

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

سید کامیار مرتفعی اصل؛ دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امارات متحده عربی.  
دکتر نوید سعیدی رضوانی<sup>۱</sup>؛ 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: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲  
پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

### چکیده

گرمایش جهانی و جزایر حرارتی شهرها یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهان امروز است. جزایر سرمهایی (جزایر خنک) واژه‌ایست که در مقابل جزایر گرمایی قرار می‌گیرد و بیان کننده منطقی از سطح شهر است که نسبت به نواحی اطراف دارای دمای پایین‌تری 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 تک‌کائل دمای سطح زمین به دست 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 (Sarawat) استفاده شد. مطابق نتایج، بالاترین میزان جزیره حرارتی 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 به دست آمده از رابطه بین دمای سطح و پوشش‌گیاهی  $-21.29$  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  $19.31$  درصد بود و مقایسه میزان شاخص آلودگی در مناطق دارای جزایر خنک و گرم نشان داد که رابطه معناداری بین کاهش آلاینده‌های هوا و جزایر خنک وجود دارد اما عکس این قضیه چندان صادق نیست.

واژه‌های کلیدی: جزایر خنک، شهر تهران، LST، آلودگی هوا.

## 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(هادی‌بور و همکاران، ۱۳۹۶). 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 می‌توانند اثر جزایر خنک شهری را ایجاد کنند(Wang et al., ۲۰۱۸).

تفییر کاربری زمین و تشکیل کاربری شهری، نقش مهمی در تغییرات آب و هوا و کیفیت هوا منطقه ایفا می‌کند؛ تغییرات در سطح شهری، ویژگی‌های دینامیکی و حرارتی سطح را تغییر می‌دهد(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 می‌شود 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 مدل‌های مقیاس بین عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد که عمدتاً بر جزایر گرمایی شهری (UHI) تمرکز می‌کند(Erell and Williamson, ۲۰۰۷, Stewart, ۲۰۱۱, Wang et al., ۲۰۰۹).

پوشش گیاهی نقش اساسی در بهبود محیط‌های شهری و افزایش سلامت جسمی و روحی ساکنان دارد(Zhong et al., ۲۰۱۹). پوشش گیاهی شهری می‌تواند 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(Akbari, ۲۰۰۲; Cerrai et al., ۲۰۱۹; Liu et al., ۲۰۱۸; Harper et al., ۲۰۱۸; Ko., ۲۰۱۸; Chakraborty & Lee., ۲۰۱۹; Misni, ۲۰۱۸; Ullah & Wadood, ۲۰۲۰). 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.

در داخل محیط شهری نیز مناطقی که دارای دمای بالاتر از محدوده دمای میانگین به عنوان 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 پوشش گیاهی شهری، استفاده از مواد خنک در سطوح(مانند رنگ‌های انعکاس دهنده) و تغییر هندسه شهری مانند بهینه‌سازی جهت‌گیری خیابان و ساختمان، می‌تواند از دو روش دیگر موثرer است(Farhadi et al., ۲۰۱۹; Liu & Morawska, ۲۰۲۰). شهر تهران به عنوان پایتخت کشور آمیخته‌ای از فرهنگی صنعتی شده است که باعث آلودگی هوا و جایگزینی پوشش گیاهی با ساختمان‌هاست.

در خصوص جزایر خنک شهری در ایران نه تنها مطالعات بسیار محدودی انجام شده است، بلکه این مطالعات صرفاً به جنبه‌های کیفی مطالعه پرداختند که از جمله آنها می‌توان به مطالعه اشرفی و همکاران(۱۳۹۱)، رosta 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-

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

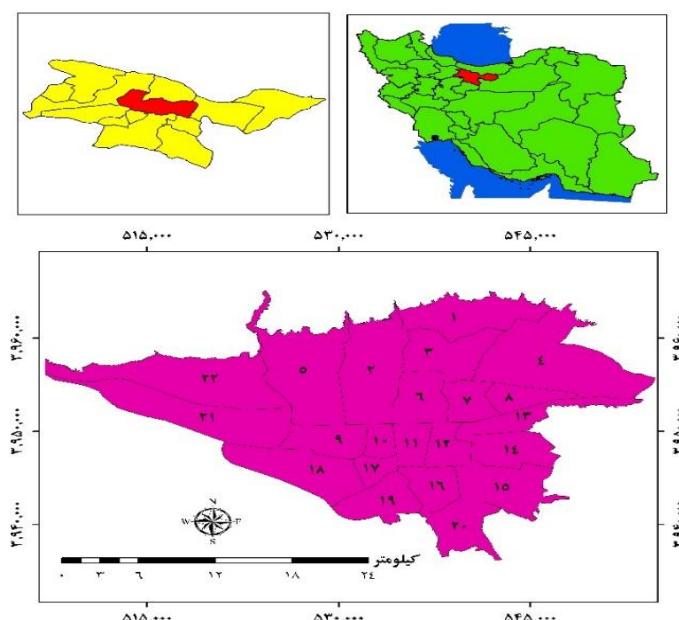
هدف از این مقاله، بررسی تاثیر آلودگی هوا و پوشش‌گیاهی در ایجاد جزایر خنک و گرمایی در سطح شهر تهران است. این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری کمک کند تا با توجه به این دو پارامتر به برای تبدیل جزایر گرمایی به جزایر خنک برنامه‌ریزی کنند.

## 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؛ به گونه‌ای 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 بازترین 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

### • روش کار

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 ۱۱/۰۷/۲۰۲۰ (۱۳۹۹ تیرماه) استفاده شد. برای تبدیل تصاویر خام اطلاعات قابل تفسیر دمای سطح زمین ابتدا بايستی برخی پیش‌پردازش‌ها اعمال گردد که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

به دست آوردن رادیانس طیفی: برای تبدیل ارزش‌های پیکسل به رادیانس طیفی در سنجنده برای تصاویر لندست ۸ از رابطه ۱ استفاده شد (زانتر<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶: ۶۸).

$$L_{\lambda} = ML \times Q_{CAL} + AL \quad (1)$$

که در آن،  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ ،  $ML$  فاکتور تبدیل ضربی،  $Q_{CAL}$  مقادیر پیکسل محصول استاندارد کوانتیزه شده و کالیبره شده (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	باند ۱
ML	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳
AL	-۶۴/۵	۳	-۶۰/۸	۲	-۳۱/۴	۶	۶	۵	۴	۴	۴	۴
	-۶۶	-۵۱/۳	-۷/۸	-۲/۶۳	-۵۸/۱	-۱۲/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳

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

$$\rho_{\lambda'} = M \rho \times Q_{CAL} + A \rho \quad (2)$$

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

به دست آوردن دمای درخشنده‌گی: در این تحقیق دمای درخشنده‌گی با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Chander et al., ۲۰۰۹).

$$T = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L_{\lambda}})} \quad (3)$$

که در آن  $T$  دمای درخشنده‌گی در سطح سنجنده بر حسب کلوین (K)،  $L_{\lambda}$  تابش طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ ،  $K_2$  ضریب کالیبراسیون بر حسب کلوین،  $K_1$  ضریب کالیبراسیون بر حسب  $[W/(m^2 sr \mu m)]$  است. برای لندست OLI/TIRS،  $K_2$  ضریب کالیبراسیون بر حسب کلوین  $777/89$  برای باند ۱۰ و  $480/89$  برای باند ۱۱ و برای لندست K<sub>1</sub> ضریب کالیبراسیون بر حسب  $[W/(m^2 Sr \mu m)]$   $1321/08$  برای باند ۱۰ و  $1201/14$  برای باند ۱۱. ضرایب K<sub>1</sub> و K<sub>2</sub> برای سنجنده‌های مختلف لندست در جدول ۲ نمایش داده شده است.

<sup>۱</sup> - Zanter

جدول ۲. ضرایب  $K^1$  و  $K^2$  برای سنجنده‌های مختلف لندست (علوی‌پناه و همکاران، ۷:۱۳۹۶)

لندست ۸ باند ۱۱	لندست ۸ باند ۱۰	ETM+	لندست ۷	لندست ۴ و ۵	ضریب/سنجنده
۱۲۰۱/۱۴	۱۳۲۱/۰۸	۶۶۶/۰۹	۶۰۷/۷۶	$K^1 [W/(m^{\gamma} Sr \mu m)]$	
۴۸۰/۸۹	۷۷۷/۸۹	۱۲۸۲/۷۱	۱۲۶۰/۵۶	$K^2 [kelvin]$	

محاسبه توان تشعشعی سطح زمین (LSE): محاسبه دمای سطح زمین نیازمند داشت پیرامون توان تشعشعی سطح زمین<sup>۳</sup> (LSE) است. در این روش توان تشعشعی با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های لندست [برآورد بازتاب و یا شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI)] با توجه به کسری پوشش گیاهی NDVI<sup>۴</sup> از روش پیشنهادی (سوبرینو و جیمز-مونز<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸: ۳۱۶) به دست می‌آید. بنابراین ابتدا باید شاخص VI FVC<sup>۶</sup> از روش پوشش گیاهی (FVC) و در نهایت توان تشعشعی را محاسبه می‌شود.

محاسبه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI): شاخص NDVI از رابطه<sup>۴</sup> محاسبه می‌شود (لنی و همکاران<sup>۶</sup>، ۱۹۹۶: ۱۱).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (4)$$

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

محاسبه کسر پوشش گیاهی (FVC): برای به دست آوردن کسر پوشش گیاهی، با استفاده از رابطه<sup>۵</sup> قرار می‌گیرد. این عملیات خطی می‌تواند خطای رخداده در عملیات کالیبراسیون و تصحیح اتمسفری را کاهش دهد (امیری و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۶۰۹).

$$FVC = \left[ \frac{NDVI - NDV I_{min}}{NDV I_{max} - NDV I_{min}} \right]^2 \quad (5)$$

که در آن NDVI مربوط به کمترین مقدار NDVI<sub>min</sub> (خاک خشک) و NDVI<sub>max</sub> مربوط به بیشترین مقدار (پوشش گیاهی متراکم) است.

محاسبه توان تشعشعی سطح زمین: با محاسبه کسری پوشش گیاهی (FVC) توان تشعشعی از رابطه<sup>۶</sup> محاسبه می‌شود (سوبرینو و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۱۸). (۶)

<sup>۱</sup> - Land Surface Emissivity  
<sup>۲</sup> - Fraction of Vegetation Cover  
<sup>۳</sup> - Sobrino and Jiménez-Muñoz  
<sup>۴</sup> - Lenney et al

$$\begin{aligned} \varepsilon = a + b \rho_{red} \quad (FVC = 0) & \xrightarrow{TIRS\ 1} = 0.979 - 0.046 r_{OLI-B\ 4} \\ & \xrightarrow{TIRS\ 2} = 0.982 - 0.027 r_{OLI-B\ 4} \\ \varepsilon = \varepsilon_S (1 - FVC) + \varepsilon_V FVC \quad (0 < FVC < 1) & \xrightarrow{TIRS\ 1} = 0.971(1-FVC)+0.987FVC \\ & \xrightarrow{TIRS\ 2} = 0.977(1-FVC)+0.989FVC \\ \varepsilon = 0.99 \quad (FVC = 1) & \end{aligned}$$

$\rho_{red}$  بازتاب در باند قرمز سنجنده OLI (باند ۴)، a و b ضرایب همبستگی خطی بازتاب باند قرمز با توان تشعشعی،  $\varepsilon_S$  توان تشعشعی خاک و  $\varepsilon_V$  توان تشعشعی پوشش گیاهی است.

به دست آوردن LST به روش تک کانال (SC): این روش مناسب‌ترین روش برای بازیابی LST از یک کانال منفرد (SC) واقع در منطقه 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 این حال، از آنجاکه ۱ TIRS در منطقه جذب اتمسفر پایین‌تر قرار گرفته است، بهتر است از این باند استفاده شود. الگوریتم SC مورد استفاده برای بازیابی LST از تصاویر حرارتی ماهواره لندست در این تحقیق توسط جیمز-مونز و همکاران (۳۳۹: ۲۰۰۹) 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 همه لندست به یک شکل و با رابطه ۷ اعمال می‌شود.

$$T_s = \gamma \left[ \frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad (7)$$

که در این،  $T_s$  دمای سطح زمین،  $\varepsilon$  توان تشعشعی سطح زمین و  $L_{sen}$  رادیانس در سطح سنجنده، است.  
پارامترهای  $\gamma$  و  $\delta$  از رابطه ۸ به دست می‌آیند.

(8)

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

که در اینجا،  $T_{sen}$  دمای درخشندگی سطح سنجنده،  $b_\gamma$  برای لندست ۸ و  $\psi_1$ ،  $\psi_2$  و  $\psi_3$  توابع اتمسفری هستند که با توجه به رابطه ۹ برای لندست ۸ به دست می‌آیند.

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.04019 & 0.02916 & 1.01523 \\ -0.38333 & -1.50294 & 0.20324 \\ 0.00918 & 1.36072 & -0.27514 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W^2 \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

ضرایب  $C_{ij}$  توسط شبیه‌سازی به دست آمده است.  $W$  مقدار بخار آب اتمسفر است که از داده‌های رادیوسوند و محصولات مادیس به دست می‌آید.

پس از به دست آوردن دمای سطح، اقدام به بررسی ارتباط آن با دو پارامتر پوشش گیاهی و آلودگی هوا شد. برای پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. پارامتر آلودگی، شاخص PM<sub>10</sub> در نظر گرفته شد. برای این کار 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 آلودگی‌سنگی را دارد و هم کمترین خطای دارد استفاده شد. الگوریتم‌های موردنظر در جدول ۳ ارائه شده است که بعنوان مثال ۱ RBand نشان دهنده میزان بازتاب باند اول سنجنده است.

جدول ۳. الگوریتم برآورد PM<sub>10</sub> از تصاویر لندست ۸ (Saraswat et al., ۲۰۱۷)

شماره معادله	فرمول	همبستگی	RMSE
۱	$PM_{10} = RBand^1(24, 45) - 83, 4119$	۰, ۸۶۲۷	۲۴, ۵۸۱۱
۲	$PM_{10} = RBand^2(28, 12) - 34, 9272$	۰, ۸۸۲۹	۲۲, ۸۲۱۰
۳	$PM_{10} = RBand^3(30, 81) + 60, 0301$	۰, ۸۶۴۸	۲۴, ۴
۴	$PM_{10} = RBand^4(40, 92) + 108, 845$	۰, ۸۳۲۵	۲۶, ۹۴۳۱
۵	$PM_{10} = RBand^1(-25, 78) + RBand^2(59, 89) + 24, 1226$	۰, ۸۸۹۹	۲۲, ۱۷۱۲
۶	$PM_{10} = RBand^2(43, 45) + RBand^3(-20, 12) - 84, 0814$	۰, ۸۸۵۰۲	۲۲, ۵۸۲۴
۷	$PM_{10} = RBand^3(64, 39) + RBand^4(-34, 41) + 25, 5796$	۰, ۸۷۲۸	۲۳, ۷۱۵۷
۸	$PM_{10} = RBand^1(-53, 69) + RBand^2(134, 26) + RBand^3(-60, 70) - 60, 248$	۰, ۹۰۵۰	۲۰, ۶۶۹۴
۹	$PM_{10} = RBand^2(42, 11) + RBand^3(-15, 98) + RBand^4(-2, 90) - 82, 5585$	۰, ۸۸۵۵	۲۲, ۵۷۹۰
۱۰	$PM_{10} = RBand^1(-94, 22) + RBand^2(176, 48) + RBand^3(21, 01) + RBand^4(-78, 98) - 86, 89$	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).

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k x_k + \varepsilon \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)  $y$  متغیر وابسته،  $\beta_0$  عرض از مبدأ،  $\beta_k$  ضرایب مدل رگرسیون،  $x_k$  متغیرهای مستقل ۶ خطای برازش متحنی و  $k$  تعداد متغیرهای مستقل می‌باشند. بهمنظور بهدست آوردن ضرایب رگرسیون از روش کمترین مربعات استفاده شد (گانش <sup>۷</sup>، 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، بهمان اندازه پیش‌بینی 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).

(11)

R-squared = Explained variation / Total variation

ضریب تعیین همیشه بین ۰ و ۱۰۰٪ است:

٪ نشان می‌دهد که مدل هیچ یک از تغییرپذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین نمی‌کند.

٪ نشان می‌دهد که مدل همه تغییرپذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین می‌کند.

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 زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱۲).

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

<sup>۷</sup> Ganesh

(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 به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های آماری نظری 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 خطاهای به منظور 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:

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

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

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

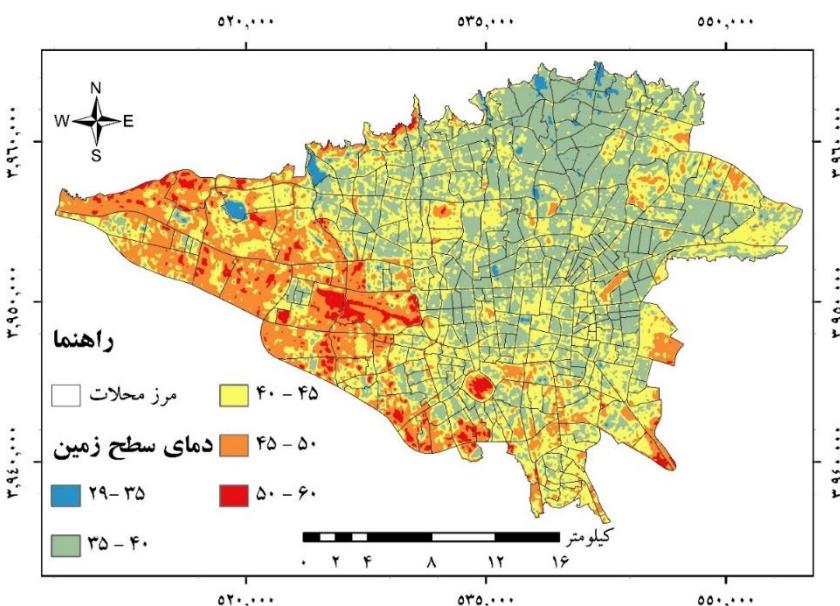
$$MBE = 1/n \sum_{i=1}^n (predict - Ground) \quad (۱۴)$$

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

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

### 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 ۳۵-۲۹ درجه سانتیگراد، ۴۰-۳۵، ۴۵-۴۰، ۵۰-۴۵ و ۵۰-۵۰ درجه سانتیگراد است.



شکل ۲. نقشه دماهی سطح زمین شهر تهران

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

جدول ۴. درصد مساحت طبقات در سطح شهر تهران

طبقه دمایی	۳۵-۲۹	۴۰-۳۵	۴۵-۴۰	۵۰-۴۵	۶۰-۵۰
درصد	% ۱۰۱	% 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.

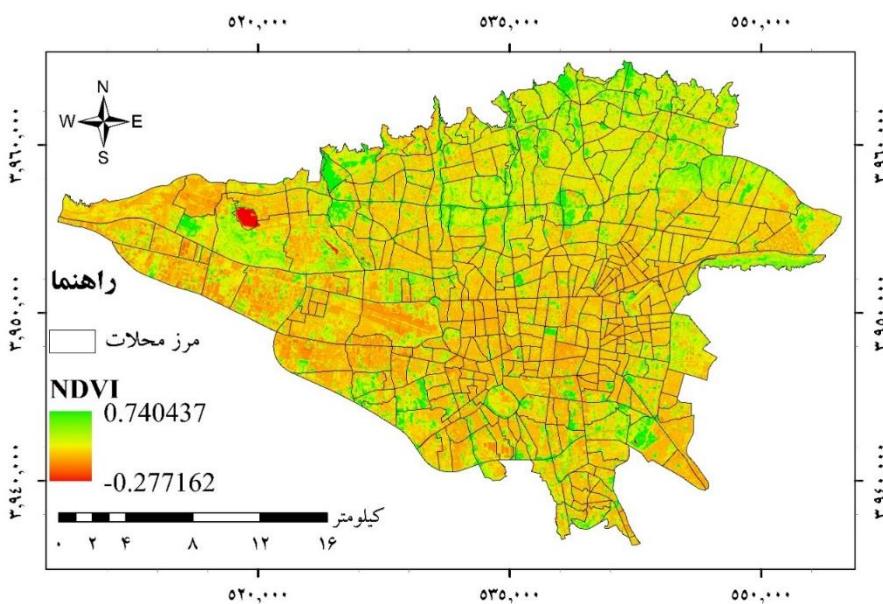
در مرحله بعد تلاش شد که با استفاده از بررسی میانگین دمایی هر یک از محلات، محلات دارایی جزایر گرمایی و جزایر سرمایی مشخص گردد. در جدول ۵، محله دارای بیشترین میانگین دما و ۲۰ دارای کمترین دما مشخص شده است.

جدول ۵. رتبه‌بندی جزایر حرارتی/سرمایی محلات براساس میانگین محلات شهر تهران

ردیف	نام محله	میانگین دما	ردیف	نام محله	میانگین دما	ردیف	نام محله	میانگین دما	ردیف	نام محله	میانگین دما
۱	بوستان ولایت	۴۸.۲۴	۲	ش شهید یاقری	۴۸.۰۱۲	۳	فروودگاه	۴۸.۰۱۱	۴	تهرانسر شرقی	۴۷.۷۹
۵	فتح صنعتی	۴۷.۵۹	۶	ش دانشگاه شریف	۴۷.۵۳	۷	اسماعیل آباد	۴۷.۱۱	۸	شهرک استقلال	۴۷.۰۴
۹	ش دانشگاه تهران	۴۶.۹۳	۱۰	دولتخواه	۴۶.۸۹	۱۱	شهرک رضویه	۴۶.۷۰	۱۲	خليج فارس شمالی	۴۶.۲۹
۱۳	شکوفه جنوبی	۴۶.۲۵	۱۴	خليج فارس جنوبی	۴۶.۲۱	۱۵	شهرک غزالی	۴۶.۱۷	۱۶	شهرک فرهنگیان	۴۶.۰۲
۱۷	هفده شهریور	۴۶	۱۸	چیتگر جنوبی	۴۵.۹۸	۱۹	امید دریان	۴۵.۹۶	۲۰	شهرک صدرا	۴۵.۶۳
۲۰											

مطابق جدول ۵، بوستان ولایت دارای بالاترین میانگین دمایی و پس از این محله، شهرک شهید یاقری و فروودگاه 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 پوشش گیاهی 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 معمولاً 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 پوشش گیاهی متراکم و شاداب هستند.



شکل ۳. نقشه تغییرات فضایی شاخص NDVI

در مرحله بعد بررسی‌ها در خصوص پوشش گیاهی و شاخص 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.

جدول ۶. مقایسه شاخص NDVI برای محلات دارای جزیره گرمایی و سرمایی

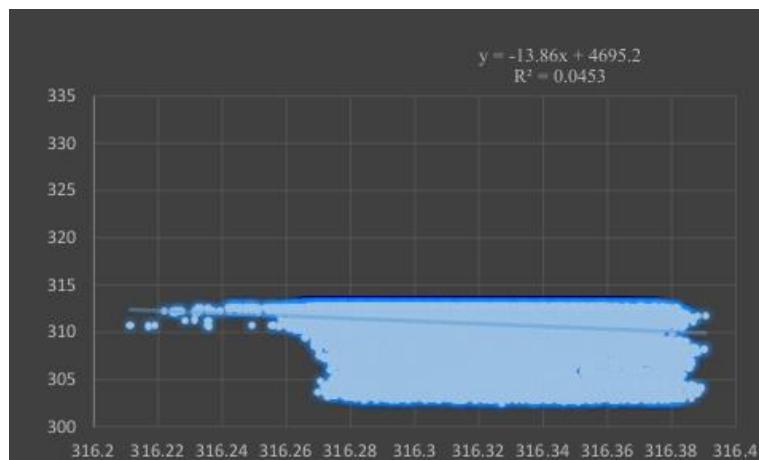
میانگین NDVI	نام محله	رتبه	میانگین NDVI	نام محله	رتبه
۰.۲۳۷۲۴۹	زعفرانیه	۳۶۶	۰.۲۱۵۳۴۸	بوستان ولایت	۱
۰.۲۳۶۰۸۲	محمودیه	۳۶۷	۰.۰۹۲۸۲۱	ش شهید یاقوتی	۲
۰.۱۹۶۶۱۶	قلهک	۳۶۸	۰.۱۲۰۵۵۶	فروندگاه	۳
۰.۲۶۱۸۵۸	باغ فردوس	۳۶۹	۰.۱۳۸۸۹۹	تهرانسر شرقی	۴
۰.۲۵۸۶۳۱	حصار بوعلی	۳۷۰	۰.۰۹۹۵۷۸	فتح صنعتی	۵
۰.۲۶۰۷۷۰	جزستان	۳۷۱	۰.۱۳۰۷۰۴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

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 عدی بیشتری است. این رتبه‌بندی دارای استثنایی 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 مؤثر است که پوشش گیاهی یکی از این عوامل است. بنابراین برای بررسی دقیقت میزان تاثیر شاخص پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین از رگرسیون ( $R$ ) و  $R^2$  استفاده شد.

براساس جدول ۷، همبستگی پیرسون بین شاخص NDVI و دمای سطح زمین برابر با  $-21.29\%$ - 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  $4.5\%$  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 برآش 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( $0\%$ ) است. این بدان معنی است که مدل همبستگی معکوس و تقریباً ضعیفی دارد، اما برآش مدل با توجه به میزان خطاهای بدست آمده بسیار مناسب است.

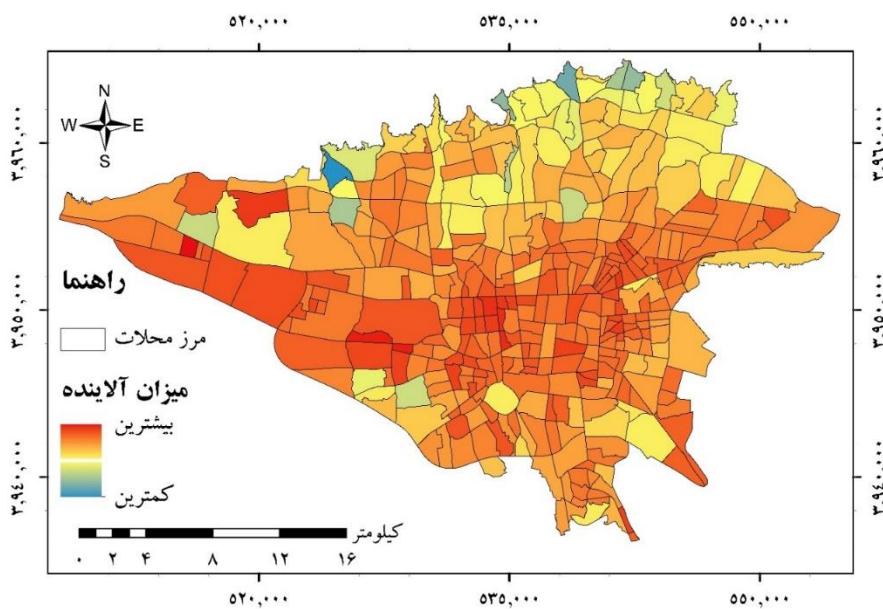
جدول ۷. پارامترهای محاسباتی ارتباط بین NDVI و LST

پارامتر	مقدار بدست آمده
ضریب پیرسون (R)	$-21.29\%$
ضریب تعیین ( $R^2$ )	$4.5\%$
RMSE	۲.۸۲
MAE	۱.۴۵
MBE	$-0.016$



شکل ۴. نمودار ضریب تعیین بین NDVI و LST

با اعمال الگوریتم  $10\text{m}$  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 شمال شهر دارای پاک‌ترین هوا در بین سایر محلات شهر تهران هستند و محلات مرکزی و غربی شهر دارای بالاترین آلودگی هستند.

شکل ۵. نقشه تغییرات فضایی PM<sub>10</sub> شهر تهران

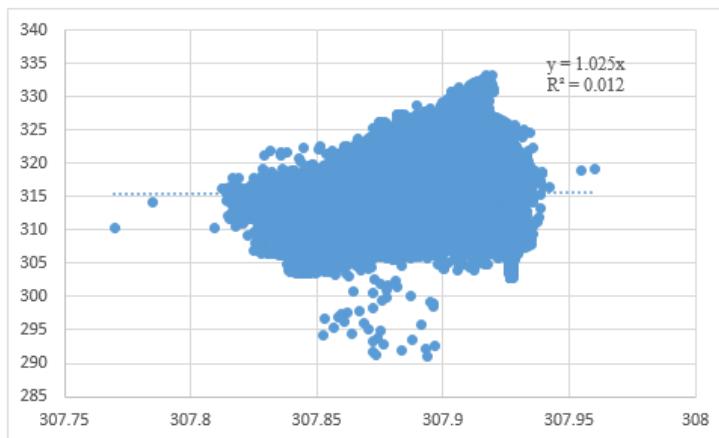
یکی از پارامترهایی که بر طبق آن می‌توان به رابطه یا عدم رابطه بین دمای سطح زمین و میزان آلودگی بی‌برد مقایسه رتبه میانگین دمای محلات با رتبه میانگین آلودگی هوا محلات است. در جدول ۲۰ دمای ۸ محله دارای جزیره گرمایی و ۲۰ محله دارای جزیره سرمایی با آلودگی آنها مقایسه شد است. براساس نتیجی که در این جدول آمده است، میانگین رتبه دمایی ۲۰ محله دارای گرمایی برابر ۱۰.۵ و میانگین رتبه آلودگی شان 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. عبارت دیگر در مکان‌هایی که هوای پاکیزه‌تری وجود دارد، جزیره سرمایی تشکیل می‌شود، اما این میزان رابطه بین آلودگی هوا و جزایر گرمایی وجود ندارد.

جدول ۸. مقایسه رتبه دمای سطح محلات با میزان آلودگی

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

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

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



شکل ۶. نمودار ضریب تعیین دمای سطح زمین و آلدگی

جدول ۹. پارامترهای محاسباتی ارتباط بین آلدگی 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..۲۴

با توجه نمودار شکل ۶ و جدول ۹ ارتباط چندان قوی بین آلدگی 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 آلدگی هوا بر میزان دمای سطح زمین افزوده می‌شود. ضریب تعیین بین این دو کمیت بسیار پایین و در حدود ۱ درصد است. خطاهای برآذش مدل در این تحقیق نیز بیش از خطاهای برآذش مدل در

رابطه بین NDVI و LST است و به ۸.۵ و ۷.۷ می‌رسد. هرچند این میزان خطا در برآش مدل تقریباً 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 معمولاً نتیجه رشد قارچ‌گونه و بدون برنامه‌ریزی شهری است. تاثیر امواج گرمایی و جزایر حرارتی بر روی سلامتی انسانها کاملاً 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 پوشش گیاهی 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 گستره‌ای هست 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 می‌کنند که گستره جزیره گرمایی در جنوب شهر را بیش از بقیه مناطق می‌دانند اما غرب تهران دارای گستره‌ترین 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 تقریباً متعادل است، چرا که مطابق جدول ۴ با وجود اینکه فاصله طبقات دمایی در جدول مذکور تقریباً 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 غالباً 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 ۲۰ در حدود ۳ درجه است که تفاوت تقریباً زیادی است. در طرف مقابل، خنک‌ترین محله (بهاران) میانگین دمایی در حدود ۳۶ درجه دارد که دمایی مطلوبی است و تفاوت دمایی با ۲۰ مین 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 (PM<sub>10</sub>) 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 در علوم زمین. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

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 جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۳(۱): ۱۷-۱.

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): ۹-۶.

هادی‌پور، مهران؛ حمید دارابی و علی‌اکبری داودی‌راد. ۱۳۹۸. بررسی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با شرایط آبودگی 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 CO<sub>2</sub> emissions from power plants. *Environmental pollution*, 116: 119-126. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00264-0.

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*, 113(12): 260-2617. DOI: 10.1016/j.rse.2009.07.021.

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*, 7: 29639-29654. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2902508.

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*. 74: 269-280. DOI: 10.1016/j.jag.2018.09.010.

Chander, G.; B.L. Markham and D.L. Helder. ۲۰۰۹. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(9): 892-903. DOI: 10.1016/j.rse.2009.01.007.

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*, 27(9): 1243-1250. DOI: 10.1002/joc.1469.

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*, 46: 101448. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101448.

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 JULES<sup>4</sup>. 6 with new plant functional types. *Geoscientific Model Development*, 11(7): 28057-28773. DOI: 10.5194/gmd-11-28057-2018.

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*, 5(4): 80-809. DOI: 10.1109/LGRS.2008.2001636.

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*, 7(1): 176-179. DOI: 10.1109/LGRS.2009.2029034.

Jiménez-Muñoz, J.C.; J.A. Sobrino, D. Skoković, C. Mattar and J. Cristóbal. ۲۰۱۴. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11(10): 1840-1843. DOI: 10.1109/LGRS.2014.2312032.

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*, 34: 318-330. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.07.021.

Lenney, M.P.; C.E. Woodcock, J.B. Collins and H. Hamdi. ۱۹۹۷. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. *Remote sensing of environment*, 56(1): 8-20. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00102-2.

Liao, J.; T. Wang, Z. Jiang, B. Zhuang, M. Xie, C. Yin, X. Wang, J. Zhu, Y. Fu and Y. Zhang. ۲۰۱۰. WRF/Chem modeling of the impacts of urban expansion on regional climate and air pollutants in Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Environment*, 106: 204-214. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.01.009.

- 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/s11442-0۱۸-14۵۹-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: ۱۲۱۰۶۰. DOI: ۱۰.۱۰۱/jclepro.۲۰۲۰.۱۲۱۰۶۰.
- 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: ۱۰.۱۰۱/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: ۱۰.1002/joc.1۰۲۶.
- Saraswat, I.; R.K. Mishra and A. Kumar. ۲۰۱۷. Estimation of PM<sub>2.5</sub> concentration from Landsat & OLI satellite imagery over Delhi, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, ۸: ۲۵۱-۲۵۷. DOI: ۱۰.1017/j.rsase.۲۰۱۷.۱۰.۰۰۷.
- Stewart, I. ۲۰۱۱. Redefining the Urban Heat Island. Ph.D Thesis, *The University of British Columbia*, Vancouver. DOI: ۱۰.۱۴۲۸۸/1..۰۷۲۳۶.
- 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*, 4(۳): ۵۸۳-۵۹۷. DOI: ۱۰.۱۰۰۷/s۴۱۷۴۸-۰۲۰-۰۱۶۶-۷.
- 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/s۰۰۳۷۶-۰۹-۸۰۰۱-۲.
- Wang, X.; H. Cheng, J. Xi, G. Yang and Y. Zhao. ۲۰۱۸. Relationship between park composition, vegetation characteristics and cool island effect. *Sustainability*, 10(۳): ۵۸۷. DOI: ۱۰.۳۳۹۰/su۱۰۰۳۰۵۸۷.
- Zanter, K. ۲۰۱۶. Landsat & (L&) 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*, 233: 111374. DOI: ۱۰.۱۰۱/j.rse.۲۰۱۹.111374.

