



بررسی ارتباط بررسی ارتباط بین جزایر حرارتی سطحی شهری و آلاینده‌های هوای کلانشهر تبریز و آلاینده‌های هوای کلانشهر تبریز

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی ارتباط بین جزایر حرارتی سطحی شهری و آلاینده‌های هوای کلانشهر تبریز است. از تصاویر لندست ۸ و ۹ برای محاسبه دمای سطح زمین^۱ (LST) و جزایر حرارتی سطحی شهری^۲ (SUHI) از تصاویر سنتینل 5p برای آلاینده‌های هوا در تاریخ 2023 در دو فصل بهار و تابستان استفاده شد. از الگوریتم پنجره مجزا^۳ (SW) برای LST و الگوریتم SUHI برای محاسبه جزایر حرارتی سطحی شهری استفاده شد. از تحلیل ANOVA و همبستگی پیرسون برای رابطه بین SUHI با آلاینده‌های هوا استفاده گردید. نتایج نشان داد که مقدار LST و SUHI در محدوده مورد مطالعه به ترتیب در رنج ۹/۷۵ تا ۴۶/۵۷ و ۲۰/۴۸- و ۹/۰۷ درجه سانتی‌گراد بوده است که مقدار SUHI در فصل بهار نسبت به فصل تابستان بیشتر بوده است. نتایج آلاینده‌های هوا، شاخص جذب آئروسول^۴ (AAI)، مونوکسید کربن^۵ (CO)، نیتروژن دی‌اکسید^۶ (NO₂)، سولفور دی‌اکسید^۷ (SO₂) و ازن^۸ (O₃) نشان داد که تراکم آلاینده‌ها در بخش‌های مرکزی، جنوبی، جنوب غربی محدوده مورد مطالعه متراکم بوده است. ارتباط آماری بین آلاینده‌های هوا و SUHI نشان دهنده رابطه معکوس ضعیف بین این دو متغیر با R² برابر با ۰/۰۰۳ تا ۰/۱۴ در نوسان است. همچنین تحلیل ANOVA نشان داد که بالا بودن مقدار آماره F (بین ۴۰/۳ تا ۶۵/۵۶) و سطح معنی‌داری پایین P-value به مقدار ۰/۰۰۰ می‌توان گفت که بین این دو متغیر رابطه معنی‌داری وجود دارد. بالا بودن اعداد آماره T نیز بیانگر معنی‌داری بودن این دو متغیر می‌باشد. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی NO₂ با SUHI با R برابر با ۰/۳۷- و ۰/۴۲- به ترتیب در بهار و تابستان نسبت به بقیه آلاینده‌ها بیشتر بوده است.

کلمات کلیدی: جزایر حرارتی سطحی شهری (SUHI)، آلاینده‌های هوا، تحلیل ANOVA، همبستگی پیرسون، کلانشهر تبریز.

- 1 - Land Surface Temperature
- 2 - Surface Urban Heat Island
- 3 - Split Window Algorithm
- 4 - Absorbing Aerosol Index
- 5 - Carbon Monoxide
- 6 - Nitrogen Dioxide
- 7 - Sulfur Dioxide
- 8 - Ozone

۱- مقدمه

رشد سریع شهرنشینی و تمایل به زندگی در کلانشهرها، پدیده‌ای است که پیامدهای ناگواری به همراه دارد. یکی از این پیامدها، افزایش دمای شهرها نسبت به مناطق پیرامونی است (هادی پور و همکاران، ۱۳۹۸). این پدیده که به "جزیره حرارتی شهری" معروف است، در صورت عدم کنترل، می‌تواند مخاطرات جدی برای محیط زیست و سلامت انسان به وجود آورد. جزایر حرارتی، نواحی مشخصی در شهر هستند که به طور قابل توجهی گرم‌تر از مناطق اطراف خود هستند که تبعات فراوانی دارد که از جمله می‌توان به تغییر در تنوع زیستی، تشدید تغییرات آب و هوایی، برهم خوردن تعادل گرمایی زمین، افزایش اثرات گلخانه‌ای و بروز سایر مشکلات زیست محیطی اشاره کرد (مزیدی و همکاران، ۱۴۰۲). طی دهه‌های گذشته، تعاریف مختلفی از جزایر حرارتی ارائه شده است. اگرچه مبنای همه این تعاریف یکی است، اما از نظر فنی دچار دگرگونی شده‌اند. در حال حاضر، جزیره حرارتی شهری به عنوان "خطوط هم دمای بسته‌ای که نشان‌دهنده پهنه‌ای گرم، به ویژه در نواحی با مداخلات انسانی (مانند شهرها و شهرک‌ها) است" تعریف می‌شود. در تعریفی دیگر، جزایر حرارتی به عنوان "مناطق شهری که به طور قابل توجهی گرم‌تر از مناطق مجاور خود هستند و نمادی از مشکلات زیست‌محیطی شهرها به شمار می‌روند" شناخته می‌شوند (فرینا؛ ۲۰۱۲). با توجه به عواقب وخیم جزایر حرارتی، یافتن راه‌حلی برای مقابله با این پدیده امری ضروری است. به عبارتی دیگر، توجه به این معضل و تلاش برای حل آن، وظیفه‌ای است که بر عهده همه ما است (ژانگ و لیو، ۲۰۱۱). جزایر حرارتی شهری و آلاینده‌های جوی در یک چرخه‌ی متقابل اثرگذاری و اثرپذیری با یکدیگر در ارتباط هستند. به این معنی که شدت جزایر حرارتی می‌تواند بر واکنش‌های شیمیایی در جو تأثیر بگذارد و خود نیز تحت تأثیر این واکنش‌ها قرار گیرد. به طور خلاصه، جزایر حرارتی شهری به دلیل افزایش دمای محیط، کیفیت هوای منطقه را به طور منفی تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. در آب و هوای گرم، این پدیده منجر به تولید گازهای مضر مانند ازن، مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن می‌شود (صدر موسوی و رحیمی، ۱۳۸۷؛ صدر موسوی و رحیمی، ۱۳۸۹). همزمان با تشدید پدیده جزیره گرمایی و انباشت گازهای گلخانه‌ای، شاهد افزایش تنش‌های جسمی و بی‌حوصلگی در میان گروه‌های آسیب‌پذیر هستیم (هوانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). ترکیبات جو می‌توانند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر میزان تابش خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد، اثر بگذارند. برخی گازها مانند دی‌اکسید کربن (CO₂) می‌توانند طول موج‌های خاصی از تابش مادون قرمز را جذب کنند. این امر مانع از فرار مستقیم این تابش از جو به فضا می‌شود. جذب تابش مادون قرمز توسط مولکول‌های موجود در هوا، مانند CO₂، باعث گرم شدن جو و در نهایت سطح زمین می‌شود. علاوه بر این، دمای سطح زمین نیز می‌تواند بر واکنش‌های شیمیایی و غلظت گازها در جو تأثیر بگذارد. به طور خلاصه، جو و سطح زمین در یک چرخه بازخورد پیچیده با یکدیگر تعامل دارند که بر تابش دریافتی، دما و سایر شرایط آب و هوایی زمین تأثیر می‌گذارد. در دهه‌های اخیر، دانشمندان به طور فزاینده‌ای به بررسی همزمان جزیره حرارتی شهری (UHI) و آلودگی هوا به عنوان پدیده‌هایی که هم پیوسته پرداخته‌اند. بررسی ۳۰

1 - farina
2 - Zhang & Liu
3 - Huang
4 - Urban Heat Island

سال تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که رویکردهای آینده باید به جای تمرکز مجزا بر هر دو پدیده، به بررسی اثر هم‌افزایی آنها بر یکدیگر بپردازند. شباهت‌های قابل توجهی از نظر تغییرات زمانی و مکانی بین UHI و آلودگی هوا وجود دارد. به عنوان مثال، شدت UHI در مناطق شهری بزرگ به طور قابل توجهی بیشتر از مناطق کوچک است. به طور مشابه، غلظت آلاینده‌های هوا در کشورهای توسعه یافته و پرجمعیت به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مناطق دیگر است. عوامل متعددی از جمله شرایط آب و هوایی، کاربری زمین، پوشش گیاهی، تراکم جمعیت و توسعه اقتصادی می‌توانند بر UHI و آلودگی هوا تأثیر بگذارند. درک این روابط پیچیده برای توسعه استراتژی‌های موثر جهت کاهش همزمان این دو معضل زیست‌محیطی ضروری است. یوانیان^۱ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی رابطه بین UHI و آلاینده‌های هوا در دلتای رودخانه یانگ‌تسه چین پرداختند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بین شدت UHI و غلظت آلاینده‌های هوا، به خصوص ازن، یک همبستگی زمانی- مکانی قوی وجود دارد. در مقابل، بین UHI و سایر آلاینده‌های هوا مانند ذرات معلق (PM) رابطه معکوسی مشاهده شده است. غلظت PM^۲ در شب‌های زمستان که UHI ضعیف‌تر است، بیشتر است. یانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری، ارتباط بین آلودگی هوا و SUHI را در سه شهر ژوژو، چانگشا و شیانگتان در چین بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که آلودگی مادون قرمز و SUHI از طریق فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی متعددی با یکدیگر تعامل دارند و میزان همبستگی آنها تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و جغرافیایی مختلف قرار می‌گیرد. در شرایطی که آلودگی ذرات معلق (آئروسول) شدید باشد، بین SUHI و آلودگی هوا همبستگی منفی وجود دارد. محمد خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی پراکندگی زمانی و مکانی آلودگی‌های خطرناک در شهر تبریز با تمرکز بر ذرات معلق PM₁₀ پرداخته‌اند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی PM₁₀ در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل تابستان و به‌ویژه در ماه مرداد رخ می‌دهد. بر اساس این پژوهش، تسلط پرفشار جنب حاره‌ای آرزور و شکل‌گیری لایه‌های حرارتی بر فراز ایران، عاملی موثر در تشدید آلودگی‌های خطرناک تابستانی در تبریز است. مسعودی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس، به بررسی رفتار جزیره گرمایی در کلانشهر اصفهان در طول زمان و مکان پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که جزیره گرمایی شبانه پدیده‌ای غالب در اصفهان است، به طوری که در بیش از ۹۸ درصد موارد، دمای شبانه شهر از دمای مناطق اطراف بیشتر بوده است. آروین (۱۳۹۷) به بررسی رابطه بین جزیره حرارتی و آلودگی هوا در شهر اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزای سوپرینو، دمای سطح زمین را در نقاط مختلف شهر اندازه‌گیری کرد. نتایج نشان داد که در زمان‌هایی که آلودگی هوا در شدیدترین حالت خود قرار دارد، اختلاف دمای بین نواحی مرکزی شهر و مناطق پیرامونی آن بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر، در این زمان‌ها، جزیره حرارتی شهر اصفهان بزرگ‌تر و برجسته‌تر می‌شود. با بررسی پیشینه تحقیق ملاحظه شد که برای کلانشهر تبریز تقریباً مطالعه خیلی معدودی بین SUHI و آلاینده‌های هوا در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. همچنین در مطالعات گذشته برای جزایر حرارتی سطحی شهری فقط LST را مد نظر گرفته‌اند، در حالی که SUHI با LST متفاوت می‌باشد. از طرف دیگر در پیشینه تحقیق فقط از داده‌های آلاینده‌های

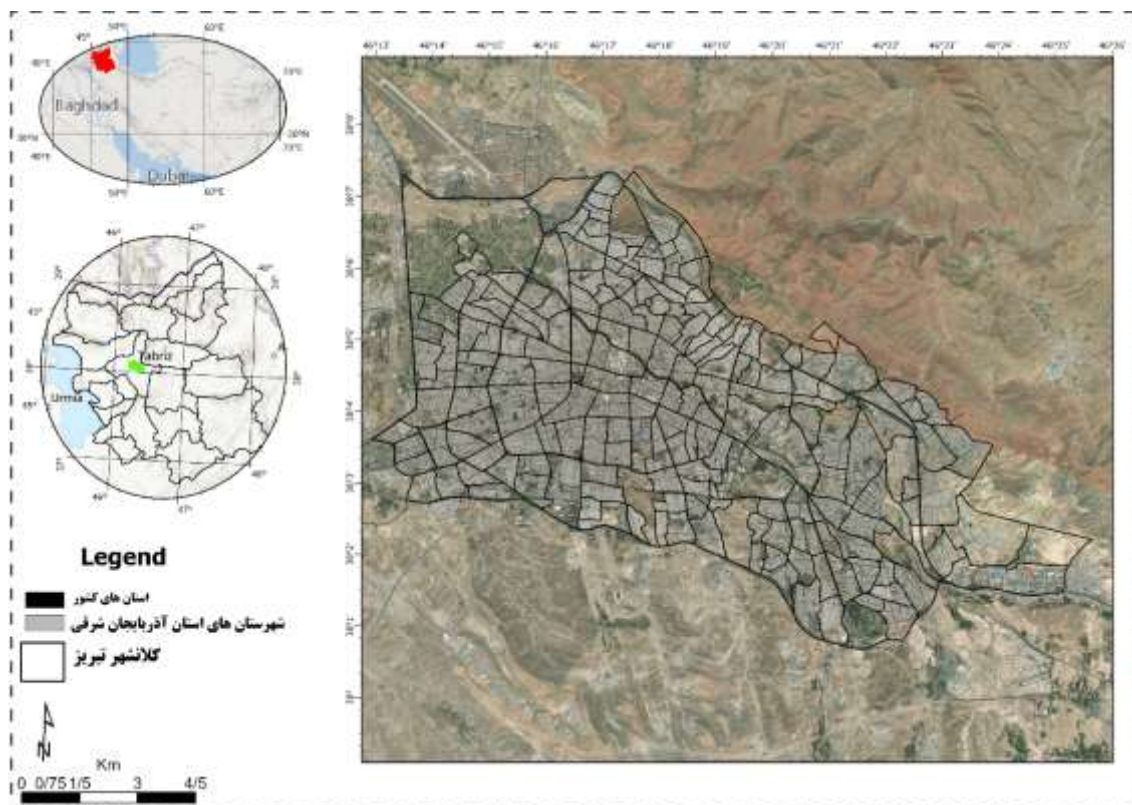
1 - Yuanyuan
2 : Praticulate matter
3 - Ying

هوای زمینی (ایستگاهی) استفاده شده است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی ارتباط بین SUHI و آلاینده‌های هوا در کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تبریز، کلانشهری در شمال غرب ایران، با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی (شکل ۱)، در سال ۱۳۹۵ جمعیتی بالغ بر ۱,۵۵۸,۶۹۳ نفر را در خود جای داده بود که با احتساب حومه شهر به حدود ۸,۱ میلیون نفر می‌رسد. این کلانشهر مهم، که یکی از مراکز اصلی صنعت و سکونت در ایران محسوب می‌شود، از آب و هوایی نیمه خشک با فصول متمایز بهره می‌برد. میانگین دمای تابستان در تبریز بین ۱۴ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و دمای زمستان بین ۵ تا ۴- درجه سانتی‌گراد متغیر است (رحیمی و نوبر، ۲۰۲۳). بر اساس شاخص خشکی دومارتن، اقلیم منطقه از نیمه‌خشک به خشک تغییر یافته است (ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱). تبریز تقریباً به طور کامل توسط دامنه‌های شیب‌دار رشته‌کوه‌ها احاطه شده است (امیری و همکاران، ۲۰۰۹). این وضعیت توپوگرافی به همراه افزایش تعداد مراکز صنعتی، منجر به تشدید پدیده UHI و افزایش آلودگی هوا در این شهر شده است (فیضی‌زاده و بلاشکه، ۲۰۱۳).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study area


۲-۲- داده‌های مورد استفاده

❖ داده‌های سنجش از راه دور ماهواره‌ای

در مطالعه‌ی حاضر از یک روش ابتکاری نوین در پردازش تصاویر ماهواره‌ای از طریق پلتفرم گوگل ارث انجین برای ارزیابی جزایر حرارتی سطحی شهری استفاده شده است. به همین منظور از تصاویر لندست ۸ و ۹ برای محاسبه LST و SUHI به صورت فصلی (فصول بهار و تابستان) و برای محاسبه آلاینده‌های هوای کلانشهر تبریز برای فصول مورد نظر از پروداکت‌های تصاویر سنتینل 5p شامل، CO، NO₂، O₃، AAI و SO₂ استفاده گردید. در این مطالعه تصاویر هر دو ماهواره برای سال ۲۰۲۳ به صورت میانگین فصلی (فصول ذکر شده) در پلتفرم گوگل ارث انجین محاسبه شد. جدول ۱ اطلاعات داده‌های استفاده شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

جدول (۱): اطلاعات داده های مورد استفاده

Table 1. Data information used

منبع	قدرت تفکیکی مکانی	فرمول	پلتفرم	منبع داده	متغیر
Feng et al. 2022; Avashia 2021; et al. Chong et al. 2020;	2023 100m	الگوریتم پنجره مجزا		LANDSAT/LC08/C02/T1 LANDSAT/LC09/C02/T1	LST
Wang et al. 2022; Garai et 2022; al.		SUHI = LSTurban - LSTsuburban (rural)		LANDSAT/LC08/C02/T1 LANDSAT/LC09/C02/T1	SUHI
Hereher er al. 2022; Ahmed 2022; & Mei Alqasemi et 2021; al. Almagbile & Hazaymeh 2022; Wang et 2022; al. Tehrani et al. 2021	2023 1 km (GEE) 		GEE	COPERNICUS/S5P/NRTI/ L3_CO COPERNICUS/S5P/NRTI/ L3_NO2 COPERNICUS/S5P/NRTI/ L3_SO2 COPERNICUS/S5P/NRTI/ L3_O3 COPERNICUS/S5P/NRTI/ L3_AAI	CO NO2 SO2 O3 AAI

۲-۳- روش اجرای پژوهش

✓ الگوریتم پنجره مجزا (Split Window) برای محاسبه LST

در این بخش از مقاله به بررسی مراحل محاسبه LST با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و ۹ پرداخته شده است (انصاری و نوروزی، ۱۴۰۲). الگوریتم مورد نظر براساس فرمول ۱ محاسبه می شود:

$$LST = TB10 + C1 (TB10 - TB11) + C2 (TB10 - TB11)^2 + C0 + (C3 + C4W) (1 - \epsilon) + (C5 + C6W) \Delta \epsilon$$

فرمول ۱

اختلاف دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱ = TB10_TB11

ضرایب ثابت الگوریتم = C0, ..., C6

ستون بخار آب = W

اختلاف LSE = $\Delta\varepsilon$

مراحل هر یک از شاخص‌های موجود در الگوریتم Split Window در زیر به صورت مفصل شرح داده شده است:

✓ تفاسیل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

NDVI به ارزیابی میزان پوشش گیاهی که بر LST تأثیر می‌گذارد، کمک می‌کند. این شاخص با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود و مقادیر آن از -۱ تا +۱ متغیر است. مقادیر بالاتر نشان دهنده تراکم بیشتر پوشش گیاهی است که به طور معمول دمای خنک‌تری دارد (ناجی دومیرانی و همکاران، ۱۳۹۶).

✓ برآورد کسری پوشش گیاهی (FVC)

FVC عامل دیگری است که بر LST تأثیر می‌گذارد. FVC با استفاده از ترکیبی از عناصر طیفی که نشان دهنده خاک برهنه و پوشش گیاهی سبز هستند، برآورد می‌شود (نوروزی و نوروزی، ۱۴۰۲).

✓ توان گسیلندگی (Emissivity)

Emissivity توانایی یک جسم برای انتشار تشعشع را توصیف می‌کند. مقدار این شاخص بین ۰ تا ۱ متغیر است که مقادیر بالاتر نشان دهنده انتشار انرژی بیشتر است. توان گسیلندگی مواد طبیعی مانند پوشش گیاهی بسته به نوع و تراکم گیاه متفاوت است (فیضی زاده، همکاران، ۱۳۹۵).

✓ توان گسیلندگی سطح زمین (LSE)

این پارامتر توان گسیلندگی ترکیبی خاک و پوشش گیاهی روی سطح زمین را در نظر می‌گیرد. LSE با استفاده از باندهای حرارتی جداگانه برای هر جزء محاسبه می‌شود.

✓ تبدیل DN به رادیانس و تبدیل رادیانس به Brightness Temperature

داده‌های باند حرارتی از لندست ۸ و ۹ از اعداد رقومی (DN) به تابش و سپس با استفاده از اطلاعات ارائه شده در متادیتای تصویر به دمای درخشندگی تبدیل می‌شود (عرب و همکاران، ۱۴۰۱).

✓ برآورد ستون بخار آب (C_{wv})

برآورد C_{wv} در جو به بهبود دقت LST کمک می‌کند.

✓ الگوریتم Split Window

این الگوریتم یک روش رایج برای بازیابی LST است زیرا به طور موثری اثرات جوی را به حداقل می‌رساند. این روش از دو سنسور چند طیفی و یک سنسور حرارتی روی ماهواره استفاده می‌کند. ضرایب (C₂, C₁, ...) الگوریتم از طریق شبیه‌سازی‌های شامل شرایط مختلف جوی و سطحی به دست می‌آید (شیخی و ملک محمدی، ۱۴۰۲). روابط کلیه پارامترهای فوق‌الذکر در جدول ۳ توضیح داده شده است. در این تحقیق LST در شعاع ۱۵ کیلومتری محدوده مورد مطالعه از باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ و ۹ (TIRS) با استفاده از الگوریتم Split Window در پلتفرم ابری Google Earth Engine (GEE) محاسبه شد.

جدول (۲): روابط شاخص‌های مورد استفاده در الگوریتم Split Window برای محاسبه LST

Table 2. Relationships of indicators used in Window Split algorithm to calculate LST

منبع	اطلاعات فرمول	فرمول	پارامتر	الگوریتم LST
LANDSAT 8, 9				
Singh et al., 2022; Thakur et al., 2022; Ye et al., 2023	Nir=B5 Red=B4	NDVI= (Nir – Red)/ (Nir+Red)	NDVI ^۱	Split Window
	NDVIs= NDVI soil NDVIv= NDVI Vegetation	(NDVI-NDVIs)/ (NDVIv -NDVIs)	FV ^۲	
	Es= Emissivity soil B10=0.971 B11=0.977	Es(1-FVC) + Ev *FVC	LSE ^۳	
	Ev= Emissivity vegetation B10=0.987 B11=0.989	(E10 – E11) /2	ε ^۴	
	E10= Emissivity B10			

- 1 - Normalized Difference Vegetation Index
- 2 - fractional vegetation cover
- 3 - Land surface emissivity
- 4 - average Emissivity

$\Delta \varepsilon^1$	(E10 - E11)	E11= Emissivity B11
$L\lambda^2$	ML × QCal + AL	AL= Radiance_add_band_10_11 QCal=B10_B11 ML= Radiance_mult_band_10_11
TB^3	$K2 / \ln(K1/L\lambda+1) - 272.15$	K1_b10= 774.8553 K2_b10= 1321.0789 K1_b11= 480.8883 K2_b11= 120.1442
w^4	$C0 + C1 * (T11/T10) + C2 * (T11/T10)^2$	T10= TB_B10 T11= TB_B11
$C_0 \dots C_6$	$C_0=-0.268$ $C_2=0.183$	$C_4=-2.238$ $C_6=16.400$

✓ محاسبه SUHI

SUHI بر اساس داده‌های LST محاسبه می‌شود که تفاوت دمای سطح منطقه شهری و حومه شهر را نشان می‌دهد (خو^۷ و همکاران، ۲۰۲۲، محمد و گسوامی^۸؛ ۲۰۲۲، خیا^۹ و همکاران، ۲۰۲۲، گیو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲، تتالی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۲). در این مطالعه برای محاسبه SUHI از داده‌های LST استفاده شد که براساس فرمول (۲) محاسبه می‌شود.

$$SUHI = LST_{urban} - LST_{suburban} \text{ (rural)} \quad \text{فرمول ۲}$$

جایی که SUHI جزیره حرارتی شهری است، LST_{urban} میانگین LST ناحیه شهر و $LST_{suburban}$ میانگین $LST_{suburban}$ یا فاصله ۱۵ کیلومتری از کلانشهر تبریز می‌باشد.

✓ تحلیل واریانس یا ANOVA

تحلیل واریانس یا ANOVA اغلب به عنوان تحلیل رابطه بین متغیرهای مستقل ($X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$) و متغیر وابسته (y_i) استفاده می‌شود. ضریب تعیین مدل، R^2 ، درصد تغییرات متغیر وابسته توضیح داده شده توسط مدل را توضیح می‌دهد. به

- 1 -Difference Emissivity
- 2 - spectral radiance
- 3 - temperature brightness
- 4 - water vapor
- 5 - coefficient
- 6 - Surface Urban Heat Island
- 7 - Xue
- 8 - Mohammad & Goswami
- 9 - Xia
- 1 - Guo 0
- 1 - Tetali 1

عبارت دیگر، معیاری برای برآزش مدل است (میکائیلی حاجی‌کندی و همکاران، ۱۴۰۰؛ پهلوان زاده و همکاران، ۱۳۹۸) طبق فرمول ۳ محاسبه می‌شود:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \quad \text{فرمول ۳}$$

که در آن y_i متغیر وابسته، β_0 نشان‌دهنده intercept، $\beta_{1,2,\dots,p}$ تابع ضریب متغیرهای مستقل $x_{i1,\dots,ip}$ متغیرهای مستقل و ε_i نشان‌دهنده باقی‌مانده است.

✓ ضریب همبستگی پیرسون (R)

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 (پناهی، ۱۳۹۷؛ قربانی و مدرس، ۱۳۹۸؛ بختیاری، ۱۴۰۰) که به صورت فرمول ۴ تعریف می‌شود:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2 * \sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2}} \quad \text{فرمول ۴}$$

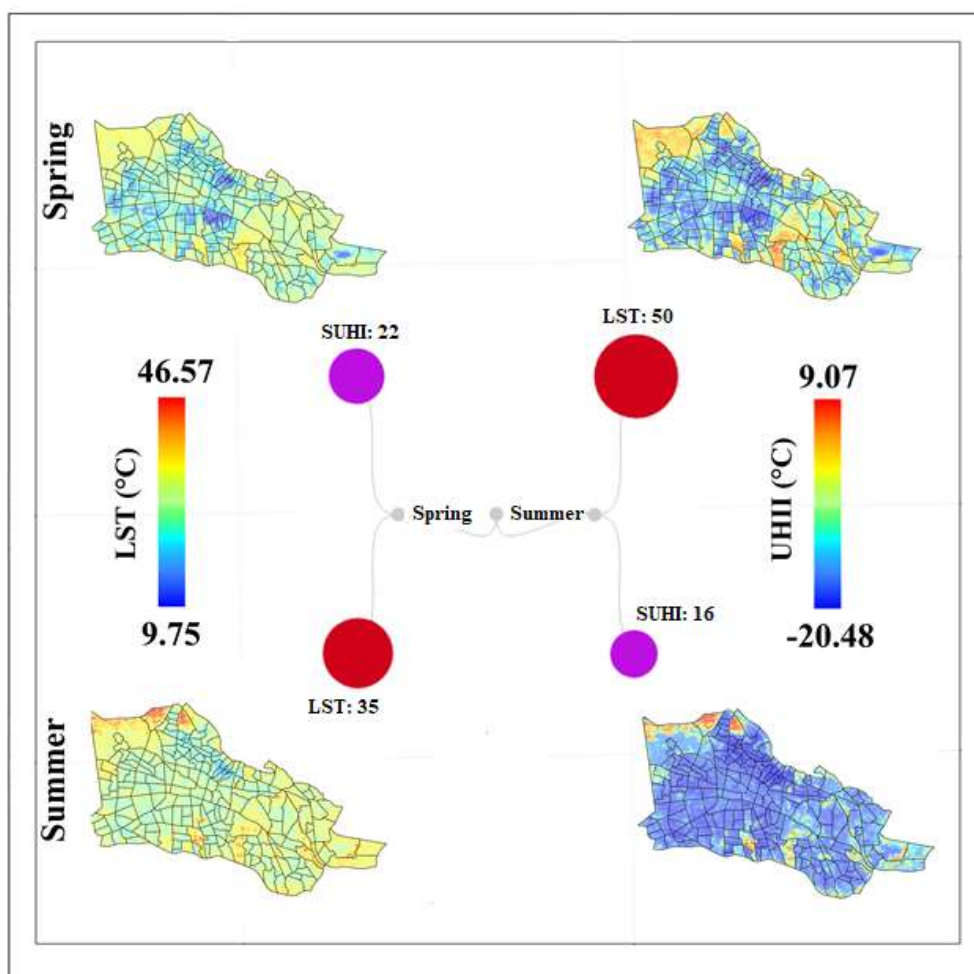
$R =$ ضریب همبستگی، $X_i =$ مقادیر متغیر X در یک نمونه، $\bar{X} =$ میانگین مقادیر متغیر X ، $Y_i =$ مقادیر متغیر Y در یک نمونه، $\bar{Y} =$ میانگین مقادیر متغیر Y .

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات LST و SUHI

نتایج نقشه‌های LST و SUHI کلانشهر تبریز در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که محدوده مورد مطالعه از نظر دمایی تنوع قابل توجهی دارد. حداقل و حداکثر متوسط LST به ترتیب ۹/۷۵ و ۴۶/۵۷ درجه سانتی‌گراد در طول فصول بهار و تابستان می‌باشد. نقشه متوسط LST نشان می‌دهد که گرم‌ترین نقاط در شمال شهر (زمین‌های بایر، نزدیکی فرودگاه و پارک ارم) و سردترین نقاط در شرق شهر (به دلیل تراکم و طبقات ساختمانی) قرار دارند. این امر به دلیل پوشش گیاهی پراکنده در شمال و تراکم ساختمانی در شرق شهر قابل توجیه است. با وجود پوشش فضای سبز محدوده حکم‌آباد در شمال شرق تبریز، این محدوده دارای دمای بیشتری می‌باشد، دلیل آن را می‌توان به وجود مناطق بایر در اطراف آن محدوده، نزدیکی به فرودگاه که در طول روز رفت و آمد بیشتری بوده و همچنین همجواری آن با شهرک‌های صنعتی می‌باشد. نقشه‌های SUHI نیز مشابه نقشه‌های LST می‌باشد. حداکثر و حداقل UHII به ترتیب ۹/۰۷ و ۲۰/۴۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این امر نشان‌دهنده اختلاف دمای قابل توجه بین شهر و مناطق حومه آن است. با بررسی نمودار مورد نظر می‌توان گفت که در

فصل بهار میزان SUHI بیشتر از فصل تابستان می باشد که علت آن را می توان سبزینگی بیشتر درختان و فضای سبز در فصل تابستان نسبت به حومه شهر و بالا بودن سرعت باد در فصل تابستان دانست.



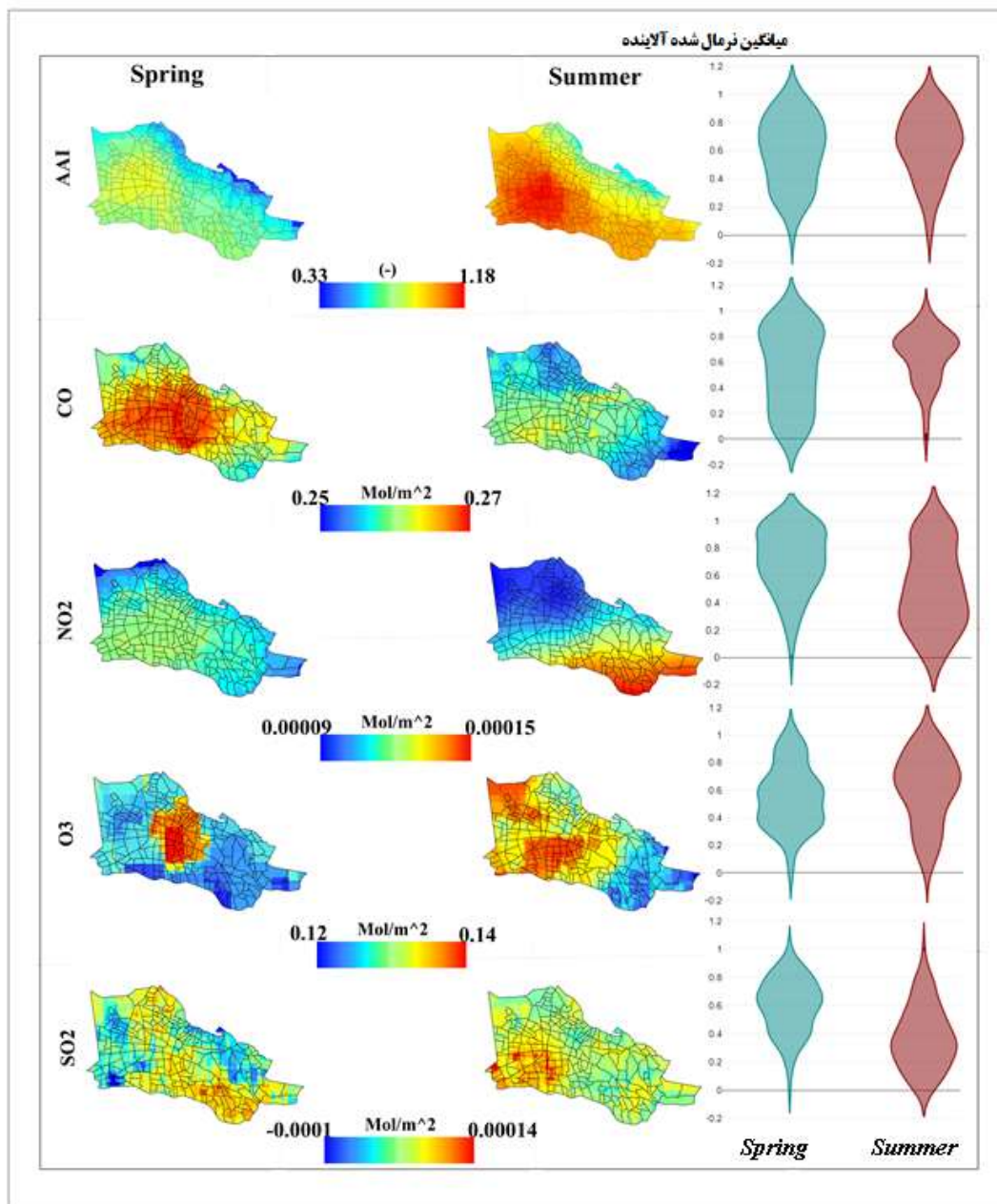
شکل (۲): نقشه های LST و SUHI در طول فصول بهار و تابستان

Fig 2. LST and SUHI maps during spring and summer seasons

۳-۲- تغییرات میانگین فصلی آلاینده های هوا

میانگین فصلی (فصل بهار و تابستان) آلاینده های هوای کلانشهر تبریز برای سال ۲۰۲۳ در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج بدین صورت است که میزان آلاینده AAI بین ۰/۳۳ تا ۱/۱۸ قرار دارد که بیشترین مقدار این آلاینده در فصل تابستان و کمترین غلظت آن نیز در فصل بهار بوده است. با مشاهده نقشه مورد نظر می توان بیان کرد که بیشترین مقدار AAI در قسمت جنوب غربی محدوده مورد مطالعه متراکم شده است که علت اصلی آن جهت باد می باشد (جهت باد در تبریز از غرب

به شرق است). نتایج آلاینده CO نیز بیانگر این مطلب است که حداقل و حداکثر مقدار CO به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۲۷ mol/m² بوده است. آلاینده CO تقریباً در کل شهر پراکنده شده است که در فصل بهار نسبت به فصل تابستان شدت آن بیشتر است. آلاینده NO₂ نیز در فصل بهار در بخش‌های مرکز شهر و جنوب غرب شهر متراکم بوده که در فصل تابستان بیشتر در جنوب و جنوب شرق کلانشهر تبریز متمرکز بوده است که علت آن را می‌توان پارک آل‌گولی و رفت و آمد مسافران و مردم محلی و به تبع آن افزایش تردد (دود ناشی تردد خودروها) و وجود تبخیر و تعرق در اون بخش از محدوده دانست. نتایج O₃ نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر مقدار O₃ به ترتیب برابر با ۰/۱۲ و ۰/۱۴ mol/m² بوده است که در فصل بهار این آلاینده در همجواری دانشگاه تبریز و در فصل تابستان تقریباً بیش از نیمه غربی محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شود. نتایج آلاینده SO₂ نیز بیانگر این است که در هر دو فصل بهار و تابستان این آلاینده در تمامی منطقه مورد مطالعه پراکنده شده است که در فصل بهار در قسمت جنوبی محدوده مورد مطالعه و در فصل تابستان در بخش جنوب غربی کلانشهر تبریز متراکم بوده است. براساس نمودارهای ویلون می‌توان گفت که هر چه نمودار پهن‌تر باشد، توزیع داده‌ها پراکنده‌تر است و برعکس هر چه نمودار باریک‌تر باشد نشان دهنده متمرکزتر بودن داده‌ها در پهنه‌ی خاص است. به عنوان مثال در نمودار NO₂ همانطور که مشاهده می‌شود، ویلون پلات مربوط به مقادیر NO₂ در بهار پهن‌تر است. این نشان می‌دهد که توزیع مقادیر NO₂ در بهار از توزیع مقادیر NO₂ در تابستان پراکنده‌تر است. در مقابل، ویلون پلات مربوط به مقادیر NO₂ در تابستان باریک‌تر است. این نشان می‌دهد که توزیع مقادیر NO₂ در تابستان متمرکزتر است. در بقیه آلاینده‌ها هم این شرایط صدق می‌کند.



شکل (۳): نقشه‌های آلاینده‌های هوا محدوده مورد مطالعه

Fig 3. Maps of Air Pollutants of the studied area

برای صحت‌سنجی آلاینده‌های حاصل از سنتینل 5p از داده‌های زمینی حاصل از ایستگاه‌های آلوده‌سنجی استفاده شد. بدین صورت که ابتدا از داده‌های مورد نظر میانگین روزانه گرفته شد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی در جدول ۳ داده شده است. نتایج براساس پارامترهای آماری شامل R^2 , RMSE, و R محاسبه شد. براساس جدول مورد نظر بین این دو داده ارتباط نسبتاً خوبی برقرار است، زیرا مقدار R در همه پارامترها بین ۰/۱۶ تا ۰/۹۷ بوده است. بدین معنی که دمای حاصل از ایستگاه زمینی توانسته است ۱۶ تا ۹۷ درصد از آلاینده‌های هوای حاصل از ماهواره را تبیین می‌کند. مقدار RMSE نیز بین ۰/۰۹ تا ۰/۵۲ بوده است.

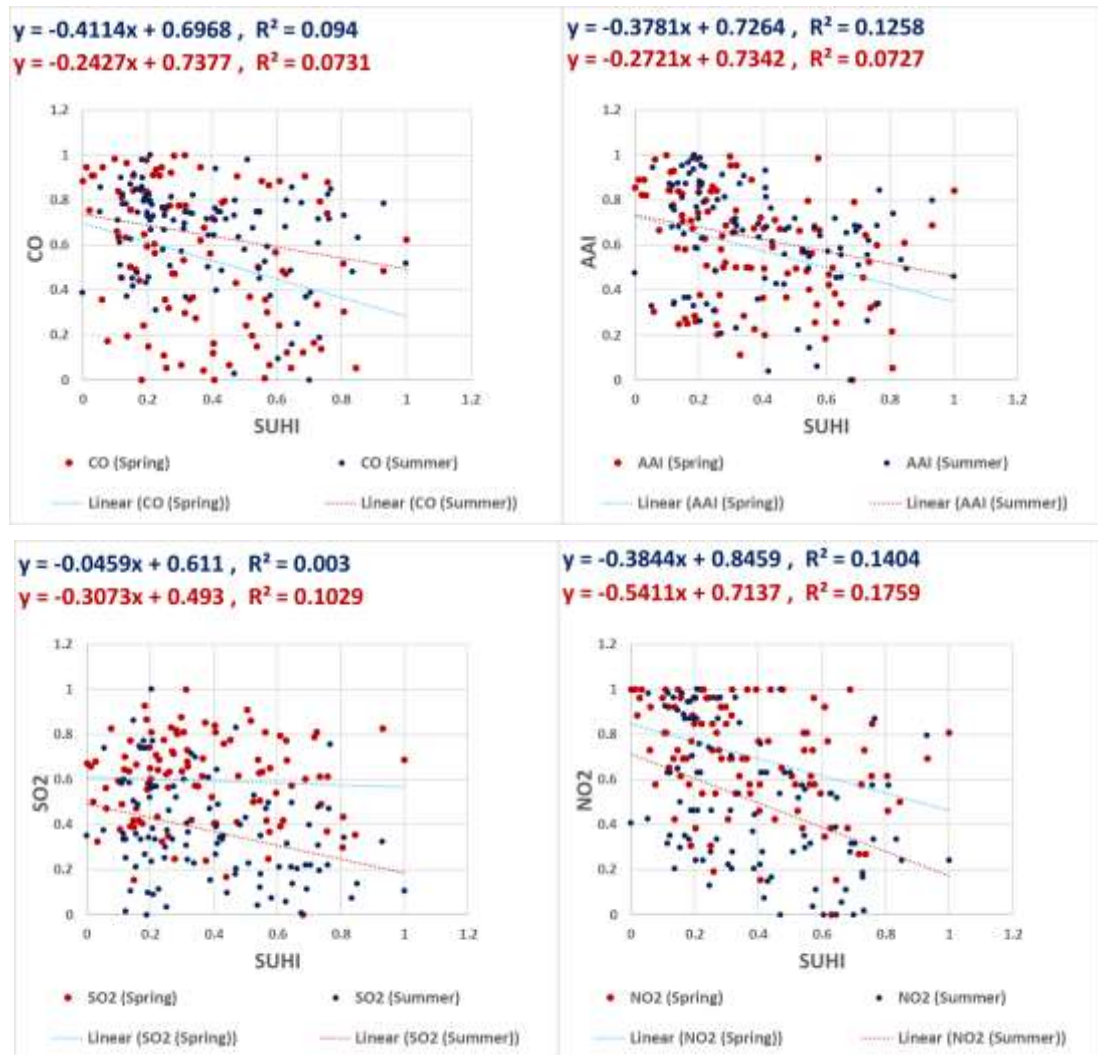
جدول (۳): صحت‌سنجی آلاینده‌های هوای حاصل از تصاویر سنتینل 5P با داده‌های ایستگاهی

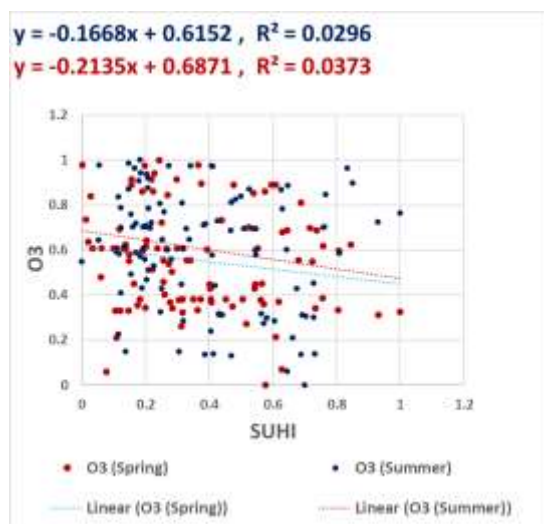
Table 3. Validation of air pollutants from Sentinel 5P images with station data

Statistical Index	R	R2	RMSE
CO_CO2	0.97	0.95	0.09
NO2_NO2	0.18	0.05	0.52
SO2_SO2	0.34	0.12	0.44
O3_O3	0.28	0.18	0.34
PM 2.5_AAI	0.93	0.86	0.21
PM 10_AAI	0.16	0.03	0.48

۳-۴- ارتباط آماری بین SUHI و آلاینده‌های هوا

ارتباط آماری آلاینده‌های هوا با SUHI در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که شیب خط شاخص SUHI با آلاینده AAI به صورت منفی است، بدین معنی که با افزایش شاخص SUHI، شاخص AAI (در بهار و تابستان) به طور پیوسته کاهش می‌یابد. شیب خط AAI در تابستان (۰/۳۷۸۱-) بیشتر از شیب خط AAI در بهار (۰/۲۷۲۱-) است که نشان می‌دهد رابطه بین شاخص SUHI و شاخص AAI در فصل تابستان قوی‌تر از بهار است. ضریب تعیین (R^2) برای هر دو فصل نسبتاً پایین است ۰/۰۷۲۷ برای AAI در بهار و ۰/۱۲۵۸ برای تابستان. این نشان می‌دهد که در فصل بهار حدود ۷/۲۷ درصد از واریانس AAI توسط SUHI تبیین می‌شود که این مقدار در فصل تابستان برابر با ۱۲/۸۵ درصد می‌باشد. به طور خلاصه می‌توان گفت که نمودار پراکندگی نشان می‌دهد که رابطه بین شاخص SUHI و شاخص AAI منفی است. با افزایش شاخص SUHI، شاخص AAI کاهش می‌یابد. با این حال، این رابطه ضعیف است و عوامل دیگری به غیر از شاخص AAI در تبیین شاخص SUHI نقش دارند. با بررسی ارتباط آماری آلاینده‌های دیگر با SUHI می‌توان بیان کرد که رابطه آن‌ها دارای یک رابطه معکوس ضعیف می‌باشد. بدین معنی که با افزایش SUHI مقادیر آلاینده‌های دیگر کاهش پیدا می‌کند. با این وجود رابطه آلاینده NO2 با SUHI نسبت به دیگر آلاینده‌ها بیشتر است. برای تعیین شدت رابطه از R^2 استفاده شد که مقدار آن برای NO2 در فصل بهار و تابستان به ترتیب ۰/۱۷۵۹ و ۰/۱۴۰۴ می‌باشد. مقدار R^2 برای آلاینده‌های دیگر تقریباً بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۱۰۲۹ بوده است. در کل می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که رابطه SUHI با آلاینده‌های هوا در کلانشهر تبریز یک رابطه معکوس ضعیف می‌باشد (شکل ۴).





شکل (۴): نتایج ارتباط آماری آلاینده‌های هوا با SUHI

Fig 4. The results of the Statistical relationship of air pollutants with SUHI

۳-۵- تحلیل ANOVA

جدول ۴ تحلیل ANOVA را برای SUHI و آلاینده‌های هوا در فصل بهار و تابستان نشان می‌دهد. مطابق جدول زیر بین این دو متغیر ضریب همبستگی بین ۰/۸۱ تا ۰/۸۷ در نوسان است. با توجه به سطح بالای مربوط به آماره F (بین ۴۰/۳ تا ۶۵/۵۶) و سطح معنی‌داری پایین P_value به مقدار ۰/۰۰۰ به جز SO2 در فصل تابستان و CO و O3 در بهار می‌توان فرض فرض یک را تایید کرد. به عبارتی دیگر می‌توان گفت بین این دو متغیر رابطه معنی‌داری وجود دارد که این رابطه معنی‌دار در فصل تابستان نسبت به فصل بهار بیشتر بوده است. بالا بودن اعداد آماره T نیز بیانگر رابطه معنی‌داری بودن این دو متغیر می‌باشد (جدول ۴).

جدول (۴): تحلیل ANOVA، SUHI با آلاینده‌های هوا

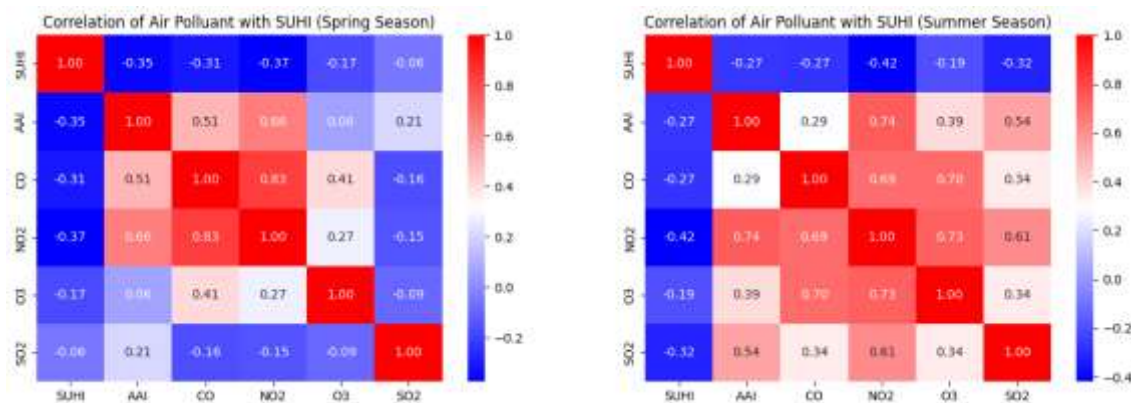
Table 4. ANOVA analysis of SUHI with air pollutants

پارامترهای آماری								
فصل	بهار		تابستان		بهار		تابستان	
R	0.81		0.87					
R2	0.67		0.76					
Adjusted R2	0.64		0.74					
Standard Error	0.25		0.22					
تحلیل واریانس یا ANOVA								
فصل	df		SS		MS		F	
	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان

Regression	5	5	13.01	16.04	2.6	3.21	40.3	65.56
Residual	99	99	6.3	4.84	0.06	0.05		
Total	104	104	19.4	20.88				
Coefficients								
	Coefficient		Standard Error		t		P-value	
فصل	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان
AAI	-0.28	0.63	0.15	0.11	-1.87	5.73	0.04	0.00
CO	-0.24	0.42	0.15	0.13	-1.66	3.28	0.10	0.00
NO2	0.41	-1.07	0.19	0.14	2.16	-7.78	0.03	0.00
O3	0.17	0.41	0.11	0.13	1.50	3.05	0.14	0.00
SO2	0.43	0.00	0.11	0.13	3.92	-0.02	0.00	0.98

۵-۳- همبستگی آلاینده‌های هوا با SUHI

ضرایب همبستگی بین آلاینده‌های هوا با SUHI در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس ماتریس فصل بهار، همبستگی SUHI با آلاینده‌های هوا دارای همبستگی معکوس می‌باشد. قوی‌ترین همبستگی منفی، بین SUHI و NO₂ با R برابر با ۰/۳۷- مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که با افزایش دمای جزیره حرارتی شهری، غلظت NO₂ کاهش می‌یابد و برعکس. همبستگی منفی بین SUHI با AAI و CO به ترتیب برابر با ۰/۳۵- و ۰/۳۱- بوده است. رابطه آلاینده‌های O₃ و SO₂ با SUHI خیلی ضعیف بوده که مقدار R به ترتیب برابر با ۰/۱۷- و ۰/۰۶- می‌باشد. در فصل تابستان نیز الگوی همبستگی مشابه فصل بهار است. با این تفاوت که شدت همبستگی، O₃، NO₂ و SO₂ نسبت به فصل بهار بیشتر شده و CO و AAI کمتر شده است. بیشترین همبستگی در این فصل نیز بین SUHI و NO₂ بوده است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که بین SUHI و آلاینده‌های هوا، به خصوص NO₂، همبستگی منفی نسبتاً خوبی وجود دارد. این به این معنی است که با افزایش دمای جزیره حرارتی شهری، غلظت آلاینده‌های هوا کاهش می‌یابد. دلایل مختلفی برای این همبستگی منفی وجود دارد. یکی از این دلایل می‌تواند افزایش سرعت باد در مناطق گرم‌تر باشد. باد می‌تواند به پراکنده شدن آلاینده‌ها در هوا و کاهش غلظت آنها کمک کند. دلیل دیگر می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق در مناطق گرم‌تر باشد. تبخیر و تعرق می‌تواند ذرات آلاینده را از هوا پاک کند.



شکل (۵): نتایج همبستگی SUHI با آلاینده‌های هوا

Fig 5. SUHI correlation results with air pollutants

۴- نتیجه گیری

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در مطالعات شهرها می‌باشد. آلودگی هوا نیز یکی از علل ایجاد جزیره حرارتی شهر است که در شهرهای بزرگ به دلیل تراکم بالای جمعیت و به دنبال آن افزایش تعداد روزهای آلوده، رخداد آن در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی ارتباط بین SUHI و آلاینده‌های هوای کلانشهر تبریز می‌باشد. بر همین اساس از تصاویر لندست و سنتینل 5p و از الگوریتم پنجره مجزا و الگوریتم شاخص SUHI برای محاسبه LST و جزایر حرارتی شهری و آلاینده‌های هوا مثل AAI، CO، NO₂، SO₂ و O₃ استفاده گردید. نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار متوسط LST (در فصول بهار و تابستان) برابر با ۹/۷۵ تا ۴۶/۵۷ درجه سانتی گراد بوده است که قسمت‌های شمالی گرم‌ترین و قسمت‌های شرق محدوده مورد مطالعه دارای سردترین بخش بودند. نتایج SUHI نیز نشان داد که میزان آن در فصل تابستان کمتر از فصل بهار بوده است. نتایج آلاینده‌های هوا در کلانشهر تبریز نشان داد که بیشترین مقدار آلاینده AAI در فصل تابستان بوده است در حالی که آلاینده CO برعکس AAI بوده است. بدین معنی که این آلاینده در فصل بهار بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. آلاینده‌های دیگر نیز در هر دو فصل در بخش‌های مختلف محدوده شهر پراکنده شده است. نتایج ارتباط آماری نشان داد که رابطه SUHI با آلاینده‌های هوا به صورت معکوس یا منفی بوده است که صحت این ادعا براساس R² تایید گردید. همچنین تحلیل ANOVA نشان داد که بالا بودن مقدار آماره F (بین ۴۰/۳ تا ۶۵/۵۶) و سطح معنی‌داری پایین P_value به مقدار ۰/۰۰۰ می‌توان گفت که بین این دو متغیر رابطه معنی‌داری وجود دارد که این رابطه معنی‌دار در فصل تابستان نسبت به فصل بهار بیشتر بوده است. بالا بودن اعداد آماره T نیز بیانگر رابطه معنی‌داری بودن این دو متغیر می‌باشد. در نهایت همبستگی پیرسون آلاینده‌های هوا با SUHI نشان داد که همه آلاینده‌های هوا با SUHI همبستگی منفی ضعیف و نسبتاً ضعیفی داشتند که همبستگی NO₂ با SUHI نسبت به بقیه آلاینده‌ها بیشتر بوده است که براساس مقدار R مشخص گردیده است. نتایج این مطالعه با مطالعات مزیدی و همکاران (۱۴۰۲) که نشان داد روابط همبستگی

بین دمای سطح زمین با آلاینده های هوا در سطح معناداری ۰/۰۱ تایید شد که در تابستان ضرایب همبستگی مذکور قوی تر و آلودگی نیز افزایش یافته است و هادی پور و همکاران (۱۳۹۸) که نتایج آن‌ها نشان دهنده همبستگی بین دمای هوا با LST داده‌های کیفیت هوا شامل ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود، مطابقت دارد.

۵-منابع

- انصاری، محمد رضا، نوروزی، آذین. (۱۴۰۲). بررسی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر اهواز. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، (3)34، 141-166.
- آروین، عباسعلی. (۱۳۹۷). بررسی جزیره حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شهر اصفهان. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۷(۲۵)، ۱۱۵-۱۲۹.
- بختیاری، ساجده، میر احمدی، مژده، گلستانی کرمانی، سودابه، بختیاری، بهرام. (۱۴۰۰). شناسایی روند تغییرات دمای هوا و خاک با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در سه ایستگاه هم‌دیدگی جنوب شرق کشور. نیوار، (112-113)45، 16-27.
- پناهی، علی. (۱۳۹۷). بررسی ارتباط بین آلاینده های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در اینورژهای شدید شهر تبریز. فضای جغرافیایی، ۱۸ (۶۲): ۶۳-۷۶.
- پهلوان زاده، نوشین، جانعلی پور، میلاد، عباس زاده طهرانی، نادیا، فرهنگ، فریناز. (۱۳۹۸). بهبود صحت استخراج دمای سطح زمین از باندهای حرارتی ماهواره لندست با استفاده از رگرسیون خطی و مشاهدات زمینی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، (3)30، 59-78.
- شیخی، حجت، ملک محمدی، رضا. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی- مکانی دمای سطح زمین در اراضی شهری با استفاده از داده های سنجش از دور و GIS مطالعه موردی: شهر ایلام. (مجله علمی " آمایش سرزمین "، (1)15، 165-186.
- صدرموسوی، میرستار، رحیمی، اکبر. (۱۳۸۹). مقایسه نتایج شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه با رگرسیون چندگانه در پیش‌بینی غلظت ازن در شهر تبریز. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (71)42، -.
- صدرموسوی، میرستار، و رحیمی، اکبر. (۱۳۸۷). ارزیابی کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی منوکسید کربن در هوای شهر تبریز. منابع طبیعی ایران، ۶۱(۳)، ۶۸۱-۶۹۱.
- عرب، نرگس، سلمان ماهینی، عبدالرسول، میکاییلی تبریزی، علیرضا، ویته، توما. (۱۴۰۱). تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره - مطالعه موردی: شهر مشهد. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، (124)31، 53-73.

فیضی زاده، بختیار، دیده بان، خلیل، غلام نیا، خلیل. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲۵(۹۸)، ۱۷۱-۱۸۱.

قربانی، سمیرا، مدرس، رضا (۱۳۹۸). مدل سازی رابطه فراوانی طوفان های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی فصل تابستان در مناطق بیابانی ایران. علوم آب و خاک؛ ۲۳ (۳): ۱۲۵-۱۴۰.

محمدخورشید دوست، علی، محمدی، غلام حسن، عقلمند، فریبا، حسینی صدر، عاطفه. (۱۳۹۷). تحلیل آماری- توصیفی ارتباط پارامترهای جوی با آلودگی هوای شهر تبریز. مدیریت مخاطرات محیطی، ۵(۲)، 217-230.

مزیدی، احمد، روستا، ایمان، محمدی راوری، فروغ. (۱۴۰۲). تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با آلودگی هوا با سنجش از دور در شهر کرمان. پژوهش های تغییرات آب و هوایی، ۱۴(۱۴)، 103-120.

مسعودیان، سیدابوالفضل، و منتظری، مجید. (۱۳۹۹). رفتار زمانی - مکانی جزیره ی گرمایی کلانشهر اصفهان. مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۴)، ۳۵-۴۶.

میکائیلی حاجی کندی، خدیجه، سبحانی، بهروز، ورامش، سعید. (۱۴۰۰). آشکار سازی تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای و داده های واقعی و ارتباط آن با پوشش اراضی بخش جنوبی دریاچه ارومیه. فصل نامه تحقیقات جغرافیایی؛ ۳۶ (۲): ۱۹۱-۲۰۳.

ناجی دومیرانی، صادق، ضیائیان، پرویز، سدیدی، جواد، و رحیمی، کامران. (۱۳۹۶). محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم split window و تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). همایش ملی ژئوماتیک.

نوروزی، آذین، نوروزی، الدوز. (۱۴۰۲). کاربرد الگوریتم پنجره مجزا در شناسایی جزایر حرارتی شهرستان یزد. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۱)، 115-129.

هادی پور، مهرداد، دارابی، حمید، داودی راد، علی اکبر. (۱۳۹۸). بررسی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با شرایط آلودگی هوا و شاخص های NDVI و NDBI در شهر اراک. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲۸(۱۱۲)، 249-264.

- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment*, 113(12), 2606-2617.
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). Examining urban heat island relations to land use and air pollution: Multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1749-1756.
- Huang, X., Li, J., Yang, J., Zhang, Z., Li, D., Liu, X., 2021. "30 m global impervious surface area dynamics and urban expansion pattern observed by Landsat satellites: from 1972 to 2019". *Sci. China Earth Sci.* 64, 1922–1933. <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9797-9>
- Liu, L., Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: a case study in Hong Kong". *Remote Sensing*, 3(7), 1535-1552.
- 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.
- Ying, D., Huihui, F., Bin, Z & Yunfeng, N. (2022). Heterogeneous air pollution controls its correlation to urban heat island: A satellite perspective". *Advances in Space Research*, Volume (69). Pages 4252-4262. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.03.027>.
- Yuanyuan, W., Zhongyang, G & Ji, H. (2021). "The relationship between urban heat island and air pollutants and them with influencing factors in the Yangtze River Delta, China". *Ecological Indicators*, Volume(129). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107976>.
- 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 relationship between SUHI and air pollutants in Tabriz metropolis

Abstract

The aim of this research is to investigate the relationship between urban surface heat islands and air pollutants in Tabriz metropolis. Landsat 8 and 9 images were used to calculate land surface temperature (LST) and urban surface heat islands (SUHI) from Sentinel 5p images for air pollutants in 2023 in spring and summer. The separate window (SW) algorithm was used for LST and the SUHI algorithm was used to calculate the urban surface heat island. ANOVA analysis and Pearson correlation were used for the relationship between SUHI and air pollutants. The results showed that the value of LST and SUHI in the studied area was in the range of 9.75 to 46.57, -20.48 and 9.07 degrees Celsius, respectively, and the value of SUHI was higher in spring than in summer. The results of air pollutants, aerosol absorption index (AAI), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂) and ozone (O₃) showed that the concentration of pollutants in the central parts South, southwest of the study area has been dense. The statistical relationship between air pollutants and SUHI shows a weak inverse relationship between these two variables with R² equal to 0.003 to 0.14. Also, ANOVA analysis showed that the high value of F statistic (between 40.3 and 65.56) and the low significance level of P_value at 0.000 can be said that there is a significant relationship between these two variables. The high number of T statistic also indicates the significance of these two variables. The Pearson correlation results showed that the correlation of NO₂ with SUHI with R equal to -0.37 and -0.42 in spring and summer, respectively, was higher than other pollutants.

Keywords: Surface Urban heat islands (SUHI), air pollutants, ANOVA analysis, Pearson correlation, Tabriz metropolis.