



## بررسی اثر مورفولوژی شهری بر شدت جزایر حرارتی

### مطالعه موردی: شهر تبریز

ایرج تیموری <sup>۱</sup>	اکبر اصغری زمانی <sup>۲</sup>
عرفان محرم پور <sup>۳</sup>	
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲	تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲

\*\*\*\*\*

#### چکیده

جزیره حرارتی به پدیده‌ای گفته می‌شود که در آن دمای منطقه شهری گرم‌تر از مناطق پیرامونی خود است. در همین راستا هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی نقش مورفولوژی شهری بر جزایر حرارتی در سطح کلان‌شهر تبریز است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش تصاویر روزانه ماهواره‌ای لندست ۸ برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹، در دو فصل تابستان و زمستان به‌طور مجزا بود و روش الگوریتم پنجره مجزا برای استخراج دما و جزایر حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای تجزیه و تحلیل از تحلیل‌های آمار فضایی و رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزارهای ENVI، ArcGIS و Spss 19 صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که توزیع جزایر حرارتی در سطح شهر تبریز به‌صورت خوشه‌ای است. پژوهش حاضر نشان داد که مورفولوژی شهری می‌تواند بر شدت جزایر حرارتی تأثیرگذار باشد. بر طبق یافته‌های مربوط به تحلیل رگرسیونی و F محاسبه شده (۱۷/۶۵) و ضریب معنی‌داری به‌دست‌آمده در سطح ۰/۰۰۰۱، متغیرهای پیش‌بین می‌توانند رفتار متغیر وابسته پژوهش را در تابستان به‌خوبی برآورده کنند. برای فصل زمستان نیز مدل باتوجه‌به F محاسبه شده (۹/۳۶) و ضریب معنی‌داری (۰/۰۰۰۲) قابل‌تعمیم است. از طرف دیگر پژوهش حاضر نشان داد که فاصله از فضای سبز بر شدت جزایر حرارتی تأثیر دارد. به‌طوری‌که براساس یافته‌های مربوط به پژوهش و F محاسبه شده (۷/۵۹۶) و سطح معنی‌داری (۰/۰۰۰۰۷) این موضوع را می‌توان تأیید کرد.

واژه‌های کلیدی: مورفولوژی شهری، جزایر حرارتی، دمای سطح زمین، تبریز

\*\*\*\*\*

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) iraj\_teymuri@yahoo.com

۲- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز azamani621@gmail.com

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز erfanharampour1996@gmail.com

مقدمه

نواحی با دمای بالا، همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطوح بدون پوشش گیاهی دارند (Rajasekar and Weng 2009). در ادامه ساسکا و همکارانش (۲۰۱۱) به طور متوسط ۲ درجه تفاوت دمایی را بین نواحی با تراکم پوشش فضای سبز بالا و کم را نشان دادند (Susca, Gaffin and Dell'Osso 2011). این مسئله را زانگ و همکارانش (۲۰۱۲) نیز در همبستگی منفی بین شاخص NDVI و تشعشع سطح و شدت جزایر حرارتی در نواحی با تراکم بالای صنعتی و تجاری نشان می‌دهند (Zhang, Yiyun, Qing, Jiang, 2012). علاوه بر اثر پوشش گیاهی و سطوح بدون پوشش در شدت جزایر حرارتی، هس وی و شارپلس (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیده‌اند که شکل شهر در ساحل رودخانه‌ها بر سطح خنک‌کنندگی تأثیر دارد (Hathway and Sharples 2012). پرون و همکاران نیز (۲۰۱۵) این مسئله را که محیط شهری و پوشش گیاهی بر دمای شهر تأثیر دارد نشان می‌دهند (Peron, De Maria, Spinazze and Mazzali 2015). این نتیجه در تحقیق الحتاب و همکارانش (۲۰۱۸) نیز دیده شده است، ایشان نشان داده‌اند که مناطق صنعتی شهر دمای زیادی را از خود ساطع کرده و کاربری‌های بایر و خالی از پوشش شهر نیز بر شدت دمای شهر تأثیر می‌گذارند (El-Hattab, Amany and Lamia 2018). جاتو- اسپینو (۲۰۱۸) نیز افزایش شدت جزایر حرارتی تأکید می‌کند (Jato-Espino 2018). این موضوع در پژوهش‌های داخلی نیز مورد کنکاش قرار گرفته است به طوری که؛ هاشمی و همکاران (۱۳۹۲) نشان می‌دهند برخلاف انتظار حداکثر دمای سطح در پهنه‌های متراکم شهری حضور ندارند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهش دیگری ایزدی و حمدی (۱۳۹۴) بر روی شهر تبریز اثر تشدید کنندگی سطوح غیرقابل نفوذ را بر شدت جزایر حرارتی نشان می‌دهند (ایزدی و حمدی، ۱۳۹۴). از سوی دیگر فیضی زاده و همکارانش نیز (۱۳۹۵) نقش پوشش گیاهی و مناطق پوشیده از آب را در کاهش دمای سطح زمین نشان داده‌اند. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که موضوع جزایر حرارتی با توجه به اهمیت آن در گرمایش جهانی، از

جزیره حرارتی، به پدیده‌ای گفته می‌شود که در آن دمای منطقه شهری گرم‌تر از مناطق پیرامونی خود است (Sobrino & et al, 2004: 377 and EPA, 2008 and Solecki, 2004: 10). علت شیوع این پدیده می‌تواند در ارتباط با شهرنشینی فزاینده و اثرات آن بر روی پارامترهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین باشد (Mirzaei & Haghghat, 2012: 7-17). استفاده از مصالحی مانند آسفالت و گرمای منتشر شده از فعالیت‌های حمل‌ونقل و مشاغل صنعتی و کارخانه‌ای سبب افزایش شدت جزایر حرارتی در سطح شهرها شده است (Jato-Espino, 2019: 1-8). عوامل متعددی در شکل‌گیری جزایر حرارتی در کلان‌شهرهایی مانند تبریز دخالت دارند که می‌توان به عواملی مانند؛ زمان (روز و فصل)، اقلیم (باد، ابرناکی و...)، شکل شهر (مواد، هندسه و فضای سبز)، اندازه و عملکرد شهری (مصرف حامل‌های انرژی، جمعیت و...)، موقعیت جغرافیایی (توپوگرافی، نواحی پیرامونی، موقعیت مطلق و نسبی) اشاره کرد. به‌طور کلی در سه حالت مختلف می‌توان این پدیده را بررسی کرد:

۱) جزیره حرارتی لایه تاج‌پوشش؛ لایه هوایی که از سطح زمین تا سطح بالایی درختان و ساختمان‌ها وجود دارد.

۲) جزیره حرارتی لایه مرزی؛ که در بالای لایه تاج پوش قرار گرفته است و

۳) جزیره حرارتی لایه سطح؛ که به لایه سطح زیرسطحی زمین مربوط می‌شود (پورامین و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۰).

جزیره حرارتی لایه تاج پوشش و جزیره حرارتی لایه مرزی به افزایش دمای هوا منجر می‌شود و جزیره حرارتی لایه سطح می‌تواند مربوط به گرمای نسبی سطح زمین و زیر سطح هم باشد (Voogt & Oke, 2003: 370-384).

پژوهش‌های متعددی موضوع جزایر حرارتی را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند از جمله؛ تاکاباشی و موریاما (۲۰۰۹) نشان دادند که دمای هوا با افزایش و گسترش فضای سبز کاهش پیدا می‌کند (Takebayashi, Moriyama 2009). از طرف دیگر راجاسکار و ونگ (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( ... )  
بررسی اثر مورفولوژی شهری بر شدت جزایر حرارتی ... / ۱۸۵

روش تجزیه و تحلیل

ابتدا تصاویر در نرم افزار ENVI پیش پردازش و آماده شدند و سپس مراحل زیر طی شد:

الف) برآورد شاخص پوشش گیاهی (NDVI):

$$\text{فرمول (۱)} \quad \text{NDVI} = (\text{Band5} - \text{Band4}) / (\text{Band5} + \text{Band4})$$

ب) برآورد کسری پوشش گیاهی (FVC)

$$\text{فرمول (۲)} \quad \text{FVC} = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{S}}) / (\text{NDVI}_{\text{V}} + \text{NDVI}_{\text{S}})$$

در این رابطه NDVI شاخص پوشش گیاهی، NDVI<sub>S</sub> مناطق بدون پوشش گیاهی شاخص و NDVI<sub>V</sub> مناطق پوشیده از گیاه شاخص هستند.

ج) برآورد قابلیت انتشار (Emissivity)

قابلیت انتشار برخی از مواد طبیعی در محدوده طول موج ۸ - ۱۲ میکرومتر که در سنجش از دور کاربرد زیادی دارند دیده می شود (1965, Buetner, K.j.k and ken). وند گریند و اوو در سال ۱۹۹۳ رابطه بین شار تابشی و شاخص پوشش گیاهی را به دست آوردند که با رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$\text{فرمول (۳)} \quad P_v = ((\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{Min}}) / (\text{NDVI}_{\text{Max}} - \text{NDVI}_{\text{Min}}))^2$$

جمله دغدغه های اصلی پژوهشگران بوده و به دنبال کشف عوامل و علل تأثیرگذار بر شدت جزایر حرارتی در سطح شهر بوده اند. در راستای پژوهش های قبلی، هدف پژوهش حاضر بررسی نقش مورفولوژی شهری بر جزایر حرارتی در سطح کلان شهر تبریز است. در واقع "بین شاخص مورفولوژی شهر و شدت جزایر حرارتی رابطه معنی داری وجود دارد" فرضیه ای است که پژوهش حاضر درصدد بررسی آن می باشد.

مواد و روش ها:

داده ها و روش گردآوری

جدول (۱) لیست تصاویر ماهواره ای لندست سنجنده OLI را در تاریخ های مختلف نشان می دهد. این تصاویر از سایت USGS دریافت و ذخیره شده اند.

ابزار، مدل ها و نرم افزارها

برای برآورد دمای سطح زمین از الگوریتم پنجره مجزا و برای تحلیل های فضائی از خودهمبستگی موران lowest/highest position، لکه های داغ و نهایتاً از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. برای این منظور نرم افزارهای ENVI و ARCGIS و SPSS مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده

تاریخ تصویربرداری		تعداد باندها	قدرت تفکیک	سیستم تصویر	گذر	ردیف	سنجنده	ماهواره
زمستان	تابستان							
۲۰۱۴/۰۳/۲۳	۲۰۱۴/۰۷/۱۳	۱۱	باندها ۱ تا ۸ = ۳۰ متر باندها ۹ = ۱۵ متر باندها ۱۱ و ۱۲ = ۱۰۰ متر	WGS84	۱۶۸	۳۴	OLI_TIRS	لندست ۸
۲۰۱۵/۰۳/۱۰	۲۰۱۵/۰۶/۳۰							
۲۰۱۵/۱۱/۲۱	*							
۲۰۱۶/۰۲/۲۵	۲۰۱۶/۰۷/۲۰							
۲۰۱۶/۱۱/۰۷	*							
۲۰۱۷/۱۰/۲۵	۲۰۱۷/۰۶/۱۹							
۲۰۱۸/۰۳/۱۸	۲۰۱۸/۰۶/۲۲							
۲۰۱۸/۱۰/۲۸	*							
۲۰۱۹/۱۱/۱۶	۲۰۱۹/۰۷/۱۱							

برای تبدیل رادبان نیز از فرمول (۷) استفاده شد:

$$L\lambda = MI^* + Qcal + A1$$

$$MI = \text{radiance\_mult\_band\_10/11}$$

$$Qcal = 11 \text{ و } 10 \text{ باند}$$

$$A1 = \text{radiance\_add\_band\_10/11}$$

(ر) برآورد دمای روشنایی ماهواره (Brightness Temperature) داده‌های باند حرارتی را می‌توان با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی تبدیل کرد. این تبدیل با فرمول (۸) انجام می‌شود:

$$T = K^2 / \ln(K^1/L^2 + 1) - 272.15 \quad (8)$$

دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلونین

ثابت حرارتی برای هر دو باند حرارتی موجود در متادیتا  $K^2, K^1$

درخشندگی جو بالا  $L^2 =$

(ز) برآورد ستون بخار آب (Cwv)

ستون بخار آب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند که با فرمول (۹) قابل محاسبه است:

$$CWV = C^0 + C^1 * (T/T^i) + C^2 * (T/T^i)^2 \quad (9)$$

$T/T^i$  میانگین دمای روشنایی

$$C^0 = -9.674$$

$$C^1 = 0.653$$

$$C^2 = 9.087$$

...  $C^0, C^1, C^2$  ضرایب ثابت به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده هستند.

جدول (۳): ضرایب الگوریتم پنجره مجزا

ارزش	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$
	-۰/۲۶۸	-۰/۲۶۸	-۰/۲۶۸	-۰/۲۶۸	-۰/۲۶۸	-۰/۲۶۸	-۰/۲۶۸
ضرایب ثابت	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$	$C^0$

ماخذ: ولیزاده و همکاران، ۱۳۹۴

$$E = 0.004 P_v + 0.986 \quad (4)$$

$P_v^1$  = نسبت پوشش گیاهی

حداقل و حداکثر ارزش پیکسل‌های  $NDVI = NDVI^{Max.Min}$

$E$  = قابلیت انتشار از اجسام

(د) برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE)

یکی دیگر از معیارهایی که برای محاسبه دمای سطح زمین لازم و ضروری می‌باشد، برآورد قابلیت انتشار در سطح زمین است که این معیار به صورت جداگانه در هر دو باند حرارتی (۱۰ و ۱۱) ماهواره لندست ۸ برای گیاه و خاک محاسبه شد. (جدول ۲). رابطه محاسبه LSE به صورتی است که در فرمول (۵) ملاحظه می‌شود:

$$LSE = E_s(1-FVC) + E_v * FVC \quad (5)$$

LSE = قابلیت انتشار سطح زمین

$E^{sv}$  = انتشار گیاه و خاک برای باندهای حرارتی طبق جدول شماره (۲)

FVC = نسبت پوشش گیاهی

جدول (۲): Emissivity برای خاک و گیاه

قابلیت انتشار	باند ۱۰	باند ۱۱
خاک	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
گیاه	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

ماخذ: جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴

بعد از محاسبه کردن LSE برای هر یک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین این دو باند نیز محاسبه شد.

$$E = (E^{10} - E^{11}) / 2$$

$$\Delta E = (E^{10} - E^{11})$$

فرمول (۶)

$E$  = میانگین باندهای ۱۰ و ۱۱

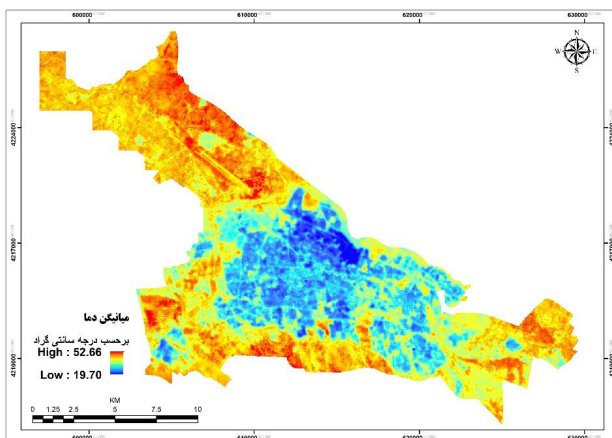
$\Delta E$  = اختلاف ۱۰ و ۱۱

جدول (۴): دمای شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در فصل تابستان

تاریخ تصاویر	دمای حداقل	دمای حداکثر	میانگین دما	اختلاف دما
۲۰۱۴/۰۷/۱۳	۲۰/۴۳	۵۰/۱۴	۳۵/۲۸	۲۹/۷۱
۲۰۱۵/۰۶/۳۰	۲۵/۴۱	۵۵/۵۷	۴۰/۴۹	۳۰/۱۶
۲۰۱۶/۰۷/۱۸	۲۱/۵۶	۵۴/۷۳	۳۸/۱۴	۳۳/۱۷
۲۰۱۷/۰۶/۱۹	۲۱/۰۰۱	۵۶/۰۲	۳۸/۵۱	۳۵/۰۱
۲۰۱۸/۰۶/۲۲	۱۷/۳۲	۵۳/۶۰	۳۵/۴۶	۳۶/۲۸
۲۰۱۹/۰۷/۱۱	۱۸/۴۸	۵۶/۲۸	۳۷/۳۸	۳۷/۸

در ادامه نقشه جزیره حرارتی شهر تبریز در سال، ماه و روز مشخص ارائه شده است:

نگاره ۱ نقشه میانگین جزایر حرارتی سالهای ۲۰۱۴-۲۰۱۹ شهر تبریز در فصل تابستان نیز نشان می‌دهد که مناطق ساخته شده یا مسکونی دارای دمای پایین تری نسبت به مناطق اطراف به ویژه باز دارد که علت آن را می‌توان به تراکم ساختمان‌ها به خصوص ارتفاع ساختمان‌ها، فضای سبز موجود در داخل شهر بیان کرد. در نقشه مذکور دمای حداقل برابر با ۲۰/۷۰ و حداکثر آن برابر با ۵۴/۳۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (نگاره ۱).



نگاره ۱: نقشه میانگین جزایر حرارتی شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در فصل تابستان

با به دست آوردن ضرایب ثابت، تمام مجهولات موجود در فرمول محاسبه دمای سطح زمین حاصل شد و با جایگزین کردن مقادیر، دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه به دست آمد:

$$LST = TB^{10} + C^1(TB^{10} - TB^{11}) + C^2(TB^{10} - TB^{11})^2 + C^0 + (C^3 + C^4W)(1 - \Delta 4) + (C^5 + C^6W)\Delta 4 \quad (10)$$

اختلاف دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱  $TB^{10} - TB^{11}$

ضرایب ثابت الگوریتم  $C^0, \dots, C^6$

ستون بخار آب  $W$

اختلاف  $\Delta 4 = LSE$

#### تعریف عملیاتی متغیرهای پژوهش:

مورفولوژی شهری: مورفولوژی یا ریخت‌شناسی عبارت است از شناخت شکل ظاهری و ساختمان بیرونی پدیده‌ها و ویژگی‌های ساختاری آن؛ در این پژوهش با عنایت به این تعریف شاخص مورفولوژی شهری عبارت است از: الف) نسبت مساحت فضای باز به فضای ساخته شده در محدوده

ب) نسبت فضای سبز به کل فضای محدوده  
ج) نسبت مساحت فضای صنعتی به کل مساحت محدوده  
د) نسبت مساحت کل فضای ساخته شده به مساحت محدوده فاصله از فضای سبز: برای هر محدوده فضای سبز با استفاده از تابع فاصله در محیط نرم‌افزار Arc GIS به متر حساب شد.

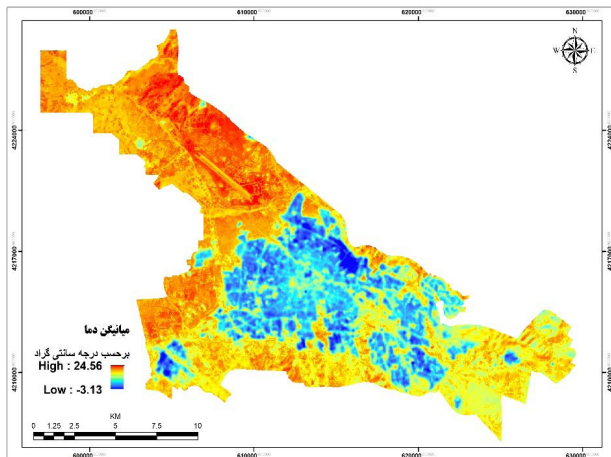
شدت جزایر حرارتی: بعد از محاسبه دمای زمین شدت جزایر حرارتی از طریق بی‌بعد سازی لایه دما به دست آمد.

#### یافته‌های پژوهش:

##### الف) جزایر حرارتی در تابستان

در جدول (۴)، دمای حداقل، دمای حداکثر و میانگین و اختلاف دمای شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۱۴ در فصل تابستان ارائه شده است.

در نگاره ۲، نقشه میانگین جزایر حرارتی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۴ شهر تبریز در فصل زمستان نیز نشان می‌دهد که مناطق ساخته‌شده یا مسکونی دارای دمای پایین‌تری نسبت به مناطق اطراف به‌ویژه باز هستند، که علت آن را می‌توان به تراکم ساختمان‌ها به‌خصوص ارتفاع ساختمان‌ها و فضای سبز موجود در داخل شهر مرتبط دانست. در نقشه مذکور، دمای حداقل برابر با  $-۳/۱۳$  و حداکثر آن برابر با  $۲۴/۵۶$  درجه سانتی‌گراد است (نگاره ۲).



نگاره ۲: نقشه جزایر حرارتی شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در فصل زمستان

### یافته‌های تحلیل فضایی موران زون‌بندی براساس Fish net

در این تحقیق با استفاده از دستور Fish net محدوده شهر به شبکه‌های با ابعاد ۲ کیلومتر در ۲ کیلومتر تفکیک شد. سپس برای زون‌بندی جزایر حرارتی لایه فیش‌نت با لایه میانگین دمای تابستان و زمستان با استفاده از دستور zonal اعداد دمای هر پیکسل استخراج شدند. در نگاره‌های ۳ و ۴، نقشه جزایر حرارتی فصول تابستان و زمستان ارائه شده است. طبق نگاره ۳ محدوده ساخته شده و فضای سبز اطراف جزایر حرارتی پایین‌تری نسبت به مناطق اطراف به‌ویژه باز و بایر دارد.

### ب) جزایر حرارتی در زمستان

در فصل زمستان نیز نتایج نقشه‌های جزایر حرارتی شهر تبریز برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ نشان داد که کمترین میانگین دما مربوط به تاریخ ۲۰۱۵/۱۱/۲۱ برابر با  $۴/۷۹$  درجه سانتی‌گراد و بیشترین آن نیز مربوط به تاریخ ۲۰۱۷/۱۰/۲۵ برابر با  $۱۸/۹۴$  درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین بیشترین و کمترین اختلاف دما به ترتیب در تاریخ‌های ۲۰۱۴/۰۳/۲۱ و ۲۰۱۵/۱۱/۲۱ برابر با  $۳۱/۲۲$  و  $۹/۵۹$  درجه سانتی‌گراد بوده است.

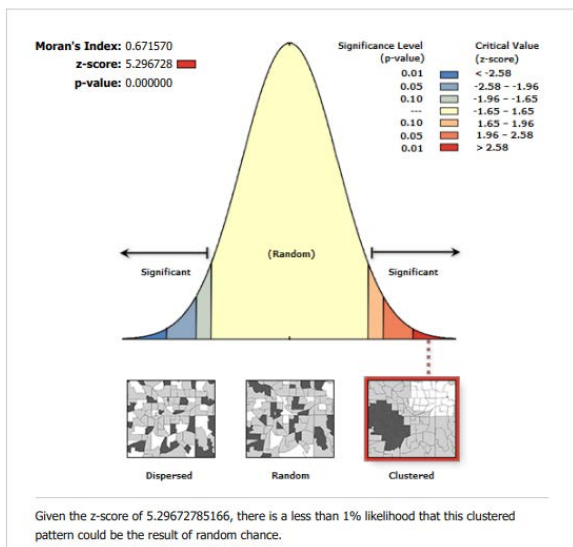
به‌علاوه، می‌توان تغییرات فضایی-مکانی جزایر حرارتی را در طی سال‌های فوق‌الذکر برای شهر تبریز این‌گونه بیان کرد که در این بازه زمانی در فصل تابستان محدوده‌های ساخته‌شده (مسکونی) و فضای سبز کمترین دما و محدوده‌های باز به‌ویژه بایر و فاقد پوشش گیاهی مثل فرودگاه و اطراف آن بیشترین دما را دارند (جدول ۵، نگاره ۲).

جدول ۵: دمای شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در فصل زمستان

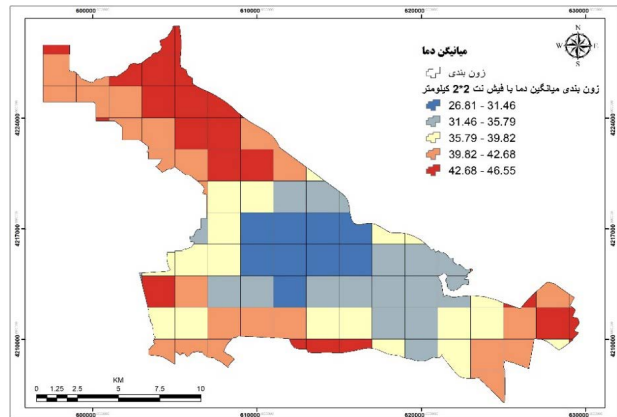
تاریخ تصاویر	دمای حداقل	دمای حداکثر	میانگین دما	اختلاف دما
۲۰۱۴/۰۳/۲۳	۲/۲۷	۳۳/۴۹	۱۷/۸۸	۳۱/۲۲
۲۰۱۵/۰۳/۱۰	-۶/۶۶	۲۸/۴۵	۱۰/۸۹	۲۱/۷۹
۲۰۱۵/۱۱/۲۱	-۸/۳۷	۱۷/۹۶	۴/۷۹	۹/۵۹
۲۰۱۶/۰۲/۲۵	-۳/۵۷	۲۴/۲۰	۱۰/۳۱	۲۰/۶۳
۲۰۱۶/۱۱/۰۷	-۲/۲۱	۲۵/۰۲	۱۱/۴۰	۲۲/۸۱
۲۰۱۷/۱۰/۲۵	۳/۴۴	۳۴/۴۴	۱۸/۹۴	۳۱
۲۰۱۸/۰۳/۱۸	-۳/۲۷	۲۹/۶۰	۱۳/۱۶	۲۶/۳۳
۲۰۱۸/۱۰/۲۸	-۲/۲۷	۲۸/۷۳	۱۳/۲۳	۲۶/۴۶
۲۰۱۹/۱۱/۱۶	-۱۰/۲۰	۲۲/۶۳	۶/۲۱	۱۲/۴۳

جزایر حرارتی در فصل تابستان در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در شهر تبریز دارای الگوی خوشه‌ای می‌باشد. همچنین آماره Z برای جزایر حرارتی محدوده مورد مطالعه ۵/۲۹۶ است؛ بنابراین در مجموع براساس موران جهانی می‌توان استنباط نمود که جزایر حرارتی در فصل تابستان در سطح شهر تبریز از الگوی خوشه‌ای تبعیت می‌کند.

نگاره (۶) نیز نتایج خودهمبستگی فضایی موران جهانی جزایر حرارتی فصل زمستان در شهر تبریز را نشان می‌دهد. براساس این نگاره مقدار شاخص موران جهانی برابر ۰/۶۷۹ است، این نکته نشان می‌دهد که براساس شاخص موران جهانی، جزایر حرارتی در فصل زمستان نیز در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در شهر تبریز دارای الگوی خوشه‌ای می‌باشد. همچنین آماره Z برای جزایر حرارتی محدوده مورد مطالعه ۵/۳۸۷ می‌باشد؛ بنابراین در فصل زمستان نیز می‌توان استنباط کرد که جزایر حرارتی در فصل زمستان در سطح شهر تبریز براساس موران جهانی از الگوی خوشه‌ای تبعیت می‌کند؛ بنابراین باتوجه به بالا بودن مقدار Z و پایین بودن مقدار p-value در هر دو فصل تابستان و زمستان می‌توان فرض صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی فضایی جزایر حرارتی را رد نمود.

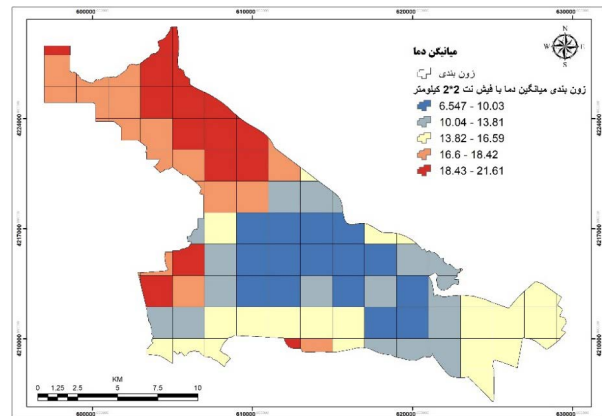


نگاره ۵: پراکنش فضایی آماره موران در فصل تابستان



نگاره ۳: نقشه زون‌بندی شده جزایر حرارتی شهر تبریز در فصل تابستان

در نگاره ۴، نقشه جزایر حرارتی فصل زمستان نشان داده شده است. در فصل زمستان نیز شرایط مثل فصل تابستان می‌باشد؛ ولی در فصل زمستان شدت جزایر حرارتی بیشتر از تابستان است.



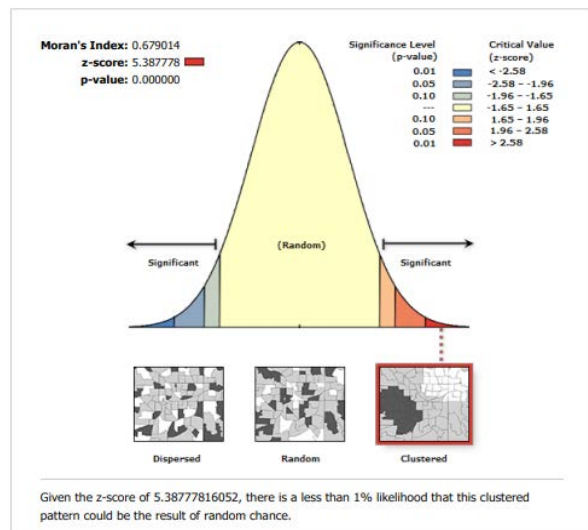
نگاره ۴: نقشه زون‌بندی شده جزایر حرارتی شهر تبریز در فصل زمستان

یافته‌های الگوی خودهمبستگی فضایی موران جهانی و محلی خروجی‌های تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی و محلی، در نگاره‌های (۵ تا ۸) ارائه شده است. نگاره ۵، خوشه‌ای بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طوری مشاهده می‌شود مقدار شاخص موران جهانی برابر ۰/۶۷۱ است. این نکته نشان می‌دهد که براساس شاخص موران جهانی،

شامل مناطق ساخته شده و فضاهای سبز داخل شهر می شود و مناطق با High-High Cluster که الگوی خوشه‌ای بالا را نمایش می دهند، مناطقی را شامل می شوند که نسبت به جزایر حرارتی در سطح بالاتری قرار دارند و مناطق با Not Significant نشان دهنده فاقد الگوی معنی دار جزایر حرارتی در سطح شهر هستند.

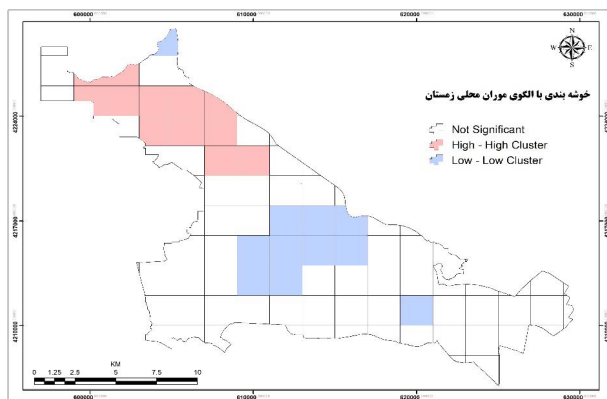
نتایج الگوی خوشه‌ای موران محلی جزایر حرارتی فصل زمستان در شهر تبریز در نگاره ۸ ارائه شده است.

در این نگاره نیز مناطق با Low-Low Cluster که الگوی خوشه‌ای پایین را نمایش می دهند، مناطقی را شامل می شوند که نسبت به جزایر حرارتی در سطح پایین تری قرار دارند و شامل مناطق ساخته شده و فضاهای سبز داخل شهر می شوند و مناطق با High-High Cluster که الگوی خوشه‌ای بالا را نمایش می دهند، مناطقی را شامل می شوند که نسبت به جزایر حرارتی در سطح بالاتری قرار دارند. در فصل زمستان فرودگاه تبریز نسبت به فصل تابستان از الگوی خوشه‌ای بالایی برخوردار می باشد و در نهایت مناطق با Not Significant نشان دهنده فقدان الگوی معنی دار جزایر حرارتی در سطح شهر است.



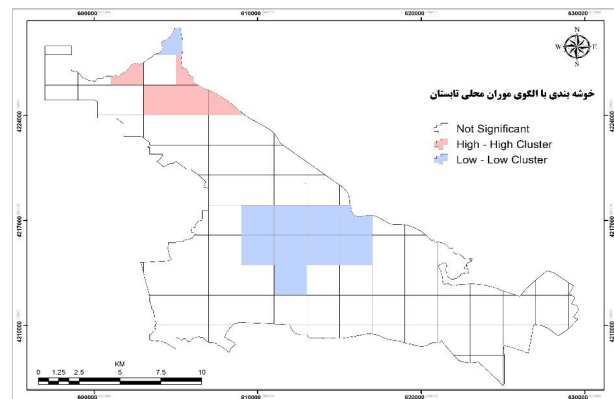
نگاره ۶: پراکنش فضایی آماره موران در فصل زمستان

همان طور که مشاهده شد خودهمبستگی فضایی موران جهانی فقط نوع الگو را مشخص می کند. به همین دلیل برای نشان دادن الگوی حاکم بر توزیع جزایر حرارتی در سطح شهر تبریز در فصل تابستان، از موران محلی استفاده شد. نگاره ۷ تغییرات درون دهه‌ای خودهمبستگی فضایی الگوی خوشه‌ای موران محلی جزایر حرارتی را در فصل تابستان در شهر تبریز نشان می دهد.



نگاره ۸: خوشه‌بندی جزایر حرارتی براساس موران محلی تبریز در زمستان

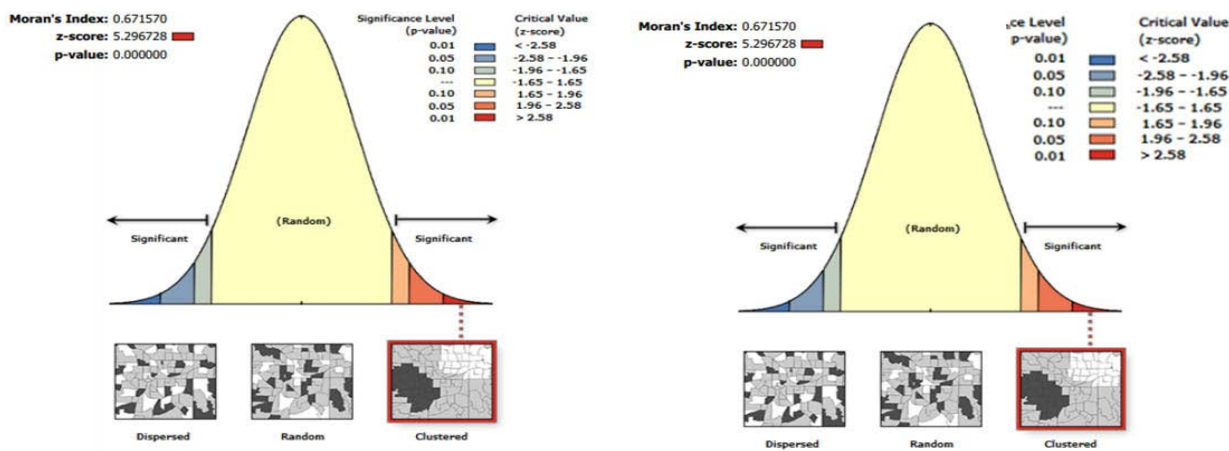
یافته‌های تحلیل الگوی فضایی High-Low و داغ-سرد (Hotspot) باتوجه به آنچه تاکنون گفته شد، آن دسته از نواحی شهر که جزایر حرارتی دارای خودهمبستگی فضایی مثبت



نگاره ۷: خوشه‌بندی جزایر حرارتی براساس موران محلی تبریز در تابستان

در این نگاره مناطق با Low-Low Cluster که الگوی خوشه‌ای پایین را نمایش می دهند، مناطقی را شامل می شوند که نسبت به جزایر حرارتی در سطح پایین تری قرار دارند و



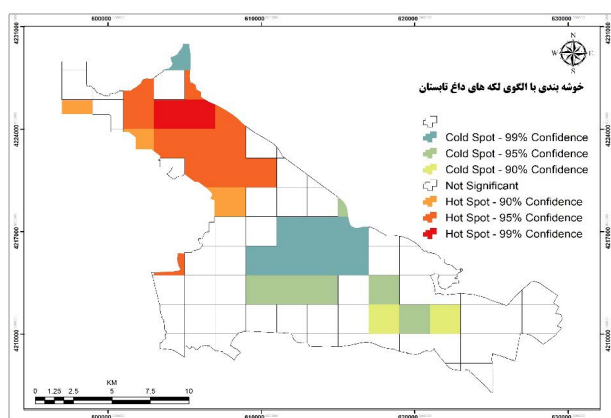


نگاره ۹: پراکنش فضایی الگوی High-Low جزایر حرارتی شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ (تابستان: سمت راست، زمستان: سمت چپ)

منطقه باز را شامل می‌شود، و مناطق با رنگ آبی تیره و آبی نیز دارای خوشه‌ای سرد، پایین و منفی به ترتیب در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد است که بیشتر مناطق ساخته شده و فضاهای سبز را شامل می‌شود.

نگاره ۱۱، الگوی خوشه‌ای Hot spot در فصل زمستان را نشان می‌دهد. مناطق با رنگ قرمز تیره دارای خوشه‌ای گرم، بالا و مثبت در سطح اطمینان ۹۹ درصد است که بیشتر منطقه باز را شامل می‌شود و مناطق با رنگ آبی تیره و آبی نیز دارای خوشه‌ای سرد، پایین و منفی به ترتیب در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد است که بیشتر مناطق ساخته شده و فضاهای سبز را شامل می‌شود.

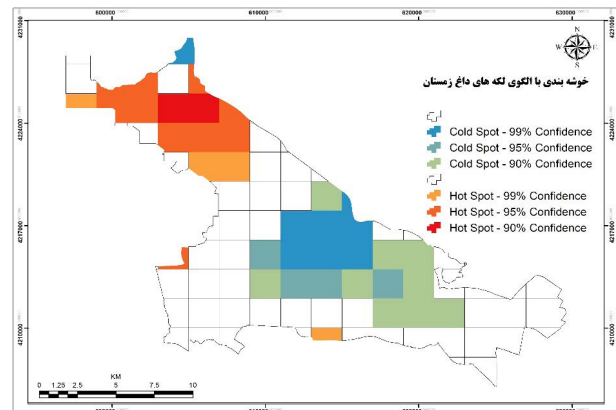
(خوشه‌هایی با سطح اطمینان بالا) و منفی (خوشه‌هایی با سطح اطمینان کم) بودند مشخص شد. اما به منظور حصول اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های بارزش بالا و پایین از شاخص لکه‌های داغ-سرد یا Hotspot استفاده شده که نتایج آن در نگاره‌های (۹ تا ۱۱) برای فصل تابستان و زمستان ارائه شده است. آماره عمومی G که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، نوعی امتیاز Z است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z بزرگ‌تر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و کانون‌هایی با جزایر حرارتی بالا را تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری هر چه امتیاز Z کوچک‌تر باشد، به معنای خوشه‌بندی با مقادیر پایین خواهد بود و این‌ها درحقیقت کانون‌هایی با جزایر حرارتی پایین را نشان می‌دهند. براساس نتایج، الگوی خوشه High-Low، خوشه‌ای بودن جزایر حرارتی را در فصول تابستان و زمستان در شهر تبریز نشان می‌دهد که مقدار Z نیز به ترتیب برابر با ۱/۸۵ و ۲/۲۸ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که فصل زمستان نسبت به فصل تابستان دارای الگوی خوشه‌ای بهتری است (نگاره ۹).



نگاره ۱۰: پراکنش فضایی الگوی Hot Spot جزایر حرارتی شهر تبریز در تابستان

نگاره ۱۰، نشان‌دهنده الگوی خوشه‌ای Hot spot در فصل تابستان می‌باشد، مناطق با رنگ قرمز تیره دارای خوشه‌ای گرم، بالا و مثبت در سطح اطمینان ۹۹ درصد است که بیشتر

شاخص مورفولوژی شهری استفاده شد. سپس آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره بین میانگین دمای هر فیشنت در تابستان و زمستان با متغیرهای مستقل (سرانه کاربری‌های ساخته شده، صنعتی، فضای سبز و فضای باز) انجام گرفت. طبق نتایج رگرسیون چندمتغیره (نگاره‌های ۱۲ و ۱۳) می‌توان این‌گونه بیان کرد که مؤثرترین عامل در ایجاد جزایر در فصل تابستان به ترتیب؛ فضای باز برابر با ۲/۷۵۹، فضای سبز برابر با ۲/۷۵۶، ساخته شده برابر با ۲/۷۵۲ و در آخر کاربری صنعتی برابر با ۲/۶۵۱ هستند. همچنین مقادیر R به ترتیب  $R-sq=43.96\%$  و  $R-sq(adj)=41.47\%$  نشان‌دهنده برآورد دما با مورفولوژی شهری (ساخته شده، صنعتی، فضای باز و سبز) بوده و مقدار F نیز رابطه معنی‌داری شاخص‌های مورفولوژی شهری با جزایر حرارتی را نشان می‌دهد که این مقدار در فصل تابستان برابر با ۱۷/۶۵ است. حرف p نیز نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪ می‌باشد.



نگاره ۱۱: پراکنش فضایی الگوی Hot Spot جزایر حرارتی شهر تبریز در زمستان

### بحث و یافته‌های پژوهش

برای آزمون فرضیه، براساس نقشه فیشنت موجود سرانه کاربری‌های ساخته شده، صنعتی، فضای سبز و فضای باز نسبت به مساحت فیشنت حساب شد که از آن به‌عنوان

Regression Equation						
Dama = -1.084e+006 + 109.079 BAz + 0.341253 Sanati + 108.955 Sabz + 108.85 SakhtehShode						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	-1083998	395308	-2.74216	0.007		
BAz	109	40	2.75927	0.007		
Sanati	0	0	2.65158	0.009		
Sabz	109	40	2.75661	0.007		
SakhtehShode	109	40	2.75271	0.007		
Summary of Model						
S = 987.166	R-Sq = 43.96%	R-Sq(adj) = 41.47%				
PRESS = 103877770	R-Sq(pred) = 33.63%					
Analysis of Variance						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	68812427	68812427	17203107	17.6533	0.0000000
BAz	1	42761132	7419414	7419414	7.6136	0.0070178
Sanati	1	12012509	6851562	6851562	7.0309	0.0094673
Sabz	1	6654608	7405120	7405120	7.5989	0.0070705
SakhtehShode	1	7384179	7384179	7384179	7.5774	0.0071486
Error	90	87704742	87704742	974497		
Lack-of-Fit	83	85176430	85176430	1026222	2.8412	0.0729149
Pure Error	7	2528311	2528311	361187		
Total	94	156517169				

نگاره ۱۲: نتایج آماری رگرسیون چندمتغیره برای تابستان

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مجله)**  
 بررسی اثر مورفولوژی شهری بر شدت جزایر حرارتی ... / ۱۹۳

پایین بودن مقدار  $p (0/007)$  نیز معنی دار بودن این رابطه را نشان می دهد. در این فصل رابطه فضای سبز با جزایر حرارتی نیز این شرایط را اثبات می کند. همچنین با مقایسه نقشه های جزایر حرارتی با کاربری اراضی شهر تبریز نیز می توان معنی دار بودن این رابطه را مشاهده کرد؛ بنابراین این فرضیه نیز تأیید می شود.

**نتیجه گیری**

بر طبق یافته های پژوهش میانگین دمای شهر تبریز در تابستان برای دوره های زمانی مورد بررسی برابر با  $37/7$  درجه سانتی گراد می باشد. طبق یافته ها میانگین دما در سال های مختلف متفاوت بوده و روند خاصی را نشان نمی دهند. همچنین میانگین دمای شهر طی دوره مورد مطالعه در فصل زمستان برابر با  $11/8$  درجه سانتی گراد می باشد. بررسی تغییرات میانگین دمای دوره مورد مطالعه الگوی

همچنین، در فصل زمستان شرایط تقریباً یکسان است. به این صورت که مؤثرترین عوامل در جزایر حرارتی برای فصل زمستان نیز به ترتیب؛ فضای سبز برابر با  $1/329$ ، فضای باز برابر با  $1/326$ ، ساخته شده برابر با  $1/322$  و کاربری صنعتی برابر با  $0/654$  هستند.

مقادیر  $R-sq(pred)=20.66\%$  و  $R-sq(adj)=26.24\%$  و  $R-sq=29.38\%$  بوده و مقدار  $F$  نیز برابر با  $9/36$  است که نسبت به فصل تابستان دارای رابطه معنی دار کمتری می باشد. مقدار  $p$  نیز در این فصل برابر با  $0/000002$  می باشد که نشان دهنده معنی دار بودن رابطه دما با مورفولوژی شهری در این فصل است؛ بنابراین فرضیه اول تأیید می شود.

بر اساس نتایج رگرسیون چندمتغیره در فصل تابستان (نگاره ۱۲) تأثیر رابطه فضای سبز برای ایجاد جزایر حرارتی برابر با  $2/756$  بوده که خود نشانگر معنی دار بودن این رابطه است. همچنین، با لا بودن مقدار  $F$  فضای سبز ( $7/598$ ) و

Regression Equation						
dama	=	-546881	+ 55.3246 Baz	+ 0.0888707 sanati	+ 55.4306 sabz	+ 55.1626 sakhte
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	-546881	416944	-1.31164	0.193		
Baz	55	42	1.32687	0.188		
sanati	0	0	0.65470	0.514		
sabz	55	42	1.32964	0.187		
sakhte	55	42	1.32263	0.189		
Summary of Model						
S	= 1041.20	R-Sq	= 29.38%	R-Sq (adj)	= 26.24%	
PRESS	= 109620762	R-Sq(pred)	= 20.66%			
Analysis of Variance						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	40593085	40593085	10148271	9.36112	0.000002
Baz	1	10652781	1908633	1908633	1.76059	0.187908
sanati	1	4105859	464680	464680	0.42864	0.514328
sabz	1	23938007	1916616	1916616	1.76795	0.186996
sakhte	1	1896437	1896437	1896437	1.74934	0.189311
Error	90	97567903	97567903	1084088		
Lack-of-Fit	83	91072013	91072013	1097253	1.18240	0.447147
Pure Error	7	6495890	6495890	927984		
Total	94	138160988				

نگاره ۱۳: نتایج آماری رگرسیون چندمتغیره برای زمستان

انجام گرفته قبلی در ایران این پژوهش نیز نشان داد که دمای داخل شهر خنک‌تر از دمای پیرامون بوده و به‌نوعی در شهری مانند تبریز به‌جای جزایر حرارتی با جزایر سرمایایی مواجه هستیم. علت آن می‌تواند به فشردگی و تراکم بالای ساختمانی در شهرها ارتباط داشته باشد که مستلزم انجام پژوهشی دیگر است. همچنین این پژوهش نشان داد دمای سطح زمین تحت اثر متغیرهای مورفولوژی شهری و فاصله از فضای سبز می‌باشد. این پژوهش زمینه جدیدی را برای پژوهش‌های آتی باز می‌کند.

### منابع و ماخذ

- ۱- ایزدی، آ. محمدی، س (۱۳۹۴)، بررسی عوامل مؤثر جزیره گرمایی شهر تبریز، کنفرانس بین‌المللی انسانی، معماری، مهندسی عمران و شهر، ص ۱-۱۴.
- ۲- جویباری مقدم، ی. آخوندزاده، م. سراجیان، م. (۱۳۹۴). ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین به‌منظور تخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست ۸. نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری. دوره پنجم. شماره ۱.
- ۳- فیضی‌زاده، ب؛ دیده‌بان، خ؛ غلام‌نیا، خ. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد). فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات جغرافیایی، سال ۲۳، شماره ۱۳، ۹۳۹-۹۳۹.
- ۴- ولیزاده کامران، خ؛ رحیم‌پور، ت؛ نخسین روحی، م (۱۳۹۴). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ (مطالعه موردی: شهر ارومیه). اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی پاک، اردیبهشت، دانشگاه محقق اردبیلی، شماره ۴۷۱
- ۵- هاشمی، س.م. علوی پناه، س.ک. دیناروندی، م. (۱۳۹۲). ارزیابی توزیع فضایی سطح زمین سطح در استفاده از سنجش از راه دور حرارتی در محیط شهری، مجله محیط‌زیست. شماره ۳۹: ۱۱-۸۱-۹۲.

خاصی را نشان نداد. اما برطبق یافته‌ها میانگین دمای شهر در فصل تابستان و زمستان در مقایسه با نواحی پیرامونی خود کمتر می‌باشد. متوسط اختلاف دمای داخل شهر با نواحی پیرامونی برابر با ۳۳/۷ در تابستان و ۲۲/۵ درجه برای فصل زمستان می‌باشد.

هم‌زمان با پژوهش حاضر، شیرینی بیدآبادی و همکارانش (۲۰۱۹) این نتیجه را برای شهر اصفهان به دست آورده بودند. بررسی یافته‌های مربوط به تحلیل Highst - Lowest position، موران محلی و لکه‌های داغ در سطح شهر تبریز نشان داد که در دوره زمانی مورد مطالعه کمترین دمای سطح برای پوشش فضای سبز و مناطق ساخته شده و بیشترین دمای سطح برای فضای باز و بایر بوده است. پژوهش‌های Takebayashi, Moriyama (2009) ، Rajasekar and Weng Yiyun, (2011) ، Susca, Gaffin and DellOsso (2009) و Qing, Jiang, (2012) نیز همین ارتباط را نشان داده‌اند. یافته‌های مربوط به الگوی خودهمبستگی فضایی موران نیز نشان می‌دهد که توزیع جزایر حرارتی در سطح شهر تبریز به‌صورت خوشه‌ای است. همچنین پژوهش حاضر نشان داد که مورفولوژی شهری می‌تواند بر شدت جزایر حرارتی تأثیرگذار باشد. قبلاً این موضوع را Voogt & Oke, 2003 در پژوهش‌های خود بیان کرده بودند. اما در این پژوهش بر طبق یافته‌های مربوط به تحلیل رگرسیونی و F محاسبه شده (۱۷/۶۵) و ضریب معنی‌داری به‌دست‌آمده در سطح ۰/۰۰۰۱، متغیرهای پیش‌بین می‌توانند رفتار متغیر وابسته پژوهش را در تابستان به‌خوبی برآورده کنند. برای فصل زمستان نیز کل مدل با توجه به F محاسبه شده (۹/۳۶) و ضریب معنی‌داری (۰/۰۰۰۲) قابل‌تعمیم است.

در واقع مدل ساخته‌شده می‌تواند تبیین‌گر خوبی از متغیر وابسته به‌شمار رود. از طرف دیگر پژوهش حاضر نشان داد که فاصله از فضای سبز بر شدت جزایر حرارتی تأثیر دارد طوری که براساس یافته‌های مربوط به پژوهش و F محاسبه شده (۷/۵۹۶) و سطح معنی‌داری (۰/۰۰۰۰۷) این موضوع را می‌توان تأیید کرد. در راستای پژوهش‌های

Photogrammetry and Remote Sensing, 64(1), 86-96.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.05.002>

15- Sobrino, J.A. et al (2004), "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5", Remote Sensing of Environment, Vol. 91, PP. 377-389

16- Solecki W. D., C. Rosenzweig, G. Pope, M. Chopping, R. Goldberg., A. Polissare. 2004. Urban Heat Island and Climate Change: An Assessment Interacting and Possible Adaptations in the Camden. New Jersey Region, New Jersey's Environmental Decision Making.

17- Susca, T., Gaffin, S. R., Dell'Osso, G. R., Nakayama, T., Hashimoto, S., Tayyebi, A. A. H., ... Stewart, I. D. (2018). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Sustainable Cities and Society, 24(1), 39p.  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.004>

18- Takebayashi. H, Moriyama.M(2009) Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass- covered parking, Solar Energy, Vol.83.Issue.8, Pp.1211-1223

19- Voogt JA, Oke TR (2003), Thermal remote Sensing of urban climates, Remote Sens Environ, 86(1):370-384

20- Zhang. Yang, Yiyun Chen, Qing. Ding, Jiang. Ping, 2012, Study on urban heat island effect based on normalized difference vegetated index: a case study of Wuhan city, Procedia Environmental Sciences, 13, 574-581

infrared Emissivities of terrestrial Surface: J. Geophysical Research; Vol. 70, 1965, p. 1329-1337.

7- El-Hattab, M., Amany, S. M., & Lamia, G. E. (2018). Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 21(3), 311-323. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.008>

8- EPA (US Environmental Protection Agency), 2008, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

9- Hathway. E.A, Sharples. S, 2012, The interaction of rivers and urban form in mitigating the urban Heat Island effect: A UK study, Building and Environment, 58, 14-22

10- Hirano, Y., & Fujita, T. (2012). Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. Energy, 37(1), 371-383.

11- Jato-Espino, D. (2019). Spatiotemporal statistical analysis of the Urban Heat Island effect in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society, 46(October 2018), 101427. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101427>

12- Mirzaei, P. A., Haghighat, F., Nakhaie, A. A., Yagouti, A., Giguère, M., Keusseyan, R., & Coman, A. (2012). Indoor thermal condition in urban heat Island - Development of a predictive tool. Building and Environment, 57, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.018>

13- Peron. F, De Maria. M.M, Spinazze. F and Mazzali. U, 2015, An analysis of the urban heat island of Venice mainland, Sustainable cities and society, 19, 300-309

14- Rajasekar, U., & Weng, Q. (2009). Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis. ISPRS Journal of

---

## COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

---



