



بررسی نقش پارامترهای اقلیمی در تشکیل شدت جزایر حرارتی شهری (UHI) با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: کلانشهر تبریز

۱- اکبر رحیمی*: هیات علمی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز. ایمیل: akbar.rahimi@tabrizu.ac.ir

۲- فیروز آقازاده: دانش آموخته کارشناسی ارشد، رشته سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز ایمیل: aghazadeh.firuz1@gmail.com

۳- هاشم رستم زاده: هیات علمی گروه آب و هواشناسی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز. ایمیل: hroostamzadeh@gmail.com

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی نقش پارامترهای اقلیمی در شکل‌گیری شدت جزایر حرارتی شهری با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، با مطالعه موردی کلان‌شهر تبریز، ایران انجام شد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8/9 برای محاسبه دمای سطح زمین و شدت جزیره گرمایی شهری و داده‌های تحلیل مجدد ERA5_Land برای پارامترهای هواشناسی برای فصول بهار و تابستان ۲۰۲۳ استفاده گردید. الگوریتم Split Window برای محاسبه دمای سطح زمین و شاخص Urban Heat Island Intensity برای بررسی شدت جزایر حرارتی شهری استفاده شد. از طرف دیگر تحلیل‌های آماری رگرسیون خطی ساده، رگرسیون چند متغیره و همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه شدت جزایر حرارتی شهری با پارامترهای اقلیمی بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که مناطق برهنه و عاری از پوشش گیاهی، مناطق نزدیک به شهرک‌های صنعتی و فرودگاه بالاترین دمای سطح زمین و شدت جزایر حرارتی شهری را دارا بودند. در مقابل، مناطق با تراکم ساختمانی بالا و فضای سبز با وسعت زیاد دارای دمای سطح زمین و شدت جزایر حرارتی کمتری برخوردار بودند. نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای هواشناسی نشان داد که با حرکت از غرب به شرق در محدوده مورد مطالعه، دمای هوا و فشار سطح کاهش ولی بارندگی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، سرعت باد از غرب به شرق در بهار افزایش و در تابستان کاهش می‌یابد، در حالی که تابش خورشیدی سطح در فصول مورد نظر از لحاظ مکانی ثابت بوده است. نتایج تحلیل رگرسیون خطی ساده نشان داد که یک رابطه مثبت ضعیف بین بارش و شدت جزایر حرارتی شهری با R^2 برابر با ۰/۰۸ در فصل بهار و ۰/۰۳ در فصل تابستان بوده است، در حالی که دمای هوا (فصل بهار با R^2 برابر با ۰/۱۲ و فصل تابستان برابر با ۰/۰۴)، تابش خورشیدی سطح (فصل بهار با R^2 برابر با ۰/۱۱ و فصل تابستان برابر با ۰/۰۵) و فشار سطحی (فصل بهار با R^2 برابر با ۰/۱۱ و فصل تابستان برابر با ۰/۰۴) رابطه منفی ضعیفی با شدت جزایر حرارتی شهری داشتند. رابطه بین توپوگرافی و شدت جزایر حرارتی شهری نیز دارای یک رابطه مثبت ضعیف با R^2 ۰/۰۹ و ۰/۰۱۹ به ترتیب در فصل بهار و تابستان بوده است. نتایج رگرسیون چند متغیره نشان داد که در هر دو فصل بهار و تابستان، همه پارامترهای هواشناسی به طور قابل توجهی با شدت جزایر حرارتی شهری مرتبط هستند. بدین صورت که همه پارامترها دارای سطح اطمینان (Sig) ۹۵ درصد یا کمتر از ۰/۰۵ (به جز بارندگی و سرعت باد در فصل بهار) بودند. تجزیه و تحلیل

همبستگی پیرسون نشان داد که در فصل بهار، رابطه شدت جزایر حرارتی شهری با بارندگی، سرعت باد و توپوگرافی همبستگی مستقیم و با پارامترهای دمای هوا، تابش خورشیدی سطح و فشار سطح دارای همبستگی معکوس بوده است. در فصل تابستان نیز رابطه آن با پارامترهای بارندگی و توپوگرافی مستقیم و با دیگر پارامترهای دارای رابطه معکوس بوده

است. در مجموع، یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که پارامترهای هواشناسی به طور معناداری با شدت جزایر گرمایی شهری در کلان شهر تبریز مرتبط است و این رابطه در فصل تابستان قوی‌تر است.

کلمات کلیدی: شدت جزیره حرارتی شهری، سنجش از دور، پارامترهای هواشناسی، کلانشهر تبریز.

۱- مقدمه

اقلیم شهری به شدت تحت تأثیر فرایندهای ناشی از کار و زندگی شهری قرار دارد. گسترش شهرها و به دنبال آن افزایش ساخت و سازهای انسانی باعث به وجود آمدن تغییراتی در اقلیم شهری شده است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۶). شهرها به واسطه اقلیم خاصی که نسبت به حومه خود دارند، دارای اقلیم ویژه‌ای هستند که به آن اقلیم شهری اطلاق می‌شود. از معضلاتی که امروزه بیشتر شهرهای بزرگ با آن روبه‌رو هستند، پدیده جزیره حرارتی شهری یا UHI می‌باشد (Dhalluin & Bozonnet). فعالیت‌های انسان، به‌ویژه صنعتی شدن، از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای (صدر موسوی و رحیمی، ۱۳۸۷؛ صدر موسوی و رحیمی، ۱۳۸۹)، زمین را گرم‌تر می‌کند و این امر به نوبه خود، بلایای طبیعی را تشدید می‌کند (Sol Hart and Feldman, 2018). شهرها با معضل گرمای طاقت‌فرسا روبرو هستند. پدیده‌ای به نام جزیره گرمایی که ناشی از تراکم منابع حرارتی در مناطق شهری است، این گرما را تشدید می‌کند. این پدیده که مختص به هیچ منطقه‌ای نیست، باعث افزایش دما در شهرها نسبت به مناطق روستایی می‌شود. به عبارت ساده‌تر، شهرها به مانند جزایری عمل می‌کنند که در محاصره هوای گرم هستند (عزیزی، ۱۳۸۳؛ Kuang et al., 2017; Bencheikh, H. and Rchid). تغییر در اقلیم شهری و گرم شدن شهرها، چالش‌های بزرگی را برای آسایش ساکنین و مصرف انرژی به وجود آورده است (Swain et al., 2014; رنجبر سعادت آبادی و همکاران، ۱۳۸۴). رشد و توسعه شهرها، به عنوان پدیده‌ای شتابان، نقشی اساسی در تشدید جزیره گرمایی ایفا می‌کند. افزایش جمعیت در مناطق شهری، عاملی محرک در تشدید این پدیده و دگرگونی اقلیم شهری به شمار می‌رود (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Mazidi & narengi., 1395). رشد شتابان شهرنشینی در کلانشهرها، پدیده‌ای به نام جزایر گرمایی را به ارمغان آورده است (کاویانی، ۱۳۸۰). کلانشهر تبریز نیز از این قاعده مستثنی نیست. در چند دهه اخیر، شاهد افزایش جمعیت این کلانشهر در کنار رشد مساحت آن بوده‌ایم. این امر نشان می‌دهد تا حدی، تعادلی بین جمعیت و توسعه

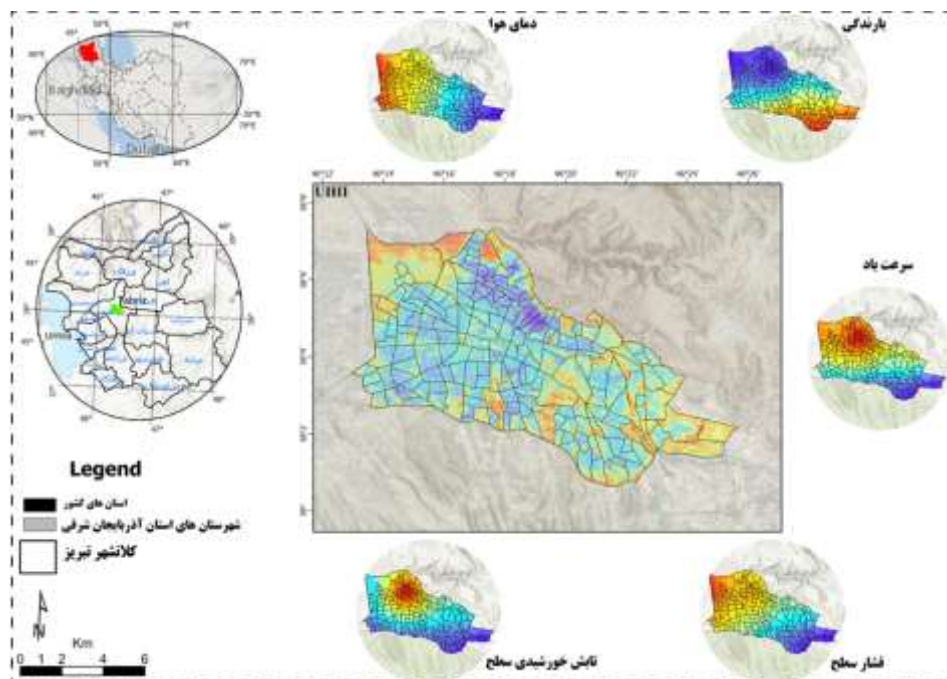
فیزیکی شهر وجود داشته، اما از آن پس، توسعه فیزیکی با سرعتی فزاینده و فراتر از رشد جمعیت، مناطق حومه‌ای را نیز در بر گرفته و به تغییرات اقلیم شهری و شکل‌گیری جزایر گرمایی در بخش‌های مختلف شهر دامن زده است (Che-Ani et al., 2009). تحقیقات زیادی در مورد "جزیره گرمایی شهری" انجام شده که عمدتاً بر اندازه‌گیری آن تمرکز داشته‌اند. در سال ۱۹۵۰، Sundborg با استفاده از مدل رگرسیونی، ارتباط بین شدت این پدیده و عواملی مانند ابرناکی، باد، دما و رطوبت را بررسی کرد. او نشان داد که ابرناکی و سرعت باد با شدت جزیره گرمایی رابطه منفی دارند (Sundborg, 1950). در سال ۱۹۷۳، Oke با در نظر گرفتن جمعیت به عنوان شاخصی از اندازه شهر، به رابطه لگاریتمی بین بیشینه تغییرات شدت جزیره گرمایی و جمعیت دست یافت. به گفته او، با افزایش جمعیت، شدت این پدیده نیز بیشتر می‌شود (Oke, 1973). در سال ۲۰۰۳، Atkinson با استفاده از مدل‌سازی عددی، شدت جزیره گرمایی را بررسی کرد. نتایج نشان داد که این پدیده با عواملی مانند شار حرارتی تابشی، ضریب دید آسمان، مقاومت سطحی در برابر تبخیر و اینرسی گرمایی مرتبط است (Atkinson, 2003). Chen و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تاثیر شهرنشینی و پدیده جزیره گرمایی شهری بر اساس داده‌های سنجش از دور پرداخته است. یافته‌ها نشان‌دهنده همبستگی مستقیم بین تراکم جمعیت، فعالیت‌های اقتصادی و شاخص‌های سنجش از دور مرتبط با جزیره گرمایی شهری است. Khan & Chatterjee (۲۰۱۷) با استفاده از مدل خطی ساده، رابطه بین دمای هوا و شدت جزایر حرارتی در مناطق شهری و حومه ای کلکته را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بین تغییرات دمای هوا و شدت جزایر حرارتی رابطه مستقیمی وجود دارد. به این معنی که با افزایش دما، شدت جزایر حرارتی نیز افزایش می‌یابد. مدل خطی همچنین نشان داد که بین شدت جزایر حرارتی و دمای سطح و کمترین دمای روزانه محیط ارتباط وجود دارد. Guang و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی اثر هم‌افزایی امواج گرمایی و جزایر گرمایی شهری در اقلیم‌های محلی مختلف چین پرداخت. محققان با اندازه‌گیری دما در ۹ نقطه از این مناطق، دریافتند که در دوره‌های موج گرما، شدت جزایر گرمایی در طول روز بین ۰/۱ تا ۱/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. بر اساس این یافته‌ها، توصیه می‌شود برای کاهش شدت جزایر گرمایی در زمان امواج گرما، اقداماتی در مناطق مختلف اقلیمی محلی انجام شود. شکری و بهنیا (۱۳۹۰) به بررسی تاثیر پدیده جزیره گرمایی بر آب و هوای کلانشهر اهواز پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد شتاب گرفتن شهرنشینی و رشد فزاینده جمعیت در این شهر، دگرگونی‌های چشمگیری در برخی پارامترهای هواشناسی ایجاد کرده است. از جمله عوامل تشدیدکننده اثر جزیره گرمایی و به تبع آن، تغییر اقلیم محلی در کلانشهرها، می‌توان به رشد جمعیت اشاره کرد. پورزیدی و همکاران (۱۳۹۹)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات دمایی گرگان را در دو بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۰۵ و ۲۰۱۰-۲۰۱۷) در گرم‌ترین ماه‌های سال بررسی کرد. نتایج نشان داد که دمای گرگان در طول زمان و مکان به طور قابل توجهی تغییر کرده و به صورت خوشه‌ای در مناطق مختلف شهر متمرکز شده است. این تغییرات دمایی به دو عامل اصلی، شرایط آب و هوایی حاکم بر منطقه و همچنین عوامل انسانی مرتبط با شهرنشینی، نسبت داده می‌شود. مزیدی و حیدری (۱۴۰۰) با هدف بررسی تاثیر تغییر کاربری زمین بر گرمای سطح زمین در کرمان انجام شد. این مطالعه با استفاده از

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ میلادی انجام شد. یافته‌ها نشان داد که زمین‌های بدون پوشش گیاهی در اطراف منطقه مورد مطالعه، گرم‌ترین نقاط بوده‌اند. با این حال، در این بازه زمانی شواهدی از تشکیل جزیره گرمایی در سطح منطقه مشاهده نشد. ناصحی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، اثر الگوهای مختلف توسعه زمین بر تغییرات دمایی را در شهر ناهمگون تهران بررسی کردند. دمای سطح زمین برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ استخراج و سپس ارتباط بین میانگین دمای سطح زمین و ساختار ناهمگون شهر تهران تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که رده آب خنک‌ترین منطقه و رده خاک برهنه یا ماسه و شن گرم‌ترین منطقه بود. تحقیقات متعددی در ارتباط با موضوع UHII انجام شده است، ولی رابطه آن با پارامترهای اقلیمی به ندرت بررسی گردیده است، به ویژه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ERA5- LAND که دارای قدرت تفکیک مکانی و زمانی بهتری می‌باشد، کمتر (به ویژه در مناطق شهری) مورد توجه قرار گرفته است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی نقش پارامترهای اقلیمی در تشکیل شدت جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور در کلانشهر تبریز می‌باشد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلانشهر تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی در شمال غربی ایران قرار دارد. این کلانشهر در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع کلانشهر تبریز از سطح دریا بین ۱۳۵۰ تا ۱۶۰۰ متر متغیر است. تابستان‌های تبریز گرم و خشک با میانگین دمای بین ۱۴ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمستان‌های آن سرد و برف‌گیر با میانگین دمای بین ۵ تا ۴- درجه سانتی‌گراد است (Rahimi & Nobar, 2023). بر اساس شاخص خشکی دوماستن، این منطقه از اقلیمی نیمه‌خشک به خشک تغییر یافته است (Zarghami et al., 2011). به طور کلی، بهار تبریز معتدل و مطبوع، تابستان آن خشک و نیمه‌گرم، پاییز آن مرطوب و بارانی و زمستان آن سرد و برف‌گیر است. در دهه‌های اخیر، خشک شدن دریاچه ارومیه به معضلی جدی برای محیط زیست منطقه تبدیل شده و اکوسیستم آن را تهدید می‌کند (Ghorbani, 2013). افزایش تعداد موج‌های گرما و به تبع آن تشدید جزایر حرارتی از جمله پیامدهای این بحران محسوب می‌شود. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت تبریز به بیش از یک میلیون و ۵۵۸ هزار نفر می‌رسد که با احتساب جمعیت حومه شهر، به حدود ۱/۸ میلیون نفر افزایش می‌یابد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study area

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در تحقیق حاضر برای دمای سطح زمین^۱ و شدت جزایر حرارتی شهری^۲ از ماهواره لندست و برای داده‌های هواشناسی از ماهواره ERA5_Land بهره گرفته شد.

داده های سنجش از راه دور ماهواره ای

از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8/9 برای محاسبه LST و UHII استفاده شد. تصاویر مورد نظر را می‌توان از سازمان زمین شناسی آمریکا (earthexplorer.usgs.gov) دانلود کرد، اما در این تحقیق از پلتفرم ابری گوگل ارث انجین^۳ برای تاریخ ۲۰۲۳ در فصول بهار و تابستان استفاده گردید. برای محاسبه LST از الگوریتم پنجره مجزا^۴ استفاده شد که در ادامه به طور مفصل شرح داده شده است. باید خاطر نشان کرد که LST در شعاع ۱۵ کیلومتری محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. زیرا برای محاسبه UHII لازم بود که LST حومه شهر هم محاسبه شود. اطلاعات تصاویر اخذ شده در جدول ۱ به طور کامل توضیح داده شده است.

داده های تجزیه و تحلیل مجدد ERA 5 LAND

- 1 - Land Surface Temperature (LST)
- 2 - Urban Heat Island Intensity (UHII)
- 3 - Google Earth Engine (GEE)
- 4 - Split Window (SW)

علاوه بر داده‌های قبلی، از داده‌های هواشناسی/اقلیم‌شناسی روزانه از داده‌های ERA 5 LAND که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های هوای متوسط^۱ تحت سرویس تغییرات آب و هوایی کوپرنیک تهیه شده است، استفاده شد (Ghahremanloo et al., 2020). بنابراین، در این مطالعه، از پارامترهای هواشناسی/اقلیمی سرعت باد، دمای هوا، فشار سطح، تابش خورشیدی سطح، ارتفاع (توپوگرافی) و بارندگی با وضوح فضایی ۹ کیلومتر در محیط GEE با محصول (ECMWF/ERA5 LAND/MONTHLY_AGGR) جمع‌آوری شد. داده‌های مورد نظر برای سال ۲۰۲۳ در ۲ بازه (فصل بهار و تابستان) میانگین ۳ ماه برای هر فصل)) استفاده گردید (جدول ۱).

جدول (۱): داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 1. Data used in this research

منبع	قدرت تفکیک زمانی	قدرت تفکیک مکانی	واحد	ماهواره	متغیرها	نوع داده
earthexplorer.usgs.gov	۸ روز	۱۰۰m	°C	Landsat (8,9)	LST UHII	داده‌های سنجش از دور
cds.climate.copernicus.eu	ساعتی	۹km	°C m m/s pha w/m2	ERA5_Land	دمای هوا بارندگی سرعت باد فشار سطحی تابش خورشیدی سطح	داده‌های هواشناسی
asf.alaska.edu	*	۱۲/۵m	m	ALOS PPOLSAR	ارتفاع (توپوگرافی)	DEM

پلتفرم ابری گوگل ارث انجین

¹- European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF)

از سال ۲۰۱۵، پلتفرم GEE با نوآوری‌های خود، عرصه پردازش داده‌های ماهواره‌ای را متحول کرده و به سطحی جدید ارتقا داده است. این پلتفرم شامل مجموعه‌ای عظیم از داده‌های آماده تجزیه و تحلیل (چند پتابایت) به همراه یک موتور محاسباتی موازی با کارایی بالا است. GEE از طریق رابط برنامه نویسی کاربردی (API) و همچنین یک محیط توسعه تعاملی مبتنی بر وب قابل دسترسی است که امکان نمونه‌سازی سریع و نمایش نتایج را فراهم می‌کند (Gorelick et al., 2017). GEE با ارائه راه حلی مبتنی بر فناوری، بار آماده‌سازی داده را از دوش کاربران برداشته و نتایج سریع و دقیقی ارائه می‌دهد و جامعه‌ای فعال از مشارکت کنندگان را گرد هم آورده است. این پلتفرم قدرتمند، زمینه ساز تحقیقات و توسعه‌های گسترده‌ای بوده و می‌توان از آن برای ایجاد برنامه‌های کاربردی و خدمات جدید در راستای حل چالش‌های مهم زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی استفاده کرد. GEE با نمایش ارزش استفاده از داده‌های سنجش از دور، بر اهمیت ایجاد ارتباط موثر بین داده‌ها، برنامه‌ها و کاربران تاکید می‌کند. این پلتفرم به عنوان ابزاری کاربردی، قدرتمند و در عین حال آسان برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. بنابراین، در تحقیق حاضر این پلتفرم برای آماده‌سازی و محاسبات شاخص‌های مختلف که در بخش روش توضیح داده شده است، انتخاب شده است (Patel et al., 2015; Aghazadeh et al., 2023).

۳-۲- روش اجرای پژوهش

محاسبه دمای سطح زمین (LST) با استفاده از الگوریتم Split Window

الگوریتم Split Window یک روش رایج برای بازیابی LST است. این الگوریتم از دو سنسور چند طیفی و یک سنسور حرارتی روی ماهواره استفاده می‌کند. در این تحقیق LST در شعاع ۱۵ کیلومتری محدوده مورد مطالعه از باندهای حرارتی ۱۱ و ۱۰ لندست ۸ و ۹ (TIRS) با استفاده از الگوریتم Split Window در پلتفرم ابری GEE براساس فرمول ۱ محاسبه شد.

$$LST = TB10 + C1(TB10 - TB11) + C2(TB10 - TB11)^2 + C0 + (C3 + C4W)(1 - \epsilon) + (C5 + C6W)\Delta\epsilon \quad \text{فرمول ۱}$$

اختلاف دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱ = TB10 - TB11

ضرایب ثابت الگوریتم = C0, ..., C6

W=ستون بخار آب

$\Delta\epsilon$ = اختلاف LSE

در ادامه نحوه محاسبه هر یک از شاخص‌های موجود در فرمول LST شرح داده شده است:

➤ شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

NDVI معیاری برای سنجش تراکم پوشش گیاهی است که بر LST تاثیرگذار است. این شاخص با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود و مقادیر آن بین -۱ تا ۱ متغیر است. مقادیر مثبت نشان دهنده وجود پوشش گیاهی و هرچه به ۱ نزدیکتر باشد، تراکم پوشش گیاهی بیشتر و دمای هوا خنک‌تر خواهد بود (کافی و همکاران، ۱۴۰۲). شاخص NDVI براساس فرمول ۲ محاسبه می‌شود:

$$\text{NDVI} = (\text{Nir} - \text{Red}) / (\text{Nir} + \text{Red}) \quad \text{فرمول ۲}$$

که در آن:

تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، NDVI

باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵ برای لندست ۸ و ۹)، Nir

باند قرمز (باند ۴ برای لندست ۸ و ۹)، Red

➤ برآورد کسری پوشش گیاهی (FVC)

FVC عامل دیگری است که بر LST تاثیر می‌گذارد. این پارامتر با ترکیب اطلاعات طیفی مربوط به خاک برهنه و پوشش گیاهی سبز برآورد می‌شود. FVC بالا نشان دهنده پوشش گیاهی کمتر و LST بیشتر است (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). این شاخص براساس فرمول ۳ محاسبه می‌شود:

$$\text{FVC} = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{v}}) / (\text{NDVI}_{\text{v}} - \text{NDVI}_{\text{s}}) \quad \text{فرمول ۳}$$

که در آن:

NDVI_s، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی برای خاک و NDVI_v شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی برای گیاه می‌باشد.

➤ توان گسیلندگی (Emissivity)

Emissivity نشان دهنده توانایی یک جسم برای تابش انرژی است. مقدار آن بین ۰ تا ۱ متغیر بوده و هرچه به ۱ نزدیکتر باشد، تابش انرژی بیشتر است. Emissivity عوارض طبیعی مانند پوشش گیاهی به نوع و تراکم گیاه بستگی دارد (عیسی زاده و همکاران، ۱۳۹۹). شاخص Emissivity طبق فرمول ۴ محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon = (E_{10} - E_{11}) / 2 \quad \text{گسیلندگی باند ۱۰} \quad \text{فرمول ۴}$$

$$\Delta \varepsilon = (E_{10} - E_{11}) \quad \text{گسیلندگی باند ۱۱}$$

➤ توان گسیلندگی سطح زمین (LSE)

LSE ترکیبی از خاک و پوشش گیاهی روی سطح زمین را در نظر می‌گیرد. این پارامتر با استفاده از باندهای حرارتی مجزا برای هر جزء (خاک و پوشش گیاهی) محاسبه می‌شود (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۹). شاخص LSE براساس فرمول ۵ محاسبه نمی‌شود:

$$LSE = E_s(1-FVC) + E_v * FVC \quad \text{فرمول ۵}$$

گسیلندگی خاک

$$E_s = 0.971 \quad \text{باند ۱۰}$$

$$E_s = 0.977 \quad \text{باند ۱۱}$$

گسیلندگی پوشش گیاهی

$$E_v = 0.987 \quad \text{باند ۱۰}$$

$$E_v = 0.989 \quad \text{باند ۱۱}$$

➤ تبدیل DN به رادیانس و تبدیل رادیانس به Brightness Temperature

ابتدا مقادیر DN باندهای حرارتی لندست ۸ و ۹ به تابش تبدیل می‌شوند و سپس با استفاده از اطلاعات متادیتای تصویر، به دمای درخشندگی تبدیل می‌گردند (Ali et al., 2022) که مطابق فرمول ۶ و ۷ محاسبه می‌شود:

$$AL = \text{Radiance_add_band_10_11}$$

$$ML = \text{Radiance_mult_band_10_11}$$

$$L\lambda^* = ML \times QCal + AL \quad \text{فرمول ۶}$$

$$QCal = B10_B11$$

➤ تبدیل رادیانس به Brightness Temperature

$$K1_b10 = 774.8553$$

1 -average Emissivity
2 -Difference Emissivity
3 -Land surface emissivity
4 - spectral radiance

$$TB^1 = K2 / \ln(K1/L\lambda + 1) - 272.15$$

$$K2_b10 = 1321.0789$$

$$K1_b11 = 480.8883$$

$$K2_b11 = 120.1442$$

فرمول ۷

➤ برآورد ستون بخار آب (Cwv)

دقت LST با برآورد Cwv در جو بهبود می‌یابد. با استفاده از مدل‌های جو و اطلاعات مربوط به دمای درخشندگی و رطوبت هوا تخمین زده می‌شود (Liberti et al., 2023; Zarei et al., 2020) که براساس فرمول ۸ محاسبه می‌شود:

$$w^2 = C0 + C1 * (T11/T10) + C2 * (T11/T10)^2$$

دمای روشنایی باند ۱۰ T10=

دمای روشنایی باند ۱۱ T11=

فرمول ۸

C0=...	C0=-0.268	C2=0.183	C4=-2.238	C6=16.400
C6	C1=1.378	C3=54.300	C5=-129.200	

شدت جزایر حرارتی شهری (UHII)

بر اساس مطالعات انجام شده توسط Oke (1973)، به اختلاف بین دمای نواحی روستایی پیرامون و حداکثر دمای مناطق شهری، پدیده جزیره گرمایی شهری (UHI) گفته می‌شود (Aslan & Koc-San, 2021; Oke, 1973). فرمول ۹ برای محاسبه شدت UHI به کار می‌رود:

$$UHII = T_u - T_r$$

فرمول ۹

که در آن:

Tu = دمای سطح زمین شهر

Tr = میانگین LST (نواحی روستایی) فاصله ۱۵ کیلومتری از شهر

1 -temperature brightness
2 - water vapor
3 - coefficient

روش مورد استفاده برای ارزیابی UHII بر اساس رویکرد Serco Italia SPA (2018) می باشد. در این روش میانگین نقاط نمونه مناطق غیر شهری را از هر پیکسل از محدوده شهر کم می شود، نمونه ها براساس ویژگی های زیر انتخاب شدند:

i) مرکز اتحاد چندضلعی های پیوسته با مناطق کشاورزی یا جنگل و مناطق نیمه طبیعی است. ii) در داخل یک حلقه با شعاع ۱۵ کیلومتر از محدوده مورد مطالعه واقع شده است. iii) حداقل ۳۵۰ متر از سطوح نفوذ ناپذیر انسانی فاصله دارد.

رگرسیون خطی چند متغیره

رگرسیون خطی چند متغیره، رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته را مدل سازی می کند و اثر ترکیبی چند متغیر مستقل را بر روی متغیر وابسته بررسی می کند تا مشارکت های فردی آنها را تشخیص دهد. یک مدل رگرسیون فرآیندی تکرار شونده است که شامل یافتن متغیرهای مستقل موثر برای توضیح متغیر وابسته، اجرای ابزار رگرسیون برای تعیین اینکه کدام متغیرها پیش بینی کننده های موثری هستند، و حذف و/یا اضافه کردن مکرر متغیرها تا زمانی که بهترین مدل پیدا شود. متغیر وابسته (y) فرآیندی را نشان می دهد که پیش بینی یا درک می شود، در حالی که از متغیرهای مستقل / توضیحی (X) برای مدل سازی یا پیش بینی مقادیر متغیر وابسته استفاده می شود. ضرایب رگرسیون (β) قدرت و نوع رابطه بین متغیر توضیحی و متغیر وابسته را نشان می دهند P-value. ها آزمون های آماری هستند که احتمالی را برای ضرایب مرتبط با هر متغیر مستقل محاسبه می کنند. مقدار R-squared تعدیل شده یک معیار دقیق تر از عملکرد مدل است. باقیمانده ها بخش تبیین نشده متغیر وابسته هستند که در فرمول ۱۰ به عنوان جمله خطای تصادفی ε نشان داده شده اند. در این پژوهش متغیر وابسته UHII و متغیرهای مستقل پارامترهای هواشناسی بوده است (Aghazadeh et al., 2023).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

فرمول ۱۰

✓ Y: متغیر وابسته

✓ β_0 : ضریب ثابت (جفت)

✓ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: ضرایب متغیرهای مستقل

✓ $X_1, X_2, \dots, X_n$: متغیرهای مستقل

✓ ε : خطا (نویز)

رگرسیون خطی ساده

رگرسیون خطی ساده میزان اثر یک متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته را می‌سنجد و همبستگی رابطه‌ی بین آن‌ها را مورد سنجش قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر متغیر مستقل هر یکی از پارامترهای هواشناسی و متغیر وابسته شاخص UHII بوده است که بر خلاف رگرسیون خطی چند متغیره تاثیر چند متغیر مستقل را اندازه گیری می‌کند، ولی رگرسیون خطی ساده فقط تاثیر یک متغیر مستقل را بر متغیر وابسته محاسبه می‌کند (ستاری و رضازاده جودی، ۱۳۹۵) که بر اساس فرمول ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

فرمول ۱۱

✓ Y : متغیر وابسته

✓ α : عرض از مبدا

✓ β : شیب خط

✓ X : متغیر مستقل

✓ ε : خطا (نویز)

ضریب همبستگی پیرسون (R)

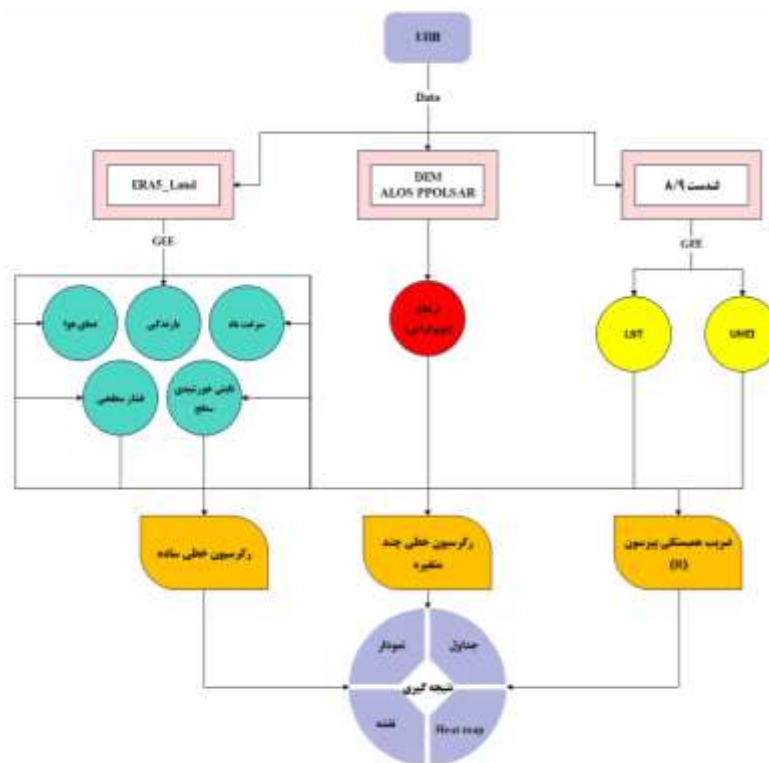
همبستگی پیرسون قدرت و جهت رابطه بین دو متغیر را ارزیابی می‌کند و روشن می‌کند که آیا بین متغیرها رابطه مثبت وجود دارد یا منفی؟ به عبارتی دیگر، ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین شدت و نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) بین دو متغیر را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است، ۱ رابطه مستقیم کامل، -۱ رابطه معکوس کامل و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، همبستگی دارای

صفر است. در این پژوهش متغیرهای مورد نظر شامل پارامترهای هواشناسی و شاخص UHII می-باشد (خالدی و همکاران، ۱۴۰۱) که به صورت فرمول ۱۲ تعریف می شود:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2 * \sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2}} \quad \text{فرمول ۱۲}$$

R = ضریب همبستگی، X_i = مقادیر متغیر x در یک نمونه، $\bar{X}$ = میانگین مقادیر متغیر x ، Y_i = مقادیر متغیر y در یک نمونه، $\bar{Y}$ = میانگین مقادیر متغیر y .

شکل ۲ فلوچارت مراحل تحقیق را نشان می دهد. در این شکل تصاویر ماهواره‌ای و نحوه پردازش آن‌ها و تحلیل‌های آماری و نتایج آن‌ها گام به گام نشان داده شده است (شکل ۲)



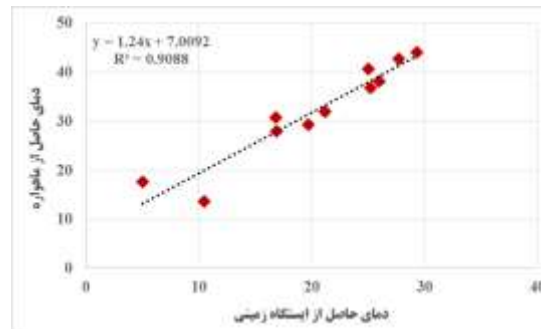
شکل (۲): فلوچارت مراحل تحقیق

Figure 2. Flowchart of research steps

۳- نتایج و بحث

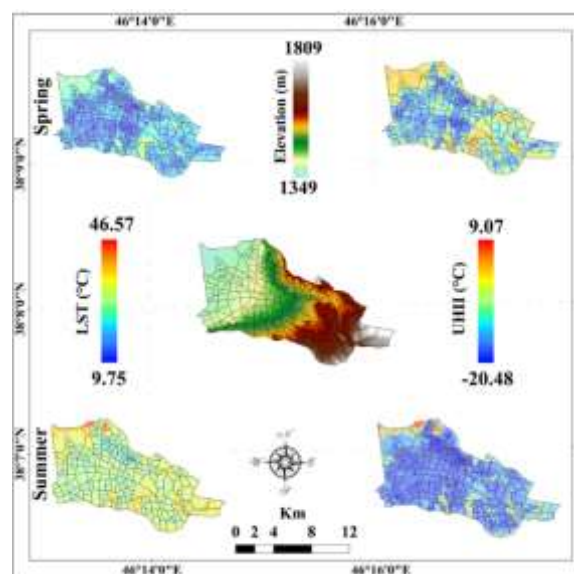
۳-۱- تغییرات UHII و LST

نقشه‌های LST و UHII کلانشهر تبریز در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج نقشه‌های LST می‌توان بیان کرد که حداقل و حداکثر دما در فصول بهار و تابستان در محدوده مورد مطالعه بین ۹/۷۵ تا ۴۶/۵۷ درجه سانتی گراد بوده که قسمت‌های شمالی (زمین‌های بایر، نزدیکی به فرودگاه و پارک ارم دارای پوشش فضای سبز پراکنده) دارای بیشترین LST و حداقل LST نیز در قسمت‌های شرق محدوده مورد نظر (به دلیل تراکم ساختمانی زیاد و نزدیکی به منطقه جنگلی کوه عون ابن علی) بوده است. نتایج حاصل از نقشه‌های UHII نیز بیانگر این است که بالاترین مقدار UHII در مناطق بایر و عاری از پوشش گیاهی و نزدیکی به مناطق صنعتی و فرودگاه و پایین‌ترین آن در مناطقی که تراکم ساختمانی زیاد (ساختمان‌های بلند و متراکم سایه بیشتری ایجاد می‌کنند و از گرم شدن زمین توسط نور خورشید جلوگیری می‌کنند. همچنین، در این مناطق، جریان باد کندتر شده و به حفظ خنک‌تر هوا کمک می‌کند. فضای سبز بین ساختمان‌ها به عنوان "جزایر خنک" عمل کرده و به خنک شدن هوای اطراف کمک می‌کنند. مصالح نوین ساختمانی در تراکم‌های بالا، گرمای کمتری جذب می‌کنند و به خنک شدن هوا کمک می‌کنند) است و مناطقی که دارای پوشش فضای سبز زیاد و درجه نفوذپذیری ساختمان کمتر است، شامل می‌شود. حداکثر و حداقل UHII به ترتیب برابر با ۲۰/۴۸- تا ۹/۰۷ درجه سانتی گراد می‌باشد که نشان دهنده بالا بودن اختلاف دمای محدوده شهر با محدوده ۱۵ کیلومتری حومه شهر است. در این پژوهش طبق مطالعات قبلی، مناطقی با مقادیر شاخص UHII بالاتر از ۱،۵ یا ۲، مناطق UHII در نظر گرفته می‌شوند. همچنین می‌توان خاطرنشان کرد که مناطقی که دارای پوشش فضای سبز زیاد (محدوده دانشگاه تبریز، محدوده ال گولی و محدوده حکم‌آباد) که بیشترین پوشش فضای سبز را دارند، نسبت به مرکز شهر (پهنه‌هایی که ساخت و ساز متراکم‌تر و تعداد طبقات ساختمان‌ها زیاد است) از جزیره حرارتی نسبتاً بالایی برخوردار هستند. از طرف دیگر با بررسی نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه می‌توان مشاهده کرد که مناطق با ارتفاع زیاد به نسبت از جزایر حرارتی بالایی نسبت به ارتفاعات کمتر بوده است. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که جزایر حرارتی در این کلانشهر از توپوگرافی تبعیت نمی‌کند. بنابراین می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که خنک‌کنندگی کلانشهر تبریز بیشتر از تراکم و طبقات ساختمانی است تا پوشش فضای سبز و توپوگرافی. برای صحت‌سنجی LST حاصل از تصاویر لندست از داده‌های دمای هوای ایستگاه‌های سینوپتیک کلانشهر تبریز استفاده شد. بدین صورت که ابتدا از داده‌های ۳ ساعته میانگین گرفته شد، سپس با داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در روزهای معین (روزهایی که تصاویر ماهواره‌ای در دسترس بود) با داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار گرفتند. دقت این دو داده در شکل ۳ با R2 نشان داده شده است. براساس شکل مورد نظر بین این دو داده ارتباط خوبی برقرار است، زیرا مقدار R2 برابر با ۰/۹۰ بوده است. بدین معنی که دمای حاصل از ایستگاه زمینی توانسته است ۹۰ درصد از LST حاصل از ماهواره را تبیین می‌کند.



شکل (۳): اعتبارسنجی LST با داده‌های زمینی

Figure 3. Validation of LST with ground data



شکل (۴): نقشه‌های LST, UHII و توپوگرافی محدوده مورد نظر

Fig 4. LST, UHII maps and topography of the target area

۲-۳- تغییرات میانگین فصلی پارامترهای هواشناسی

در شکل ۵ تغییرات میانگین فصلی پارامترهای هواشناسی در سال ۲۰۲۳ نشان داده شده است. در ارتباط با دمای هوا می‌توان گفت که حداقل دمای هوا در فصول بهار و تابستان به ترتیب ۱۴/۷۳ و ۲۱/۹۴ و حداکثر آن برابر با ۱۶/۵۵ و ۲۳/۵۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با بررسی فضایی این پارامتر می‌توان عنوان کرد که قسمت‌های غربی محدوده (مناطق نزدیک به فرودگاه و شهرک‌های صنعتی که کانون گرما در کلانشهر تبریز می‌باشند) دارای بیشترین مقدار گرما و مناطق شرقی که دارای ارتفاعات بیشتر بوده، کمترین مقدار دمای هوا را دارا می‌باشد. به عبارتی می‌توان بیان کرد که هر چه قدر از غرب محدوده به شرق محدوده حرکت کنیم از شدت

دمای هوا کاسته می‌شود که عامل آن را می‌توان وجود فضای سبز، ارتفاعات یا طبقات ساختمانی و تراکم ساختمانی زیاد بیان کرد. نتایج حاصل از پارامتر بارندگی عکس نتایج دمای هوا می‌باشد. بدین صورت که غرب محدوده دارای کمترین بارندگی و شرق آن دارای بیشترین بارندگی را شامل می‌شود. حداقل و حداکثر بارش در فصل بهار به ترتیب برابر با $143/07$ و $224/17$ میلی متر بوده است که این مقدار در فصل تابستان به ترتیب به $2/93$ و $10/32$ میلی متر رسیده است. با مشاهده نقشه‌های فشار سطحی می‌توان گفت که الگوی این پارامتر با دما هوای رابطه مستقیم و با بارندگی دارای رابطه معکوس می‌باشد. بدین صورت که در این پارامتر نیز غرب محدوده بیشترین مقدار فشار سطح و شرق آن کمترین مقدار سطح را دارا می‌باشد، یعنی هر چه از غرب به شرق حرکت کنیم میزان فشار سطح کمتر می‌شود. حداقل فشار سطح در بهار و تابستان به ترتیب برابر با 82730 و 82804 hpa و حداکثر آن برابر با 57715 و 84811 hpa بوده است. نتایج نقشه‌های تابش خورشیدی سطح بیانگر این است که در هر دو فصل قسمت‌های شمالی (بخش‌های کوه عون ابن علی، پارک ارم و بخش‌های از مرکز شهر) دارای بیشتر مقدار تابش خورشیدی سطح و قسمت‌های شرقی از تابش خورشید سطحی کمتری برخوردار هستند. حداقل و حداکثر مقدار آن در فصل بهار به ترتیب $231/1$ و $239/9$ وات بر متر مربع و در فصل تابستان به ترتیب برابر با $203/03$ و $213/34$ وات بر متر مربع بوده است. نقشه‌های سرعت باد فصول بهار و تابستان در محدوده مورد مطالعه نمایانگر این است که در فصل بهار کمترین و بیشترین مقدار سرعت باد برابر با $0/30$ (در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی) و $0/48$ متر بر ثانیه (قسمت‌های جنوبی) بوده است. در فصل تابستان نیز نتایج برعکس است. بدین صورت که قسمت‌های شمالی دارای بیشترین سرعت باد ($1/60$ متر بر ثانیه) و قسمت‌های جنوبی دارای کمترین مقدار سرعت باد ($1/30$ متر بر ثانیه) را دارا می‌باشد. با بررسی نمودارهای باکس پلات (Boxplot) می‌توان نتایج را این‌گونه بیان کرد که در ادامه به عنوان نمونه بارندگی توضیح داده شده است این شرایط برای پارامترهای دیگر صدق نیز می‌کند:

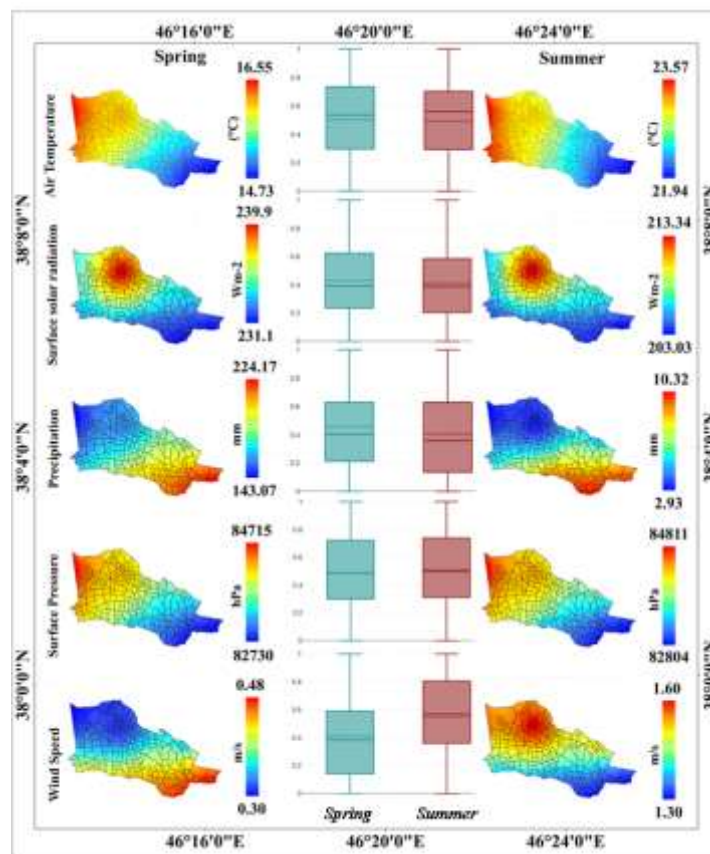
۱. **میانه (Median):** خط پررنگ در وسط جعبه نشان‌دهنده میانه بارندگی است. میانه بارندگی در فصل بهار بالاتر از میانه بارندگی در فصل تابستان است، که نشان‌دهنده بارندگی بیشتر در بهار است.

۲. **دامنه بین‌کوارتیلی (Interquartile Range - IQR):** ارتفاع جعبه نشان‌دهنده دامنه بین‌کوارتیلی است که 50% داده‌ها در این محدوده قرار دارند. جعبه مربوط به بهار کمی بلندتر است، که نشان‌دهنده تنوع بیشتر بارندگی در این فصل است.

۳. **نوارهای انتهایی (Whiskers):** نوارهایی که از جعبه‌ها خارج می‌شوند، حداقل و حداکثر داده‌ها را نشان می‌دهند، به جز نقاط پرت که جداگانه نشان داده شده‌اند. در این نمودار، نوارهای فصل تابستان طولانی‌تر هستند، که نشان‌دهنده دامنه وسیع‌تری از بارندگی در این فصل است.

۴. **نقاط پرت (Outliers):** در این نمودار، نقاط پرت خاصی مشاهده نمی‌شود، که بیانگر آن است که تمام داده‌های بارندگی در محدوده‌های تعیین‌شده قرار دارند.

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که داده‌ها در فصل بهار نسبت به تابستان دارای توزیعی نسبتاً متمرکزتر و متعادل‌تر هستند. این می‌تواند نشان‌دهنده ثبات بیشتر شرایط یا متغیرهای مورد بررسی در بهار باشد. همچنین میانه و کوارتیل‌ها در فصل بهار بالاتر از تابستان هستند، که ممکن است نشان‌دهنده افزایش یا بهبود شاخص‌های مورد نظر در بهار باشد.



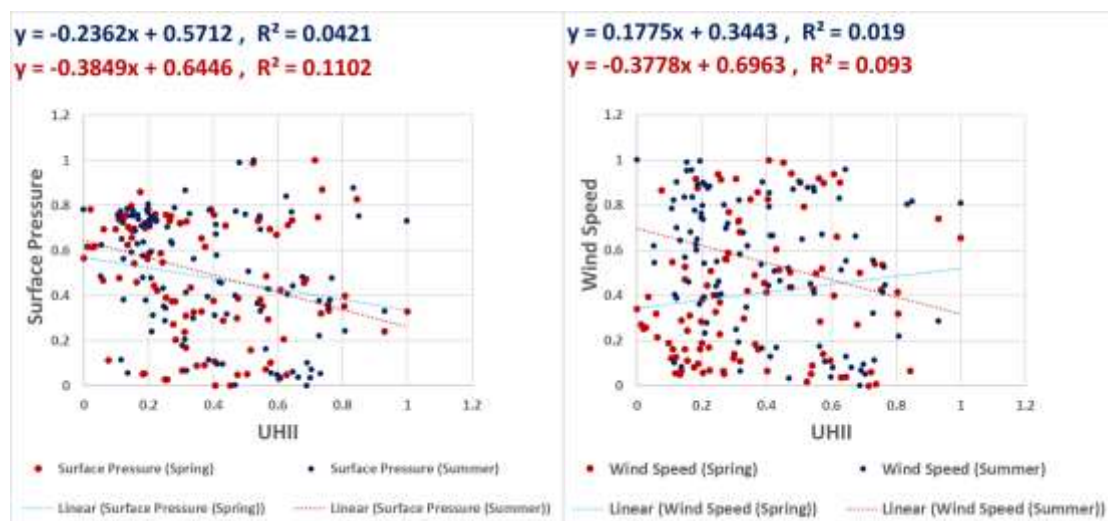
شکل (۵): نقشه‌های پارامترهای اقلیمی برای فصول بهار و تابستان

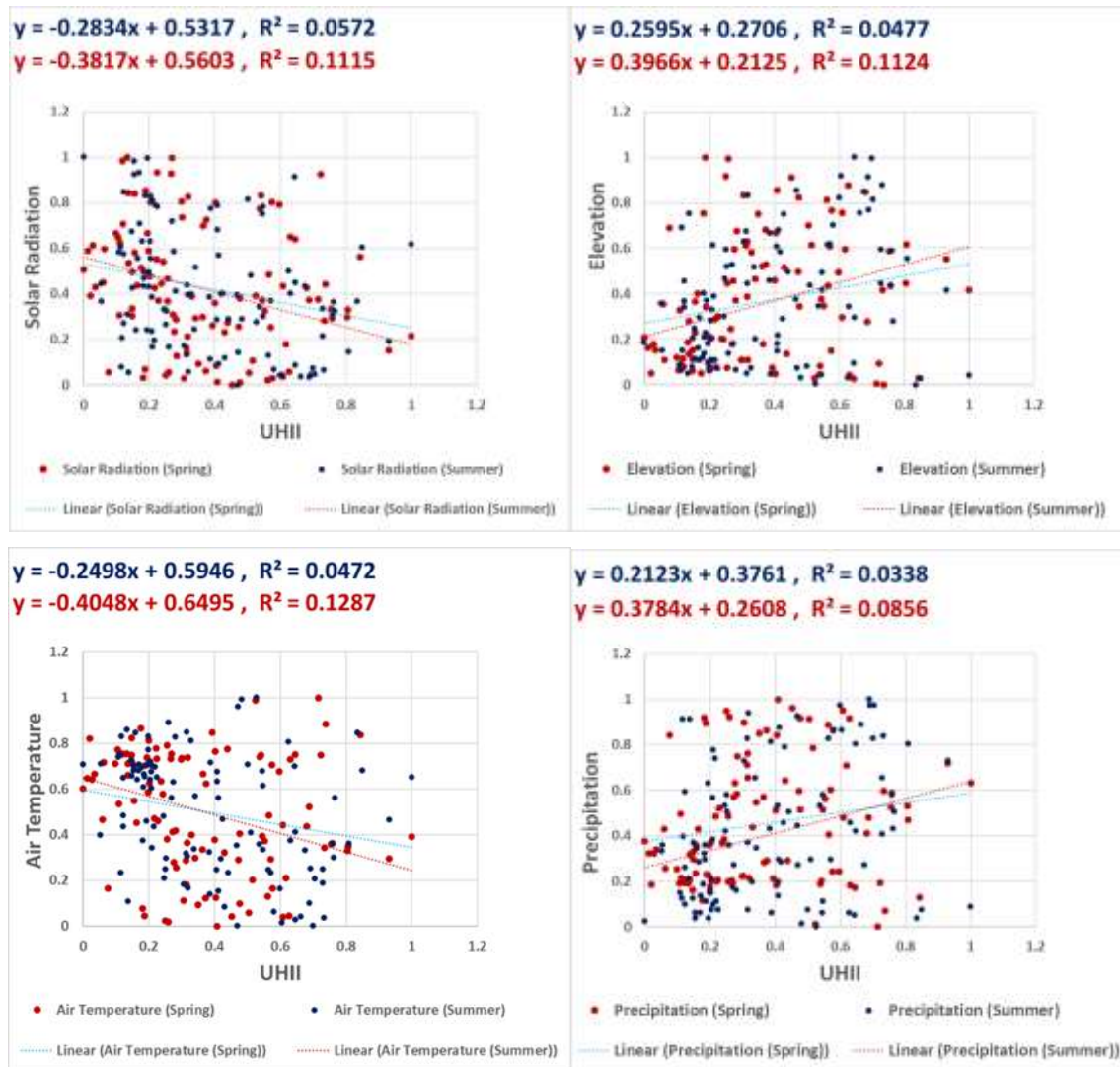
Fig 5. Climate parameter maps for spring and summer seasons

۳-۳- رگرسیون خطی ساده UHII با پارامترهای هواشناسی

نتایج رگرسیون خطی بین جزایر حرارتی و پارامترهای هواشناسی در شکل ۶ نشان داده شده است. براساس نمودار رگرسیونی بارندگی و جزایر حرارتی می‌توان گفت که بین این دو پارامتر یک همبستگی مثبت ضعیف وجود دارد. به این معنی که با افزایش UHII، به طور کلی بارندگی نیز افزایش می‌یابد. در این معادله رگرسیونی

خطی و ضریب تعیین (R^2) نیز نشان داده شده است. معادله رگرسیونی خطی، یک مدل ریاضی ساده برای تخمین بارندگی بر اساس UHII ارائه می‌دهد. ضریب تعیین، نشان‌دهنده میزان تبیین واریانس UHII توسط بارندگی است. با توجه به معادله رگرسیونی خطی، می‌توان تخمین زد که به ازای هر واحد افزایش در بارندگی، UHII به طور متوسط ۰/۲۱۲۳ واحد افزایش می‌یابد. ضریب تعیین ۰/۰۳۳۸ نشان می‌دهد که بارندگی فقط ۳/۳۸ درصد از واریانس UHII را تبیین می‌کند. در فصل تابستان نیز شرایط مشابه فصل بهار است. با این تفاوت که مقدار R^2 در این فصل (۰/۰۸۵۶) بیشتر از فصل بهار است. نتایج پارامترهای دمای هوا، تابش خورشیدی سطح و فشار سطح نشان‌دهنده الگوی مشابه می‌باشد. بدین معنی که هر سه پارامتر با UHII یک رابطه همبستگی منفی ضعیفی دارند که شدت این رابطه در فصل تابستان به مراتب بیشتر از فصل بهار است. مقدار R^2 در فصل بهار و تابستان برای دمای هوا به ترتیب ۰/۰۴۷۲ و ۰/۱۲۸۷ بوده است. بدین معنی که به ترتیب ۴/۷۲ و ۱۲/۸۷ درصد از واریانس HUII توسط دمای هوا تبیین می‌شود. مقادیر R^2 برای پارامتر تابش خورشید سطح به ترتیب ۰/۰۵۷۲ و ۰/۱۱۱۵ و برای پارامتر فشار سطح برابر با ۰/۰۴۲۱ و ۰/۱۱۰۲ می‌باشد. رابطه رگرسیونی بین توپوگرافی با UHII نشان‌دهنده یک رابطه همبستگی مستقیم ضعیف بوده است. مقدار R^2 در فصل بهار برابر با ۰/۰۴۷۷ و در تابستان برابر با ۰/۱۱۲۴ می‌باشد. در نهایت رابطه بین سرعت باد با UHII بیانگر این است که بین این دو پارامتر در فصل بهار یک رابطه مستقیم و در فصل تابستان یک رابطه معکوس برقرار است. مقدار R^2 در فصل بهار ۰/۰۱۹ و در تابستان برابر با ۰/۰۹۳ بوده است.





شکل (۶): رابطه رگرسیون خطی UHII با پارامترهای هواشناسی

Fig 6. UHII linear regression relationship with meteorological parameters

۳-۴- رگرسیون چند متغیره

نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره بین UHII و پارامترهای هواشناسی در جدول ۲ آورده شده است. به منظور بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل (پارامترهای هواشناسی) و متغیر وابسته (UHII) در محدوده مورد مطالعه، از تکنیک رگرسیون چند متغیره و ضریب تعیین (R^2) استفاده شده است. نتایج در جدول ۳ نشان می دهد که در فصل تابستان بین پارامترهای اقلیمی (متغیرهای مستقل) و UHII (متغیر وابسته) یک رابطه معکوس و معنی دار (با پارامترهای تابش خورشید سطح، فشار سطح، دمای هوا و سرعت باد) و با پارامترهای

بارندگی و توپوگرافی یک رابطه مستقیم معنی دار وجود دارد. زیرا مقدار Sig در همه پارامترها در فصل تابستان کمتر از ۰/۰۵ بوده و مقدار T بیشتر بوده است. نتایج در فصل بهار نیز مشابه فصل تابستان بوده است، با این تفاوت که مقدار T (کمتر) و Sig (بیشتر) نسبت به تابستان بوده است. مقدار R2 نیز نشان می‌دهد که چند درصد از از واریانس UHII توسط پارامترهای اقلیمی تبیین می‌شود. بدین معنی که پارامتر بارندگی در فصل بهار و تابستان به ترتیب حدود ۳/۴ و ۸/۶ درصد، پارامتر تابش خورشیدی سطح به ترتیب ۵/۷ و ۱۱/۱، فشار سطح ۴/۲ و ۱۱، دمای هوا ۴/۷ و ۱۲/۹، سرعت باد ۱/۹ و ۹/۳ و ارتفاع ۴/۸ و ۱۱/۲ درصد از واریانس UHII را تبیین می‌کنند.

جدول (۲): تحلیل رگرسیونی پارامترهای هواشناسی بر UHII

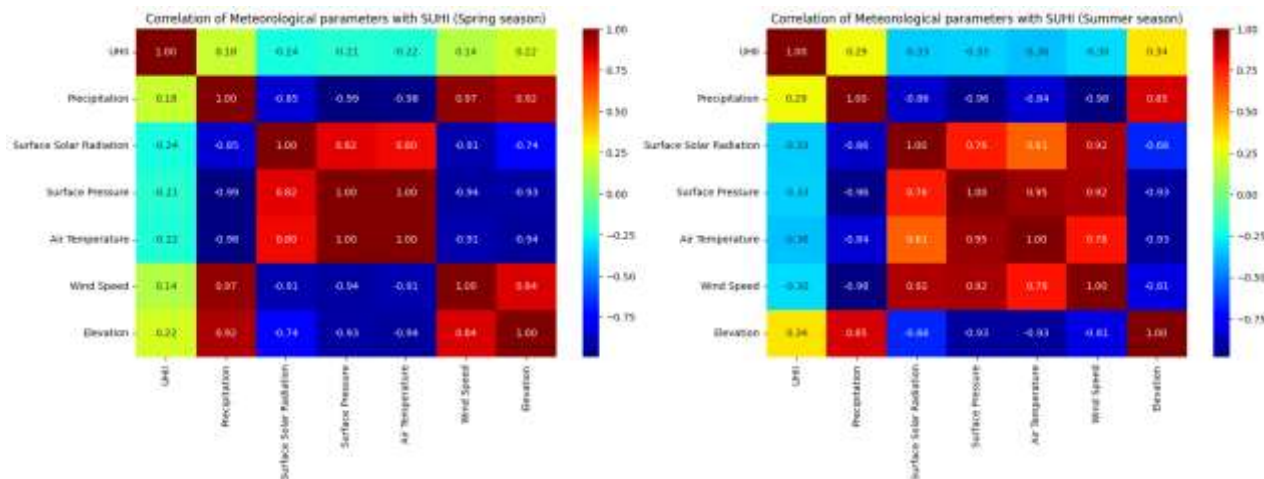
Table 2. Regression analysis of meteorological parameters on UHII

متغیر مستقل		متغیر وابسته		ضریب رگرسیونی (B)		ضریب رگرسیونی استاندارد (B)		ضریب تعیین (R2)		مقدار T		سطح معناداری (sig)	
				Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer
UHII	بارندگی			0.159	0.226	0.184	0.293	0.034	0.086	1.89	3.10	0.060	0.002
	تابش خورشیدی سطح			-0.202	-0.292	-0.239	-0.334	0.057	0.111	-2.50	-3.59	0.014	0.000
	فشار سطح			-0.178	-0.286	-0.205	-0.332	0.042	0.110	-2.12	-3.7	0.036	0.001
	دمای هوا			-0.189	-0.318	-0.217	-0.359	0.047	0.129	-2.25	-3.90	0.026	0.000
	سرعت باد			0.107	-0.246	-0.305	0.138	0.019	0.093	1.41	-3.25	0.161	0.002
	توپوگرافی (ارتفاع)			0.184	0.283	0.218	0.335	0.048	0.112	2.27	3.61	0.025	0.000

۵-۳- همبستگی UHII با پارامترهای هواشناسی

ضرایب همبستگی بین UHII با پارامترهای هواشناسی در شکل ۷ نشان داده شده است. براساس نمودار مورد نظر، در فصل بهار رابطه UHII با بارندگی دارای همبستگی مثبت ضعیف با R برابر با ۰/۱۸ بوده است. همچنین رابطه پارامترهای توپوگرافی و سرعت باد با UHII نیز یک رابطه همبستگی ضعیف می‌باشد که مقدار R به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۱۴ بوده است. در مقابل رابطه UHII با پارامترهای دمای هوا، فشار سطح و تابش خورشید سطح یک همبستگی منفی ضعیفی بوده است که مقدار R به ترتیب برابر با ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۲۴ می‌باشد. در فصل تابستان نیز شرایط مشابه فصل بهار بوده است. با این تفاوت که در این فصل رابطه سرعت باد با UHII معکوس شده و مقادیر R نسبت به فصل بهار بیشتر شده است. بدین صورت که رابطه بین UHII و

پارامترهای تابش خورشید سطح، فشار سطح، دمای هوا و سرعت باد دارای رابطه همبستگی معکوس نسبتاً ضعیف می‌باشد. در مقابل رابطه UHII با پارامترهای بارندگی و ارتفاع با $R = 0.29$ و 0.34 یک رابطه همبستگی مستقیم نسبتاً ضعیفی وجود دارد.



شکل (۷): نتایج همبستگی بین UHII با پارامترهای هواشناسی

Fig 7. Correlation results between UHII and meteorological parameters

۴- نتیجه گیری

رشد و توسعه شهرها، به عنوان پدیده‌ای شتابان، نقشی اساسی در تشدید جزیره گرمایی ایفا می‌کند. افزایش جمعیت در مناطق شهری، عاملی محرک در تشدید این پدیده و دگرگونی اقلیم شهری به شمار می‌رود. در این مطالعه، نتایج زیر حاصل شده است. بررسی نقشه‌های LST و UHII نشان می‌دهد که مناطق بایر و فاقد پوشش گیاهی، همچنین مناطق نزدیک به صنایع و فرودگاه، دارای بیشترین دمای سطح و شدت جزیره حرارتی شهری هستند. در مقابل، مناطق با تراکم ساختمانی بالا و پوشش فضای سبز زیاد، دارای دمای سطح و شدت جزیره حرارتی کمتری هستند. بدین صورت که حداقل و حداکثر میزان LST در فصول مورد نظر به ترتیب برابر با $9/75$ تا $46/57$ و میزان UHII نیز $20/48$ تا $9/07$ درجه سانتی‌گراد بوده است. تحلیل پارامترهای هواشناسی نشان داد که حداقل دمای هوا در فصول بهار و تابستان به ترتیب $21/94$ و حداکثر آن برابر با $16/55$ و $23/57$ درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر بارش در فصل بهار به ترتیب برابر با $143/07$ و $224/17$ و در فصل تابستان به ترتیب به $2/93$ و $10/32$ میلی‌متر، حداقل فشار سطح در بهار و تابستان به ترتیب برابر با 82730 و 82804 و حداکثر آن برابر با 57715 و 4811 hpa، حداقل و حداکثر تابش خورشیدی سطح در فصل بهار به ترتیب $231/1$ و $239/9$ و در فصل تابستان به ترتیب برابر با $203/03$ و $213/34$ وات بر متر مربع و کمترین و بیشترین سرعت باد در فصل بهار برابر با $0/30$ و $0/48$ متر بر ثانیه و در فصل تابستان $1/60$ و $1/30$ متر بر ثانیه بوده است. در کل می‌توان گفت که با حرکت از غرب به شرق محدوده مطالعاتی، دمای

هوا و فشار سطح کاهش و بارندگی افزایش می‌یابد. همچنین سرعت باد در فصل بهار از غرب به شرق افزایش و در فصل تابستان کاهش می‌یابد. نتایج رگرسیون خطی نشان داد که بارندگی با UHII رابطه مثبت ضعیفی با R^2 برابر با ۰/۰۸ در فصل بهار و ۰/۰۳ در فصل تابستان دارد، در حالی که دمای هوا (با R^2 برابر با ۰/۱۲ در فصل بهار و ۰/۰۴ در فصل تابستان، تابش خورشیدی سطح (با R^2 برابر با ۰/۱۱ در فصل بهار و ۰/۰۵ در فصل تابستان) و فشار سطح (با R^2 برابر با ۰/۱۱ در فصل بهار و ۰/۰۴ در فصل تابستان) با UHII رابطه منفی ضعیفی دارند. رابطه توپوگرافی با UHII نیز مثبت و ضعیف است و مقدار R^2 در فصول بهار و تابستان به ترتیب برابر با ۰/۰۴ و ۰/۱۱ بوده است. نتایج رگرسیون چند متغیره نشان می‌دهد که در هر دو فصل بهار و تابستان، پارامترهای هواشناسی به طور معنی‌داری با UHII در ارتباط هستند. این رابطه در فصل تابستان قوی‌تر است. صحت این ادعا را براساس مقادیر Sig, T و R^2 می‌توان مشاهده کرد. بدین صورت که مقدار Sig در همه پارامترها کمتر از ۰/۰۵ بوده و مقدار T در همه پارامترها بیشتر بوده است و مقدار R^2 در پارامتر بارندگی در فصل بهار و تابستان به ترتیب حدود ۳/۴ و ۸/۶ درصد، پارامتر تابش خورشیدی سطح به ترتیب ۵/۷ و ۱۱/۱، فشار سطح ۴/۲ و ۱۱، دمای هوا ۴/۷ و ۱۲/۹، سرعت باد ۱/۹ و ۹/۳ و ارتفاع ۴/۸ و ۱۱/۲ بوده است. تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که در فصل تابستان، رابطه UHII با بارندگی (با R برابر با ۰/۱۸ در فصل بهار و ۰/۲۹ در فصل تابستان) و توپوگرافی (با R برابر با ۰/۲۲ در فصل بهار و ۰/۳۴ در فصل تابستان) مثبت و ضعیف، و با دمای هوا (با R برابر با ۰/۲۲- در فصل بهار و ۰/۳۶- در فصل تابستان)، تابش خورشیدی سطح (با R برابر با ۰/۲۴- در فصل بهار و ۰/۳۳- در فصل تابستان)، فشار سطح (با R برابر با ۰/۲۱- در فصل بهار و ۰/۳۳- در فصل تابستان) و سرعت باد (با R برابر با ۰/۱۴ در فصل بهار و ۰/۳۰- در فصل تابستان) منفی و ضعیف است. نتایج این تحقیق با مطالعات مفتاحی و همکاران (۱۴۰۱) و غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد.

۵-منابع

مقالات فارسی

پوزیدی، علی علی محمد، علیجانی، بهلول، اکبری، مهری، ضیائیان فیروزآبادی، پرویز. (۱۳۹۹). تحلیل فضایی و زمانی جزایر گرمایی مناطق شهری گرگان. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۰(38)، 157-172.، سال دهم، شماره مسلسل سی و هشتم، صص 157-172.

- جاودان، جواد، رضائی مقدم، محمد حسین، عبادی، یوسف. (۱۳۹۸). توسعه الگوریتم خودکار برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸ - مطالعه موردی: کلانشهر تبریز. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، 28(112)، 187-198.
- حسن زاده، المیرا، حسن زاده، یوسف، و زرغامی، مهدی. (۱۳۹۰). مدلسازی تاثیر جریان آب سطحی بر کاهش تراز دریاچه ارومیه به کمک پویایی سیستم ها. مهندسی عمران و محیط زیست (دانشکده فنی)، ۴۱(۲)، ۸-۱.
- خالدی، شهریار، کیخسروی، قاسم، احمدی براتی، فرزانه. (۱۴۰۱). بررسی اثر تغییرات پوشش زمین بر دمای رویه سطحی زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس - مطالعه موردی: شمال شرق ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، 31(123)، 179-197.
- رضازاده جودی، علی، و ستاری، محمدتقی. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد روش های مختلف در بازسازی داده های بارش ماهانه. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۱۶(۴۲)، ۱۵۵-۱۷۶. SID. <https://sid.ir/paper/102304/fa>.
- رنجبرسعادت آبادی، عباس، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، و صادقی حسینی، سیدعلیرضا. (۱۳۸۵). آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان شهر تهران بر اساس داده های مهرآباد و ورامین. محیط شناسی، ۳۲(۳۹)، ۵۹-۶۸. SID. <https://sid.ir/paper/3146/fa>.
- شکری کوچک، سعید، بهنیا، عبدالکریم. (۱۳۹۰). تأثیر پدیده جزیره گرمایی بر تغییر اقلیم محلی در کلان شهر اهواز. علوم و مهندسی آبیاری، 34(1)، 35-43.
- صدرموسوی، میرستار، رحیمی، اکبر. (۱۳۸۹). مقایسه نتایج شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه با رگرسیون چندگانه در پیش بینی غلظت ازن در شهر تبریز. پژوهش های جغرافیایی طبیعی، 42(71)، ۴۲-۴۷.
- صدرموسوی، میرستار، و رحیمی، اکبر. (۱۳۸۷). ارزیابی کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی منوکسید کربن در هوای شهر تبریز. منابع طبیعی ایران، ۶۱(۳)، ۶۸۱-۶۹۱.
- عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. تهران: نشر قومس، چاپ اول، ص ۴۳۴.
- علیچانی، بهلول، طولابی نژاد، میثم، و صیادی، فریبا. (۱۳۹۶). محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری مورد مطالعه: محله کوچه باغ شهر تبریز. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۳)، ۹۹-۱۱۲. SID. <https://sid.ir/paper/264738/fa>.
- عیسی زاده، وحید، آسیابی، شکوفه، عیسی زاده، اسماعیل. (۱۳۹۹). بررسی پایش دمای سطح زمین با استفاده تصاویر لندست ۸ و الگوریتم های تک کاناله و پنجره مجزا (منطقه مورد مطالعه: شهرستان دزفول). جغرافیا و روابط انسانی، 3(3)، 25-8.
- غضنفری مقدم، محمدصادق، علیزاده، امین، ناصری مقدم، مهیار، فریدحسینی، علیرضا. (۱۳۸۹). بررسی اثر جزیره گرمایی شهری بر روند تغییرات ریزش های جوی مشهد آب و خاک، 24(2)، ۲۴-۳۰.
- فیضی زاده، بختیار، دیده بان، خلیل، و غلام نیا، خلیل. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد. اطلاعات جغرافیایی، ۲۵(۹۸)، ۱۷۱-۱۸۱.
- کافی، فاطمه، یوسفی رویات، الهام، جهانی شکیب، فاطمه. (۱۴۰۲). تعیین مناسب ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست (مطالعه موردی: شهر بیرجند). نشریه سنجش از دور و GIS ایران، 15(2)، 37-54.
- کاوایانی، محمد رضا. (۱۳۸۰). میکروکلیماتولوژی. انتشارات سمت. ص ۳۳۷.

محمودزاده، حسن، پویان جم، آذر، & امان زاده، فاطمه. (۱۳۹۹). محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۴(۷۳)، ۳۲۵-۳۴۸.

مزی‌دی، احمد و حیدری، بتول. (۱۴۰۰)، تحلیل و ارزیابی تغییر کاربری اراضی بر جزیره حرارتی در شهر کرمان، پنجمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، تبریز، <https://civilica.com/doc/1275898>

مقیم، ابراهیم، محمدی، حسین، و نجفیان گرجی، محمدرضا. (۱۳۹۶). ارزیابی روند تغییرات دما، الگوی جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم شهر تهران. جغرافیای طبیعی، ۱۰ (۴) (پیاپی ۳۸)، ۱-۱۸.

موسوی بایگی، محمد، اشرف، بتول، فرید، علیرضا، میان‌آبادی، آمنه. (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فراکتال، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، ۳۵-۴۹.

ناصحی، سعیده، یآوری، احمدرضا، صالحی، اسماعیل. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به‌منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). جغرافیا و پایداری محیط. شماره ۴۴، ۱۰۷-۱۳۰.

مقالات انگلیسی

- Aghazadeh, F., Ghasemi, M., Garajeh, M. K., Feizizadeh, B., Karimzadeh, S., & Morsali, R. (2023). An integrated approach of deep learning convolutional neural network and google earth engine for salt storm monitoring and mapping. *Atmospheric Pollution Research*, 14(3), 101689.
- Aghazadeh, F., Bageri, S., Garajeh, M. K., Ghasemi, M., Mahmodi, S., Khodadadi, E., & Feizizadeh, B. (2023). Spatial-temporal analysis of day-night time SUHI and its relationship between urban land use, NDVI, and air pollutants in Tehran metropolis. *Applied Geomatics*, 15(3), 697-718.
- Aslan N, Koc-San D (2021) The use of land cover indices for rapid surface urban heat island detection from multi-temporal Landsat imageries. *ISPRS Int J Geo Inf* 10:416.
- Atkinson, B W. (2003). Numerical modelling of urban heat-island intensity. *Journal of Boundary Layer Meteorology*, 109(3), 285-310.
- Bencheikh, H. and Rchid, A. (2012). "The Effects of Green Spaces (Palme Trees) on the Microclimate in Arid Zones, Case Study: Ghardaia, Algeria", *Architecture Research*, 2(4), pp. 42-46.
- Che-Ani, A.I. and Shahmohamadi, P. and Sairi, A. and Mohd-Nor, M.F.I. (2009). "Mitigating the Urban Heat Island Effect: Some Points without Altering Existing City Planning", *European Journal of Scientific Research* No.2, pp. 204-216.
- Chen, W., Zhang, Y., Gao, W., Zhou, D. (2016). The Investigation of Urbanization and Urban Heat Island in Beijing Based on Remote Sensing. *Journal of Social and Behavioral Sciences* 216:141 – 150.
- Chun, B., & Guhathakurta, S. (2017). Daytime and nighttime urban heat islands statistical models for Atlanta. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(2), 308-327. <https://doi.org/10.1177/0265813515624685>.
- Dhalluin, A., & Bozonnet, E. (2015). Urban heat islands and sensitive building design—A study in some French cities' context. *Sustainable Cities and Society*, 19, 292-299.
- Ghahremanloo, M., Lops, Y., Choi, Y., Mousavinezhad, S., 2020. Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia. *Sci. Total Environ.* 142226.

- Ghorbani, M. Nature of Iran and its climate. In *The Economic Geology of Iran*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 1–44. Google Scholar.
- Guang, C., Yiqi, C., Hao, H., Junsong, W., & Lihua Zhao. (2023). Assessing the synergies between heat waves and urban heat islands of different local climate zones in Guangzhou, China. *Building and Environment*, magnitude of the urban heat island in Seoul: An exploratory analysis", *Sustainable Cities and Society*, Volume (71).
- Khan, A., Chatterjee, S. (2017) Numerical simulation of urban heat island intensity under urban-suburban surface and reference site in Kolkata, India, *Journal of Modeling Earth Systems and Environment*, 2-71.
- Kuang, W., Yang, T., Liu, A., Zhang, C., Lu, D., Chi, W., (2017). An Eco City model for regulating urban land cover structure and thermal environment: taking Beijing as an example. *Sci. China Earth Sci.* 60 (6), 1098–1109.
- Mozayedi, A., Narengi, M. (2016). Urban expansion and land use changes effect on climate elements, *Journal of Geographic Science Applied Research*, 40(16), 132-153.
- Mozayedi, A., Narengi, M. (2016). Urban expansion and land use changes effect on climate elements, *Journal of Geographic Science Applied Research*, 40(16), 132-153.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.*, 7, 769–779.
- Rahimi, A., & Nobar, Z. (2023). The impact of planting scenarios on agricultural productivity and thermal comfort in urban agriculture land (case study: Tabriz, Iran). *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1048092.
- Serco Italia SPA. (2018). Urban heat island with Sentinel-3. (version 1.1) Retrieved from RUS Lectures at <https://rus-copernicus.eu/portal/the-rus-library/learn-by-yourself/>.
- Sol Hart, P., Feldman, L. (2018). Would it be better to not talk about climate change? The impact of climate change and air pollution frames on support for regulating power plant emissions, *Journal of Environmental Psychology*, 60, 1-8.
- Sundborg, A. (1950). The local climatological studies of the temperature conditions in an urban area, *Tellus*, 2, 222-232.
- Swain, S., Therivel, R., (2014). Environmental impacts of civil emergency plans and their exemption from SEA, *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 16(3), 1-16.
- Zarghami, M.; Abdi, A.; Babaeian, I.; Hassanzadeh, Y.; Kanani, R. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Glob. Planet. Chang.* 2011, 78, 137–146. Google Scholar.

Investigating the role of climatic parameters in the formation of urban heat islands (UHII) using remote sensing

Abstract

This study aimed to investigate the role of climatic parameters in the formation of the intensity of urban heat islands using remote sensing techniques, with a case study of Tabriz metropolis, Iran. In this study, Landsat 8/9 satellite images were used to calculate land surface temperature and urban heat island intensity and ERA5_Land reanalysis data for meteorological parameters for the spring and summer seasons of 2023. The Split Window algorithm was used to calculate the surface temperature of the earth and the Urban Heat Island Intensity index was used to check the intensity of urban heat islands. On the other hand, simple linear regression, multi-criteria regression and Pearson correlation statistical analyzes were used to investigate the relationship between the intensity of urban heat islands and climatic parameters. The results showed that bare areas without vegetation, areas close to industrial towns and airports had the highest ground surface temperature and intensity of urban heat islands. On the other hand, areas with high building density and green space had lower ground surface temperature and intensity of heat islands. The results of the analysis of meteorological parameters showed that by moving from west to east in the studied area, air temperature and surface pressure decrease, but rainfall increases. In addition, wind speed increases from west to east in spring and decreases in summer, while surface solar radiation has been spatially constant in the considered seasons. The results of simple linear regression analysis showed that there was a weak positive relationship between precipitation and intensity of urban heat islands with R^2 equal to 0.08 in spring and 0.03 in summer, while air temperature (spring with R^2 with 0.12 and summer season equal to 0.04), surface solar radiation (spring season with R^2 equal to 0.11 and summer season equal to 0.05) and surface pressure (spring season with R^2 equal to 0.11 and summer season equal to 0.04) had a weak negative relationship with the intensity of urban heat islands. The relationship between topography and intensity of urban heat islands also has a weak positive relationship with R^2 of 0.09 and 0.019 in spring and summer, respectively. Multivariate regression results showed that in both spring and summer, all meteorological parameters are significantly related to the intensity of urban heat islands. Thus, all parameters had a confidence level (Sig) of 95% or less than 0.05 (except rainfall and wind speed in spring). Pearson's correlation analysis showed that in spring, the relationship between intensity of urban heat islands with rainfall, wind speed and topography had a direct correlation and with the parameters of air temperature, surface solar radiation and surface pressure had an inverse correlation. In the summer season, its relationship with rainfall and topography parameters is direct and has an inverse relationship with other parameters.

In sum, the findings of this study indicate that meteorological parameters are significantly related to the intensity of urban heat islands in the metropolis of Tabriz, and this relationship is stronger in the summer season.

Keywords: Urban heat island intensity, remote sensing, meteorological parameters, Tabriz metropolis.