

تحلیل رابطه تغییرات زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر زنجان)

یونس خسروی*^۱، محمدعلی حیدری^۲، آزاده توکلی^۳، عباسعلی زمانی^۴

۱. استادیار اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. کارشناس ارشد علوم محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳. استادیار مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴. استادیار شیمی تجزیه- محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

دریافت: ۹۵/۱۲/۰۷ پذیرش: ۹۶/۰۶/۲۰

چکیده

جایگزینی پوشش‌های گیاهی با آسفالت و بتن و تغییر کاربری اراضی از عوامل اصلی انتشار گرماهای انسان‌ساز به شمار آمده که باعث افزایش دمای محیط‌زیست شهری و منجر به ایجاد جزیره حرارتی شهری می‌شود. یکی از موضوعات اساسی در بررسی و پایش جزایر حرارتی شهری، واکاوی و شناسایی تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها است که در این رابطه آمار فضایی به‌خوبی توانسته است به این مهم بپردازد. در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از سنجنده TM ماهواره Landsat5 و سنجنده های OLI و TIRS ماهواره Landsat8، تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی شهر زنجان مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور ابتدا تصاویر مربوط به ۴ دوره زمانی سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶ گردآوری و سپس با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا، داده‌های دمایی موجود در شهر زنجان استخراج گردید. در مرحله بعد با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی موران و شاخص G به تحلیل فضایی داده‌های دما پرداخته شد. براساس نتایج تحقیق مشخص شد که بیشترین مقادیر دمایی در شهر زنجان مربوط به مناطق دارای زمین‌های بایر و کمترین مقادیر در مناطق حاوی پوشش گیاهی، کاربری‌های مرکزی شهر و بافت‌های فرسوده رخ داده است. تحلیل خودهمبستگی فضایی موران در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان داد که داده‌های دمای سطحی شهر زنجان دارای ساختار فضایی بوده و به شکل خوشه ای توزیع شده‌اند. نتایج شاخص G_i^* نیز نشان داد که در تمامی سال‌های مورد مطالعه دمای حداکثر متعلق به زمین‌های بایر بوده است.

واژگان کلیدی: جزیره حرارتی شهری (UHI)، دمای سطح زمین (LST)، خودهمبستگی فضایی، شاخص موران، شهر زنجان.



۱- مقدمه

خاک زمین‌های بایر و سطوح نفوذناپذیر مانند آسفالت، بتن و مصالح ساختمانی در شهرها، به علت داشتن ظرفیت گرمایی کمتر و هدایت حرارتی بیشتر، انرژی تابشی بیشتری را از خورشید جذب خود نموده و باعث افزایش دمای هوای محیطی در این نواحی نسبت به اطراف می‌شوند. پدیده افزایش دمای هوای شهرها را جزیره حرارتی شهری می‌نامند. عوامل مهم دیگری مانند کاهش رطوبت نسبی موردنیاز برای تبخیر و تعرق، تغییرات در شار تابشی، جریان‌های نزدیک به سطح زمین و انتشار گرماهای انسان‌ساز نیز در تشکیل جزیره حرارتی شهری مؤثر می‌باشند. جزیره حرارتی می‌تواند اثرات سوئی بر دما، بارش، جریان باد و مصرف منابع آب داشته باشد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲)؛ بنابراین شناسایی و ارائه راهکار برای کاهش شدت آن ضروری می‌باشد. جزیره حرارتی شهری نخستین بار در سال ۱۸۳۳ میلادی توسط لوک هاوارد در شهر لندن کشف شد (Sobrinho et al, 2004). به نقل از هاوارد هوای لندن در زمان شب به‌طور متوسط ۲/۱ درجه سلسیوس گرم‌تر از روستاهای اطراف شهر لندن می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در مطالعه محیط حرارتی و جزیره گرمایی شهر، دمای سطح زمین (LST)^۱ بوده است.

به‌طور کلی اندازه‌گیری دما در سطح زمین، توسط ایستگاه‌های هواشناسی، اعم از سینوپتیک و کیلماتولوژی انجام می‌شود. این نکته را نیز باید مدنظر قرار داد که ایستگاه‌های هواشناسی فقط قادر به اندازه‌گیری دما در نقاط خاصی می‌باشند که قبلاً در آنجا نصب شده‌اند. آنچه به‌عنوان یک نقص اساسی در پایش دمای سطح زمین به شمار می‌آید، نبود ایستگاه‌های هواشناسی کافی جهت آگاهی از مقادیر دمایی در نقاط فاقد ایستگاه است. امروزه با پیشرفت در زمینه فن‌آوری‌های نوین، این نقیصه توسط علم سنجش‌ازدور (RS) برطرف شده است.

استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای برآورد دمای سطح زمین روش نسبتاً جدیدی است که هزینه‌های تخمین دما به روش کلاسیک را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد (میریعیقوب‌زاده و قنبرپور ۱۳۸۸: ۱). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در استخراج دمای سطح زمین این قابلیت را برای کاربر به وجود می‌آورد که به‌تناسب قدرت تفکیک^۲ تصاویر ماهواره‌ای، برای هر نقطه دلخواه مقدار دما را محاسبه نماید. لزوم محاسبه دمای سطح زمین به‌طور وسیع تا بدان‌جا است که می‌توان علاوه بر پایش جزیره حرارتی شهرها، در مورد عوامل دخیل در پیدایش این پدیده با دقت و اطمینان بالا تصمیم‌گیری کرد. لذا در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به واکاوی و شناسایی

۱. Land Surface Temperature

۲. Resolution

تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی شهر زنجان با استفاده از آمار فضایی پرداخته شود. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مهندسين طراح ساختمانی، شهرداری‌ها و اداره محیط‌زیست سودمند باشد و به مدیران و برنامه‌ریزان شهری کمک نماید تا در جهت کاهش اثرات جزیره حرارتی و آلودگی‌های شهری اقدامات مفید و زیر بنایی انجام دهند.

۲- چارچوب نظری

یکی از موضوعات مهم در بررسی و پایش دمای سطحی شهرها به‌کارگیری مدل‌های زمانی و مکانی است. از مهم‌ترین ارزیابی‌های زمانی و مکانی که در ارتباط با داده‌های دمایی باید به آن توجه ویژه‌ای شود، تحلیل فضایی آن‌ها است. تحلیل فضایی می‌تواند تغییرات مکانی و زمانی داده‌های مکانی را به‌خوبی در یک منطقه مورد پایش قرار دهد. در مطالعات محیطی اغلب با مشاهداتی سروکار داریم که مستقل از یکدیگر نبوده و وابستگی آن‌ها با یکدیگر ناشی از موقعیت و مکان قرار گرفتن مشاهدات در فضای مورد مطالعه می‌باشد. این مشاهدات داده‌های فضایی نامیده می‌شوند (مولر، ۱۳۸۷: ۱۳۸). به دلیل وجود همبستگی فضایی بین داده‌ها، روش‌های معمول آماری نمی‌توانند روش مناسبی برای واکاوی چنین داده‌هایی باشد (ریپلی، ۱۹۷۷: ۱۸۱). بدین منظور می‌توان از آمار فضایی به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای تحلیل این داده‌ها استفاده نمود (داداشی رودباری، ۱۳۹۴: ۲). تاکنون مدل‌های گسترده‌ای در ارتباط با تحلیل فضایی داده‌های محیطی ابداع شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های تحلیل اکتشافی داده‌های محیطی یا ESDA نظیر آماره‌های «خودهمبستگی فضایی موران عمومی»^۱ و «موران محلی»^۲، تحلیل «لکه‌های داغ و سرد»^۳ و «تابع خودهمبستگی فضایی چند فاصله‌ای»^۴ اشاره کرد (عسگری، ۱۳۹۰: ۱۶).

در این رابطه پژوهش‌های مختلفی در دنیا برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور انجام گرفته است. به‌طور مثال می‌توان به پژوهش‌های Quatrochi و همکاران (۲۰۰۰)، Morris و همکاران (۲۰۰۱)، Xu و Chen (۲۰۰۵)، Xian و Crane (۲۰۰۶) اشاره کرد. Xiao و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از سنجنده TM ماهواره Landsat5 دمای سطح زمین را بازیابی کرده و ارتباط آن را با درصد نفوذناپذیری زمین در تفکیک‌های مکانی متفاوت (۳۰ تا ۹۶۰ متر) در ۶ پهنه براساس رشد تاریخی شهر پکن به‌صورت جداگانه

-
1. Moran's I Statistic
 ۲. Moran Anselin Local
 ۳. Hot Spot & Cold Spot
 ۴. Repley K Function's



تجزیه و تحلیل نمودند. ایشان به این نتیجه رسیدند که همبستگی دما و نفوذناپذیری زمین با افزایش تفکیک مکانی قوی‌تر می‌شود. در پژوهشی دیگر Schwarz و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی جزیره حرارتی در تعدادی از شهرهای اروپایی به کمک تصاویر Modis در ماه‌های ژوئیه ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ و ژانویه ۲۰۰۳ پرداختند و از ترکیب چندین شاخص مختلف به بالا بودن تأثیر جزیره حرارتی شهری در روزهای فصل تابستان اشاره کردند. همچنین متوجه شدند شاخص‌هایی که وجود جزیره حرارتی شهری را به هنگام روز نشان می‌دهند متفاوت از شاخص‌هایی است که وجود آن را به هنگام شب نشان می‌دهند.

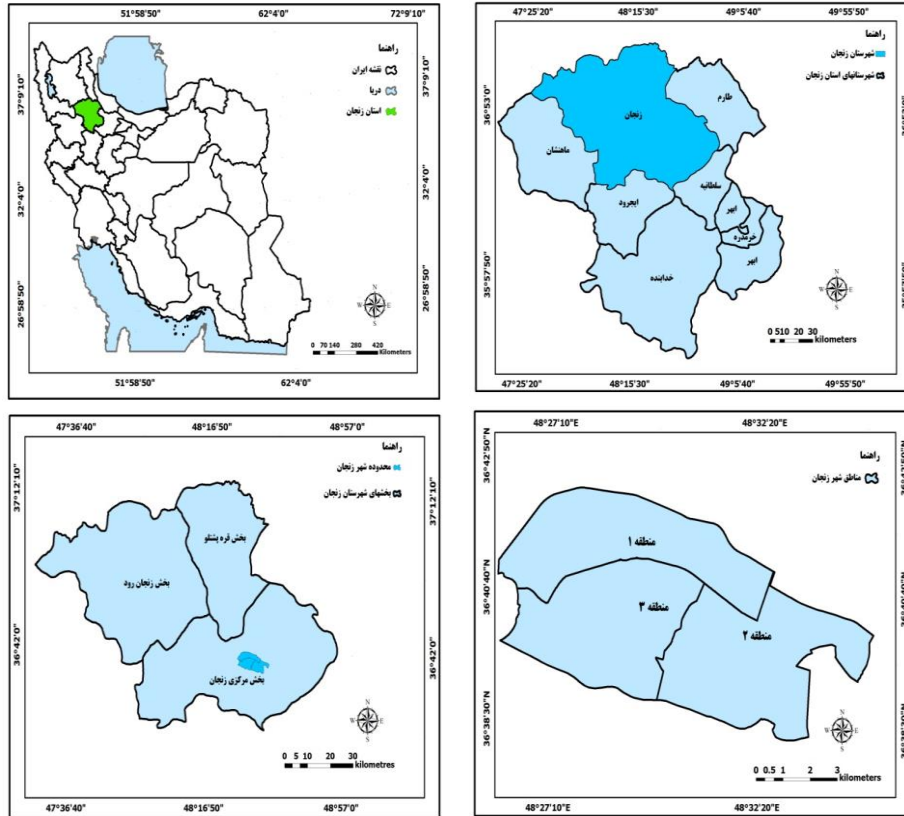
در ایران نیز پژوهش‌های انگشت‌شماری در این رابطه انجام شده است. به طور مثال می‌توان به پژوهش‌های جهان‌بخش و همکاران (۱۳۹۰)، هاشمی و همکاران (۱۳۹۲)، حاجیلو و همکاران (۱۳۹۳) اشاره نمود. صادقی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تصاویر لندست TM تغییرات فضایی- زمانی جزیره حرارتی تهران را از دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که داده‌های دمای سطحی تهران دارای ساختار فضایی بوده و به شکل خوشه‌ای توزیع شده است. همچنین مشخص شد که در این دوره زمانی مقدار خودهمبستگی فضایی افزایش یافته و متغیر دما تمایل بیشتری به متمرکز شدن و خوشه‌ای شدن در فضا پیدا کرده است. مشروطه و حسنلو (۱۳۹۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ شهر کرمان، پس از محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی و شهری به این نتیجه رسیدند که بین جزیره حرارتی، کاربری‌های ساختمانی و مناطق بایر ارتباط مستقیم و بین جزیره حرارتی، پوشش گیاهی و آب ارتباط غیرمستقیم وجود دارد. با توجه به افزایش رشد و توسعه فیزیکی و صنعتی شهر زنجان از دهه ۱۹۹۹ تاکنون، فرض افزایش درجه حرارت در نقاط شهری قوت گرفته است.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- محدوده مورد مطالعه

شهر زنجان مرکز استان زنجان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی در شمال غرب کشور قرار دارد. این شهر با ارتفاع ۱۶۵۹/۴ متر از سطح دریا، براساس طول دوره آماری سال ۱۹۵۶ الی ۲۰۱۴، دارای میانگین سالانه بارش ۳۱۱/۹۳۰ میلی‌متر و میانگین دمایی ۱۱/۴۸ درجه سلسیوس می‌باشد. براساس آخرین سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت آن بالغ بر ۳۸۶۸۵۱ نفر و در حدود ۳۸/۰۸ درصد از کل جمعیت استان را شامل می‌شود. مساحت شهر زنجان ۲۶۲۶/۱۵ کیلومترمربع در حدود ۱۲/۰۶ درصد از مساحت کل استان زنجان می‌باشد.

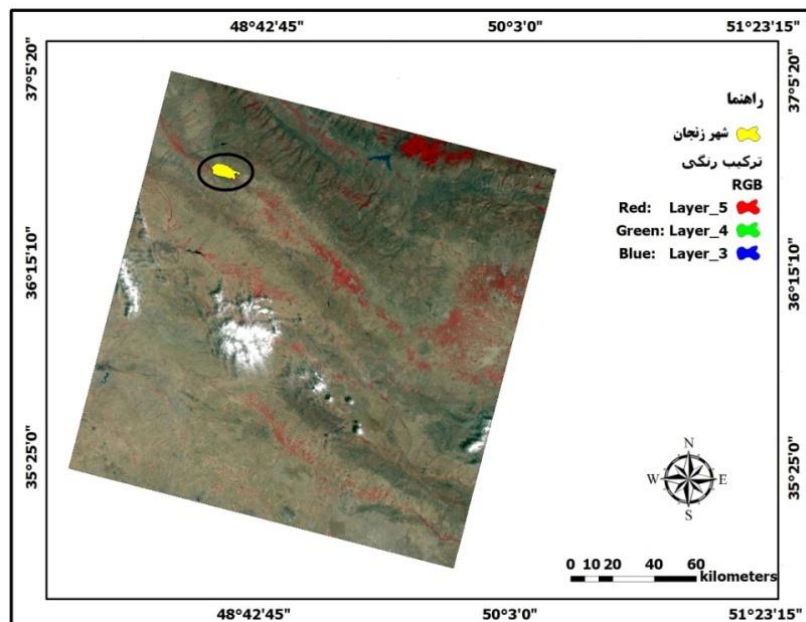
۳-۲- داده‌های پژوهش



شکل ۱ نقشه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش به منظور رسیدن به نتایج مطلوب، از دو مجموعه داده استفاده شد. داده‌های دمایی ایستگاه هواشناسی زنجان که از سایت هواشناسی ایران گردآوری شد و تصاویر ماهواره ای که از پایگاه داده Earth Explorer اخذ گردید. تصویر منطقه عمومی شهر زنجان با شماره ردیف ۳۵ و گذر ۱۶۶ در «سیستم تصویر جهانی UTM»^۳ و در زون ۳۹ واقع شده است. شکل ۲ نمای عمومی قابی را نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه بر روی آن واقع شده است.

۱. Row
۲. Path
۳. Universal Transverse Mercator



شکل ۲ نمای کلی قاب و موقعیت قرارگیری شهر زنجان

به منظور تحلیل چند زمانه دمای سطحی شهر زنجان در بازه زمانی بلندمدت از تصاویر ماهواره‌ای Landsat در ردیف ۳۵ و گذر ۱۶۶ با مشخصات زیر (جدول ۱) استفاده گردید. لازم به توضیح است به دلیل یکسان بودن شرایط جوی در فصل تابستان و به‌ویژه مردادماه در شهر زنجان، روزهای انتخابی از این ماه انتخاب گردید. به منظور تأیید این فرضیه، داده‌های ساعتی روزهای انتخابی مورد بررسی قرار گرفت و فرضیه مورد تأیید قرار گرفت. از طرفی با توجه به قرارگیری باندهای حرارتی مورد استفاده در پنجره اتمسفری، شاهد پراکنش و جذب کمتری در این محدوده طول موجی خواهیم بود و لذا اغلب عناصر اقلیمی تأثیر خاصی بر انرژی ساطع شده از اجسام نخواهند داشت.

جدول ۱ تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نوع ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ برداشت میلادی	تاریخ برداشت خورشیدی	ساعت برداشت به وقت گریونیچ	ساعت برداشت به وقت ایران
۱	Landsat5	TM	۱۹۸۷/۸/۶	۱۳۶۶/۵/۱۵	۶:۴۶:۱۴	۱۱:۱۶:۱۴
۲	Landsat5	TM	۱۹۹۹/۸/۷	۱۳۷۸/۵/۱۶	۶:۵۸:۸	۱۱:۲۸:۸
۳	Landsat5	TM	۲۰۰۷/۸/۱۳	۱۳۸۶/۵/۲۲	۷:۱۳:۵۰	۱۱:۴۳:۵۰
۴	Landsat8	Oli, Tirs	۲۰۱۶/۸/۵	۱۳۹۵/۵/۱۵	۷:۲۰:۲۹	۱۱:۵۰:۲۹

۳-۳- محدوده داده‌ها و پیش پردازش تصاویر

در این پژوهش از ۳ تصویر از تصاویر چندزمانه سنجنده TM ماهواره Landsat5 و ۱ تصویر از سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره Landsat8 استفاده شد. این تصاویر محدوده زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۶ (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵ ه.ش) را پوشش می‌دهند و از نظر زمانی مربوط به دوره گرم سال یعنی ماه آگوست (مرداد) می‌باشند. لازم به ذکر است تصاویر اخذ شده از پایگاه داده Earth Explorer، هیچ‌گونه خطای هندسی و رادیومتریکی نداشتند و مستقیماً وارد محاسبات شدند. برای استخراج درست داده‌های دمایی، تمامی تصاویر اخذ شده به سیستم مختصات UTM انطباق داده شدند.

۳-۴- روش استخراج دمای سطح زمین

اگرچه هنوز روش کامل و دقیقی برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین به‌رغم احساس نیاز به آن وجود ندارد، اما روش‌های زیادی برای استخراج دمای سطح زمین ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های پنجره مجزا^۱، تک پنجره‌ای^۲، تک بانده و الگوریتم سبال^۳ اشاره کرد. در پژوهش حاضر از روش الگوریتم پنجره مجزا استفاده شده است.

-
۱. Split Window
 ۲. Single Window
 ۳. Sebal



۳-۵- فرآیند اندازه‌گیری دمای سطح زمین:

برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین مراحل زیر انجام پذیرفت:

الف: تبدیل DN به رادیانس:

برای تبدیل عدد رقومی DN به رادیانس از رابطه ۱ استفاده شد (Chander, Markham, 2003: 2)

$$\text{رادیانس} = \alpha \times \text{DN} + \beta \quad (1)$$

در رابطه ۱، α شیب خط و β عرض از مبدأ می‌باشد.

معمولاً α و β را می‌توان از فایل راهنمای سنجنده اخذ نمود. در صورت نبود α و β می‌توان از رابطه ۲ برای محاسبه رادیانس استفاده نمود (Landsat Project Science Office, 2002: 117).

$$L_{\lambda} \text{ یا رادیانس} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{DN_{\max} - DN_{\min}} * (DN + DN_{\min}) + L_{\min} \quad (2)$$

در رابطه ۲، L_{\max} = رادیانس ماکزیمم برحسب $w \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ و L_{\min} = رادیانس مینیمم برحسب $w \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ و DN_{\max} = درجه روشنایی ماکزیمم و DN_{\min} = درجه روشنایی مینیمم می‌باشد.

ب) تبدیل رادیانس به دمای روشنایی:

برای تبدیل رادیانس به دمای روشنایی از رابطه ۳ استفاده شد (Landsat Project Science Office, 2002: 120).

$$T_b \text{ یا دمای روشنایی} = \frac{\frac{hc}{k\lambda}}{\ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda^5} + 1\right)} = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{I_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

در رابطه ۳، $K =$ ثابت بولتزمن $= 1.3807 * 10^{-23}$ برحسب j/k و K_1 و k_2 ضرایب کالیبراسیون سنجنده هستند که از فایل راهنمای سنجنده اخذ می‌شوند. $C =$ سرعت نور $= 2.998 * 10^8$ m/sec و $h =$ ثابت پلانک $= 6.625 * 10^{-34}$ برحسب $j \cdot \text{sec}$ و $\lambda =$ طول موج مرکزی باند مادون قرمز حرارتی برحسب μm و $I_{\lambda} =$ رادیانس می‌باشد.

ج: محاسبه NDVI:

در این پژوهش برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) از رابطه ۴ استفاده شد (علوی پناه، ۱۳۸۲: ۱۷۳). در رابطه ۴، NIR = باند مادون قرمز نزدیک و RED = باند قرمز می‌باشد.

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

د: محاسبه گسیل‌مندی سطحی:

از روی NDVI می‌توان گسیل‌مندی سطحی یا (ε) را با توجه به تراکم پوشش گیاهی محاسبه نمود که مقدار آن از روابط ۵ به دست آمد (Sobrino et al, 2004: 3).

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.99 \text{ اگر } ndvi > 0.5 \\ 0.97 \text{ اگر } ndvi < 0.2 \\ \varepsilon = \varepsilon_{\text{پوشش گیاهی}} \times p_v + \varepsilon_{\text{خاک}} * (1 - p_v) = 0.004 * p_v + 0.986 \text{ اگر } 0.2 \leq ndvi \leq 0.5 \\ p_v = \left(\frac{ndvi - ndvi_{min}}{ndvi_{max} - ndvi_{min}} \right)^2 \end{cases} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، p_v = درصد گیاهی پوشش می‌باشد.

و: محاسبه دمای سطح زمین:

در نهایت برای محاسبه دمای سطح زمین از رابطه ۶ استفاده شد (Artis And Carnahan, 1982).

$$LST = \frac{T_b}{1 + \left(\lambda \frac{1-b}{p} \right) * LN(\varepsilon)} \quad (۶)$$

در رابطه ۶، $P = 14380$ و $\lambda =$ طول موج مرکزی باند مادون قرمز حرارتی $T_b =$ دمای روشنایی می‌باشد.

سرانجام برای محاسبه دما برحسب سلسیوس، مقدار $273/15$ از اعداد به دست آمده کسر گردید. برای استخراج تصاویر رادیانس، گسیل‌مندی سطحی، دمای روشنایی و دمای سطح زمین از ارزش‌های عددی ضرایب موردنیاز بر اساس جدول ۲ استفاده گردید.

جدول ۲ ارزش‌های عددی ضرایب استفاده شده در روابط (منبع: فایل راهنمای تصاویر ماهواره‌ای)

نوع ماهواره	باند	DN _{max}	DN _{min}	L _{max}	L _{min}	K ₁	K ₂	α	β	L
Landsat5	۶	۲۵۵	۱	۱۵/۲۰۳	۱/۲۲۸	۶۰۷/۷۶	۱۲۶۰/۵۶	۰/۰۵۳۷۵	۱/۱۸۲۴۳	۱۱/۴۵
Landsat8	۱۰	۶۵۵۳۵	۱	۲۲/۰۰۱۸۰	۰/۱۰۰۲۳	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹	۰/۰۰۰۲۴۴۰	۰/۱	۱۰/۸
Landsat8	۱۱	۶۵۵۳۵	۱	۲۲/۰۰۱۸۰	۰/۱۰۰۲۳	۴۸۰/۸۸۸۳	۱۲۰۱/۱۴۴۲	۰/۰۰۰۲۴۴۰	۰/۱	۱۲



۳-۶- تحلیل آمار فضایی

در این پژوهش برای کشف و شناخت الگوها و الگوی پراکنش آن‌ها به صورت خوشه‌های فضایی و تعیین نقاط داغ و سرد از روش‌های آمار فضایی استفاده گردید.

۳-۶-۱- خودهمبستگی فضایی^۱

با استفاده از تحلیل خودهمبستگی فضایی، پراکنش مقدار نمونه‌ها بر اساس مکان آن‌ها بررسی شده و نوع توزیع آن‌ها را از لحاظ درجه پخش‌شدگی، تراکم و تصادفی بودن آن‌ها را مشخص می‌کند (Griffith, 1987: 27). به‌طور کل نتایج حاصل از خودهمبستگی فضایی نشان می‌دهد که آیا عوارض به صورت تصادفی، پراکنده و یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۱). در تحلیل خودهمبستگی فضایی از دو آماره مهم به نام آماره موران عمومی و موران محلی استفاده می‌شود. خودهمبستگی فضایی موران عمومی تحت عنوان نمره استاندارد^۲، مقدار عددی را نشان می‌دهد که با استفاده از آن می‌توان درجه پراکندگی یا متمرکز بودن عوارض یا داده‌های فضایی را در فضا اندازه‌گیری نمود (Getis, Ord, 1992: 200). شاخص موران عمومی برای خودهمبستگی فضایی به صورت زیر محاسبه می‌شود (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۱):

$$I = \frac{n}{s_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (7)$$

در رابطه Z_i ، Y : تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه با میانگین آن $(\bar{X} - X_i)$ و W_{ij} : وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد. n : تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده بوده و s_0 جمع کل وزن‌های فضایی می‌باشد. اگر مقدار عددی به دست آمده برای شاخص موران عمومی نزدیک به عدد $+1$ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای بوده و اگر نزدیک به عدد -1 باشد آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده می‌باشند. از آنجاکه خروجی موران عمومی به صورت یک عدد می‌باشد و از روی آن نمی‌توان به الگوی پراکنش نقاط اشاره نمود، لذا برای نمایش و تهیه نقشه الگوی پراکنش می‌توان از موران محلی استفاده نمود. این نقشه‌ها کمک می‌کنند تا تشخیص دهیم در کجاها محدودده مورد مطالعه، خوشه‌بندی‌ها در حال شکل‌گیری بوده و مرزهای محدودده‌های آن‌ها تا کجاست. تحلیل خوشه‌ها و ناخوشه‌ها که به

۱. Spatial Autocorrelation

۲. Z – Score

شاخص انسلین موران محلی^۱ نیز مشهور است، الگویی بهینه برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا می‌باشد (Anselin, 1995: 94). آماره محلی موران I_i به صورت رابطه ۸ به دست می‌آید (عسگری، ۱۳۹۰: ۷۱):

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (8)$$

در رابطه ۸، x_i خصیصه عارضه i و \bar{x} میانگین خصیصه مربوطه و w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}^2}{n-1} - \bar{x}^2 \quad (9)$$

در رابطه ۹، S_i انحراف معیار آماره موران عمومی و n برابر تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد. امتیاز Z_i به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Z_i = \frac{i_i - E[i_i]}{\sqrt{V[i_i]}} \quad (10)$$

$$E[i_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad \text{و} \quad V[i_i] = E[i_i^2] - E[i_i]^2 \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، $E[i_i]$ به معنی میانگین می‌باشد. در تحلیل موران محلی اگر مقدار شاخص موران عمومی (Moran's i) مثبت باشد به معنای آن است که عارضه موردنظر توسط عوارض مشابه خود محاصره شده است که به آن خوشه (Cluster) گفته می‌شود. از طرفی دیگر اگر مقدار شاخص موران عمومی منفی باشد به معنای آن است که عارضه موردنظر توسط عوارضی که اصلاً مشابهتی با آن ندارند محاصره شده است و به آن ناخوشه (Outlier) گفته می‌شود.

۳-۶-۲- تحلیل لکه‌های داغ و سرد

در این پژوهش جهت تحلیل لکه‌های داغ و سرد از آماره G_i^* استفاده شد (Rogerson, 2006: 37). این آماره تکنیکی بسیار مفید برای ارزیابی خودهمبستگی مکانی محلی می‌باشد. این تکنیک ساختار خودهمبستگی مکانی درون نواحی را از طریق شناسایی خوشه‌های محلی با ارزش‌های بالا یا پایین و نواحی دارای سهم بیشتر در خودهمبستگی مکانی عمومی آشکار می‌سازد (GGetts, Ord, 1992). آماره G_i^* به صورت زیر محاسبه می‌شود (عسگری، ۱۳۹۰: ۷۶):

۱. Anselin local Moran's i

۲. Geties Ord G_i^*



$$Gi^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s * \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (12)$$

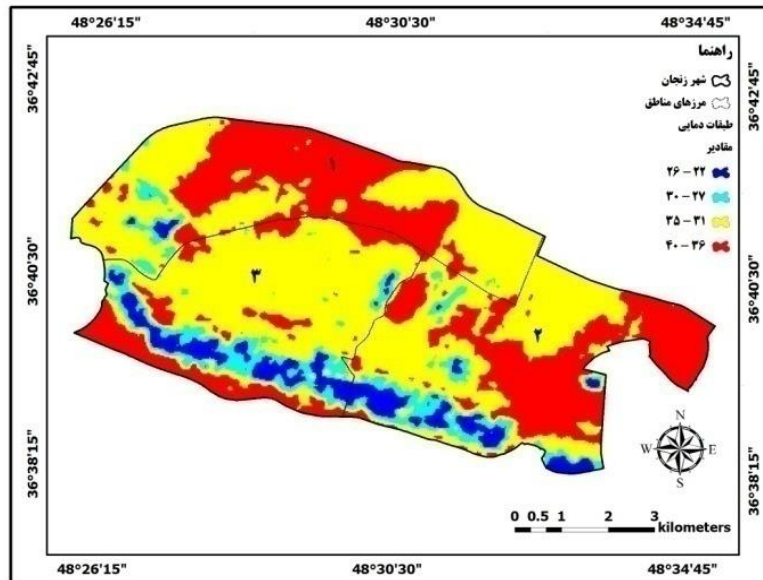
در رابطه ۱۲، x_j مقدار خصیصه برای عارضه j و w_{ij} وزن فضایی بین عوارض i و j و n برابر با تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد. در این رابطه هرچه عدد به‌دست‌آمده بزرگ‌تر باشد به معنی خوشه‌های با ارزش بالا می‌باشد و هر چه عدد به‌دست‌آمده منفی‌تر باشد به معنی خوشه‌های با ارزش پایین می‌باشد (عسگری، ۱۳۹۰):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (13)$$

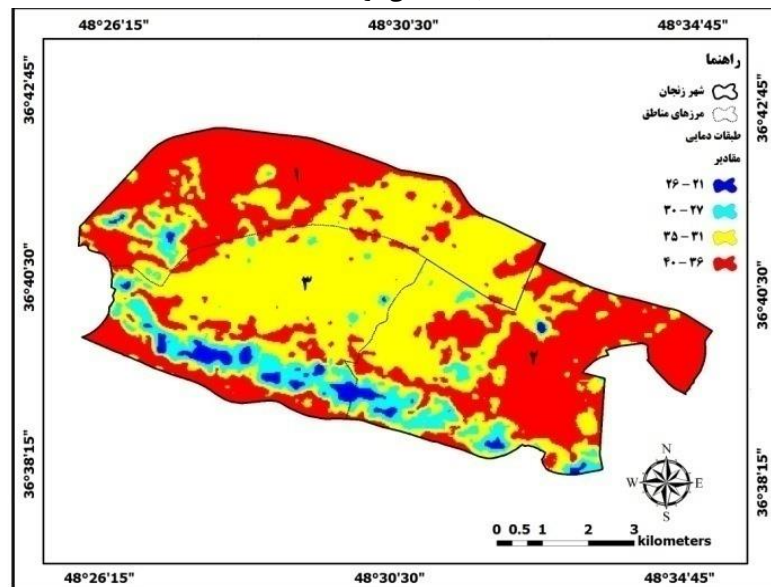
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad (14)$$

۴- بحث و نتایج

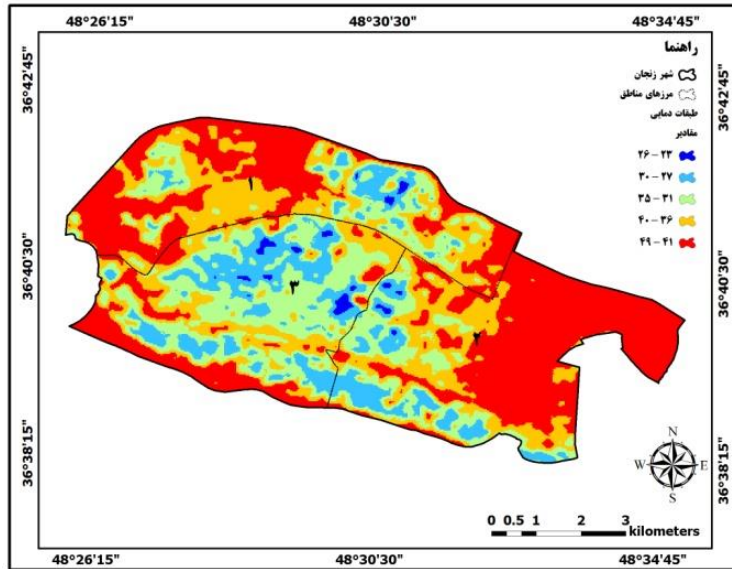
بعد از محاسبه و استخراج تصاویر مربوط به DN، رادیانس، NDVI، گسیل‌مندی سطحی و دمای روشنایی تصاویر طبقات دمایی برای بازه زمانی ۲۹ ساله از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۹۵ هجری شمسی استخراج گردید. با توجه به شکل ۳ چند الگوی حرارتی در شهر زنجان مشاهده گردید. الگوی نخست، الگویی با دمای بسیار بالا با دامنه دمایی ۴۱ تا ۴۹ درجه سلسیوس است که هماهنگی کامل با کاربری زمین‌های بایر در محدوده پیرامون شهر به‌ویژه در نواحی شرقی و شمالی و بخش‌هایی از نواحی جنوبی شهر دارد. الگوی دوم، الگویی با دامنه دمایی ۳۶ تا ۴۰ درجه سلسیوس است که در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر زمین‌های بایر بوده است و باگذشت زمان در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ در مناطق مسکونی قابل مشاهده است. الگوی سوم، الگویی با دمای متوسط با دامنه دمایی ۳۱ تا ۳۵ درجه سلسیوس است که در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر مناطق مسکونی و در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ به‌صورت پراکنده و در نواحی مرکزی شهر و اطراف باغات زنجان‌رود در مناطق جنوبی می‌باشد. الگوی چهارم، الگویی با دمای پایین با دامنه دمایی ۲۷ تا ۳۰ درجه سلسیوس که عمدتاً حوالی فضاهای سبز داخل شهر و باغات زنجان‌رود می‌باشد. الگوی پنجم، الگویی با دمای بسیار پایین با دامنه دمایی ۲۱ تا ۲۶ درجه سلسیوس که در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر باغات زنجان‌رود و باغات داخل شهر و در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ منطبق بر گره‌های ترافیکی واقع در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده می‌باشد.



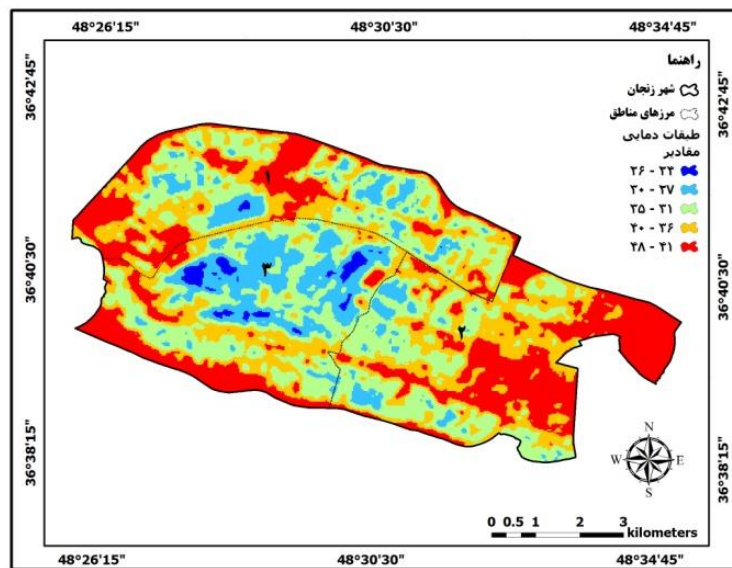
طبقات دمایی مرداد ۱۳۶۶



طبقات دمایی مرداد ۱۳۷۸



طبقات دمایی مرداد ۱۳۸۶



طبقات دمایی مرداد ۱۳۹۵

شکل ۳ تصاویر طبقات دمایی حاصل از ماهواره LANDSAT از مرداد ۱۳۶۶ تا مرداد ۱۳۹۵

براساس جدول ۳، مشخص گردید طی دوره مورد مطالعه از وسعت نواحی دارای دماهای پایین (۲۱ تا ۲۶ درجه)، دماهای متوسط (۳۱ تا ۳۵ درجه) و دماهای بالا (۳۶ تا ۴۰ درجه) کاسته شده است. از طرفی بر وسعت دماهای بسیار بالا (۴۱ تا ۴۹ درجه) افزوده شده است. به‌منظور واکاوی این وضعیت، کاربری‌های شهری، پوشش گیاهی و زمین‌های بایر موجود در شهر زنجان طی سال‌های مورد بررسی از طریق تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید و مساحت آن‌ها به تفکیک بازه‌های مورد مطالعه به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۳ مقدار مساحت طبقات دمایی تصاویر حرارتی طبقه‌بندی شده به کیلومتر مربع

سال	دمای بسیار پایین (۲۱-۲۶)	دمای پایین (۲۷-۳۰)	دمای متوسط (۳۱-۳۵)	دمای بالا (۳۶-۴۰)	دمای بسیار بالا (۴۱-۴۹)
۱۳۶۶	۳/۵۰	۴/۷۲	۳۲/۵۴	۲۰/۹۰	۰
۱۳۷۸	۱/۲۹	۴/۶۴	۲۸/۸۹	۲۶/۸۶	۰
۱۳۸۶	۰/۴۷	۷/۵۴	۱۴/۶۰	۱۵/۵۹	۲۳/۵۰
۱۳۹۵	۰/۷۷	۸/۰۳	۱۹/۵۰	۱۷/۰۲	۱۶/۳۸

با توجه به مقادیر مندرج در جدول ۴، مساحت نواحی دارای پوشش گیاهی روند صعودی بسیار ناچیزی به‌اندازه ۰/۲ کیلومتر مربع داشته است. دلیل افزایش ناچیز پوشش گیاهی، از بین رفتن باغات زنجان‌رود و باغ‌های واقع در محدوده داخل شهر بوده است. با گسترش فضاهای سبز شهری توسط شهرداری مساحت مقدار پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۵ با یک افزایش بسیار ناچیز به‌اندازه وسعت پوشش گیاهی سال ۱۳۶۶ رسیده است. با گسترش فیزیکی شهر مساحت نواحی ساخته‌شده شهری ۲۳/۲۴ کیلومتر مربع افزایش یافته است. این افزایش بیشتر در جهات جغرافیایی شمال‌غرب، شمال تا شمال شرقی زنجان بوده است. همچنین مشخص شد مساحت پهنه‌های بایر از ۳۲/۷۶ به ۹/۲۸ کیلومتر مربع کاهش یافته است. با توجه به جداول ۳ و ۴ می‌توان گفت در طول دوره مورد مطالعه به علت از بین رفتن باغات زنجان‌رود در نواحی جنوبی منطقه شهری زنجان، جایگزین شدن پوشش‌های آسفالتی بالای پشت‌بام‌ها با پوشش ایزوگام، تولید آئروسول‌های حاصل از آلودگی خودروها و صنایع، رشد و گسترش فیزیکی شهر و تبدیل زمین‌های بایر به مناطق مسکونی، از وسعت نواحی دارای دماهای بسیار پایین (21°C - 26°C)، دماهای متوسط (31°C - 35°C) و دماهای بالا (36°C - 40°C) کاسته شده است. در بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۸ شهر زنجان دمای بالای ۴۰ درجه را تجربه نکرده است اما پس از سال ۱۳۷۸ به علت احداث شهرک‌های صنعتی، مقادیر دماهای بسیار بالا قابل مشاهده شدند. در یک نتیجه کلی می‌توان گفت گسترش نواحی با دماهای بسیار بالا طی دوره مورد مطالعه از یک‌روند افزایشی قابل ملاحظه برخوردار بوده است.



جدول ۴ مساحت کاربری‌های پوشش گیاهی، مسکونی و زمین‌های بایر برحسب کیلومتر مربع

سال	پوشش گیاهی	مناطق مسکونی	زمین‌های بایر
۱۳۶۶	۱۱/۷۱	۱۷/۱۴	۳۲/۷۶
۱۳۷۸	۹/۱۲	۲۳/۹۳	۲۸/۵۶
۱۳۸۶	۹/۵۳	۳۰/۵۷	۲۱/۴۹
۱۳۹۵	۱۱/۹۱	۴۰/۳۸	۹/۲۸

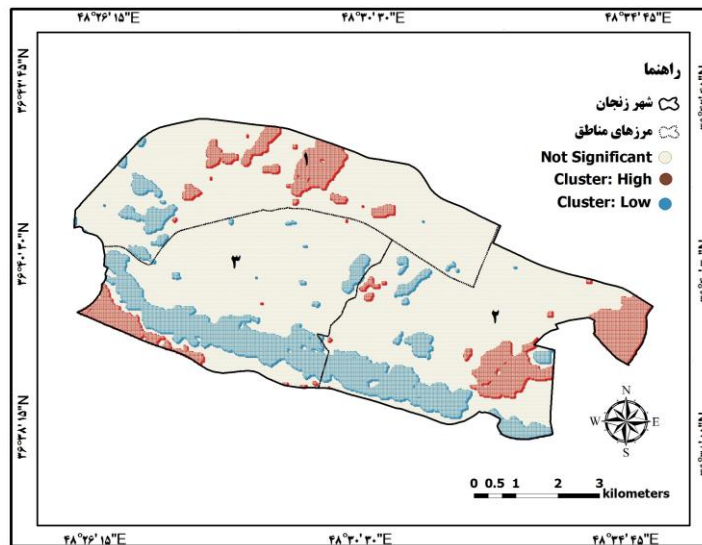
خودهمبستگی فضایی موران عمومی دو نوع خروجی به صورت گرافیکی و عددی ارائه می‌نماید. خروجی گرافیکی نشان می‌دهد که آیا داده‌ها پراکنده بوده و یا به صورت خوشه‌ای توزیع شده‌اند. به‌طور کلی اگر شاخص موران به عدد مثبت یک (+۱) نزدیک باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای می‌باشند. اگر مقدار شاخص موران عمومی به عدد منفی یک (-۱) نزدیک باشد، آنگاه داده‌ها از هم‌گسسته و پراکنده می‌باشند. با توجه به جدول ۵، چون شاخص موران عمومی برای تمامی سال‌ها ۰/۹۸ بوده است، نشان‌دهنده این است که داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی بوده و دارای الگوی خوشه‌ای بوده‌اند. با استناد به بالا بودن امتیاز Z استاندارد ($Z\text{-Score} > 362$) و سطح اطمینان ۹۹ درصد ($P\text{-Value} = 0.01$) فرضیه عدم وجود خودهمبستگی فضایی بین داده‌های دمای سطح زمین رد می‌شود.

جدول ۵ پارامترهای خودهمبستگی فضایی موران عمومی

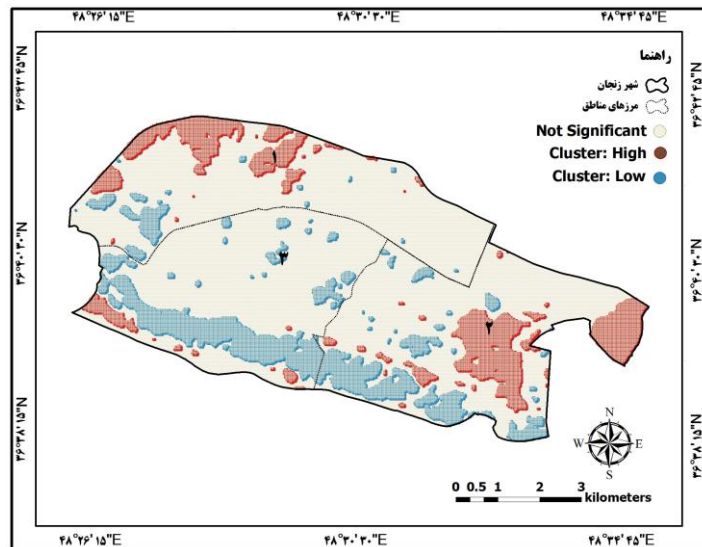
سال	شاخص موران عمومی	نمره استاندارد (Z - Score)	P - Value
۱۳۶۶	۰/۹۸۷	۳۶۴/۶۱	۰/۰۱
۱۳۷۸	۰/۹۸۳	۳۶۲/۹۵	۰/۰۱
۱۳۸۶	۰/۹۸۸	۳۶۴/۸۱	۰/۰۱
۱۳۹۵	۰/۹۸۲	۳۶۲/۹۵	۰/۰۱

با توجه به عدم ارائه تصویری روشن از پراکنش نقاط توسط آماره موران عمومی و به‌منظور نمایش تغییرات مکانی مقادیر دما در شهر زنجان، از آماره موران محلی استفاده شد. بر اساس شکل ۴ مشخص می‌شود وضعیت پراکنش نقاط در تمامی سال‌ها به‌گونه‌ای بوده است که خوشه‌های با ارزش بالا (Cluster:High) در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر خاک‌های شنی زمین‌های بایر و در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ منطبق بر خاک تمامی زمین‌های بایر می‌باشد که دارای روند افزایشی نیز می‌باشد. از طرفی دیگر خوشه‌های با ارزش پایین (Cluster:Low) در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر کاربری پوشش گیاهی و در سال

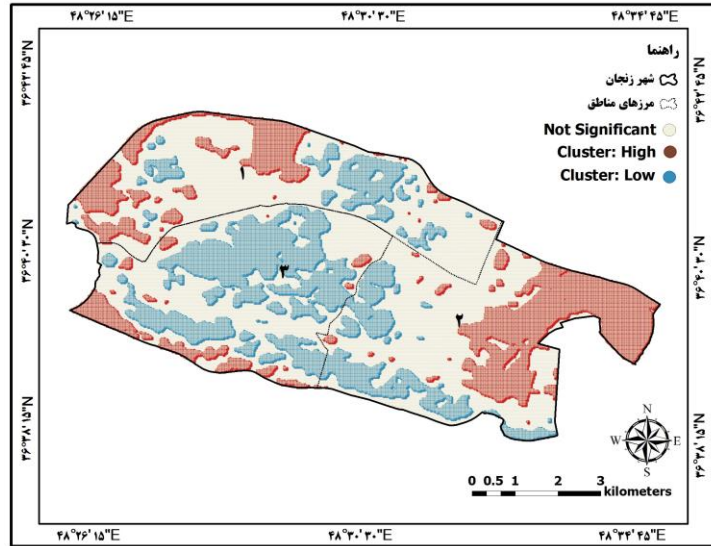
۱۳۸۶ منطبق بر پوشش گیاهی و کاربری شهری در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده می‌باشد. در سال ۱۳۹۵ خوشه‌های پایین منطبق بر کاربری شهری در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده با گره های ترافیکی می‌باشد که روند افزایشی داشته است.



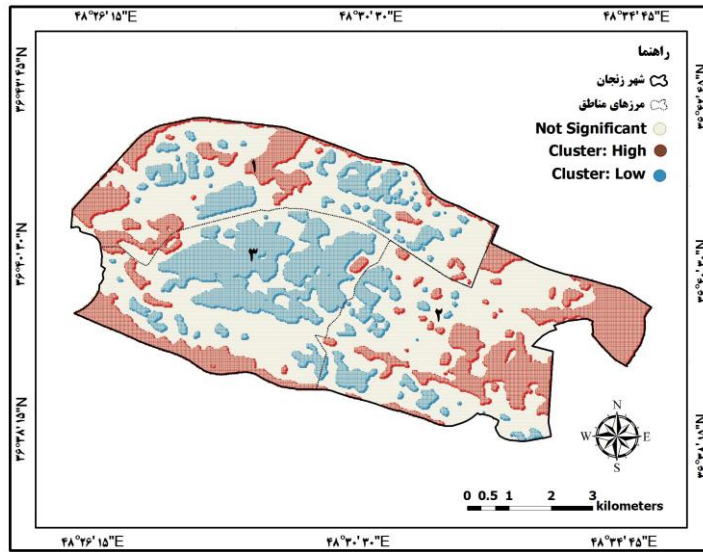
نقشه خوشه‌بندی شهر زنجان مرداد سال ۱۳۶۶



نقشه خوشه‌بندی شهر زنجان مرداد سال ۱۳۷۸



نقشه خوشه‌بندی شهر زنجان مرداد سال ۱۳۸۶



نقشه خوشه‌بندی شهر زنجان مرداد سال ۱۳۹۵

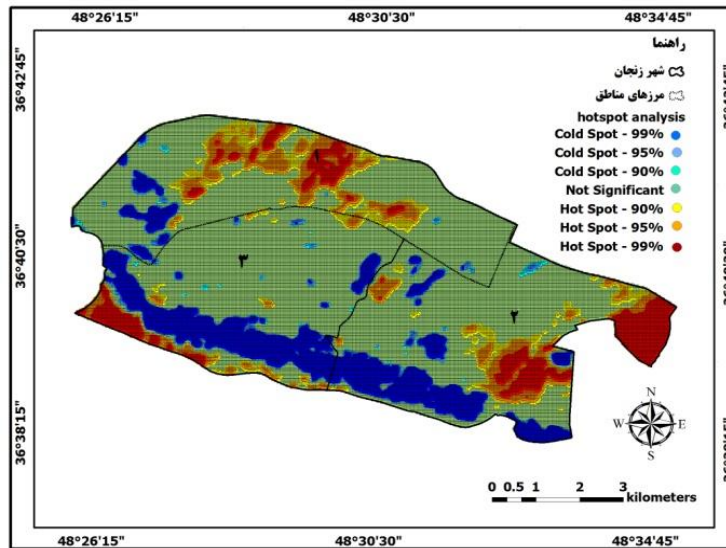
شکل ۴ نقشه‌های خوشه‌بندی شهر زنجان از مرداد سال ۱۳۶۶ تا مرداد ۱۳۹۵

به کمک آماره موران محلی تعداد نقاط با ارزش‌های بالا که توسط نقاط با ارزش‌های بالا (Cluster:High) و نقاط با ارزش‌های پایین که توسط نقاط با ارزش‌های پایین احاطه شده‌اند (Cluster:Low) شمارش شدند. بر اساس نتایج این شمارش جدول ۶ مشخص گردید که وسعت خوشه‌های بالا و پایین در طول دوره مطالعه روند افزایشی را داشته است.

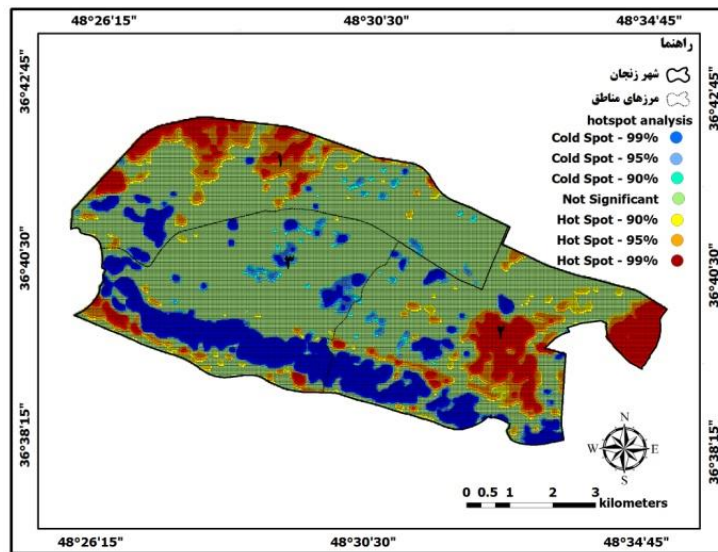
جدول ۶ تعداد نقاط H-H و L-L موران محلی برای دمای سطحی شهر زنجان بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵

سال	۱۳۶۶	۱۳۷۸	۱۳۸۶	۱۳۹۵
Cluster:High	۶۶۸۸	۸۲۷۵	۱۳۷۵۷	۱۴۰۴۱
Cluster:Low	۹۶۱۲	۸۹۴۶	۱۴۸۰۶	۱۲۸۰۵

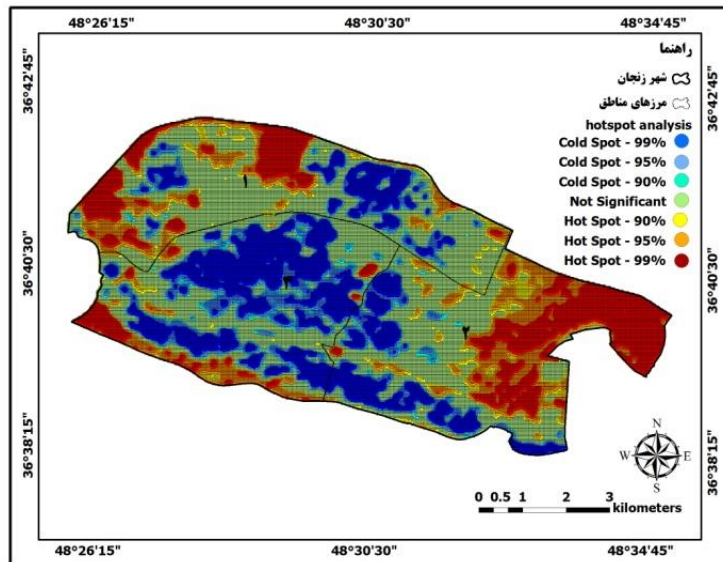
به‌منظور حصول اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های با ارزش بالا و پایین از آماره GI^* یا HOT SPOT استفاده شد. با توجه به شکل ۵ محدوده‌های قرمز رنگ نواحی هستند که امتیاز Z به‌دست‌آمده از آماره GI^* مثبت بزرگ‌تری می‌باشد و با اطمینان ۹۹ درصد مقادیر بالای دمای حداکثر در آن نقاط متمرکز شده‌اند. محدوده‌های آبی رنگ نواحی هستند که امتیاز Z به‌دست‌آمده از آماره GI^* منفی کوچک‌تری می‌باشد و با اطمینان ۹۹ درصد مقادیر پایین دمای حداقل در آن نقاط متمرکز شده‌اند. خوشه‌های با ارزش بالا با اطمینان ۹۹ درصد در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر خاک‌های شنی زمین‌های بایر و در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ منطبق بر خاک تمامی زمین‌های بایر می‌باشد که روند افزایشی را داشته است. خوشه‌های با ارزش پایین با اطمینان ۹۹ درصد در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر کاربری پوشش گیاهی و در سال ۱۳۸۶ منطبق بر پوشش گیاهی و کاربری شهری در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده می‌باشد. در سال ۱۳۹۵ خوشه‌های پایین با اطمینان ۹۹ درصد منطبق بر کاربری شهری در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده با گره‌های ترافیکی می‌باشد که روند افزایشی را داشته است. خوشه‌های داغ و سرد با اطمینان ۹۵ درصد، بیشتر در مرز خوشه‌های با ارزش بالا و پایین قرار گرفته‌اند. نقاط سبز کم‌رنگ نقاطی هستند که بین دمای آن‌ها رابطه معناداری وجود ندارد.



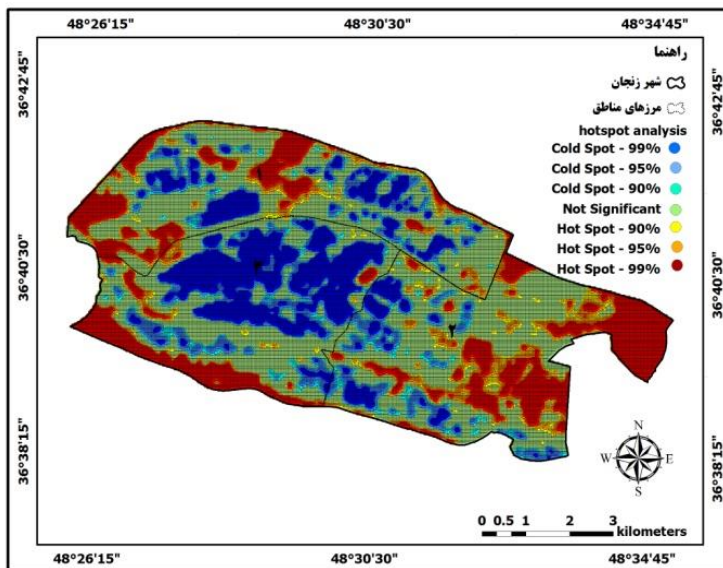
نقشه لکه‌های داغ و سرد شهر زنجان مرداد سال ۱۳۶۶



نقشه لکه‌های داغ و سرد شهر زنجان مرداد سال ۱۳۷۸



نقشه لکه‌های داغ و سرد شهر زنجان مرداد سال ۱۳۸۶



نقشه لکه‌های داغ و سرد شهر زنجان مرداد سال ۱۳۹۵

شکل ۵ نقشه‌های لکه‌های داغ و سرد شهر زنجان از مرداد ۱۳۶۶ تا مرداد ۱۳۹۵



بر اساس الگوی تغییرات فضایی انواع کاربری در شهر زنجان می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات فضایی دمای سطحی شهر زنجان بیش از همه با الگوی تغییرات فضایی کاربری‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر ارتباط دارد. در بین کاربری‌های مختلف، شناسایی تغییرات فضایی شاخص پوشش گیاهی کمک زیادی به تغییرات فضایی دمای سطحی می‌کند. تضعیف خوشه‌های خنک هماهنگی انکارناپذیری با تضعیف و از بین رفتن خوشه‌های پوشش گیاهی و تقویت خوشه‌های داغ دارد. در بین تمامی انواع کاربری‌ها، کاربری‌های مربوط به زمین‌های بایر داغ‌ترین خوشه‌های حرارتی را تشکیل داده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا، داده‌های دمای سطحی شهر زنجان از باند حرارتی سنجنده TM ماهواره LANDSAT5 برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ و ۱۳۸۶ و سنجنده‌های TIRS و OLI ماهواره LANDSAT8 برای سال ۱۳۹۵ استخراج گردید. جهت واکاوی و شناسایی تغییرات زمانی و مکانی جزیره حرارتی شهر زنجان با استفاده از آمار فضایی از روش‌های خودهمبستگی فضایی عمومی و محلی و روش HOT SPOT استفاده شد.

نتایج حاصل از خودهمبستگی فضایی موران عمومی نشان داد که داده‌های دمای سطحی شهر زنجان دارای ساختار فضایی بوده و به شکل خوشه‌ای توزیع شده‌اند، بدین معنی که دماهای بالا و پایین تمایل به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا دارند و خوشه‌های حرارتی داغ یا خنک را تشکیل داده‌اند. جهت روشن شدن الگوی پراکنش نقاط از آماره موران محلی استفاده شد. بررسی تغییرات زمانی نقاط H-H و L-L نشان داد که وسعت خوشه‌های داغ و خنک در طول دوره مطالعه روند افزایشی داشته است. به‌منظور حصول اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های با ارزش بالا و پایین از شاخص HOT SPOT استفاده شد و نتایج آن نشان داد که خوشه‌های با ارزش بالا منطبق بر کاربری زمین‌های بایر می‌باشد.

خوشه‌های با ارزش پایین در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ منطبق بر کاربری پوشش گیاهی و در سال ۱۳۸۶ منطبق بر پوشش گیاهی و کاربری شهری در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده می‌باشد و در سال ۱۳۹۵ منطبق بر کاربری شهری در مرکز شهر و بافت‌های فرسوده با گره‌های ترافیکی می‌باشد. از آنجاکه تعداد نقاط H-H برای دمای سطحی شهر زنجان روند افزایشی داشته است، نشان‌دهنده این است که خوشه‌های داغ جدیدی به وجود آمده است که این خوشه‌های جدید بیشتر برای کاربری زمین‌های بایر، زمین‌های بایر پادگان ارتش، باغات خشک‌شده داخل شهر و زمین‌های غیرقابل نفوذ مثل آسفالت جاده‌ها بوده است. روند کاهش و سپس افزایشی بودن تعداد نقاط L-L نشان‌دهنده این است که خوشه‌های خنک داخل

شهری به علت گسترش فضاهای سبز شهری و در دهه‌های اخیر، به علت آئروسول‌های سولفات حاصل از آلودگی خودروها و صنایع افزایش یافته‌اند.

با توجه به این یافته‌ها می‌توان علت بالا بودن آماره خودهمبستگی فضایی موران عمومی (۰/۹۸) را پیدایش خوشه‌های داغ و خنک در سطح شهر زنجان دانست. نتایج این مطالعه با بخشی از یافته‌های صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) برای جزیره حرارتی شهر تهران و مشروطه و حسنلو (۱۳۹۳) برای جزیره حرارتی شهر کرمان هم‌خوانی دارد. از جمله یافته‌های نوین این پژوهش که برخلاف انتظارات نویسندگان بود می‌توان به کاهش دما در کاربری‌های مسکونی منطبق بر گرّه‌های ترافیکی در داخل شهر اشاره کرد که در بازه زمانی مورد بررسی در دهه‌های انتهایی این روند کاهشی سرعت بیشتری به خود گرفته است.

پس از مشخص شدن نتیجه حاضر و با بررسی‌های صورت گرفته از وضعیت کاربری‌های منطقه مورد بررسی مشخص گردید عواملی نظیر جایگزین شدن پوشش آسفالتی بالای پشت‌بام‌ها با پوشش ایزوگام، جنس نماهای سنگ به‌کاررفته در ساختمان‌ها و آئروسول‌ها منجر به کاهش دمای مناطق مسکونی بافت‌های فرسوده و مرکز شهر به میزان تقریبی ۵ درجه سلسیوس نسبت به گذشته در سطح زمین شده است. از طرفی نیز مشخص گردید که دمای باغات زنجان‌رود، شهربازی و پارک جنگلی با وجود دارا بودن درختان زیاد، نسبت به گذشته به اندازه ۹ درجه سلسیوس افزایش یافته است. علت احتمالی آن را می‌توان به کاهش تعداد درختان و وجود ذرات معلق درشت نظیر گردوغبار رسوب شده بر روی سطح برگ‌ها که منجر به کاهش تبادل گازی درختان شده و از طرفی دیگر افزایش دمای سطح برگ‌ها، کاهش عمل فتوسنتز و زرد شدن برگ‌ها به دلیل عدم توانایی رشد کلروفیل سبب گشته است، نسبت داد (کلهر، ۱۳۸۷).



منابع

- جلال‌زاده، زهره؛ ترابی، مسعود و دالکی، احمد (۱۳۸۷) «مقایسه دمای سطح حاصل از داده‌های میدانی و ماهواره‌ای در خزر جنوبی»، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۵، صص ۱۱۰-۱۲۱.
- جهانبخش، سعید؛ زاهی، مجید و ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۹۰) «محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط GIS و RS در بخش مرکزی منطقه مراغه»، نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، شماره ۳۸، صص ۴۲-۱۹.
- حاجیلو، مرضیه؛ داداشی، مریم و طیبیا، علیرضا (۱۳۹۳) «بررسی رابطه تغییرات دمای سطحی زمین و پوشش گیاهی با تصاویر LANDSAT در شهر اصفهان»، همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته و تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور و GIS) در آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.
- داداشی‌رودباری، عباسعلی و علی‌آبادی، کاظم (۱۳۹۴) «بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه ایران»، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۱۰۴-۸۶.
- صادقی‌نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائی‌ان، پرویز و خالدی، شهریار (۱۳۹۲) «کاربرد تکنیک‌های خود-همبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۳، شماره ۳۰، صص ۹۰-۶۷.
- عسگری، علی (۱۳۹۰) تحلیل‌های آمار فضایی با Arc Gis، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- علوی پناه، سید کاظم (۱۳۸۲) کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
- فاطمی، سید باقر و رضایی، یوسف (۱۳۹۳) مبانی سنجش‌ازدور، انتشارات آزاده، چاپ چهارم.
- کلهر، مصطفی، (۱۳۸۷) «اثرات ذرات معلق اتمسفری بر مواد، گیاهان و حیوانات»: <http://airpollutions.persianblog.ir>.
- مشروطه، حمید و حسنلو، مهدی (۱۳۹۳) «بررسی رابطه کاربری/پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر کرمان با استفاده از تصاویر لندست ۸»، اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، ۲۹ و ۳۰ دی‌ماه ۱۳۹۳.
- میری‌عقوب‌زاده، میرحسین و قنبرپور، محمدرضا (۱۳۸۸) «به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور در برآورد دمای سطحی زمین (مطالعه موردی حوزه آبخیز وردین، آذربایجان شرقی)»، نشریه مرتع، دوره ۳، شماره ۴، صص ۷۳۴-۷۲۴.
- هاشمی، سیدمحمود و دیناروند، مرتضی (۱۳۹۲) «ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش‌ازدور حرارتی»، نشریه محیط‌شناسی، ش ۱، صص ۹۲-۸۱.
- Alavi Panah, S.K. (1995) "Application of remote sensing in the earth sciences (soil)", Tehran University Press, 4th edition, Tehran, 2003. [in Persian]
- Anselin, L., "Local indicators of spatial association", *LISA. Geogr Anal*, Vol. 27(2), pp. 93-115.

- Artis, D.A., W.H., Carnahan (1982) "Survey of emissivity variability in thermography of urban areas", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 12, pp. 313-329.
- Asgari, A. (2011) "Spatial statistic analysis with ArcGIS", Information and Communication Technology Organization of Tehran Municipality Publication, First Edition, Tehran. [in Persian]
- Becker, F. and A.L, Li (1995) "Towards a local split window method over land surfaces", *Internatoinal Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, pp. 369-393.
- Chander, G., Markham, B. (2003) "Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamicranges", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41(11), pp. 2674-2677.
- Dadashi Roudbari, A., Aliabadi, K. (2016) "Assessing changes patterns of spatial autocorrelation of maximum temperature of Iran", *Arid Regions Geographic Studies*, Vol 6, No 21, pp. 86-104. [in Persian]
- Fatemi, S.B., Rezaei, Y. (2014) "Fundamental of remote sensing", Azadeh Press, 4th edition, Tehran. [in Persian]
- Getis A, Ord JK (1992) "The analysis of spatial association by use of distance statistics", *Geogr Anal*, Vol. 24(3), pp. 189-206.
- Griffith, D. (1987) "Spatial autocorrelation: A primer", *Resource Publication in Geography, Association of American geographers*.
- Hajilou, M., Dadashi, M., Tayeba, A. (2015) "Survey of relationship between land surface temperature and vegetation using by landsat images in isfahan city", *The conference of advanced models and spatial analysis (Remote Sensing and GIS) in Landuse planning*, Azad University of Yazd, 5 March 2015. [in Persian]
- Hashemi, M., Alavipanah, K., Dinarvandi, M. (2013) "LST assessment using thermal remote sensing in urban environment", *Journal of Environmental Studies*, Vol 39, No 1, pp. 81-92. [in Persian]
- Jahanbakhsh, S., Zahedi., M., Valizadeh Kamran, Kh. (2012) "Land surface temperature calculation using SEBAL and decision tree methods based on etm + image in rs, gis environment in the maragheh central region". *Journal Geography and Planning*, Vol 16, No 38, pp. 19-42. [in Persian]
- Jalalzadeh, Z., Torabi, M., Dalaki, A. (2009) "The Comparison of Sea Surface Temperature by Satellite and Field Data of South Caspian". *Physical Geography Researches*, Vol 65, pp. 110-121. [in Persian]
- Landsat Project Science Office (2002) "Landsat 7 science data user's handbook. Available online from following website", http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc., *Goddard Space Flight Center, NASA, Washington, DC, 2002*.
- Mashroute, H., Hasanlou, M. (2015) "Survey of relationship between landuse/landcover andland surface Temperature using by Landsat 8 images", *The first conference on spatial Information Technology Engineering at Khaje Nasir Al-Din Tusi University, Faculty of Surveying Engineering, 29-30 January 2015*. [in Persian]



- Miryaghoubzadehm M.H., ghanbarpour, M.R. (2009) "Application of remotely sensed data for estimating land surface", *Journal of Rangeland*, Vol 3, No 4, pp. 723-734.[in Persian]
- Moller, j. (2008) "Handbook of spatial statistics", *John Wiley and Sons, chichester*.
- Morris, C.J, G., Simmonds, I. & Plummer, N., "Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 40, pp. 169-182.
- Mustafa, K. "Effects of atmospheric aerosols on materials, plants and animals", <http://airpollutions.persianblog.ir>. [in Persian]
- Quatrochi, D.A, et al (2000) "A decision support information system for urban landscape management using thermal infrared data", *photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 66(10), pp. 1195-1207.
- Ripley, B.D (1977) "Modelling Spatial Patterns", *Jornal of the Royal Statistical Society*, series B (Methodological), pp. 172 – 2120.
- Rogerson, P.A (2006) "Statistics methods for geographers: Students guide, SAGE publications", *Los Angeles, California*.
- Sadeginia, A.R., Alijani, B., Zeaiean Firouzabadi, P., khaledi. (2013) "Application of spatial autocorrelation techniques in analyzing the heat island of tehran". *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, Vol 13, No 30, pp. 67-90.[in Persian]
- Sobrino, J.A, et al (2004) "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5", *remote sensing of environment*, Vol. 90(4), pp. 434-440.
- Xian, G., Crane, M. (2006) "An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampabay and Lasvegas using landsat satellite data", *remote sensing of environment*, Vol. 104(2), pp.147-156.
- Xiao, R., et al (2007) "Spatial pattern of impreviouse surface and their impacts on land surface temperature in beijing, china", *journal of envionscience*, Vol. 19, pp. 250-256.
- Xu, H.Q & Chen, B.Q (2005) "Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China", *IOS Press*, Vol. 16(2), pp. 276-281.