

## تحلیل زمانی \_ مکانی جزیره حرارتی شهر ارومیه با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

ساجده مرادی<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
محمد حسین رضائی مقدم - استاد ژئومرفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۴

### چکیده

در این پژوهش جهت تحلیل زمانی و مکانی جزیره حرارتی شهر ارومیه، تصاویر لندست مربوط به ماه اوت سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. جهت استحصال نقشه‌های جزیره حرارتی، دمای سطح زمین با روش حد آستانه NDVI و قانون پلانک بر اساس محاسبات آرتیس و کارناهان برای تصاویر TM و الگوریتم پنجره مجزا برای تصویر OLI/TIRS محاسبه شد. با استفاده از تصاویر NDVI و نقشه‌های کاربری اراضی، ارتباط دمای سطحی با پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در طول مدت مورد مطالعه طبقات دمایی خنک و بسیار خنک، کاهش داشته و در اوت سال ۲۰۱۸ جزایر حرارتی جدیدی ایجاد شده است که به کارگاه‌های تولیدی، صنعتی، سوله‌ها و زمین‌های بایر در قسمت شرق، شمال شرق و جنوب شرق شهر مربوط است. بررسی روند تغییرات زمانی جزیره حرارتی شهر ارومیه نشان داد که شاخص جزیره حرارتی روند افزایشی داشته است. این شاخص در سال ۱۹۸۹ با میزان ۰/۲ به ۰/۳۷ در سال ۲۰۱۸ رسیده است؛ بنابراین علاوه بر گسترش فضایی جزیره حرارتی، شدت آن نیز افزایش داشته است.

**کلیدواژه‌ها:** جزیره حرارتی، دمای سطح زمین، الگوریتم پنجره مجزا، تغییرات کاربری، ارومیه.

## ۱- مقدمه

شهرها در اغلب موارد، شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن اقلیم شهری گفته می‌شود (رز و دیوآداس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). دما یکی از مؤلفه‌های مهم اقلیم در هر منطقه می‌باشد که با تغییر و نوسان آن، علاوه بر تغییر در دیگر عناصر اقلیمی، اثرات زیانباری را بر روی جوامع انسانی و دیگر اکوسیستم‌های طبیعی کره زمین بر جای می‌گذارد (ارسلانی و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعات متعددی که بر روی توزیع حرارت مناطق شهری صورت گرفته، نشان می‌دهد، شهرها نسبت به پیرامون خود دمای بیشتری دارند (صادقی نیا و همکاران، ۱۳۹۱). اصطلاح جزیره حرارتی شهری<sup>۲</sup>، پدیده تغییر دمای مناطق شهری در مقایسه با مناطق پیرامون آن را توصیف می‌کند. اثرات جزیره حرارتی شهری شامل: افزایش مصرف انرژی و آب، افزایش آلودگی هوا و تداخل در آسایش حرارتی می‌باشد. (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۸). جزیره حرارتی سطحی به واسطه استفاده از سنجش از دور مادون قرمز حرارتی و سنجش از دور هوایی، از طریق دمای سطح زمین مشخص می‌شود. سنجش از دور، روشی یکپارچه و جامع برای مطالعه آثار جزیره حرارتی سطوح شهری در مقیاس منطقه‌ای فراهم می‌کند (هوا و ونگ<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲). مطالعات بسیاری درباره استخراج دمای سطح زمین از طریق داده‌های حرارتی ماهواره از سال ۱۹۹۰ انجام شده است. روش‌های به کار گرفته شده را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: روش تک بانندی یا الگوریتم تک پنجره، روش چند بانندی یا الگوریتم پنجره مجزا و روش چند زاویه (جین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). در میان این روش‌ها الگوریتم پنجره مجزا بیشتر به کار گرفته شده است. (دو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). در بسیاری از تحقیقات، استخراج دمای سطح زمین از طریق الگوریتم پنجره مجزا صورت گرفته است. محققین در این پژوهش‌ها، الگوریتم پنجره مجزا را به عنوان روشی مناسب برای استخراج دمای سطح زمین معرفی نموده‌اند (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ ولیزاده کامران و همکاران، ۱۳۹۶؛ جین<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ رونگالی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقات مختلف مربوط به جزیره حرارتی، تأثیر یک یا چند عامل در افزایش دمای سطحی یا محسوس مورد توجه محققین قرار گرفته است. اغلب در بررسی جزیره حرارتی، تأثیر کاربری‌ها بر جزیره حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. از نمونه پژوهش‌ها در این زمینه، تحقیقی است که در آن با استفاده از تکنیک سنجش از دور (RS)<sup>۸</sup> و سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۹</sup> (GIS) و با استفاده از تصاویر TM<sup>۱۰</sup> و ETM+<sup>۱۱</sup> دمای سطح زمین

1 Rose &amp; Devadas, 2009

2 UHI:(Urban Heat Island)

3 Hua &amp; Wang,. 2012

4 Jin et al., 2015

5 Du et al., 2015

6 Jin et al., 2015

7 Rongali et al., 2018

8 Remote Sensing

9 Geographical Information System

10 Thematic Mapper

11 Enhanced Thematic Mapper

(LST<sup>۱</sup>) در ارتباط با تغییرات کاربری زمین در شهر انیگبا در نیجریه مورد بررسی واقع شد. نتایج نشان داد که تغییرات زمانی - فضایی کاربری‌ها، افزایش دمای سطحی کاربری‌ها را در هریک از آن‌ها شدت بخشیده است. از جمله با افزایش زمین‌های بایر و نواحی مسکونی، دما به طور سالانه افزایش یافته است و همچنین با کاهش مساحت پوشش گیاهی و نواحی آبی و تالاب‌ها، دمای سطح زمین در این نواحی به میزان  $0/08 - 0/07$  درجه سلسیوس در سال افزایش یافته است (الوسی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر بررسی جزیره حرارتی در اسکوپیه با استفاده از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده<sup>۳</sup> (NDVI) و شاخص سطوح نفوذ ناپذیر تفاضلی نرمال شده<sup>۴</sup> (NDBI) صورت گرفت. نتایج حاکی از این بود که شاخص پوشش گیاهی در تضعیف جزیره حرارتی مؤثر بوده و شاخص NDBI با دمای سطحی همبستگی مثبتی نشان می‌دهد که بیانگر تاثیرگذاری نواحی ساخته شده بر تشدید جزیره حرارتی است (کاپلان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به امکان ارزشمندی که سنجش از دور در فراهم‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایجاد پایگاه داده، یکپارچه سازی، تحلیل و ایجاد نقشه‌ها در اختیار محققین قرار می‌دهد، بررسی همه‌جانبه این مخاطره سهولت پیدا می‌کند. هدف از بررسی جزیره حرارتی در این تحقیق، تحلیل مکانی-زمانی این مخاطره است تا مکان‌های شکل‌گیری جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های اراضی شناسایی شود. در تحقیقات محدودی که پیرامون جزیره حرارتی ارومیه صورت گرفته است، بررسی‌ها اغلب مربوط به دهه اخیر بوده است. در تحقیق حاضر، بررسی‌ها از حدود سی سال پیش (۱۹۸۹) تا ۲۰۱۸ با استفاده از چهار تصویر (سال) با فواصل زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست انجام گرفته است. مقایسه دمای سطحی کاربری‌های اراضی سالهای اخیر با دهه‌های قبل، تغییرات مکان جزیره حرارتی را به نحو بهتری آشکار می‌کند. با بررسی جزیره حرارتی شهری می‌توان با آگاهی بخشی، برنامه‌ریزان و مدیران شهری را با کمبودها و نیازهای فضای شهری آشنا نمود و لزوم ایجاد بسترهای مناسب را (فضای سبز، بوستان‌ها) برای تعدیل دمای شهری، یادآور شد و به این طریق آسیب‌های جزیره حرارتی را کاهش داد.

1 Land Surface Temperature

2 Oluseyi et al., 2011

3 Normalized Difference Vegetation Index

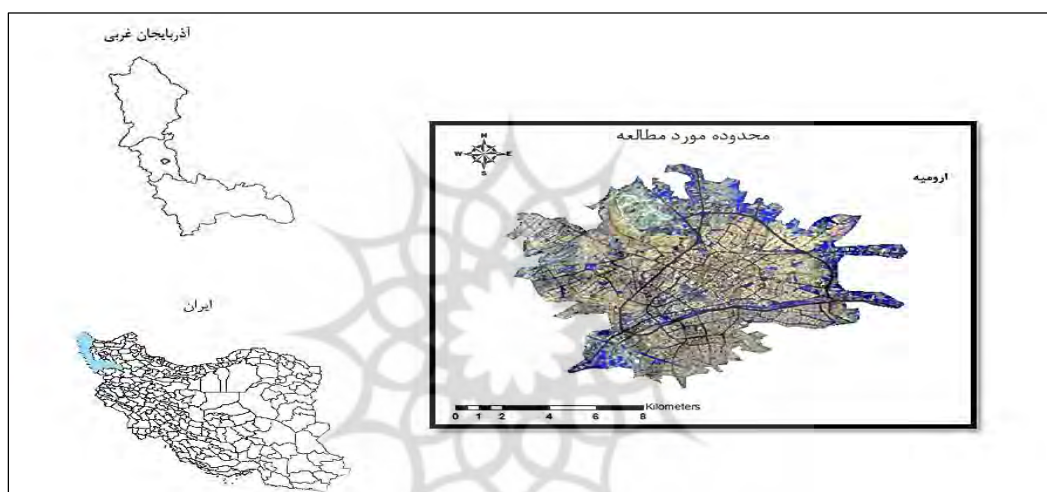
4 Normalized Difference Build-up Index

5 Kaplan et al., 2018

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه، بخش مرکزی شهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله‌ی ۱۸ کیلومتری دریاچه‌ی ارومیه قرار دارد. این شهر در جلگه‌ی گسترده و سرسبزی به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر، در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه‌ی شرقی واقع شده است. اقلیم شهرستان ارومیه متأثر از عرض جغرافیایی، وزش بادهای، وجود دریاچه‌ی ارومیه، عبور جریانهای هوای مرطوب مدیترانه‌ای، توده‌های سرد سیبری، توپوگرافی منطقه، ارتفاع (۱۳۰۰ تا ۳۳۰۰ متر) و جهت‌گیری ارتفاعات است. (جوان، ۱۳۹۲).



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

به منظور تحلیل زمانی و مکانی جزیره‌ی حرارتی، تصاویر لندست ۵ و ۸ سنجنده‌های TM،OLI<sup>۱</sup> و TIRS<sup>۲</sup> مربوط به ماه اوت سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. ماهواره‌ی لندست توسط کشور آمریکا طراحی و در سری‌های مختلف با حمل سنجنده‌های متفاوت به فضا پرتاب شدند. در ۲۳ جولای ۱۹۷۲ اولین ماهواره‌ی اختصاصی غیرنظامی برای بدست‌آوردن داده‌های قابل تکرار سنجنش از دور از زمین با تفکیک مکانی کمتر از ۱۰۰ متر اعزام شد (گیسون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰). سنجنده‌ی TM<sup>۴</sup> اولین بار در لندست ۴ عملیاتی شد. این سنجنده دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای مرئی و ۱۲۰ متر برای باندهای مادون قرمز است. (رسولی، ۱۳۸۷). در ماهواره‌ی لندست ۸ که دارای دو

1 Optical Land Imager

2 Thermal Infrared Sensor

3 Gibson, 2000

4 Thematic Mapper

سنسور است، سنسور OLI داده‌ها را در ۹ باند طیفی موج کوتاه، در یک مسیر ۱۹۰ کیلومتری با قدرت تفکیک ۳۰ متر جمع‌آوری می‌کند. به جز باند پانکروماتیک<sup>۱</sup> که قدرت تفکیک آن ۱۵ متر است. سنسور TIRS داده‌ها را برای دو باند حرارتی با تفکیک مکانی ۱۰۰ متر جمع‌آوری می‌کند (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹) در این تحقیق عملیات پیش پردازش و تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر انجام شد. جهت استحصال نقشه‌های دمای سطح زمین برای تصاویر TM، روش حدآستانه NDVI و قانون پلانک بر اساس محاسبات آرتیس و کارناهان انجام شد. برای تصویر TIRS، الگوریتم پنجره مجزا به کار گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه

سنجنده	گذر	ردیف	تاریخ برداشت تصویر
OLI-TIRS	۱۶۹	۳۴	۱۶-۸-۲۰۱۸
TM5	۱۶۹	۳۴	۱۳-۸-۲۰۱۱
TM5	۱۶۹	۳۴	۲۵-۸-۱۹۹۸
TM5	۱۶۹	۳۴	۲۴-۸-۱۹۸۹

## ۲-۲- تصحیح رادیومتریکی

برای استخراج دمای سطحی زمین، باندهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا در راستای تصحیحات رادیومتریک، تبدیل ارزش رقومی<sup>۳</sup> به تابش طیفی<sup>۴</sup> برای باند حرارتی تصاویر و محاسبه بازتابش طیفی برای باندهای غیرحرارتی در سنجنده TM با استفاده از توابع کالیبراسیون در محیط نرم افزار ENVI ۵/۳ انجام گردید. تبدیل ارزش رقومی به تابش طیفی:

رابطه (۱): (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹) مطالعات فرسنگی

$$L_{\lambda} = MI \times Q_{cal} + A$$

$L_{\lambda}$ : تابش طیفی

ML: ضریب چندگانه مخصوص باند

QCAL: عدد رقومی در محل پیکسل مورد نظر (تصویر خام مربوط به باند انتخاب شده)

AL: ضریب جمع‌ی مخصوص باند

1. Panchromatic
2. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2019
3. DN: (Digital Numbers)
4. Radiance

۲-۳- محاسبه بازتاب طیفی<sup>۱</sup>

رابطه (۲): (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹)

$$\rho_{\lambda} = M_p \times Q_{cal} + A_p$$

$M_p$ : ضریب چندگانه مخصوص باند:

$Q_{cal}$ : تصویر خام مربوط به باند انتخاب شده (باندهای غیر حرارتی)

$A_p$ : ضریب تجمعی مخصوص باند:

## ۲-۴- تبدیل تابش طیفی به دمای جسم سیاه

رابطه (۳): (گروه تحقیقات داخلی زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹)

$$T_b \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{T_b} + 1\right)}$$

$T_b$ : دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلونین:

$k_1$ : تابش طیفی باند حرارتی:

ضرایب کالیبراسیون در فایل فراداده تصاویر موجود است:  $k_1$  و  $k_2$

یکی از شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی که اغلب شناخته شده است و به طور گسترده در مطالعات سنجش از دور به کار گرفته می‌شود، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده است (علوی پناه، ۱۳۹۰). در این شاخص مقدار عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ متغیر می‌باشد و مقدار شاخص برای تصاویر TM و ETM+ از رابطه زیر محاسبه می‌شود. (رسولی، ۱۳۸۷). این شاخص برای سنجنده OLI، مطابق با همین رابطه محاسبه گردید. رابطه (۴):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{NIR + Red}$$

band red: باند قرمز نزدیک: NIR

## ۲-۵- تصحیح گسیلمندی

عدم انجام تصحیحات گسیلمندی<sup>۲</sup> منبع عمده خطا در تخمین درجه حرارت سطوح است. به دلیل اهمیت این مسئله کلیه تصاویر حرارتی به وسیله فرآیند ذیل تصحیح شدند (امیری و همکاران، ۱۳۸۶). در این پژوهش تصحیح توان تشعشعی برای تبدیل دمای جسم سیاه به دمای سطح زمین بر اساس سوبرینو و همکاران انجام گرفت. یکی از

1 Reflectance

2 Emissivity

روش‌های کاربردی جهت بدست آوردن تصاویر گسیلمندی سطوح زمین<sup>۱</sup>، از طریق شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده است (سوبرینو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). میزان گسیلمندی بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید. رابطه (۵):

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} p_v + \varepsilon_{soil} (1 - p_v)$$

$\varepsilon_{veg}$ : گسیلمندی پوشش گیاهی

$\varepsilon_{soil}$ : نسبت پوشش گیاهی  $p_v$ : گسیلمندی خاک

نسبت پوشش گیاهی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید. رابطه (۶):

$$P_v = \left[ \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2$$

## ۲-۶- محاسبه دمای سطح زمین

دمای سطح زمین برای تصاویر TM با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (رانگبو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) رابطه (۷):

$$LST = \frac{TB}{1 + \left( \frac{\lambda \times TB}{\rho} \right) L n \varepsilon}$$

TB: دمای روشنایی

$\lambda$ :  $11.5 \mu m$

$\rho$ :  $1/834 \times 10^{-2}$

$\varepsilon$ : گسیلمندی سطح زمین

بازیابی دمای سطح زمین برای باندهای حرارتی تصویر سال ۲۰۱۸ که متعلق به سنجنده TIRS است، از طریق الگوریتم پنجره مجزا صورت گرفت. الگوریتم پنجره مجزا اثر اتمسفری را حذف می‌کند و دمای سطح زمین را از طریق ترکیب خطی یا غیرخطی دمای روشنایی متعلق به دو باند مجاور ۱۱ و ۱۲ میکرومتر، به دست می‌آورد (دو همکاران، ۲۰۱۵). مزیتی که این روش دارد، سادگی و کارایی بالای آن است. این الگوریتم به اطلاعات دقیقی درباره مقطع عرضی اتمسفری در طول دریافت ماهواره نیاز ندارد. این روش برای سنجنده‌هایی که تعداد باندهای حرارتی آنها کمتر از دو باند نباشد، مناسب است. دمای سطح زمین برای لندست ۸ با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (رونگالی و همکاران، ۲۰۱۸). رابطه (۸):

$$LST = TB_{10} + C1 (TB_{10} - TB_{11}) + C2 (TB_{10} - TB_{11})^2 + C0 + (C3 + C4W) (1 - \varepsilon) + (C5 + C6W) \Delta \varepsilon$$

1 LSE: Land Surface Emissivity

2 Sobrino et al., 2004

3 Rongbo et al., 2007

دمای روشنایی TB:

ضرایب الگوریتم C0, C1..., C6

میزان بخار آب اتمسفر W

میانگین گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی  $\varepsilon$ :

اختلاف میزان گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی:  $\Delta\varepsilon$

دمای روشنایی، نسبت پوشش گیاهی و میزان گسیلمندی سطح زمین به روش‌هایی که پیش از این برای تصاویر TM بیان شد، در مورد تصویر ۲۰۱۸ نیز به کار گرفته شد. برای الگوریتم پنجره مجزا، اختلاف و میانگین دو باند حرارتی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید. روابط (۹) و (۱۰):

$$\varepsilon = (LSE10 - LSE11) / 2 \quad (9)$$

$$\Delta\varepsilon = (LSE10 - LSE11) \quad (10)$$

میانگین گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱:  $\varepsilon$ :

اختلاف گسیلمندی سطح زمین باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱:  $\Delta\varepsilon$

جدول ۲- ضرایب مورد استفاده در الگوریتم پنجره مجزا

C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	ضریب ارزش
-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳۰۰	-۲/ ۳۲	-۱۲۹/۲۰	۱۶/۴۰۰	

پس از محاسبه دمای سطح زمین، جهت بررسی ارتباط انواع کاربری‌ها با دمای سطحی و میزان توسعه و گسترش ناحیه شهری، تصاویر با استفاده از روش حداکثر احتمال، طبقه بندی گردید. با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و تصاویر GoogleEarth نمونه‌های تعلیمی انتخاب شده و پوشش زمین طبقه بندی گردید. به دلیل هم زمان بودن تصاویر حرارتی اخذ شده و ناهمگن بودن طبقات کاربری شهری در تصاویر به علت تغییرات کاربری، برای نتیجه‌گیری و بررسی تغییرات، دمای سطح به دست آمده با استفاده از رابطه ۱۱ نرمال شد (علوی پناه، ۱۳۹۰). دمای نرمال شده برای تمام تصاویر با استفاده از جدول شماره ۳ به پنج طبقه دمایی تقسیم گردید.  $T_{max}$  مناطق دارای بیشترین حرارت و  $T_0$  خنک‌ترین حرارت می‌باشد. رابطه (۱۱):

$$T_{normal} = (T_s - T_0) / (T_{max} - T_0)$$



## جدول ۳- نحوه طبقه بندی دمای سطحی نرمال

طبقه بندی دما	دامنه مربوط به هر طبقه دمایی
دمای بسیار پایین (۱)	$1/5 \times$ انحراف معیار - دمای میانگین $\leq$ دمای سطح زمین
دمای پایین (۲)	دمای میانگین - انحراف معیار $> 1/5$ $>$ دمای سطح زمین $>$ دمای میانگین - انحراف معیار
دمای متوسط (۳)	انحراف معیار + دمای میانگین $\leq$ دمای سطح زمین $<$ انحراف معیار - دمای میانگین
دمای بالا (۴)	انحراف معیار $1/5 \times$ + دمای میانگین $\leq$ دمای سطح زمین $<$ انحراف معیار + دمای میانگین
دمای بسیار بالا (۵)	دمای سطح زمین $<$ دمای میانگین $+ 1/5 \times$ انحراف معیار

## ۲-۷- شاخص جزیره حرارتی شهری

جهت بررسی تغییرات شدت جزیره حرارتی ارومیه بین سالهای ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ از شاخص نسبت جزیره حرارتی شهری استفاده شد. شاخص جزیره حرارتی شهری روشی برای تعیین توزیع مکانی جزیره حرارتی است. در این پژوهش، این شاخص با استفاده از رابطه زیر به دست آمد. نتیجه به ۵ گروه از جزایر حرارتی بسیار شدید تا بسیار ضعیف، مقیاس بندی گردید (ابوالمقد و همکاران، ۲۰۱۶)؛ رابطه (۱۲):

$$UHI = \frac{T_i - T_a}{T_a}$$

$T_i$ : دمای سطحی یک مکان

$T_a$ : دمای سطحی میانگین

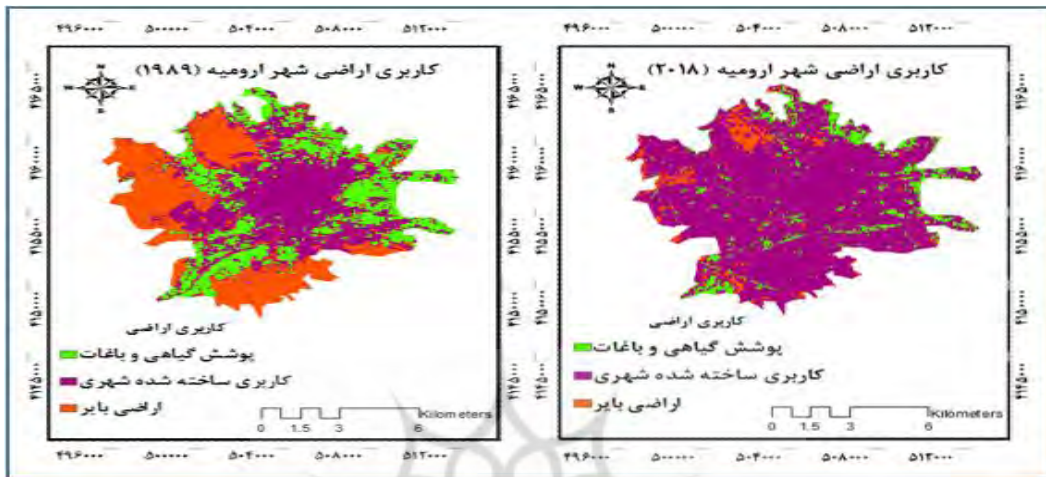
## جدول ۴- نحوه طبقه بندی داده های نقشه جزیره حرارتی

سطح (نواحی بدون جزیره حرارتی/ بسیار ضعیف)	مقادیر شاخص کمتر از صفر
سطح ۲ (جزیره حرارتی ضعیف)	مقادیر بین ۰ تا ۰/۱
سطح ۳ (جزیره حرارتی متوسط)	مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۲
سطح ۴ (جزیره حرارتی شدید)	مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۴
سطح ۵ (جزیره حرارتی بسیار شدید)	مقادیر بیشتر از ۰/۴

## ۳- نتایج و بحث

مطابق با شکل شماره ۲، طی بازه ۲۹ ساله مابین سالهای ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ مطابق با نتایج حاصل از بررسی سالهای مورد مطالعه، در پژوهش حاضر، شهر ارومیه به میزان قابل توجهی رشد و گسترش داشته است. نتایج به دست آمده از آشکارسازی تغییرات نشان داد حدود ۸۲٪ به میزان ۲۴۷۵ هکتار از اراضی بایر و حدود ۷۲٪ به میزان ۱۸۳۳ هکتار از اراضی کشاورزی، باغات اطراف شهر و پوشش گیاهی به کاربری شهری و ساخت وسازهای مربوط

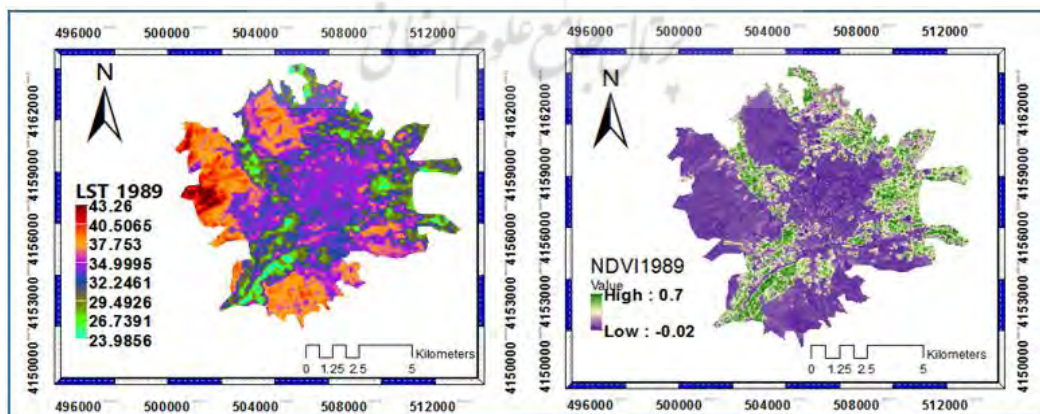
به آن تبدیل شده است. بدین ترتیب مساحت عظیمی از زمین‌های بایر و کاربری پوشش گیاهی به بافت شهری تغییر کاربری داده است. از سوی دیگر از اراضی بایر تنها حدود ۳٪ و یا به عبارتی ۱۱۸ هکتار و همچنین ۶٪ یا ۲۳۰ هکتار از اراضی کاربری شهری، به پوشش گیاهی تبدیل گردیده است.



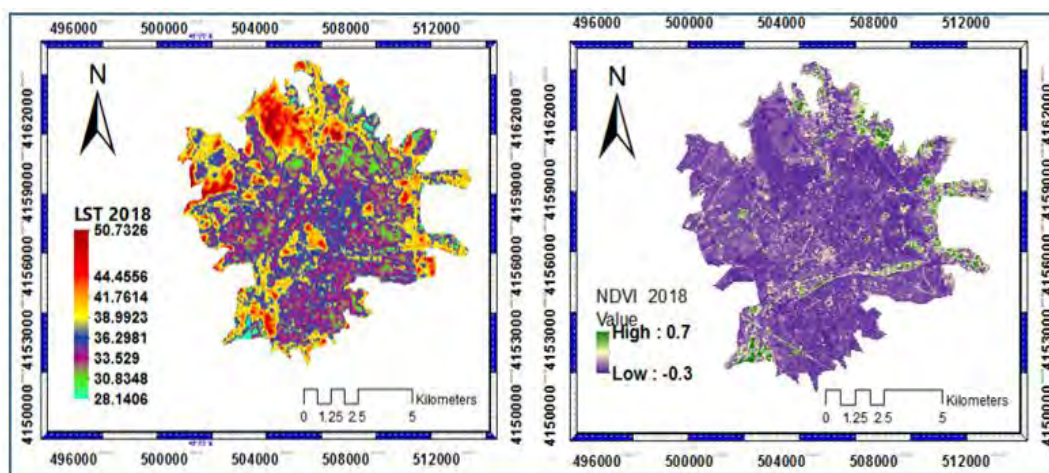
شکل ۲ - کاربری اراضی شهر ارومیه حاصل از طبقه بندی حداکثر احتمال (۱۹۸۹-۲۰۱۸)

### ۳-۱- رابطه پوشش گیاهی با دمای سطحی

مطابق با شکل شماره ۳، تراکم قابل توجه پوشش گیاهی تقریباً در چهارسوی محدوده شهری در تصویر ۱۹۸۹ به رنگ سبز مشاهده می‌شود. مطابق با شکل شماره ۴، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) کمترین میزان پوشش گیاهی را در محدوده شهری ارومیه در اوت سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. با توجه به نقشه دمای سطح زمین، محدوده‌های دارای تراکم پوشش گیاهی، دماهای پایین را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۳- توزیع دمای سطح زمین (سمت چپ) و پوشش گیاهی (سمت راست) در ارومیه (سال ۱۹۸۹)



شکل ۴- توزیع دمای سطح زمین (سمت چپ) و پوشش گیاهی (سمت راست) در ارومیه (سال ۲۰۱۸)

### ۳-۲- رابطه دمای سطح زمین با انواع پوشش کاربری زمین

جهت بررسی دمای سطحی کاربری‌های منطقه شهری ارومیه، از تابع Zonal Statistics در محیط Arc GIS استفاده شد. به منظور اعمال تابع و انجام بررسی‌ها، نقشه کاربری اراضی و نقشه دمای سطحی (LST) وارد تابع Zonal Statistics گردید. مطابق با جدول شماره ۵، در ماه اوت سال ۱۹۸۹ کاربری اراضی بایر بیشینه دمایی بیشتری را نسبت به دو کاربری دیگر به خود اختصاص داده است. دمای بالاتر اراضی بایر نسبت به منطقه شهری، به علت افزایش دمای دامنه‌های رو به خورشید، در طول روز است. همچنین پوشش خاک سریع‌تر از پوشش‌های دیگر گرم می‌شود. مطابق با جدول شماره ۶ در ماه اوت ۲۰۱۸ دمای بیشینه متعلق به کاربری اراضی شهری است. علت این که در سال ۲۰۱۸ بیشینه دما را کاربری شهری به خود اختصاص داده است، می‌توان این گونه بیان کرد که زمین‌های بایر به میزان زیادی تبدیل به ساخت و ساز شهری شده است. از سوی دیگر، افزایش تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها از انتشار امواج بلند زمینی جلوگیری می‌کند و موجب افزایش گرما می‌شود. و علت دیگر، افزایش کارگاه‌های صنعتی و وسایل نقلیه است که با تولید حرارت منجر به افزایش گرمای محیط می‌شود. به همین دلیل در این سال (۲۰۱۸) نسبت به سال ۱۹۸۹، بیشینه دما به کاربری شهری تعلق گرفته است. در مجموع، دمای هر سه کاربری در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۱۹۸۹، افزایش داشته است.

جدول ۵- مقادیر دمایی کاربری‌های اراضی در سال ۱۹۸۹ (به درجه سانتیگراد)

انحراف استاندارد	میانگین دما	کمینه دما	بیشینه دما	کاربری اراضی (۱۹۸۹)
۲/۳	۲۹/۹۳	۲۳/۹	۳۸/۱۴	پوشش گیاهی و باغات
۱/۶	۳۳/۹۵	۲۶/۵	۴۰/۳۶	کاربری شهری
۲/۱	۳۷/۳۷	۲۸/۹	۴۳/۲۶	اراضی بایر

جدول ۶- مقادیر دمایی کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۱۸ (به درجه سانتیگراد)

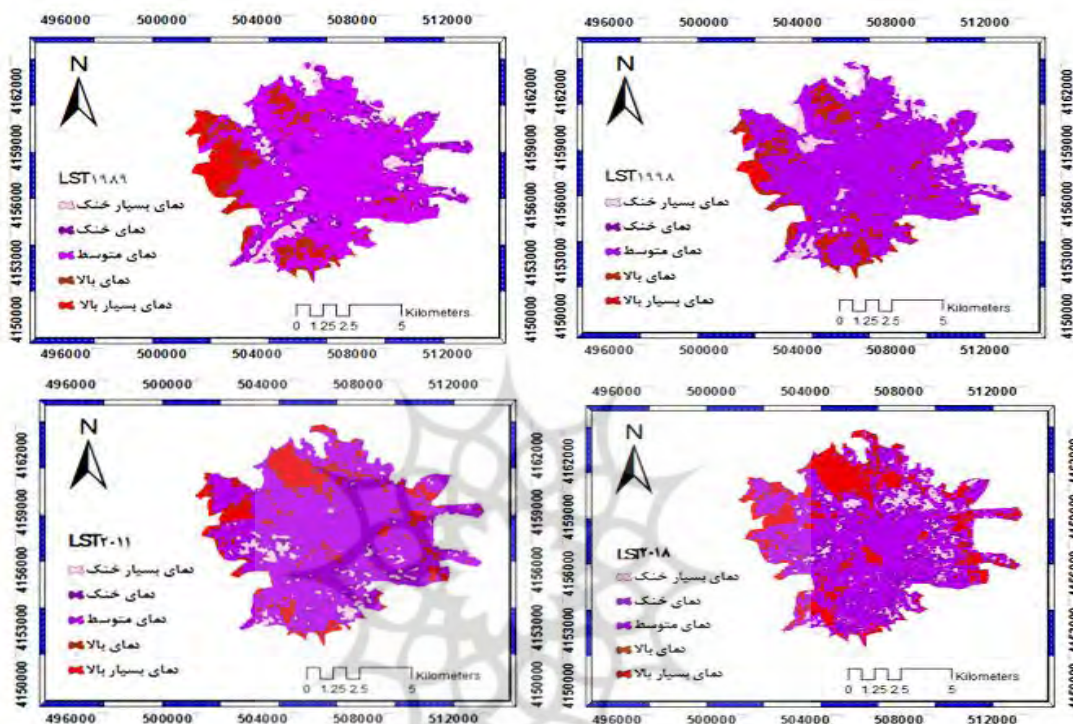
انحراف استاندارد	میانگین دما	کمینه دما	بیشینه دما	کاربری اراضی (۲۰۱۸)
۳/۸	۳۵/۹۰	۲۳	۴۸/۲	پوشش گیاهی و باغات
۳/۳	۳۶/۵	۲۵/۷۴	۵۰/۷	کاربری شهری
۲/۶	۴۳/۵	۳۲/۱۹	۵۰/۳	اراضی بایر

### ۳-۳- بررسی تغییرات مکانی و شدت جزیره حرارتی

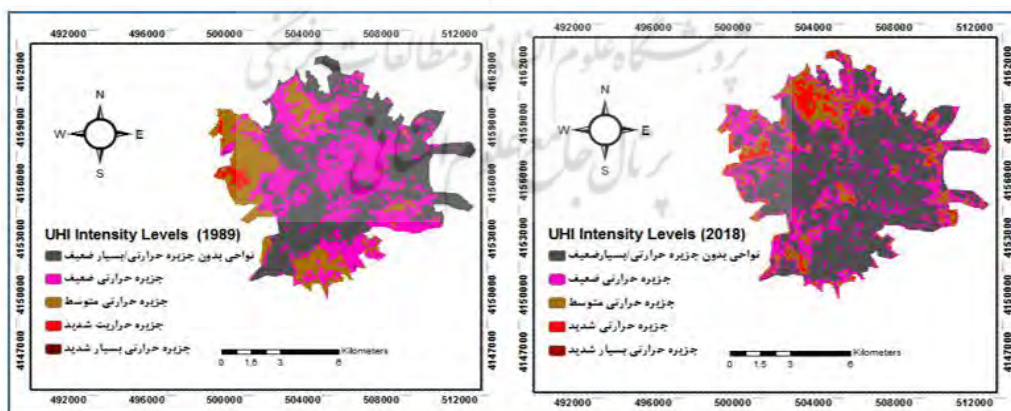
مطابق با شکل شماره ۵، بر اساس نقشه‌های طبقات دمایی، طبقه دمایی متوسط در تمام سال‌های مورد مطالعه، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در طول مدت مورد مطالعه طبقه دمایی بسیار خنک، کاهش داشته است. علت این امر از بین رفتن اراضی کشاورزی و باغات اطراف شهر در جهت گسترش و توسعه شهر می‌باشد. از جمله باغات و اراضی زراعی شرق و جنوب شرق به سمت جاده دریاچه ارومیه، جاده مهاباد و جاده اشنویه و باغات و اراضی کشاورزی غرب شهر به سمت تفرجگاه طبیعی "بند" و همچنین اراضی کشاورزی جنوب شهر واقع در جنوب رودخانه شهرچای هویت کاربری شهری به خود گرفته است. طبقه دمایی بسیار گرم از سال ۱۹۸۹ حاکمیت خود را در قسمت شمالی شهر واقع در اراضی بایر و تپه مشرف به آرامستان شهر و همچنین در شمال غرب شهر مربوط به اراضی قطعه بندی شده جهت گسترش شهر، حفظ کرده است. این طبقه دمایی در سمت آرامستان افزایش داشته و در شمال غرب، کاهش یافته است. جزایر حرارتی جدیدی ایجاد شده است که مربوط به کارگاه‌های تولیدی و صنعتی و سوله‌ها و زمین‌های بایر در قسمت شمال شرق، جنوب شرق و شرق شهر است. طبقه دمایی خنک و بسیار خنک مربوط به باغات حاشیه شهر و فضای سبز پارک جنگلی و پوشش گیاهی حاشیه رودخانه شهرچای و پارک‌های محلی است. مطابق با شکل شماره ۶ و جدول شماره ۷، روند تغییرات زمانی جزیره حرارتی شهر ارومیه نشان داد که شاخص جزیره حرارتی روند افزایشی دارد. مقدار این شاخص برای سال‌های مورد مطالعه در جدول شماره ۷ ارائه شده است. علاوه بر گسترش فضایی جزیره حرارتی، شدت آن نیز در بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ افزایش داشته است.

جدول ۷- مقادیر شاخص جزیره حرارتی

سال	۱۹۸۹	۱۹۹۸	۲۰۱۱	۲۰۱۸
مقدار شاخص جزیره حرارتی	۰/۲	۰/۲	۰/۳۱	۰/۳۷



شکل ۵- تغییرات مکانی طبقات دمایی شهر ارومیه (اوت ۲۰۱۸-۲۰۱۱-۱۹۹۸-۱۹۸۹)



شکل شماره ۶- نقشه جزیره حرارتی شهر ارومیه برای سالهای ۲۰۱۸-۱۹۸۹

## ۴- جمع‌بندی

جزیره حرارتی به عنوان یک مخاطره پیامدهای مخربی برای زندگی شهرنشینان به دنبال دارد. شهر ارومیه به عنوان کلانشهر در دهه اخیر با رشد سریع جمعیتی و صنعتی مواجه شده است که یکی از پیامدهای آن ایجاد جزایر حرارتی است. هدف از بررسی جزیره حرارتی در این تحقیق، تحلیل مکانی- زمانی این مخاطره است تا مکان‌های شکل‌گیری جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های اراضی شناسایی شود. در تحقیقات محدودی که پیرامون جزیره حرارتی ارومیه صورت گرفته است، بررسی‌ها اغلب مربوط به دهه اخیر بوده است. در تحقیق حاضر، بررسی‌ها از حدود سی سال پیش (۱۹۸۹) تا ۲۰۱۸ با استفاده از چهار تصویر (سال) با فواصل زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های جزیره حرارتی، نقشه‌های کاربری اراضی و دمای هریک از کاربری‌ها و نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی نشان داد که به لحاظ زمانی طی سال‌های مورد مطالعه، شاخص جزیره حرارتی در شهر ارومیه رشد و افزایش داشته است. مقدار این شاخص در سال ۱۹۸۹ با میزان ۰/۲ به ۰/۳۷ در سال ۲۰۱۸ رسیده است. با توجه به نقشه‌های طبقات دمایی، طبقه دمایی بسیار گرم از سال ۱۹۸۹ حاکمیت خود را در قسمت شمالی شهر واقع در اراضی بایر و تپه مشرف به آرامستان شهر و همچنین در شمال غرب شهر مربوط به اراضی قطعه‌بندی شده جهت گسترش شهر، حفظ کرده است. این طبقه دمایی در سمت آرامستان افزایش داشته و در شمال غرب، کاهش یافته است. در سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ طبقه دمایی بسیار بالا منطبق بر اراضی بایر بود اما با گذر زمان و افزایش ساخت و سازهای شهری و ایجاد کارگاه‌های صنعتی و تولیدی و سوله‌ها در سمت شرق و شمال شرق و جنوب شرق شهر، در سال ۲۰۱۸ طبقه دمایی بسیار بالا در این مناطق از شهر ایجاد شده و جزایر حرارتی جدیدی شکل گرفته است. مطابق با نقشه‌های دمای سطح زمین و پوشش گیاهی، محدوده‌های دارای تراکم پوشش گیاهی، دماهای پایین را به خود اختصاص داده‌اند. طبقه دمایی خنک و بسیار خنک مربوط به باغات حاشیه شهر و فضای سبز پارک جنگلی و پوشش گیاهی رودخانه شهرچای و پارک‌های محلی است. در سال ۲۰۱۸ از مساحت طبقه دمایی بسیار خنک و خنک کاسته شده است. علت این امر از بین رفتن مساحت بزرگی از اراضی کشاورزی و باغات شهر در طی مدت مورد مطالعه و تبدیل آن به کاربری شهری می‌باشد. از جمله باغات و اراضی زراعی شرق و جنوب شرق به سمت جاده دریاچه ارومیه، جاده مهاباد و جاده اشنویه و باغات و اراضی کشاورزی غرب شهر به سمت تفرجگاه طبیعی "بند" و همچنین اراضی کشاورزی جنوب شهر واقع در جنوب رودخانه شهرچای، هویت کاربری شهری به خود گرفته است. با توجه به نتایج حاصل در این پژوهش، می‌توان گفت جزیره حرارتی شهر ارومیه از نظر فضایی گسترش یافته و شدت آن نیز افزایش پیدا کرده است. از جمله سایر تحقیقاتی که جزیره حرارتی ارومیه را مورد بررسی قرار دادند می‌توان به پژوهشی اشاره کرد که در آن ارتباط کاربری‌های مختلف با

جزیره حرارتی بررسی گردید (اسدی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). در این تحقیق جزیره حرارتی مربوط به تاریخ ژوئیه سال ۲۰۱۵ با استفاده از تصویر لندست مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، کاربری صنعتی و مناطق اداری-تجاری بیشترین دمای میانگین را به خود اختصاص داد. در مقابل، مناطق دارای پوشش گیاهی از جمله پارکها نقش مهمی در کاهش حرارت جزایر حرارتی داشت. اما در پژوهشی دیگر (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک و همچنین آمار دماسنج نصب شده در چندین ایستگاه در سطح شهر، جزیره حرارتی شهر ارومیه مورد مطالعه واقع شد. نتیجه حاصل از این پژوهش، حاکی از کشیده شدن منحنی حداکثر دما به سمت شرق و جنوب شرق شهر بود. پژوهشگران در این تحقیق، علت این امر را وجود کاربری صنعتی، کارگاهی و نقش جهت وزش باد بیان نمودند. همچنین رابطه عکس بین دمای سطحی و پوشش گیاهی در این تحقیق مورد تأیید قرار گرفت. نتایج این تحقیق از لحاظ مکان جزایر حرارتی مشابه تحقیق حاضر بود. این نتایج مشابه از نظر مکان جزایر حرارتی دمای هوا (دمای ایستگاههای سینوپتیک) و دمای سطحی (حاصل از تصاویر ماهواره‌ای) نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای در بررسی پدیده‌های طبیعی و غیرطبیعی کارایی و دقت بالایی دارند. با توجه به امکان ارزشمندی که سنجش از دور در فراهم سازی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایجاد پایگاه داده، یکپارچه سازی، تحلیل و ایجاد نقشه‌ها در اختیار محققین قرار می‌دهد، می‌توان در پژوهش‌های دیگری، جزیره حرارتی را با در نظر گرفتن عوامل طبیعی (ویژگی‌ها و معیارهای اقلیمی، ارتفاع، شیب و جهت شیب) و همچنین عواملی که انسان در آن دخیل بوده است (مکان‌گزینی مناطق مسکونی، تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها و...) به صورت جامع و کامل برای سالها و فصول مختلف مورد بررسی قرار داد.

#### کتابنامه

- ارسلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم؛ و خوش‌اخلاق، فرامرز؛ ۱۳۹۱. بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، صص ۹۷-۱۱۰.
- امیری، رضا؛ علیمحمدی، عباس؛ و علوی پناه، سیدکاظم؛ ۱۳۸۶. مطالعه تغییرپذیری فضایی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست. مجله محیط شناسی، ۴۳، صص ۱۰۷-۱۲۰.
- جوان، خدیجه؛ ۱۳۹۲. بررسی اقلیم گردشگری شهر ارومیه با استفاده از شاخص‌های زیست اقلیمی. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس، شماره ۱۶، صص ۸۳-۹۶.
- رسولی، علی‌اکبر؛ ۱۳۸۷. مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. انتشارات دانشگاه تبریز.

- صادقی نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ و ضیائیان، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل فضایی زمانی جزیره حرارتی کلانشهر تهران با استفاده از سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴، صص ۱۷-۱.
- علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹۰. اصول سنجش ازدور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- فیضی زاده، بختیار؛ دیده‌بان، خلیل؛ و غلام‌نیا، خلیل؛ ۱۳۹۵. برآورد دمای سطح زمین با استفاده از ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا. مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد. فصل‌نامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۹۸، صص ۱۸۱-۱۷۱.
- ملکی، سعید؛ شجاعیان، علی؛ و فرهمند، قاسم؛ ۱۳۹۷. ارزیابی تغییرپذیری فضایی- زمانی جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های شهری، مطالعه موردی: شهر ارومیه. فصل‌نامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۱۰۵، صص ۱۹۷-۱۸۳.
- ولیزاده کامران، خلیل؛ غلام‌نیا، خلیل؛ عینالی، گلزار؛ و موسوی، سید محمد؛ ۱۳۹۶. برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره) مطالعه موردی شهر زنجان (نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، شماره ۳۰، صص ۵۰-۳۵.
- هاشمی‌دره بادامی، سیروس؛ درویشی بلورانی، علی؛ علوی‌پناه، سید کاظم؛ ملکی، محمد؛ و بیات، رضا؛ ۱۳۹۸. تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چندزمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلانشهر تهران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۲، صص ۱۲۸-۱۱۳.

- Abou Elmagd, I., Ismail, A., & Zanty, N., 2016. Spatial Variability of Urban Heat Islands in Cairo City, Egypt using Time Series of Landsat Satellite Images. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS* 5: 1618-1638.
- Asadi, Y., Ezimand, K., Keshtkar, H., & Alavipanah S.K., 2019. A Survey of Landscape Metrics and Land-use / land-cover Structures on Urban Heat Islands Surface: A Case Study on Urmia City, Iran. *Desert Journal*, pp: 205-218.
- Department of the Interior U.S. Geological Survey., 2019. Landsat8 (L8) Data Users Handbook, LSDS-1574 Version 5.0.
- Du, ch., Ren, H., Qin, Q., Meng, J., & Zhao, Sh., 2015. A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data. *Remote Sensing Journal* 7: 647-665. DOI: 10.3390/rs70100647.
- Gibson, P.(2000).Introductory Remote Sensing Principles and Concepts. Published by Routledge.
- Hua, L., & Wang, M., 2012. Temporal and Spatial Characteristics of Urban Heat Island of an Estuary City, China. *Journal of computers*. 7:3082-3087.
- Jin, M., Li, J., Wang, C., & Shang, R., 2015. A Practical Split-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat 8 Data and a Case Study of an Urban Area in China. 7: 4371-4390 DOI: 10.3390/rs70404371.
- Kaplan, G., Avdan, U., & Yigit Avdan, Z., 2018. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. *Proceedings*, 2 (358):1-5. DOI:10.339./ecrs-2-05171.



- Oluseyi, I., Danlami, M. S., & Olusegun, A.J., 2011. Managing Land Use Transformation and Land Surface Temperature Change in Anyigba Town, Kogi State, Nigeria. *Journal of Geography and Geology*, (3) 77: 77-85. DOI: 10.5539/jgg.v3n1p77.
- Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K., & Khosa, R., 2018. Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. pp: 1-19. DOI: 10.1007/s41651-018-0021-y.
- Rong-bo, X., Zhi-yun, O., Hua, Z., Wei-feng, L., Erich, W.S., & Xiao-ke, W., 2007. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*. 19:250–256.
- Rose, A.L., & Devadas, M.D., 2009. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery a case in Chennai city, India. *The seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., & Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from Landsat TM5. *Remote Sensing of Environment* 90:434–440. DOI:10.1016/j.rse.2004.02.003.

