نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

صفحات ۹۷ – ۱۱۴

ارزیابی میزان تاثیر ذرات معلق و پوشش‌گیاهی بر تشکیل جزایر گرمایی و خنک در شهر تهران

سید کامیار مرتضوی اصل؛ دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امارات متحده عربی.

دکتر نوید سعیدی رضوانی؛[1] استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

محمود رضایی؛ دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکزی، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۰۶/۱۲ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۳/۱۷

چکیده

گرمایش جهانی و جزایر حراتی شهرها یکی از بزرگ‌ترین چالش های جهان امروز است. جزایر سرمایی(جزایر خنک) واژه‌ایست که در مقابل جزایر گرمایی قرار می‌گیرد و بیان کننده مناطقی از سطح شهر است که نسبت به نواحی اطراف دارای دمای پایین-تری است. در این تحقیق برای بررسی عوامل موثر بر شکل‌گیری جزایر خنک و گرمایی شهری، ابتدا با استفاده از پردازش تصاویر لندست و استفاده از الگوریتم تک‌کانل دمای سطح زمین به‌دست آمد. سپس برای بررسی پارامترهای موثر بر تغییرات دمای سطح زمین؛ معیارهای تغییرات ذرات معلق و تغییرات پوشش‌گیاهی درنظر گرفته شد. برای پوشش‌گیاهی از شاخص NDVI و برای میزان ذرات معلق از الگوریتم ارائه شده توسط ساراسوات(Saraswat) و همکاران استفاده شد. مطابق نتایج، بالاترین میزان جزیره‌حرارتی به ترتیب در محله بوستان ولایت، شهرک شهید باقری و فرودگاه بودند و پایین‌ترین میزان جزایر خنک به ترتیب در بهاران، نیاوران و دربند بود. ضریب پیرسون به‌دست آمده از رابطه بین دمای سطح و پوشش‌گیاهی ۲۱.۲۹- درصد بود که نشان دهنده رابطه معکوس بین دما و پوشش‌گیاهی است، همچنین میزان شاخص پوشش‌گیاهی در مناطق گرم و سرد بیانگر این موضوع است. در خصوص رابطه دمای سطح زمین و آلودگی هوا، همبستگی بین این دو پارامتر، برابر با ۱۹.۳۱ درصد بود و مقایسه میزان شاخص آلودگی در مناطق دارای جزایر خنک و گرم نشان داد که رابطه معناداری بین کاهش آلاینده-های هوا و جزایر خنک وجود دارد اما عکس این قضیه چندان صادق نیست.

واژه های کلیدی: جزایر خنک، شهر تهران، LST، آلودگی‌هوا.

[1] . نویسنده مسئول: Email: navidsaeidirezvani@yahoo.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

مقدمه

با توسعه شهرنشینی، وسعت زیادی از مناطق کشاورزی و جنگل جای خود را به مناطق مسکونی، صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها می‌دهند، این روند شامل تبدیل چشم انداز طبیعی به چشم انداز مصنوعی است(هادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). آلودگی هوا یکی از علل ایجاد جزیره حرارتی شهر است که در شهرهای بزرگ به دلیل تراکم بالای جمعیت، رخداد آن در سالهای اخیر رو به افزایش بوده است(آروین، ۱۳۹۷). در کنار تحقیقات جزیره حرارتی، تحقیقات زیادی در مورد جزایر خنک انجام شده است که بر کاهش جزایر گرمایی با برنامه‌ریزی چشم‌انداز موثر تأکید می‌کند و نتایج آن‌ها نشان داده است که پارک‌های جنگلی شهری می توانند اثر جزایر خنک شهری را ایجاد کنند(Wang et al., ۲۰۱۸).

تغییر کاربری زمین و تشکیل کاربری شهری، نقش مهمی در تغییرات آب و هوا و کیفیت هوا منطقه ایفا می‌کند؛ تغییرات در سطح شهری، ویژگی های دینامیکی و حرارتی سطح را تغییر می دهد(Liao, ۲۰۱۵). در سالهای اخیر با افزایش تعداد شهرهای بزرگ بر میزان بروز مه بر روی شهرها افزوده شده است؛ با این حال، افزایش جمعیت منجر به آلودگی هوا می شود که در نوع بحث برانگیز است(Lu et al., ۲۰۲۱). با سرعت بخشیدن به گسترش شهرها، اخیراً مطالعات زیادی برای بررسی تأثیرات شهرنشینی بر آب و هوا و کیفیت هوا در منطقه انجام شده است. تاثیر تغییر کاربری زمین بر آب و هوای منطقه به طور گسترده با استفاده از مدل های مقیاس بین عددی مورد بررسی قرار می گیرد که عمدتا بر جزایر گرمایی شهری (UHI) تمرکز می کند(Erell and Williamson, ۲۰۰۷, Stewart, ۲۰۱۱, Wang et al., ۲۰۰۹).

پوشش گیاهی نقش اساسی در بهبود محیط های شهری و افزایش سلامت جسمی و روحی ساکنان دارد(Zhong et al., ۲۰۱۹). پوشش گیاهی شهری می تواند مزایای متعدد زیست محیطی ایجاد کند، که به عنوان مثال می‌توان به کاهش آلودگی هوا و تأثیر جزایر گرمایی شهری، افزایش ذخیره کربن زمینی و بهبود صرفه جویی در انرژی، کاهش رواناب، طوفان و... اشاره کرد(Chakraborty & Lee., ۲۰۱۹ Akbari, ۲۰۰۲ Cerrai et al., ۲۰۱۹; Liu et al., ۲۰۱۸; Ko., ۲۰۱۸; Harper et al., ۲۰۱۸) پوشش گیاهی می‌تواند نور مستقیم خورشید و گرما را به دلیل وجود آب در بافت‌های خود جذب و حفظ کند بدون دمای محیط بیفزاید؛ بنابراین، دارای اثر خنک کننده بر روی محیط است که و افزایش دما جلوگیری می‌کند(Misni, ۲۰۱۸; Ullah & Wadood, ۲۰۲۰).

در داخل محیط شهری نیز مناطقی که دارای دمای بالاتر از محدوده دمای میانگین به‌عنوان جزیره گرمایی و مناطقی که دمای کمتر از میانگین را دارند بعنوان جزایر خنک یا سرمایی شناخته می‌شوند. بیشترین روش‌های مورد استفاده برای کاهش اثر جزایر گرمایی و تبدیل آن به جزایر خنک، شامل افزایش پوشش‌گیاهی شهری، استفاده از مواد خنک در سطوح(مانند رنگ‌های انعکاس دهنده) و تغییر هندسه شهری است؛ که تغییر هندسه شهری، مانند بهینه-سازی جهت‌گیری خیابان و ساختمان، می‌تواند از دو روش دیگر موثرتر است(Farhadi et al., ۲۰۱۹; Liu & Morawska, ۲۰۲۰). شهر تهران به‌عنوان پایتخت کشور آمیخته‌ای از فرهنگی صنعتی شده است که باعث آلودگی هوا و جایگزینی پوشش‌گیاهی با ساختمان‌هاست.

در خصوص جزایر خنک شهری در ایران نه‌تنها مطالعات بسیار معدودی انجام شده است، بلکه این مطالعات صرفا به جنبه‌های کیفی مطالعه پرداختند که از جمله آنها می‌توان به مطالعه اشرفی و همکاران(۱۳۹۱)؛ روستا و عبادی(۱۳۹۸) اشاره کرد. در تحقیقات بین‌المللی یه بیشتر به این موضوع پرداخته شده است که از جمله آنها می‌توان به مطالعه مارتینز و همکاران(Martins et al., ۲۰۱۶) در فرانسه؛ یانگ و همکاران (Yang et al., ۲۰۱۷) در هنگ-

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

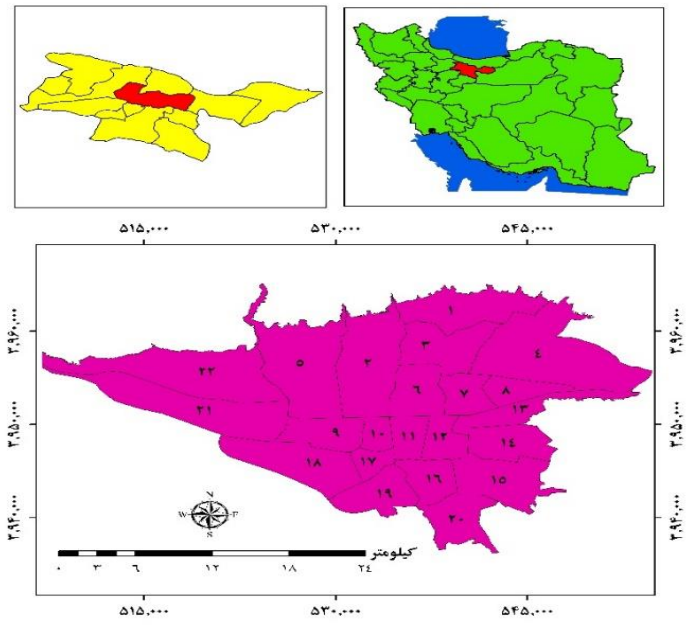
کنگ؛ تی‌ویس و همکاران (Theeuwes et al., ۲۰۱۵) در سوئیس و گویند و رامش (Govind & Ramesh., ۲۰۱۹) در هند اشاره کرد.

هدف از این مقاله، بررسی تاثیر آلودگی هوا و پوشش‌گیاهی در ایجاد جزایر خنک و گرمایی در سطح شهر تهران است. این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری کمک کند تا با توجه به این دو پارامتر به برای تبدیل جزایر گرمایی به جزایر خنک برنامه‌ریزی کنند.

داده‌ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

شهر تهران در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی قرار دارد. این شهر از دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز تا حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران واقع شده است. هرچه از جنوب این شهر به سمت شمال پیش برویم به ارتفاعات این شهر اضافه می‌شود؛ به‌گونه‌ای که ارتفاع جنوب این شهر ۱۰۵۰ متر و ارتفاع مرکز آن ۱۲۰۰ متر و ارتفاع شمال شهر ۱۸۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد است. تهران بازرترین و پرجمعیت‌ترین شهر ایران با حدود ۱۱ میلیون جمعیت و بیست و پنجمین شهر پرجمعیت جهان با مساحتی حدود ۷۳۱ کیلومتر مربع است(کریمی و همکاران، ۱۳۹۸). موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نقشه نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت کلانشهر تهران

- **روش‌کار**

در این مقاله برای بررسی و ارزیابی ارتباط و نحوه تاثیر پوشش‌گیاهی و آلودگی هوا بر تشکیل جزایر گرمایی و خنک از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد. ابتدا برای بازیابی دمای سطح زمین در شهر تهران از تصاویر لندست ۸ به تاریخ ۲۰۲۰/۰۷/۰۱ (۱۱ تیرماه ۱۳۹۹) استفاده شد. برای تبدیل تصاویر خام اطلاعات قابل تفسیر دمای سطح زمین ابتدا بایستی برخی پیش پردازش‌ها اعمال گردد که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

به‌دست آوردن رادیانس طیفی: برای تبدیل ارزش‌های پیکسل به رادیانس طیفی در سنجنده برای تصاویر لندست ۸ از رابطهٔ ۱ استفاده شد (زانتر[۲]، ۲۰۱۶: ۶۸).

$$L_\lambda = ML \times Q_{CAL} + AL \qquad (۱)$$

که در آن، L_λ رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده [W/ (m^2sr µm)]، ML فاکتور تبدیل ضربی، Q_{CAL} مقادیر پیکسل محصول استاندارد کوانتیزه شده و کالیبره‌شده (DN)، AL ضریب تبدیل جمعی ماست. در جدول ۱ مقادیر ضریب‌های ضربی و جمعی تابش در بالای اتمسفر برای باندهای مختلف سنجنده OLI/TIRS (لندست ۸) ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر ضریب‌های ضربی و جمعی برای باندهای مختلف سنجنده OLI/TIRS (علوی‌پناه، ۱۳۹۴: ۶)

ضریب	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷	باند ۸	باند ۹	باند ۱۰	باند ۱۱
ML	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱	۰/.۱۲.۸	۰/۰۱۰	۰/۰۶۳	۰/۰۱۵	۰/۰۵۲	۰/۰۱۱	۰/۰۲۴	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳
AL	-۶۴/۵	۳	-۶۰/۸	۲	-۳۱/۴	۶	۶	۶	۵	۴	۴
		-۶۶		-۵۱/۳		-۷/۸	-۲/۶۳	-۵۸/۱	-۱۲/۲	۰/۱	۰/۱

به‌دست آوردن ضریب انعکاس: ضریب انعکاس برای لندست ۸ سنجنده (OLI) از رابطهٔ ۲ تعیین گردید (زانتر،۲۰۱۶: ۶۸).

$$\rho\lambda' = M\ \rho \times Q_{CAL} + A\rho \qquad (۲)$$

که در آن، $\rho\lambda'$ بازتاب سیاره‌ای، $M\rho$ فاکتور تبدیل ضربی (۰/۰۰۰۰۲)، Q_{CAL} مقادیر پیکسل محصول استاندارد کوانتیزه‌شده و کالیبره‌شده (DN)، $A\rho$ ضریب تبدیل جمعی (۰/۱) است.

به‌دست آوردن دمای درخشندگی: در این تحقیق دمای درخشندگی با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود(Chander et al., ۲۰۰۹).

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda}+1\right)} \qquad (۳)$$

که در آن T دمای درخشندگی در سطح سنجنده برحسب کلوین(K)، Lλ تابش طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده [W/(m^2 sr µm)]، K۲ ضریب کالیبراسیون برحسب کلوین، K۱ ضریب کالیبراسیون برحسب [W/(m^2 sr µm)] است. برای لندست OLI/TIRS ، K_2 ضریب کالیبراسیون برحسب کلوین (۷۷۷/۸۹ برای باند ۱۰ و ۴۸۰/۸۹ برای باند ۱۱) و K_1 ضریب کالیبراسیون برحسب [W/(m^2 Sr µm)] (۱۳۲۱/۰۸ برای باند ۱۰ و ۱۲۰۱/۱۴ برای باند ۱۱). ضرایب K۱ و K۲ برای سنجنده‌های مختلف لندست در جدول ۲ نمایش داده شده است.

[۲] - Zanter

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

جدول ۲. ضرایب K۱ و K۲ برای سنجنده‌های مختلف لندست (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۷)

ضریب/ سنجنده	لندست ۴ و۵ TM	لندست ۷ ETM+	لندست ۸ باند ۱۰	لندست ۸ باند ۱۱
K۱[W/(m۲ Sr µm)]	۶۰۷/۷۶	۶۶۶/۰۹	۱۳۲۱/۰۸	۱۲۰۱/۱۴
K۲ [kelvin]	۱۲۶۰/۵۶	۱۲۸۲/۷۱	۷۷۷/۸۹	۴۸۰/۸۹

محاسبهٔ توان تشعشعی سطح زمین (LSE): محاسبهٔ دمای سطح زمین نیازمند دانش پیرامون توان تشعشعی سطح زمین[۳] (LSE) است. در این روش توان‌تشعشعی با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده در باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک سنجنده‌های لندست [برآورد بازتاب و یا شاخص‌های پوشش گیاهی(NDVI)] با توجه به کسری پوشش گیاهی (FVC)[۴] از روش پیشنهادی (سوبرینو و جیمز-مونز[۵]، ۲۰۰۸: ۳۱۶) به‌دست می‌آید. بنابراین ابتدا باید شاخص NDVI و سپس کسری پوشش گیاهی (FVC) و در نهایت توان‌تشعشعی را محاسبه می‌شود.

محاسبهٔ شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI): شاخص NDVI از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود (لن‌نی و همکاران[۶]، ۱۹۹۶: ۱۱).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (۴)$$

که در آن، ρ_{NIR} بازتاب باند مادون قرمز نزدیک و ρ_{RED} بازتاب باند قرمز است.

محاسبهٔ کسر پوشش‌گیاهی (FVC): برای به‌دست آوردن کسر پوشش‌گیاهی، با استفاده از رابطهٔ ۵ قرار می‌گیرد. این عملیات خطی می‌تواند خطای رخداده در عملیات کالیبراسیون و تصحیح اتمسفری را کاهش دهد (امیری و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۶۰۹).

$$FVC = \left[\frac{NDVI - NDV\ I_{min}}{NDV\ I_{max} - NDV\ I_{min}} \right]^2 \quad (۵)$$

که در آن NDVImin مربوط به کمترین مقدار NDVI (خاک خشک) و NDVImax مربوط به بیشترین مقدار NDVI (پوشش گیاهی متراکم) است.

محاسبهٔ توان تشعشعی سطح زمین: با محاسبهٔ کسری پوشش‌گیاهی (FVC) توان تشعشعی از رابطهٔ (۶) محاسبه می‌شود (سوبرینو و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۱۸).

(۶)

۳ - Land Surface Emissivity
۴ - Fraction of Vegetation Cover
۵ - Sobrino and Jiménez-Muñoz
۶ - Lenney et al

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

$$\varepsilon = a + b\,\rho_{red} \quad (FVC = 0) \xrightarrow{TIRS\,1} = 0.979 - 0.046 r_{OLI-B4}$$
$$\xrightarrow{TIRS\,2} = 0.982 - 0.027 r_{OLI-B4}$$
$$\varepsilon = \varepsilon_S (1-FVC) + \varepsilon_V FVC \quad (0 < FVC < 1) \xrightarrow{TIRS\,1} = 0.971(1\text{-}FVC) + 0.987FVC$$
$$\xrightarrow{TIRS\,2} = 0.977(1\text{-}FVC) + 0.989FVC$$
$$\varepsilon = 0.99 \quad (FVC = 1)$$

ρ_{red} بازتاب در باند قرمز سنجندهٔ OLI (باند ۴)، a و b ضرایب همبستگی خطی بازتاب باند قرمز با توان تشعشعی، ε_S توان تشعشعی خاک و ε_V توان تشعشعی پوشش گیاهی است.

به‌دست آوردن LST به روش تک کانال (SC): این روش مناسب‌ترین روش برای بازیابی LST از یک کانال منفرد (SC) واقع در منطقهٔ حرارتی طیف الکترومغناطیس برای بازیابی LST از سری ماهواره‌های لندست است. الگوریتم‌های SC را می‌توان به هر یک از دو باند حرارتی لندست ۸ (TIRS) اعمال کرد. با این‌حال، ازآنجاکه TIRS-۱ در منطقهٔ جذب اتمسفر پایین‌تر قرارگرفته است، بهتر است از این باند استفاده شود. الگوریتم SC مورد استفاده برای بازیابی LST از تصاویر حرارتی ماهوارهٔ لندست در این تحقیق توسط جیمز-مونز و همکاران (۲۰۰۹: ۳۳۹) توسعه یافته و بروی تصاویر لندست ۵ و ۷ اعمال شده است. همچنین این الگوریتم توسط جیمز-مونز و همکاران (۲۰۱۴: ۱۸۴۰) بر روی لندست ۸ اعمال شده است. این الگوریتم برای همهٔ لندست به یک شکل و با رابطهٔ ۷ اعمال می‌شود.

$$T_S = \gamma\left[\frac{1}{\varepsilon}\left(\psi_1 L_{sen} + \psi_2\right) + \psi_3\right] + \delta \qquad (۷)$$

که در این، Ts دمای سطح زمین، ε توان تشعشعی سطح زمین و Lsen رادیانس در سطح سنجنده، است. پارامترهای γ و δ از رابطهٔ ۸ به‌دست می‌آیند.

(۸)

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^{\,2}}{b_\gamma L_{sen}}; \qquad \delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^{\,2}}{b_\gamma}$$

که در اینجا، Tsen دمای درخشندگی سطح سنجنده، b_γ (۱۳۲۴ برای لندست ۸) و Ψ_1 ، Ψ_2 و Ψ_3 توابع اتمسفری هستند که با توجه به رابطهٔ ۹ برای لندست ۸ به‌دست می‌آیند.

$$\begin{bmatrix}\psi_1\\ \psi_2\\ \psi_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0.04019 & 0.02916 & 1.01523\\ -0.38333 & -1.50294 & 0.20324\\ 0.00918 & 1.36072 & -0.27514\end{bmatrix}\begin{bmatrix}W^2\\ W\\ 1\end{bmatrix} \qquad (۹)$$

ضرایب C_{ij} توسط شبیه‌سازی به‌دست‌آمده است. W مقدار بخارآب اتمسفر است که از داده‌های رادیوسوند و محصولات مادیس به‌دست می‌آید.

پس از به‌دست‌اوردن دمای سطح، اقدام به بررسی ارتباط آن با دو پارامتر پوشش‌گیاهی و آلودگی هوا شد. برای پوشش‌گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. پارامتر آلودگی، شاخص $PM_{۱۰}$ درنظر گرفته شد. برای این‌کار تهیه نقشه آلودگی از الگوریتم ارائه شده توسط ساراسوات(Saraswat) و همکاران در سال ۲۰۱۷ استفاده شد. آنها ۱۰ الگوریتم مبتنی بر لندست ۸ ارائه دادند که در این تحقیق از الگوریتم دهم که هم بیشترین همبستگی با داده‌های ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی را دارد و هم کمترین خطا را دارد استفاده شد. الگوریتم‌های موردنظر در جدول ۳ ارائه شده است که بعنوان مثال RBand ۱ نشان دهنده میزان بازتاب باند اول سنجنده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

جدول۳. الگوریتم برآورد PM_{10} از تصاویر لندست ۸(Saraswat et al., ۲۰۱۷)

شماره معادله	فرمول	همبستگی	RMSE
۱	$PM_{10} = RBand1(۲۴,۴۵) - ۸۳,۴۱۱۹$	۰,۸۶۲۷	۲۴,۵۸۱۱
۲	$PM_{10} = RBand2(۲۸,۱۲) - ۳۴,۹۲۷۲$	۰,۸۸۲۹	۲۲,۸۲۱۰
۳	$PM_{10} = RBand3(۳۵,۸۱) + ۶۰,۰۳۰۱$	۰,۸۶۴۸	۲۴,۴
۴	$PM_{10} = RBand4(۴۰,۹۲) + ۱۰۸,۸۴۵$	۰,۸۳۲۵	۲۶,۹۲۳۱
۵	$PM_{10} = RBand1(-۲۵,۷۸) + RBand2(۵۹,۸۹) + ۲۴,۱۲۲۶$	۰,۸۸۹۹	۲۲,۱۷۱۲
۶	$PM_{10} = RBand2(۴۳,۴۵) + RBand3(-۲۰,۱۲) - ۸۴,۰۸۱۴$	۰,۸۸۵۵۲	۲۲,۵۸۲۴
۷	$PM_{10} = RBand3(۶۴,۳۹) + RBand4(-۳۴,۴۱) + ۲۵,۵۷۹۶$	۰,۸۷۲۸	۲۳,۷۱۵۷
۸	$P\ PM_{10} = RBand1(-۵۳,۶۹) + RBand2(۱۳۴,۲۶) + RBand3(-۶۰,۷۰) - ۶۰,۲۴۸$	۰,۹۰۵۰	۲۰,۶۶۹۴
۹	$PM_{10} = RBand2(۴۲,۱۱) + RBand3(-۱۵,۹۸) + RBand4(-۲,۹۰) - ۸۲,۵۵۸۵$	۰,۸۸۵۵	۲۲,۵۷۹۰
۱۰	$PM_{10} = RBand1(-۹۴,۲۲) + RBand2(۱۶۶,۴۸) + RBand3(۲۱,۰۱) + RBand4(-۷۸,۹۸) - ۰,۸۶۸۹$	۰,۹۲۰۵	۱۸,۹۸۹۱

- **رگرسیون خطی چندمتغیره**

به‌منظور پیاده‌سازی روش موردنظر از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. شکل کلی این مدل به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۱۰).

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^{p} \beta_k x_{k+\varepsilon} \qquad (۱۰)$$

در رابطه(۱۰) y متغیر وابسته، β_0 عرض از مبدأ، β_k ضرایب مدل رگرسیون، x_k متغیرهای مستقل ε خطای برازش منحنی و k تعداد متغیرهای مستقل می‌باشند. به‌منظور به‌دست آوردن ضرایب رگرسیون از روش کمترین مربعات استفاده شد(گانش[۷]، ۲۰۱۰). اگر همبستگی بین متغیرها بین ۱- و ۱+ و کامل نباشد، پیش‌بینی ما برآورد خوبی است ولی کامل نیست. هر چه همبستگی بین متغیرها بالاتر باشد، به‌همان اندازه پیش بینی دقیق‌تر است.

ضریب تعیین(R^2): ضریب تعیین یا R^2 اندازه‌گیری آماری نزدیک داده‌ها به خط رگرسیون برازش شده است. به ضریب تعیین، ضریب تشخیص نیز گفته می‌شود(رابطه ۱۱).

(۱۱)

R-squared = Explained variation / Total variation

ضریب تعیین همیشه بین ۰ و ٪۱۰۰ است:

٪۰ نشان می دهد که مدل هیچ یک از تغییرپذیری داده های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین نمی‌کند.

٪۱۰۰ نشان می دهد که مدل همه تغییرپذیری داده های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین می کند.

ضریب پیرسون(R): یکی دیگر از پارامترها جهت تعیین همبستگی میان متغیرهای مستقل و وابسته مورد استفاده از ضریب پیرسون استفاده شده است. ضریب پیرسون با معادله زیرمحاسبه می‌شود(رابطه ۱۲).

X و Y مقادیر دو متغیر مورد نظر، $\bar{x}$ و $\bar{Y}$ میانگین مقادیر دو متغیر است.

[۷] Ganesh

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

(۱۲)

$$R = \frac{\sum(X - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{(x - \bar{x})^2 - \sum(y - \bar{y})^2}}$$

- **ارزیابی مدل**

پارامترهای ارزیابی متعددی به‌منظور ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های آماری نظیر رگرسیون خطی وجود دارند که در این تحقیق از RMSE ، MAE، MBE استفاده شد. این شاخص‌ها در روابط ۱۳ تا ۱۵ تعریف شده‌اند:

RMSE : ریشه توان دوم میانگین خطاها به‌منظور محاسبه میزان تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده در مدل استفاده شده است. این شاخص هم به خطاهای تصادفی و هم به خطاهای سیستماتیک حساسیت دارد. برای محاسبه این پارامتر از رابطه ۱۳ استفاده می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(pridict - Ground)^2} \qquad (۱۳)$$

که در آن، n برابر با تعداد کل داده ها، Predict برابر با مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و Ground برابر با مقدار داده-های زمینی است. این شاخص هرچقدر کمتر باشد نشان دهنده صحت بهتر مدل نهایی است (سدیدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶۳).

میانگین خطای اریبی (MBE): مقادیر مثبت MBE نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل نسبت به مقادیر واقعی و مقادیرمنفی آن نشان‌دهنده کمتر بودن مقادیر پیش‌بینی شده مدل نسبت‌به مقادیر واقعی است (نصرتی و همکاران، ۱۳۸۶: ۵). این پارامترها برای بررسی ارتباط میان متغیرهای مستقل و وابسته استفاده می‌شود.

$$MBE = ۱/n \sum_{i=۱}^{n}(pridict - Ground) \qquad (۱۴)$$

میانگین خطای مطلق(MAE): میانگین قدر مطلق خطاها یکی از پر استفاده‌ترین شاخص‌ها برای نشان دادن میانگین خطاها است. به منظور محاسبه این شاخص از رابطه ۱۵ استفاده شده است (سدیدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶۳).

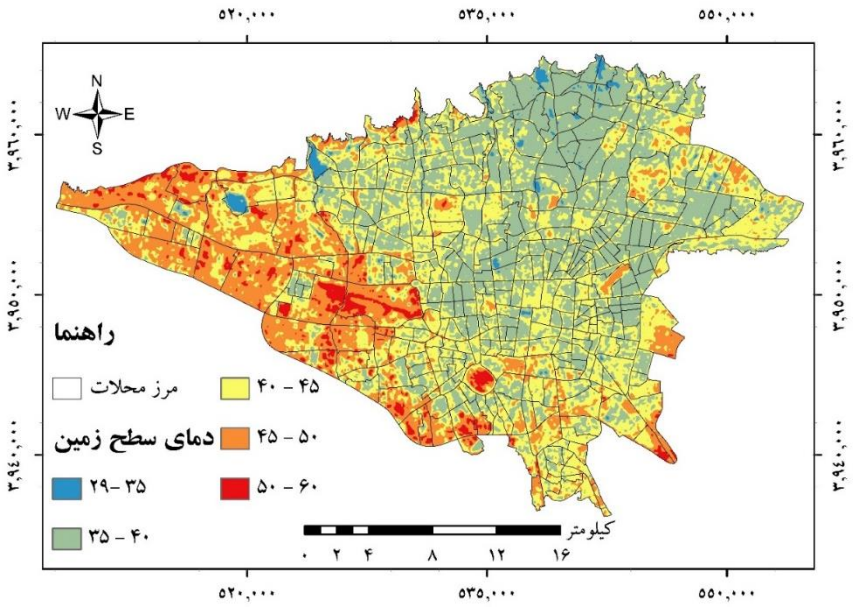
$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|pridict - Ground| \qquad (۱۵)$$

شرح و تفسیر نتایج

در این بخش نتایج مربوط به دمای سطح، نقشه پراکنش پوشش‌گیاهی و وضعیت آلودگی ارائه شده است. شکل ۲، نقشه دما سطح را در پنج دسته نشان می‌دهد که شامل ۲۹-۳۵ درجه سانتیگراد، ۳۵-۴۰، ۴۰-۴۵، ۴۵-۵۰ و ۵۰-۶۰ درجه سانتیگراد است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]



شکل۲.نقشه دمای سطح زمین شهر تهران

مطابق شکل نواحی شمالی شهر غالبا خنک‌ترین مناطق شهر را تشکیل داده‌اند که هرچه به سمت مرکز و جنوب پیشرویم بر گستره جزیره حرارتی افزوده و از گستره جزایر سرمایی کاسته می‌شود. به‌همین صورت با توجه به نقشه در جهات شرق و غرب از گستره جزایر سرمایی کاسته می‌شود، بطوری که در غرب شهر نه‌تنها جزیره سرمایی خاصی وجود ندارد(بجز دریاچه چیتگر)، بلکه جزایر گرمایی عمده‌ای شکل گرفته است. براین اساس در جدول ۴، درصد مساحت هر یک از طبقات دمایی شکل ۲ را نشان می‌دهد.

جدول۴.درصد مساحت طبقات در سطح شهر تهران

طبقه دمایی	۳۵-۲۹	۴۰-۳۵	۴۵-۴۰	۵۰-۴۵	۶۰-۵۰
درصد	٪۱.۰۱	٪۳۵.۳۲	٪۴۰.۴۲	٪۲۰.۴۷	٪۲.۷۸

مطابق جدول ۴، طبقه دمایی کمتر از ۳۵ درجه حدود ۱ درصد از سطح شهر را تشکیل داده است که درصد بسیار کمی است. طبقه ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد درصد قابل توجهی از شهر(بیش از ۳۵ درصد) را دربر گرفته است، اما بیشتر درصد مساحت متعلق به طبقه دمایی ۴۰ تا ۴۵ درجه است با بیش از ۴۰ درصد از سطح شهر که این طبقه، طبقه دمایی گرم محسوب می‌شود برای بسیاری از اقشار شامل سالمندان، کودکان و افراد داری بیماری‌های خاص قابل تحمل نیست. دو طبقه پایانی یعنی بین ۴۵ تا ۶۰ درجه سانتیگراد، نزدیک به یک چهارم از سطح شهر را پوشش داده است که برای همه گروه‌ها مشکل آفرین است و قابل تحمل نیست.

در مرحله بعد تلاش شد که با استفاده از بررسی میانگین دمایی هر یک از محلات، محلات دارایی جزایر گرمایی و جزایر سرمایی مشخص گردد. در جدول ۵، ۲۰ محله دارای بیشترین میانگین دما و ۲۰ دارای کمترین دما مشخص شده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

جدول۵. رتبه‌بندی جزایر حرارتی/سرمایی محلات براساس میانگین محلات شهر تهران

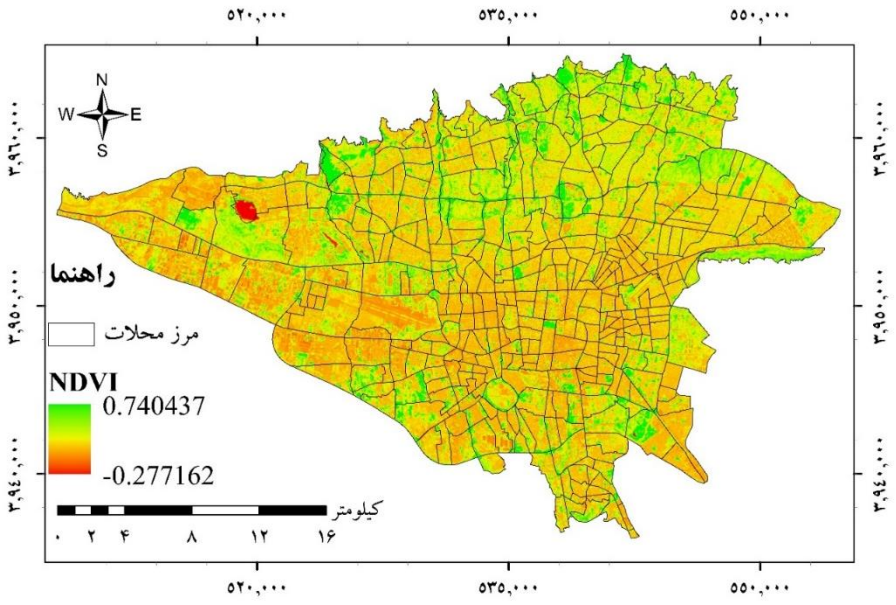
رتبه	نام محله	میانگین دما	رتبه	نام محله	میانگین دما	رتبه	نام محله	میانگین دما
۱	بوستان ولایت	۴۸.۲۴	--	--	--	۳۵۶	رستم آباد	۳۷.۹۲
۲	ش شهید یاقری	۴۸.۰۱۲	--	--	--	۳۵۷	قیطریه	۳۷.۸۹
۳	فرودگاه	۴۸.۰۱۱	--	--	--	۳۵۸	چیذر	۳۷.۸۵
۴	تهرانسر شرقی	۴۷.۷۹	--	--	--	۳۵۹	رستم‌آباد اختیاریه	۳۷.۷۹
۵	فتح صنعتی	۴۷.۵۹	--	--	--	۳۶۰	کاشانک	۳۷.۷۶
۶	ش دانشگاه شریف	۴۷.۵۳	--	--	--	۳۶۱	پارک لاله	۳۷.۷۲
۷	اسماعیل آباد	۴۷.۱۱	--	--	--	۳۶۲	درکه	۳۷.۵۵
۸	شهرک استقلال	۴۷.۰۴	--	--	--	۳۶۳	امامزاده قاسم	۳۷.۴۶
۹	ش دانشگاه تهران	۴۶.۹۳	--	--	--	۳۶۴	تجریش	۳۷.۴۴
۱۰	دولتخواه	۴۶.۸۹	--	--	--	۳۶۵	دروس	۳۷.۲۳
۱۱	شهرک رضویه	۴۶.۷۰	--	--	--	۳۶۶	زعفرانیه	۳۷.۲۲
۱۲	خلیج‌فارس شمالی	۴۶.۲۹	--	--	--	۳۶۷	محمودیه	۳۷.۱۲
۱۳	شکوفه جنوبی	۴۶.۲۵	--	--	--	۳۶۸	قلهک	۳۷.۰۳
۱۴	خلیج‌فارس جنوبی	۴۶.۲۱	--	--	--	۳۶۹	باغ فردوس	۳۶.۹۵
۱۵	شهرک غزالی	۴۶.۱۷	--	--	--	۳۷۰	حصار بوعلی	۳۶.۹۴
۱۶	شهرک فرهنگیان	۴۶.۰۲	--	--	--	۳۷۱	جوزستان	۳۶.۵۵
۱۷	هفده شهریور	۴۶	--	--	--	۳۷۲	جماران	۳۶.۴۰
۱۸	چیتگر جنوبی	۴۵.۹۸	--	--	--	۳۷۳	دربند	۳۶.۲۹
۱۹	امید دژبان	۴۵.۹۶	--	--	--	۳۷۴	نیاوران	۳۶.۲۳
۲۰	شهرک صدرا	۴۵.۶۳	--	--	--	۳۷۵	بهاران	۳۶.۰۴

مطابق جدول ۵، بوستان ولایت دارای بالاترین میانگین دمایی و پس از این محله، شهرک شهید باقری و فرودگاه در رتبه‌های بعدی هستند. در طرف مقابل، بهاران پایین‌ترین میانگین دمایی را دارا است و پس از این محله، نیاوران و دربند هستند که کمترین میانگین دمایی را دارا می‌باشند. برای درک عوامل موثر بر پراکنش دمایی در سطح شهر تهران چند عامل موثر بر پراکنش دما در نظر گرفته شد که در ادامه به بررسی تاثیر آنها بر شکل‌گیری جزایر گرمایی و سرمایی پرداخت شده است.

پارامتر پوشش گیاهی همواره معیار نقش تعیین کننده‌ای در دمای سطح زمین داشته است که وجود یا عدم وجود آن باعث تفاوت محسوس بین نواحی می‌شود. با این مقدمه، در این بخش نتایج بررسی‌ها ارتباط بین پوشش‌گیاهی و دمای سطح زمین ارائه می‌گردد. شکل ۳ نقشه تغییرات شاخص NDVI در محلات شهر تهران در تاریخ ۱۱ تیرماه ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. ارزش این شاخص بین ۱ تا ۱- است که ۱ مربوط به پوشش گیاهی بسیار متراکم و ۱- نیز معمولا مربوط به آب خالص هستند. نقشه شاخص NDVI در تاریخ مذکور ارزش بین ۰.۷۴۰۴۳۷ و ۰.۲۷۷۱۶۲- را نشان می‌دهد که بالاترین ارزش مربوط به نواحی شمالی شهر و پایین‌ترین ارزش مربوط به دریاچه چیتگر است. از لحاظ تغییرات فضایی، شمال شهر دارای پوشش گیاهی متراکم‌تر و نواحی غربی و مرکز دارای کمترین پوشش‌گیاهی متراکم و شاداب هستند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]



شکل۳.نقشه تغییرات فضایی شاخص NDVI

در مرحله بعد بررسی‌ها در خصوص پوشش گیاهی و شاخص NDVI، میانگین شاخص NDVI برای ۱۰ محله از محلاتی که بالاترین میانگین دمایی و ۱۰ محله از محلاتی که پایین میانگین دمایی را داشتند در جدول ۶ آمده است.

جدول۶. مقایسه شاخص NDVI برای محلات دارای جزایر گرمایی و سرمایی

رتبه	نام محله	میانگین NDVI	رتبه	نام محله	میانگین NDVI
۱	بوستان ولایت	۰.۲۱۵۳۴۸	۳۶۶	زعفرانیه	۰.۲۳۷۲۴۹
۲	ش شهید یاقری	۰.۰۹۲۸۲۱	۳۶۷	محمودیه	۰.۲۳۶۰۸۲
۳	فرودگاه	۰.۱۲۰۵۵۶	۳۶۸	قلهک	۰.۱۹۶۶۱۶
۴	تهرانسر شرقی	۰.۱۳۸۸۹۹	۳۶۹	باغ فردوس	۰.۲۶۱۸۵۸
۵	فتح صنعتی	۰.۰۹۹۵۷۸	۳۷۰	حصار بوعلی	۰.۲۵۸۶۳۱
۶	ش دانشگاه شریف	۰.۱۳۰۷۰۴	۳۷۱	جوزستان	۰.۲۶۰۷۷۰
۷	اسماعیل آباد	۰.۱۴۵۶۳۲	۳۷۲	جماران	۰.۳۱۷۷۷۳
۸	شهرک استقلال	۰.۱۳۸۸۴۴	۳۷۳	دربند	۰.۳۷۷۹۲۳
۹	ش دانشگاه تهران	۰.۱۴۱۷۰۷	۳۷۴	نیاوران	۰.۳۴۱۶۲۸
۱۰	دولتخواه	۰.۱۴۹۲۱۹	۳۷۵	بهاران	۰.۴۳۱۶۶۴

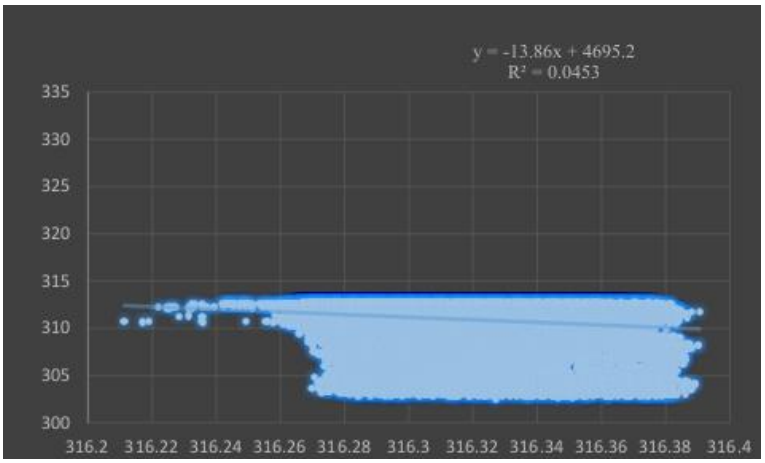
مطابق جدول ۶، در محلاتی که داری جزیره گرمایی هستند شاخص NDVI عدد پایین‌تری را نشان می‌دهد و بالعکس در مناطقی که شاهد جزیره سرمایی هستیم، این شاخص دارای ارزش عددی بیشتری است. این رتبه‌بندی دارای استثناهایی است، مانند بوستان ولایت که بالاترین جزیره گرمایی را دارد اما از لحاظ میانگین پوشش گیاهی وضعیت مطلوبی دارد که نشان دهنده این است که پوشش گیاهی تنها عامل تعیین کننده دمای سطح نیست و عوامل زیادی در تعیین دمای سطح زمین موثر است که پوشش گیاهی یکی از این عوامل است. بنابراین برای بررسی دقیقتر میزان تاثیر شاخص پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین از رگرسیون (R) و R^2 استفاده شد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

براساس جدول ۷، همبستگی پیرسون بین شاخص NDVI و دمای سطح زمین برابر با ۲۱.۲۹- درصد است که یک رابطه معکوس(منفی) است و نشان دهنده این است که با کاهش مقدار پوشش گیاهی دما افزایش می‌یابد و با افزایش ارزش این شاخص دمای سطح زمین کاهش می‌یابد. نمودار شکل ۴ ضریب تعیین برای این ارتباط را ۴.۵ درصد نشان می‌دهد؛ این میزان نشان می‌دهد با وجود اینکه رابطه بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وجود دارد، اما این رابطه بسیار ضعیفی است. مقایسه سه خطای مذکور در جدول ۷ که همه کمتر از ۳ واحد است، نشان می‌دهد که مدل برازش داده شده ارزش دمای سطح را در بدترین حالت(خطای RMSE) کمتر از سه (۳) پیش‌بینی می‌کند و حتی در خطای MBE این میزان نزدیک به صفر(۰) است. این بدان معنی است که مدل همبستگی معکوس و تقریبا ضعیفی دارد، اما برازش مدل با توجه به میزان خطاهای بدست آمده بسیار مناسب است.

جدول۷. پارامترهای محاسباتی ارتباط بین NDVI و LST

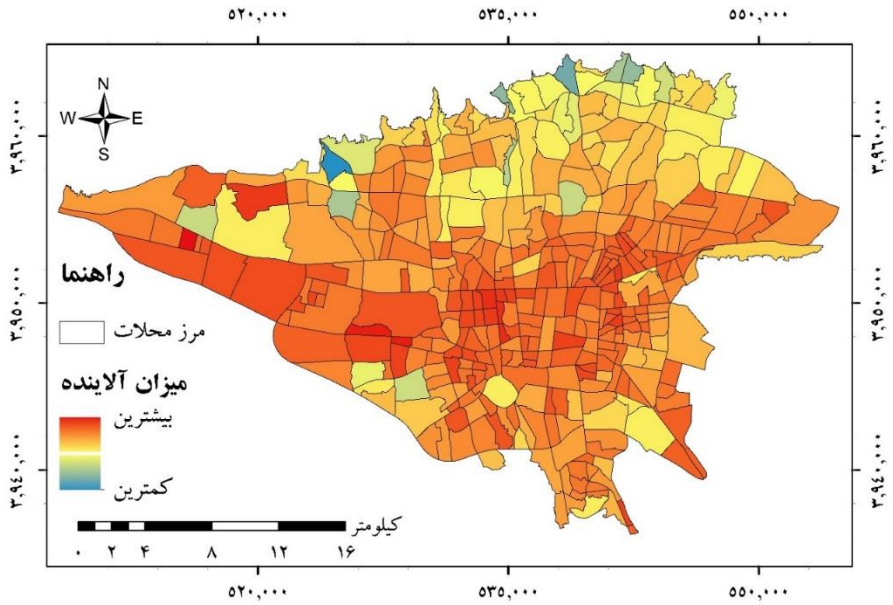
پارامتر	مقدار بدست آمده
ضریب پیرسون(R)	٪-۲۱.۲۹
ضریب تعیین(R^2)	٪۴.۵
RMSE	۲.۸۲
MAE	۱.۴۵
MBE	-۰.۰۱۶



شکل۴. نمودار ضریب تعیین بین NDVI و LST

با اعمال الگوریتم ۱۰م در جدول ۳، نقشه تغییرات فضایی PM_{10} شهر تهران بدست آمد که در شکل ۵ نشان داده شده است. این نقشه براساس میانگین میزان آلودگی هر محله ارائه شده است که با توجه به آن می‌توان فهمید که محلات شمال‌شهر دارای پاک‌ترین هوا در بین سایر محلات شهر تهران هستند و محلات مرکزی و غربی شهر دارای بالاترین آلودگی هستند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]



شکل۵. نقشه تغییرات فضایی PM_{10} شهر تهران

یکی از پارامترهایی که بر طبق آن می‌توان به رابطه یا عدم رابطه بین دمای سطح زمین و میزان آلودگی پی‌برد، مقایسه رتبه میانگین دمای محلات با رتبه میانگین آلودگی هوا محلات است. در جدول ۸ دمای ۲۰ محله دارای جزیره گرمایی و ۲۰ محله دارای جزیره سرمایی با آلودگی آنها مقایسه شد است. براساس نتایجی که در این جدول آمده است، میانگین رتبه دمایی ۲۰ محله دارای گرمایی برابر ۱۰.۵ و میانگین رتبه آلودگی‌شان برابر ۷۸.۹ است و میانگین رتبه دمایی محلات دارای جزایر سرمایی برابر ۳۶۵.۵ است و در مقابل رتبه میزان آلودگی این محلات برابر با ۳۵۰.۶ است. با مقایسه این اعداد متوجه می‌شویم که همبستگی بین میزان آلودگی در مناطق جزیره سرمایی بیشتر از همبستگی بین آلودگی و جزیره گرمایی است. بعبارت دیگر در مکان‌هایی که هوای پاکیزه‌تری وجود دارد، جزیره سرمایی تشکیل می‌شود، اما این میزان رابطه بین آلودگی هوا و جزایر گرمایی وجود ندارد.

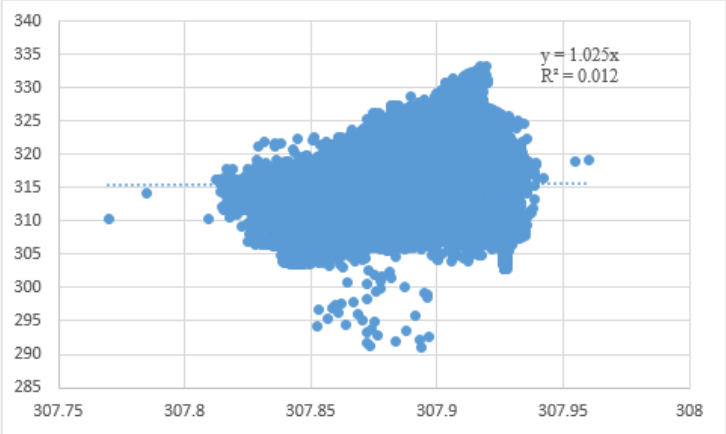
جدول۸. مقایسه رتبه دمای سطح محلات با میزان آلودگی

رتبه دما	نام محله	رتبه آلاینده	رتبه دما	نام محله	رتبه آلاینده	رتبه دما	نام محله	رتبه آلاینده
۱	بوستان ولایت	۱۳۶	--	--	--	۳۵۶	رستم آباد	۳۴۱
۲	ش شهید یاقری	۴۳	--	--	--	۳۵۷	قیطریه	۳۲۰
۳	فرودگاه	۳۵	--	--	--	۳۵۸	چیذر	۳۲۴
۴	تهرانسر شرقی	۱۰۴	--	--	--	۳۵۹	رستم‌آباد اختیاریه	۲۹۱
۵	فتح صنعتی	۲	--	--	--	۳۶۰	کاشانک	۳۵۷
۶	ش دانشگاه شریف	۱۳۲	--	--	--	۳۶۱	پارک لاله	۳۳۲
۷	اسماعیل آباد	۱۰۳	--	--	--	۳۶۲	درکه	۳۵۶
۸	شهرک استقلال	۱۵	--	--	--	۳۶۳	امامزاده قاسم	۳۵۵
۹	ش دانشگاه تهران	۳۳	--	--	--	۳۶۴	تجریش	۳۵۴
۱۰	دولتخواه	۱۳۰	--	--	--	۳۶۵	دروس	۳۵۲
۱۱	شهرک رضویه	۷۲	--	--	--	۳۶۶	زعفرانیه	۳۵۸

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

۱۲	خلیج‌فارس شمالی	۵۵	--	--	--	۳۶۷	محمودیه	۳۴۰
۱۳	شکوفه جنوبی	۱۰۸	--	--	--	۳۶۸	قلهک	۳۷۰
۱۴	خلیج‌فارس جنوبی	۱۰۶	--	--	--	۳۶۹	باغ فردوس	۳۵۱
۱۵	شهرک غزالی	۶۴	--	--	--	۳۷۰	حصار بوعلی	۳۵۹
۱۶	شهرک فرهنگیان	۱۰۱	--	--	--	۳۷۱	جوزستان	۳۶۰
۱۷	هفده شهریور	۱۸	--	--	--	۳۷۲	جماران	۳۷۱
۱۸	چیتگر جنوبی	۲۹	--	--	--	۳۷۳	دربند	۳۷۲
۱۹	امید دژبان	۱۵۱	--	--	--	۳۷۴	نیاوران	۳۷۴
۲۰	شهرک صدرا	۱۴۱	--	--	--	۳۷۵	بهاران	۳۷۵

برای بررسی عمیق‌تر ارتباط بین آلودگی هوا و دمای سطح زمین از معیارهای ضریب پیرسون، ضریب تعیین استفاده شد و برای ارزیابی مدل برازش شده از خطاهای RMSE، MAE و MBE استفاده شد. نتایج پردازش انجام گرفته برای محاسبه ارتباط بین دمای سطح زمین و آلودگی هوا در شکل ۶ و جدول ۹ ارائه شده است.



شکل۶. نمودار ضریب تعیین دمای سطح زمین و آلودگی

جدول۹.پارامترهای محاسباتی ارتباط بین آلودگی هوا و LST

پارامتر	مقدار بدست آمده
ضریب پیرسون(R)	۱۹.۳۱٪
ضریب تعیین(R^2)	٪۱.۲
RMSE	۸.۵۱
MAE	۷.۷۴
MBE	۰.۰۲۴

با توجه نمودار شکل ۶ و جدول ۹ ارتباط چندان قوی بین آلودگی هوا و دمای سطح زمین وجود ندارد. با توجه به جدول مذکور، ضریب پیرسون بین این دو پارامتر برابر ۱۹.۳۱ درصد است که نشان دهنده رابطه مستقیم بین این دو کمیت است، یعنی با افزایش میزان آلودگی هوا بر میزان دمای سطح زمین افزوده می‌شود. ضریب تعیین بین این دو کمیت بسیار پایین و در حدود ۱ درصد است. خطاهای برازش مدل در این تحقیق نیز بیش از خطاهای برازش مدل در

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

رابطه بین NDVI و LST است و به ۸.۵ و ۷.۷ می‌رسد. هرچند این میزان خطا در برازش مدل تقریبا معمول است، اما بیش از زمانی است که در برآورد دمای سطح زمین از پارامتر پوشش گیاهی استفاده می‌کنیم.

نتیجه‌گیری

جزیره‌حرارتی پدیده‌ای غیرقابل انکار و در بعضی مواقع غیرقابل کنترل در شهرها، بخصوص در کلان شهرها است که معمولا نتیجه رشد قارچ‌گونه و بدون برنامه‌ریزی شهری است. تاثیر امواج گرمایی و جزایر حرارتی برروی سلامتی انسانها کاملا مشهود است، بطوری که غالب افراد جنبه‌هایی از آن را تجربه کرده‌اند. تبدیل جزایر گرمایی به جزایر سرمایی یکی از مهمترین و بروزترین موضوعات مورد بحث است. از جمله مورد بحث اثر پوشش‌گیاهی و آلودگی‌هوا بر تشکیل جزیره سرد و گرم است که در سال‌های اخیر به دلیل نقش مهمی که در کاهش جزایر گرمای شهری دارد، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.نقشه دمای سطح زمین در شهر تهران الگوی خاصی را ارائه می‌دهد بطوری که در شمال شهر شاهد جزایر سرمایی گسترده‌ای هستم و هرچه از شمال به سمت مرکز و به‌تبع آن جنوب شهر حرکت کنیم از گستره جزایر سرمایی کاسته و بر گستره جزایر گرمایی افزوده می‌شود. اما بر خلاف تصور عامه که تصور می-کنند که گستره جزیره گرمایی در جنوب شهر را بیش از بقیه مناطق می‌دانند اما غرب تهران دارای گسترده‌ترین و بیشترین جزایر حرارتی است. در شرق تهران نیز جزایر گرمایی دیده می‌شود، اما نه از لحاظ تعداد و نه از لحاظ وسعت به اندازه غرب تهران نیست. بر طبق نتایج بدست آمده، وضعیت شهر تهران از لحاظ جزایر گرمایی و سرمایی تقریبا متعادل است، چرا که مطابق جدول ۴ با وجود اینکه فاصله طبقات دمایی در جدول مذکور تقریبا برابر است، درصد مناطقی که در طبقه میانی(۴۰-۴۵ درجه سانتیگراد) قرار دارد بیش از بقیه طبقات است و بیش از ۴۰ درصد از سطح شهر را پوشش داده است. با توجه به درصد مساحت قرار گرفته در سایر طبقات می‌توان گفت که وضع تهران چندان بحرانی چرا که بیش از ۳۶ درصد از شهر وضعیتی خنک‌تر از میانگین دارند و کمی بیش از ۲۳ درصد از شهر وضعیتی گرمتر از میانگین را دارند. وضعیت هرچند بحرانی نیست اما نگران کننده است، چرا که بیش از ۴۰ درصد از شهر وضعیتی میانه و ناپایدار دارد و با اقدامات مدیریتی نادرست امکان تبدیل جزیره حرارتی بسیار بالاست. نکته نگران کننده دوم این است که غالبا جزایر حرارتی در کنار یک دیگر قرار گرفته‌اند و تبدیل آنها به شرایط متعادل و در نهایت جزایر خنک بسیار مشکل است. با توجه به جدول ۵ چند نکته آشکار می‌شود: اول اینکه گرمترین محله تهران که بوستان ولایت است دارای میانگین دمایی بالای ۴۸ درجه سانتیگراد است. نکته دوم این است تفاوت بین گرمترین محله با محله ۲۰م در حدود ۳ درجه است که تفاوت تقریبا زیادی است. در طرف مقابل، خنکترین محله(بهاران) میانگین دمایی در حدود ۳۶ درجه دارد که دمایی مطلوبی است و تفاوت دمایی با ۲۰مین محله خنک شهر(رستم آباد) کمی کمتر از ۲ درجه سانتیگراد است.

منابع

آروین، عباسعلی. ۱۳۹۷. بررسی جزیره حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شهر اصفهان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۲۵**: ۱۱۵-۱۲۹.

سدیدی، جواد؛ هانی رضاییان و محمدرضا برشان. ۱۳۹۶. مقایسه پراکنش خطا در شبکه‌های عصبی مصنوعی بازگشتی Elman و Jordan در تخمین غلظت ذرات معلق اتمسفر (PM۱۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای) MODIS مورد مطالعاتی: شهر اهواز). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۱۷ (۴۷)**: ۱۵۵-۱۶۹.

علوی‌پناه، سیدکاظم. ۱۳۸۷. *سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن درعلوم زمین*. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

علوی‌پناه، سیدکاظم؛ سیروس هاشمی‌دره‌بادامی و علی کاظم‌زاده. ۱۳۹۴. تحلیل زمانی – مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری/ پوشش زمین. *پژوهشهای جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، **۳ (۱)**: ۱-۱۷.

کریمی، عامر؛ پرهام پهلوانی و بهناز بیگدلی. ۱۳۹۸. تعیین عوامل موثر بر دمای سطح زمین شهر تهران با استفاده از تصاویر لندست و ترکیب رگرسیون وزندار جغرافیایی و الگوریتم ژنتیک. *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، **۷ (۳)**: ۱۰۲-۷۹.

نصرتی، کاظم؛ غلامرضا زهتابیان، اسحاق مرادی و افسانه شهبازی. ۱۳۸۶. ارزیابی روش شبیه‌سازی تصادفی برای تولید داده‌های هواشناسی. *پژوهش‌های جغرافیایی*، **۶۲**: ۱-۹.

هادی‌پور، مهران؛ حمید دارابی و علی‌اکبری داوودی‌راد. ۱۳۹۸. بررسی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با شرایط آلودگی هوا و شاخص‌های NDVI و NDBI در شهر اراک، *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، **۲۸ (۱۱۲)**: ۲۶۴-۲۴۹.

Akbari, H. ۲۰۰۲. Shade trees reduce building energy use and CO۲ emissions from power plants. *Environmental pollution*, ۱۱۶: ۱۱۹-۱۲۶. **DOI**: ۱۰,۱۰۱۶/S۰۲۶۹-۷۴۹۱(۰۱)۰۰۲۶۴-۰.

Amiri, R,; Q. Weng, A. Alimohammadi and S.K. Alavipanah. ۲۰۰۹. 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*, **۱۱۳(۱۲)**: ۲۶۰۶-۲۶۱۷. **DOI**: ۱۰,۱۰۱۶/j.rse.۲۰۰۹,۰۷,۰۲۱.

Cerrai, D,; D.W. Wanik, M.A.E. BhuiyanZhang, X. Yang, J. Frediani and E.N. Anagnostou. ۲۰۱۹. Predicting storm outages through new representations of weather and vegetation. *IEEE Access*, ۷: ۲۹۶۳۹-۲۹۶۵٤. **DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۱۹,۲۹۰۲۵۵۸.

Chakraborty. T. ; and X. Lee. ۲۰۱۹. A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. ۷٤: ۲٦۹-۲۸۰. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/j.jag.۲۰۱۸,۰۹,۰۱۵.

Chander, G.; B.L. Markham and D.L. Helder. ۲۰۰۹. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-۱ ALI sensors. *Remote sensing of environment*, ***113*(۵)**: ۸۹۳-۹۰۳. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/j.rse.۲۰۰۹,۰۱,۰۰۷.

Erell, E.; and T. Williamson. ۲۰۰۷. Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **۲۷(۹)**: ۱۲٤۳-۱۲۵۵. **DOI**: ۱۰,۱۰۰۲/joc.۱٤٦۹.

Farhadi, H.; M. Faizi and H. Sanaieian. ۲۰۱۹. Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings. *Sustainable Cities and Society*, ٤٦: ۱۰۱٤٤۸. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/j.scs.۲۰۱۹,۱۰۱٤٤۸.

Harper, A.B.; A.J. Wiltshire, P.M. Cox, P. Friedlingstein, C.D. Jones, L.M. Mercado, S. Sitch, K. Williams and C. Duran-Rojas. ۲۰۱۸. Vegetation distribution and terrestrial carbon cycle in a carbon cycle configuration of JULES٤. ٦ with new plant functional types. *Geoscientific Model Development*, **۱۱(۷)**: ۲۸۵۷-۲۸۷۳. **DOI**: ۱۰,۵۱۹٤/gmd-۱۱-۲۸۵۷-۲۰۱۸.

Jiménez-Muñoz, J.C and J.A. Sobrino. ۲۰۰۸. Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *IEEE geoscience and remote sensing letters*, **۵(٤)**: ۸۰٦-۸۰۹. **DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/LGRS.۲۰۰۸,۲۰۰۱٦۳٦.

Jiménez-Muñoz, J.C and J.A. Sobrino. ۲۰۰۹. A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from ASTER data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **۷(۱)**: ۱۷٦-۱۷۹. **DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/LGRS.۲۰۰۹,۲۰۲۹۵۳٤.

Jiménez-Muñoz, J.C.; J.A. Sobrino, D. Skoković, C. Mattar and J. Cristóbal. ۲۰۱٤. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-۸ thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, **۱۱(۱۰)**: ۱۸٤۰-۱۸٤۳. **DOI**: ۱۰,۱۱۰۹/LGRS.۲۰۱٤,۲۳۱۲۰۳۲.

Ko, Y.; ۲۰۱۸. Trees and vegetation for residential energy conservation: A critical review for evidence-based urban greening in North America. *Urban Forestry & Urban Greening*, **۳٤**: ۳۱۸-۳۳۵. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/j.ufug.۲۰۱۸,۰۷,۰۲۱.

Lenney, M.P.; C.E. Woodcock, J.B. Collins and H. Hamdi. ۱۹۹٦. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. *Remote sensing of environment*, **۵٦(۱)**: ۸-۲۰. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/۰۰۳٤-٤۲۵۷(۹۵)۰۰۱۵۲-۲.

Liao, J.; T. Wang, Z. Jiang, B. Zhuang, M. Xie, C. Yin, X. Wang, J. Zhu, Y. Fu and Y. Zhang. ۲۰۱۵. WRF/Chem modeling of the impacts of urban expansion on regional climate and air pollutants in Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Environment*, ۱۰٦: ۲۰٤-۲۱٤. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/j.atmosenv.۲۰۱۵,۰۱,۰۵۹.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

Liu, J.; G. Gao, S. Wang, L. Jiao, X. Wu and B. Fu. ۲۰۱۸. The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, **۲۸(۱)**: ۵۹-۷۸. **DOI**: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۴۴۲-۰۱۸-۱۴۵۹-z.

Liu, N and L. Morawska. ۲۰۲۰. Modeling the urban heat island mitigation effect of cool coatings in realistic urban morphology. *Journal of Cleaner Production*, ۲۶۴: ۱۲۱۵۶۰. **DOI**: ۱۰,۱۰۱۶/j.jclepro.۲۰۲۰,۱۲۱۵۶۰.

Lu, J.; B. Li, H. Li and A. Al-Barakani. ۲۰۲۱. Expansion of city scale, traffic modes, traffic congestion, and air pollution. *Cities*, ۱۰۸: ۱۰۲۹۷۴. **DOI**: ۱۰,۱۰۱۶/j.cities.۲۰۲۰,۱۰۲۹۷۴.

Misni, A. ۲۰۱۸. Vegetation produces an extensive cooling effect. *Asian J Qual Life*, **۳(۱۰)**: ۱۷۹-۱۸۷. **DOI**: ۱۰,۲۱۸۳۴/ajqol.v۳i۱۰,۱۱۴.

Montávez, J.P.; J.F. González-Rouco and F. Valero. ۲۰۰۸. A simple model for estimating the maximum intensity of nocturnal urban heat island. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **۲۸(۲)**: ۲۳۵-۲۴۲. **DOI**: ۱۰,۱۰۰۲/joc.۱۵۲۶.

Saraswat, I.; R.K. Mishra and A. Kumar. ۲۰۱۷. Estimation of PM۱۰ concentration from Landsat ۸ OLI satellite imagery over Delhi, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, ۸: ۲۵۱-۲۵۷. **DOI**: ۱۰,۱۰۱۶/j.rsase.۲۰۱۷,۱۰,۰۰۶.

Stewart, I. ۲۰۱۱. Redefining the Urban Heat Island. Ph.D Thesis, *The University of British Columbia*, Vancouver. **DOI**: ۱۰,۱۴۲۸۸/۱,۰۰۷۲۳۶۰.

Ullah, M.; J. Li and B. Wadood. ۲۰۲۰. Analysis of urban expansion and its impacts on land surface temperature and vegetation using RS and GIS, a case study in Xi'an City, China. *Earth Systems and Environment*, **۴(۳)**: ۵۸۳-۵۹۷. **DOI**: ۱۰,۱۰۰۷/s۴۱۷۴۸-۰۲۰-۰۰۱۶۶-۶.

Wang, X.; F. Chen, Z. Wu, M. Zhang, M. Tewari, A. Guenther and C. Wiedinmyer. ۲۰۰۹. Impacts of weather conditions modified by urban expansion on surface ozone: Comparison between the Pearl River Delta and Yangtze River Delta regions. *Advances in Atmospheric Sciences*, **۲۶(۵)**: ۹۶۲-۹۷۲. **DOI**:۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۳۷۶-۰۰۹-۸۰۰۱-۲.

Wang, X.; H. Cheng, J. Xi, G. Yang and Y. Zhao. ۲۰۱۸. Relationship between park composition, vegetation characteristics and cool island effect. *Sustainability*, **۱۰(۳)**: ۵۸۷. **DOI**: ۱۰,۳۳۹۰/su۱۰۰۳۰۵۸۷.

Zanter, K. ۲۰۱۶. Landsat ۸ (L۸) data users handbook. Landsat Science Official Website, **۳۳**.

Zhong, Q.; J. Ma, B. Zhao, X. Wang, J. Zong and X. Xiao. ۲۰۱۹. Assessing spatial-temporal dynamics of urban expansion, vegetation greenness and photosynthesis in megacity Shanghai, China during ۲۰۰۰–۲۰۱۶. *Remote Sensing of Environment*, **۲۳۳**: ۱۱۱۳۷۴. **DOI**: ۱۰,۱۰۱۶/j.rse.۲۰۱۹,۱۱۱۳۷۴.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2]