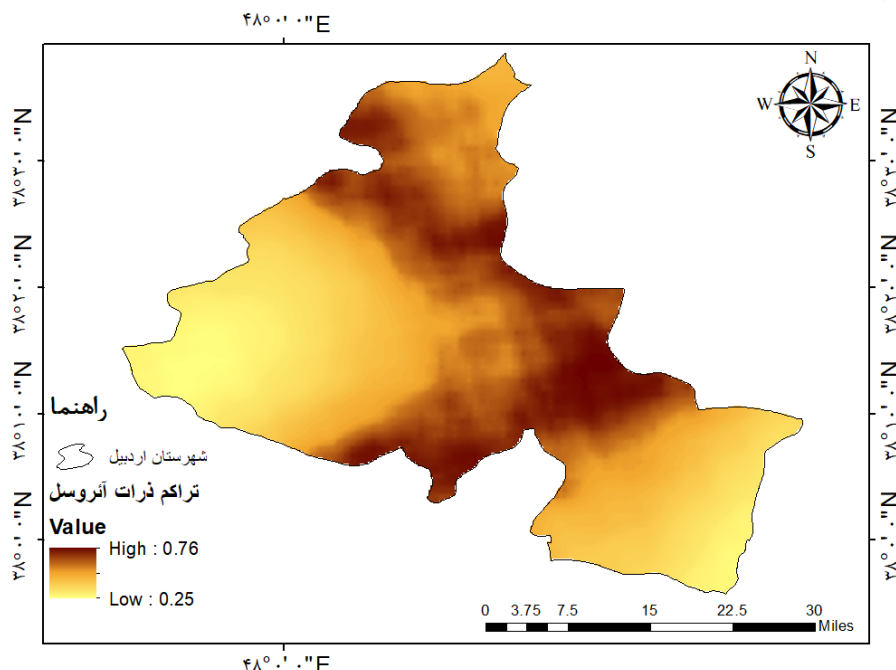
۰/۵ جذب نور خورشیدی داشته‌اند با رخداد زیاد در مناطقی از شهرستان مذکور تجمع یافته‌اند و بیش‌ترین فراوانی با ۱۴۴ رخداد مربوط به آئروسول‌های با مقدار ۰/۷۳ بوده است. شکل ۵، نقشه تراکم آئروسول‌های شهرستان اردبیل در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۲۳ را نشان می‌دهد که توسط داده‌های سنتینل ۵ باند absorbing_aerosol_index به دست آمده است با توجه به این شکل، مقدار آئروسول‌های شهرستان مذکور افزایش یافته است. نواحی‌ای که نقش انسان در دخالت در محیط پرننگ بوده (مناطق شهری، محل احداث کارخانه‌ها، جاده‌های بین‌شهری اردبیل به سمت سرعین، نمین، مشکین‌شهر و در کل در قسمت‌های شرق، جنوب و شمال شهرستان اردبیل) تراکم و شدت افزایش آلودگی نیز زیادتر بوده است. در این مناطق ۰/۷۶ میزان جذب نور خورشیدی توسط ذرات آئروسول افتاده و در نواحی غرب (منتهی به کوه سبلان) و جنوب شرق شهرستان، تراکم ذرات آئروسول کم‌تر بوده و جذب نور خورشیدی به میزان ۰/۲۵ رسیده است.



شکل ۳. روند روزانه آئروسول‌های شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

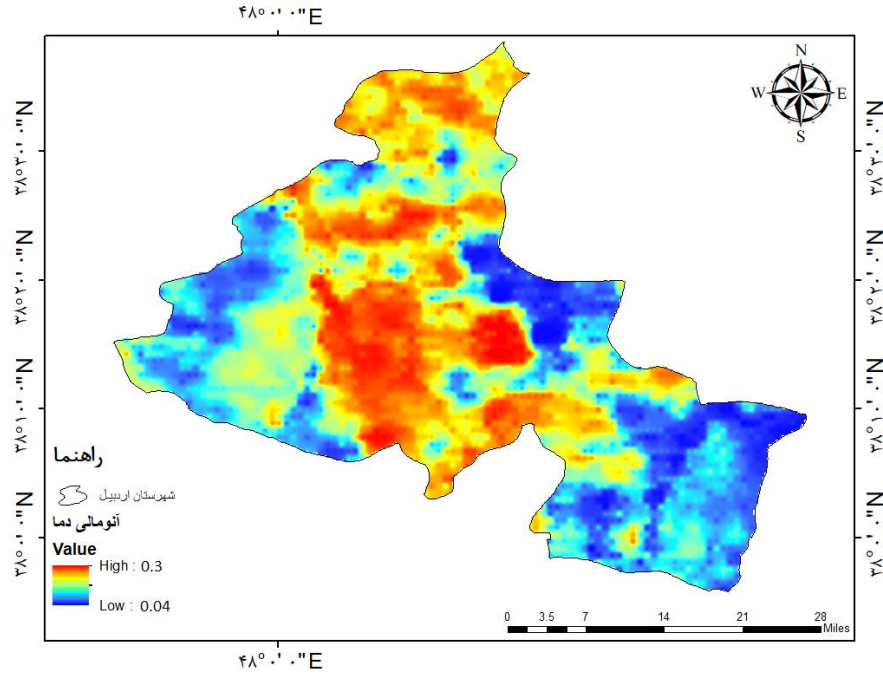


شکل ۴. هیستوگرام آلودگی‌های شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)



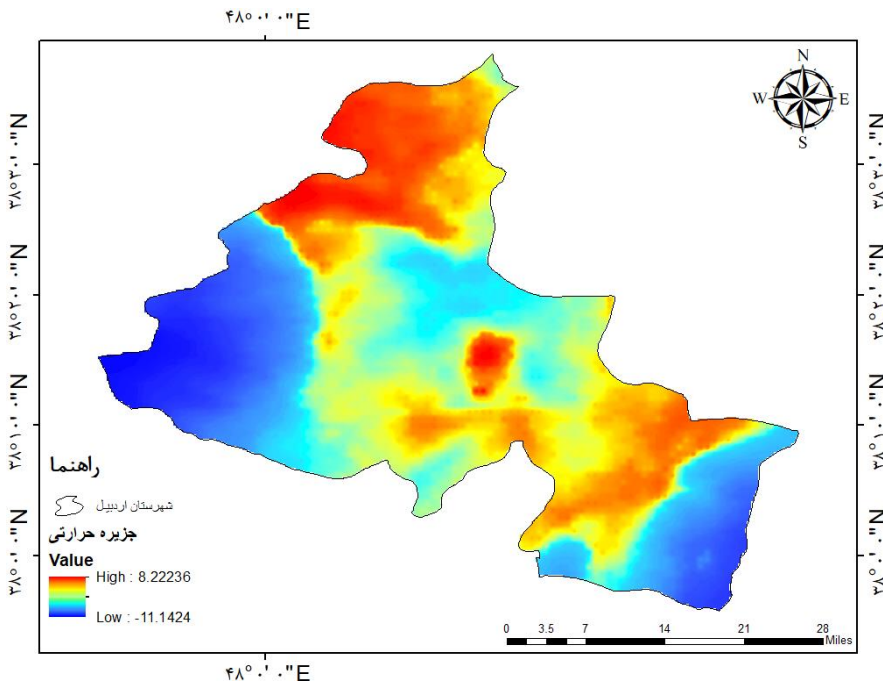
شکل ۵. آلودگی هوای شهرستان اردبیل با داده‌های ستینل ۵ طی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۱۸ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شکل ۶، نقشه آنومالی دمای شهرستان اردبیل با داده‌های MOD11A2.061 باند LST_Night_1km طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ را نشان می‌دهد همان‌طور که مشخص است در کل منطقه مورد مطالعه، تغییرات دما افزایشی بوده و این تغییرات در مناطق مسکونی و داخل شهری اردبیل نسبت به سایر نواحی شدیدتر بوده و به‌وضوح قابل رؤیت است که در این مناطق، دما ۰/۳ درجه سانتی‌گراد تغییرات افزایشی داشته است. ازدیاد دما در نواحی مرکزی و شمالی شهرستان اردبیل نیز مشخص است درحالی‌که قسمت‌های غربی، شرقی و جنوب شرقی شهرستان اردبیل افزایش دمای بسیار کمی را شاهد بوده است. نقشه میانگین دمای شهرستان اردبیل نیز با داده‌های MOD11A2.061 باند LST_Night_1km طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ بر حسب درجه سانتی‌گراد در شکل ۷ به نمایش گذاشته شده است. با دقت در شکل ۷ کاملاً مشخص است که مناطق شهری و مسکونی شهرستان اردبیل حرارت بیشتری را از خود بروز داده‌اند و میزان درجه حرارت آن به‌طور متوسط به ۸/۲۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در قسمت‌های مجاور شمالی مناطق شهری که مناطق کشاورزی هستند میزان حرارت نسبتاً کم بوده و در بخش‌های غربی منتهی به کوه سبلان و دامنه‌های آن که جزء مناطق مرتعی بوده است و نیز نواحی جنوب شرقی به کمینه خود (۱۱/۱۴- درجه سانتی‌گراد) رسیده است درحالی‌که قسمت‌های شمالی شهرستان اردبیل در همسایگی مشکین شهر و گرمی شاهد افزایش حرارت حرارتی بوده است.



شکل ۶. نقشه آتومالی دمای شهرستان اردبیل با داده‌های MOD11A2.061 طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان،

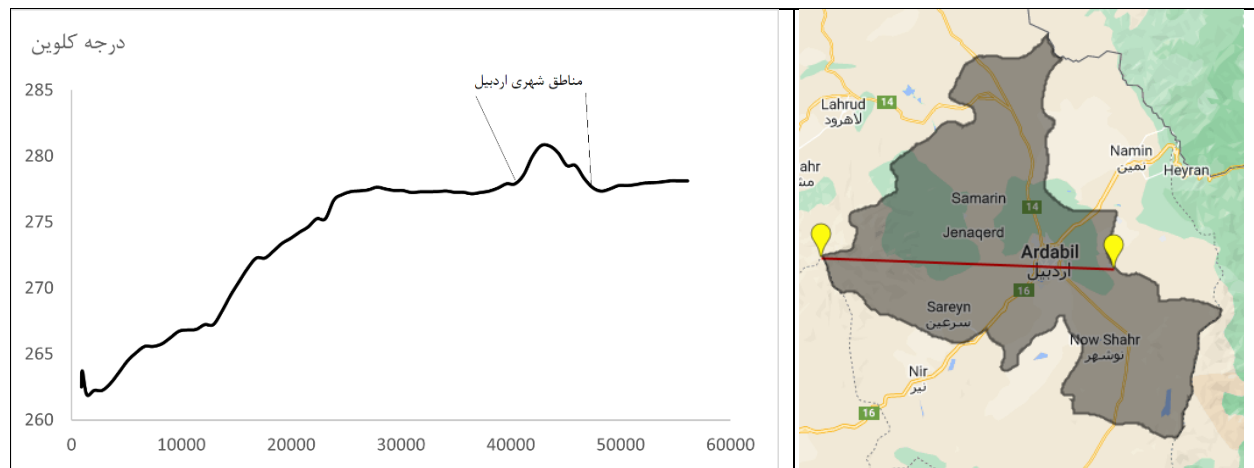
(۱۴۰۲)



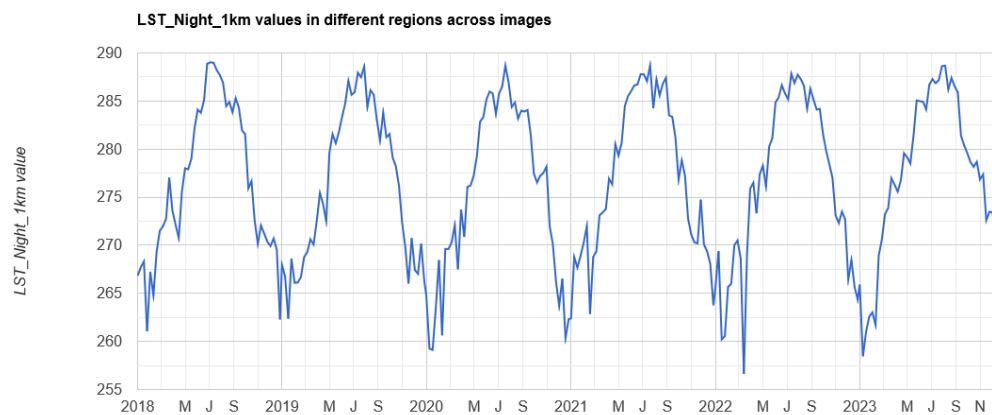
شکل ۷. نقشه میانگین دمای شهرستان اردبیل با داده‌های MOD11A2.061 طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان،

(۱۴۰۲)

در شکل ۸، سمت چپ نمودار نیم‌رخ جزیره حرارتی بر حسب درجه کلوین باند (LST_Night_1km) طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ در محدوده خطی مشخص شده از غرب تا شرق شهرستان اردبیل (سمت راست) ترسیم گشته است. همان‌طور که مشخص است حرارت از سمت کوهستان سبلان به سمت مناطق شهری روند افزایشی به خود گرفته و با حرکت به سمت شرق شهرستان اردبیل، حرارت نیز افزایش می‌یابد بخصوص این‌که در مناطق داخل شهری و مسکونی شهرستان اردبیل شاهد اوج گرفتن و تشکیل جزیره حرارتی هستیم که میزان دما را تا ۲۸۲ درجه کلوین نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۹، نوسان سالانه میانگین دمای شب شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. محور عمودی نشان‌دهنده درجه کلوین و محور افقی بازه زمانی مورد مطالعه است. همان‌طور که معلوم است ماه جولای (تیر) بیشینه دمایی حدود ۲۸۵ تا ۲۹۰ درجه کلوین و ماه ژانویه (دی‌ماه) کمینه دمایی حدود ۲۵۶ تا ۲۶۲ درجه کلوین را به ثبت رسانده است؛ به‌عبارت‌دیگر از اواسط زمستان تا اواسط تابستان روند افزایشی میانگین دمای شب شروع شده و بالعکس.

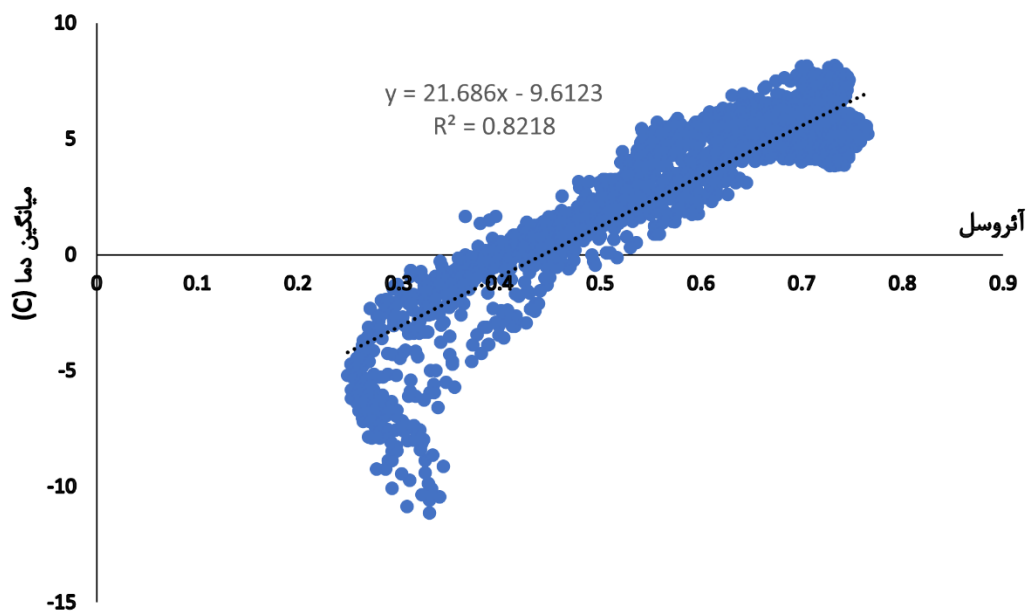


شکل ۸. نمودار نیم‌رخ جزیره حرارتی مناطق شهری اردبیل بر حسب درجه کلوین طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۹. روند میانگین دمای شب شهرستان اردبیل در ایام سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

نمودار همبستگی بین داده‌های آئروسول‌های شهری با میانگین حرارت شهرستان اردبیل در شکل ۱۰ به نمایش درآمده است. محور عمودی معرف جزیره حرارتی بر حسب درجه سانتی‌گراد و محور افقی بیانگر میزان آئروسول‌های شهری می‌باشد. همان‌طور که مشخص است بین این دو پدیده رابطه مستقیمی برقرار است به طوری که با افزایش آلودگی‌های شهری بر میزان حرارت شهری افزوده شده است. در نتیجه چنین استنباط می‌شود که آئروسول‌های موجود در جو مناطق شهری با انعکاس انرژی خورشیدی بر سطح زمین بر ذخیره حرارت شهری می‌افزایند. با توجه به ضریب تعیین (R^2) می‌توان گفت ۸۲ درصد تشکیل جزیره حرارتی متأثر از ذرات آئروسول موجود در جو می‌باشد.



شکل ۱۰. نمودار همبستگی میانگین دمای شهری با آئروسول‌های شهرستان اردبیل (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی ارتباط بین آلودگی‌های شهری با جزایر حرارتی شهرستان اردبیل پرداخته شد. ابتدا مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری‌های اراضی شامل دریاچه ۲۴۷، مناطق کشاورزی ۳/۸۱، مناطق شهری و روستایی ۳/۲۱، مناطق بایر ۱/۷۳ و مراتع ۲/۷۹ کیلومتر مربع با دقت کلی و ضریب کاپای هر کدام مقدار ۹۴٪ برآورد گردید. سپس نوسان روزانه آئروسول‌های شهرستان اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ با روش رگرسیونی ترسیم و مشخص شد که از اواسط سال ۲۰۲۱ میلادی، آئروسول‌ها شیب صعودی به خود گرفته‌اند. هیستوگرام آئروسول‌ها نیز چولگی منفی داشته است به طوری که آئروسول‌هایی که بیش‌تر از مقدار ۰/۵ جذب نور خورشیدی داشته‌اند با رخداد فراوانی زیادی در مناطقی از شهرستان اردبیل تجمع داشته‌اند. در مناطق شهری و مسکونی و جاده‌های بین‌شهری اردبیل به سمت سرعین، نمین، مشکین‌شهر و در کل در قسمت‌های شرق، جنوب و شمال شهرستان اردبیل، تراکم و شدت افزایش آلودگی زیادتر بوده است. در این

مناطق ۰/۷۶ میزان جذب نور خورشیدی توسط ذرات آئروسول اتفاق افتاده و در نواحی غرب (متهی به کوه سبلان) و جنوب شرق شهرستان، تراکم ذرات آئروسول کم تر بوده و جذب نور خورشیدی به میزان ۰/۲۵ رسیده است. وضعیت آنومالی دما برای بازه زمانی یادشده نشان داد که در کل منطقه مورد مطالعه، تغییرات دما افزایشی بوده و این تغییرات در مناطق شهری و مسکونی اردبیل نسبت به سایر نواحی شدیدتر بوده است. ازدیاد دما در نواحی مرکزی و شمالی شهرستان اردبیل نیز اتفاق افتاده درحالی که برای قسمت های غربی، شرقی و جنوب شرقی این شهرستان، افزایش دمای کندی را شاهد بوده ایم. وضعیت جزایر حرارتی نشان داد که مناطق شهری و مسکونی حرارت بیش تری را از خود بروز داده اند به طوری که میزان درجه حرارت آن به طور متوسط ۸/۲۲ درجه سانتی گراد بوده است. در قسمت های مجاور شمالی مناطق شهری که مناطق کشاورزی هستند میزان حرارت نسبتاً کم بوده و به سمت کوه سبلان در غرب و نواحی جنوب شرقی به کمینه خود (۱۱/۱۴- درجه سانتی گراد) رسیده است. در نمودار مربوط به نیمرخ جزایر حرارتی نیز شاهد اوج گرفتن و تشکیل جزیره حرارتی تا ۲۸۲ درجه کلوین در مناطق داخل شهری و مسکونی شهرستان اردبیل بوده ایم. در کل، با حرکت به سمت شرق شهرستان اردبیل، حرارت نیز افزایش می یابد. نوسان سالانه میانگین دمای شب نیز نشان داد که ماه جولای (تیر) بیشینه دمایی حدود ۲۸۵ تا ۲۹۰ درجه کلوین و ماه ژانویه (دی ماه) کمینه دمایی حدود ۲۵۶ تا ۲۶۲ درجه کلوین را به ثبت رسانده است. همبستگی بین آئروسول های شهری با جزیره حرارتی رابطه مستقیمی را بین این دو پدیده نشان داد بدین ترتیب که با افزایش آلودگی های شهری بر میزان حرارت شهری افزوده شده و با بازتابش انرژی خورشیدی بر سطح زمین توسط آئروسول های موجود در جو بر ذخیره حرارت شهری افزوده شده است. هم چنین ضریب تعیین R^2 ، نشان داد به میزان ۸۲ درصد افزایش آلودگی های شهری بر میزان حرارت شهری افزوده شده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج کار دیگر محققین در این زمینه نظیر آن که احمدی و همکاران (۱۳۹۸)، عرب و همکاران (۱۴۰۱)، گریگوراش و همکاران (۲۰۱۹) که معتقد بودند که با گسترش شهرنشینی و تخریب مناطق کشاورزی و تبدیل آن به مناطق سکونت گاهی جزایر حرارتی گسترش یافته است همسویی دارد. همچنین یافته های این پژوهش با کار ژیاو و مودی (۲۰۰۵)، وانگ و همکاران (۲۰۲۱) که بیان داشتند که بین آلودگی های شهری و جزایر حرارتی رابطه معنادار و مستقیمی وجود دارد منطبق است.

منابع

احمدی، عبدالمجید، اکبری، ابراهیم، جمال آبادی، جواد، آل محمد، مریم. (۱۴۰۱). تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر شکل گیری جزایر حرارتی نمونه موردی: شهر قائن. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره بیست و دوم، شماره ۶۴، صص ۷۹-۹۳.

<http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.64.79>

اسمعیل زاده، زینب، صلاحی، برومند، صابر، مهناز. (۱۴۰۲). آشکارسازی ارتباط بین تغییرات برخی از شاخصهای رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران با الگوهای پیوند از دور اقیانوس هند. فصلنامه علمی علوم و فنون آبخاکی، شماره (۳)، ۴، صص ۵۹-۷۸.

[doi: 10.22034/jamst.2023.544224.1119](https://doi.org/10.22034/jamst.2023.544224.1119)

اصغری سراسکانرود، صیاد، اسدی، بهاره. (۱۳۹۹). بررسی اثرات کاربری‌های مختلف شهرستان اصفهان بر ایجاد جزایر حرارتی، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، دوره هشتم، شماره ۲، صص ۲۱۷-۲۴۶.

<http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.64.79>

ایمانی، بهرام، حجت‌الله، رشید، ابراهیمیان، مهرداد. (۱۴۰۱). ارزیابی و سنجش میزان تحقق‌پذیری روستای خلاق در بخش مرکزی شهرستان اردبیل، جغرافیا و روابط انسانی، دوره پنجم، شماره ۳، صص ۳۵۷-۳۸۸.

<https://doi.org/10.22034/gahr.2022.336735.1693>.

خدمت‌زاده، علی، موسوی، میرنجف، محمدی ترکمانی، حجت، محمدی، میرصادق. (۱۴۰۰). تحلیلی بر تغییرات کاربری زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در حریم شهر ارومیه با استفاده از سنجش از دور. برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره یازدهم، شماره ۴۱، صص ۱۱۹-۱۳۴.

<https://www.doi.org/10.30495/jzpm.2021.3965>

خسروی، یونس، حیدری، محمدعلی، توکلی، آزاده، زمانی، عباس‌علی. تحلیل رابطه تغییرات زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر زنجان). برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیست‌ویکم، شماره ۳، صص ۱۱۹-۱۴۴.

<http://hsm.sp.mofares.ac.ir/article-21-4560-fa.html>

ذرتی‌پور، امین، چراغی، میتر، قائم‌نژاد، راضیه. (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مولدهای وضع هوا CLIMGEN و LARSWG در شبیه‌سازی اقلیمی (مطالعه موردی: مناطق سه‌گانه اقلیمی استان خوزستان). فصلنامه علمی علوم و فنون آبخاکی، شماره ۲(۳)، صص ۵۰-۶۵.

[doi: 10.22034/jamst.2022.538308.1039](https://doi.org/10.22034/jamst.2022.538308.1039)

شاهینی‌فر، مصطفی، شاهنده، حمیدرضا. (۱۴۰۲). تحلیل تصاویر سنتینل ۳ سنجنده SLSTR در شناسایی جزایر گرمایی شهری و ارتباط آن با پوشش گیاهی (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه). جغرافیای طبیعی، دوره شانزدهم، شماره ۶۰، صص ۹۷-۱۱۲.

https://journals.iau.ir/article_704924.html

عرب، نرگس، ماهینی، عبدالرسول سلمان، میکاییلی تبریزی، علی‌رضا، ویت، توما. (۱۴۰۱). بررسی و تحلیل پویایی کاربری اراضی و تأثیر آن بر جزایر حرارتی شهری مطالعه موردی: شهر مشهد. محیط زیست طبیعی، دوره هفتادوپنجم، شماره ۳، صص ۳۸۴-۳۹۸.

<https://doi.org/10.22059/jne.2022.336599.2365>

غفاری گیلانده، عطا، صلاحی، برومند، شکرزاده‌فرد، الهام. (۱۳۹۶). کاربرد روش ELECTRE در سطح‌بندی پتانسیل تراکم آلاینده‌های هوا در سطح شهر تبریز. جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، دوره هفتم، شماره ۲۳، صص ۲۱۵-۲۳۸.

<https://doi.org/10.22111/gaij.2017.3234>

گلستانی، زهره، محمدی، حسین، برنا، رضا، اسدیان، فریده. (۱۴۰۱). تحلیل ارتباط دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در شکل‌گیری جزیره گرمایی و مخاطرات آن (مطالعه موردی: کلانشهر اصفهان). مدیریت مخاطرات محیطی، دوره نهم، شماره ۴، صص ۳۵۴-۳۴۱.

https://jhsci.ut.ac.ir/article_91454.html

Dai, X., Zhongyang, G., Zhang, L., Li, D. (2010). Spatiotemporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stochastic Environmental, Research and Risk Assessment*, 24, 247-257.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-009-0314-2>

EM-DAT. Emergency Management Database, CRED, Catholic University of Louvain. (2022). Available online: <http://www.public>.

Feng, Z., Wang, X., Yuan, I., Zhang, Y., Mengqianxi, Y. (2022). Changes in air pollution, land surface temperature, and urban heat islands during the COVID-19 lockdown in three Chinese urban agglomerations, *Science of The Total Environment*, 892: 164496. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164496>.

Grigoraş, G., Urişescu, B. (2019). Land Use/Land Cover changes dynamics and their effects on Surface Urban Heat Island in Bucharest, Romania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 80, 115-126.

<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100056>

Nimish, G., Bharath, A., Ramachandra, T. (2022). Visualization of landuse change pattern and its impact on Urban Heat Islands, *Global Urban Heat Island Mitigation*, 301-322.

Piracha, A., Chaudhary, M. 2022. Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health: A Review of the Literature, *Sustainability*, 14: 9234.

<https://doi.org/10.3390/su14159234>

Rashid, N., Mostahidul Alam, A.M, Arif Chowdhury, M.D., Islam, S.L. 2022. Impact of landuse change and urbanization on urban heat island effect in Narayanganj city, Bangladesh: A remote sensing-based estimation, *Environmental Challenges*, 8: 100571. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100571>

Singh, P., Kikon, N., Verma, P. (2017). Impact of Land Use Change and Urbanization on Urban Heat Island in Lucknow City, Central India. A Remote Sensing Based Estimate. *Sustain. Cities Soc*, 32, 100-114.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.018>

UNFPA (United Nations Population Fund). State of World Population 2007. 2007. Available online: (accessed on 25 April 2022).

https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/695_filename_sowp2007_eng.pdf

Wang, W., Liu, K., Tang, R., Wang, S., (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 110, 168-17.

<https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.002>

Wang, Y., Guo, Zh., Han, J. (2022). The relationship between urban heat island and air pollutants and them with influencing factors in the Yangtze River Delta, China, *Ecological Indicators*, 129(5651):107976.

<https://DOI:10.1016/j.ecolind.2021.107976>

Xiao, J., Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, 98(2), 237 - 250.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.011>