

## ارزیابی تغییرات دمایی کاربری اراضی شهر زنجان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین

علیرضا محمدی<sup>۱\*</sup>، بهروز خداوندی<sup>۲</sup>، پریسا بابایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup>کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
<sup>۳</sup>کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۳۰

### چکیده

دمای سطح زمین از جمله پارامترهای ضروری در مطالعات تغییرات کاربری اراضی، بیان انرژی، مطالعات آب و هواشناسی و غیره بر زندگی انسان تاثیر گذار است. در این پژوهش، به منظور برآورد LST از چهار الگوریتم؛ تک کانال، تک پنجره بهبود یافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابش در محیط نرم افزار متن باز PyQGIS Plugin و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده‌های OLI/TIRS سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ شهر زنجان استفاده شده است. سپس نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در بستر سامانه گوگل ارث انجین (GEE) استخراج شدند. برای صحت‌سنجی نتایج الگوریتم‌های LST، از داده‌های دمای سطح ایستگاه هواشناسی زنجان در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ استفاده گردید. همچنین، جهت انتخاب بهترین الگوریتم برآورد LST از روش‌های آماری RMSE، MAPE استفاده شد. براساس نتایج، الگوریتم تک کانال در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ دارای کم‌ترین RMSE و MAPE و بیش‌ترین دقت می‌باشد. به طوری که در سال ۲۰۱۳ RMSE و MAPE این الگوریتم به ترتیب برابر با ۱/۴۷۲ و ۵/۵۷۹ و در سال ۲۰۱۹، ۰/۱۳۱ و ۰/۵۳۷ بدست آمد. طبقه‌بندی در بستر GEE نتایج مناسبی از لحاظ صحت کلی و ضرایب کاپا ارائه داد. براساس نتایج، در سال ۲۰۱۳، صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۹۵/۶۷ و ۰/۹۴ و در سال ۲۰۱۹، ۹۸/۸۰ و ۰/۹۸ به دست آمد. نتایج بررسی تغییرات دمایی کاربری‌های مختلف در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ نشان داد که اراضی آیش به ترتیب با میانگین دمای ۴۹/۸۶ و ۴۵/۱۶ و کاربری‌های دیمزار و مراتع در رده‌های بعدی از نظر برخورداری از حداکثر دما در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ قرار دارند. کاربری‌های آب، کاربری شهری و پوشش گیاهی به ترتیب دارای کمترین میانگین دما در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ می‌باشند. همچنین نتایج کلی بدست آمده نشان داد که همه کاربری‌ها در سال ۲۰۱۳ از دمای بالاتری نسبت به سال ۲۰۱۹ برخوردار بودند.

**واژه‌های کلیدی:** دمای سطح زمین، کاربری اراضی، گوگل ارث انجین، شهر زنجان.

### مقدمه

دمای سطح زمین<sup>۲</sup> (LST) یک پارامتر اساسی در روند فیزیکی و تعامل بین زمین و جو است که بر تعادل انرژی سطح، آب و هوای منطقه‌ای، شار گرمای و مبادلات انرژی تاثیر می‌گذارد و یکی از مهم‌ترین داده‌های ثبت شده توسط ماهواره‌ها در دهه‌های اخیر

می‌باشد (ندوسی و آودان<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶). داده‌های LST می‌تواند اطلاعاتی را درباره تغییرات مکانی و زمانی سطح زمین در کاربردهای مختلف در مقیاس جهانی ارائه دهد و به طور گسترده‌ای در بسیاری از مطالعات از جمله تخمین موجودی انرژی، پایش رطوبت و تبخیر و تعرق، تغییرات آب و هوایی، جزیره گرمایی شهری،

\*نویسنده مسئول: a.mohammadi@uma.ac.ir

2. Land Surface Temperature

3. Ndossi and Avdan

نظارت بر پوشش گیاهی، مطالعات آب و هوایی شهری و نظارت بر آتش سوزی جنگل و مطالعات زمین شناسی و زمین گرمایی و زیست محیطی مورد استفاده قرار گرفته است (بونیا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). محاسبه LST و بررسی رابطه آن با پوشش های سطح، به منظور حل بسیاری از مشکلات در زمینه تغییر آب و هوا در مناطق شهری و تعامل بین انسان و محیط زیست کاربرد دارد (راماچاندرا و اوتوما<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹: ۴۴). سنجش از دور ماهواره ای یک راه ساده و سازگار برای تعیین تفاوت بین گرمای سطوح شهری و غیرشهری را فراهم می کند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۹). در زمینه ارزیابی جزایر حرارتی شهری با استفاده از الگوریتم های مختلف برآورد LST پژوهش های انجام شده است که در ادامه به چند مورد از آن ها اشاره می گردد: هاشمی دره بادامی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه ای خود با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست را در سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ استفاده کردند و از روش حد آستانه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۳</sup> و کسر پوشش گیاهی جهت محاسبه توان تشعشعی سطح زمین و الگوریتم پلانک<sup>۴</sup> با استفاده از تصاویر سنجنده TM و ETM و برای محاسبه الگوریتم پنجره مجزا<sup>۵</sup> از تصاویر ماهواره ای سنجنده OLI/TIRS برای ارزیابی LST استفاده کردند. و همچنین روند تغییرات جزیره حرارتی و کسر پوشش گیاهی نیز توسط روش های آماری و آزمون من-کندال تجزیه و تحلیل گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که در بیشتر مناطق مورد مطالعه LST دارای روند افزایشی و کسر پوشش گیاهی دارای روند کاهشی می باشد. ابراهیمی هروی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه ای خود با استفاده از الگوریتم های پنجره تکی، سبال، استفان-بولتزمن، تک کانال، پنجره مجزا و دفتر علوم لندست LST را در طی سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ استخراج کردند. و سپس با استفاده از شاخص

آماری MAPE این الگوریتم ها را مورد مقایسه قرار دادند. بررسی نتایج این مطالعه نشان داد باند ۱۱ ماهواره لندست ۸، برای استخراج LST از نتایج قابل اعتمادتری نسبت به باند ۱۰ برخوردار می باشد. خسروی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود با استفاده از تصاویر سنجنده های TM و TIRS/OLI ماهواره لندست تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی شهر زنجان را با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا در طی سال های ۱۹۸۷، ۱۹۹۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار دادند. همچنین با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی موران و شاخص G به تحلیل فضایی داده های دما پرداخته اند. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که بالاترین مقادیر دمایی در شهر زنجان مربوط به مناطق دارای زمین های بایر و کمترین مقادیر مربوط به مناطق حاوی پوشش گیاهی، کاربری های مرکزی شهر و بافت های فرسوده می باشد. پیرنظر و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی برای برآورد LST، از تصویر لندست ۸ سنجنده TIRS و OLI متعلق به ۱۵ ژوئن سال ۲۰۱۴ و روش سبال استفاده کردند. پس از پردازش های لازم، نقشه های حرارتی شهر تهران تولید شدند و همچنین به منظور برآورد دمای میانگین هر کلاس کاربری، تصویر محدوده تهران به پنج کلاس کاربری اراضی شامل بایر، مناطق مسکونی، شبکه راه، فضای سبز و مناطق آبی طبقه بندی شدند؛ سپس با استفاده از نقشه های حرارتی و کاربری تولید شده، ارزیابی ترتیب دمایی کلاس های کاربری اراضی شهر تهران انجام گردید، نتایج نشان داد که فضای سبز پس از کلاس آب، خنک ترین کلاس بوده و می تواند نقش مهمی در تعدیل LST و محیط اطراف خود ایفا نماید. در پایان، جزایر حرارتی و خنک شهر تهران شناسایی شدند و راهکارهایی برای مدیریت دمای سطح زمین در شهر تهران ارائه دادند. اصغری سراسکانرودی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود ارتباط کاربری اراضی با LST شهر اردبیل و خودهمبستگی فضایی با بهره گیری از شاخص موران را انجام دادند آن ها در مطالعه خود از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در طی

1. Bunai
2. Ramachandra and Uttam
3. Normalize Difference Vegetation Index (NDVI)
4. Planck Equation
5. Split Window

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ در حوضه رودخانه بیس<sup>۳</sup> در هند می‌باشد. نتایج نشان داد که در قسمت‌های شمال شرقی مقادیر LST کم می‌باشد در حالی که در دشت‌های جنوب غربی با زمین‌های بی‌ثمر و مناطق شهری دارای مقادیر LST بالایی می‌باشند. براساس نتایج ۴۴/۸۵ درصد از کل سطح دمای زیر ۲۷/۷۶- تا ۱۶/۷۳- درجه سانتی‌گراد و مقدار ۲۱/۲۵ درصد از کل منطقه در دمای زیر ۱۶/۷۳- تا ۵/۶۹- در طول ماه آوریل قرار دارد. ۳۰/۲۳ درصد از باقی‌مانده از منطقه مورد مطالعه زیر دمای ۵/۹۶- تا ۵/۳۳- درجه سانتی‌گراد قرار دارد. متوسط LST در منطقه مورد مطالعه ۵/۷۰- درجه سانتی‌گراد است. جین<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود از داده‌های ماهواره‌ای لندست (TM, ETM+) برای تعیین کمیت مکانی و فضایی درجه حرارت سطح زمین و شدت جزایر حرارتی شهری (UHI) برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ در شهر نقپور در ایالت ماهاراشترا استفاده کردند. ویژگی‌های بیوفیزیکی شهر از طریق شاخص‌های NDVI، NDBI<sup>۵</sup> و NDBal<sup>۶</sup> ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که درجه حرارت در هسته شهر و همچنین برخی مناطق اطراف آن به ویژه در ضلع جنوبی بسیار زیاد است. دما در قسمت غربی شهر نسبت به منطقه شرقی نسبتاً پایین است. با این حال، برخی مناطق پیرامونی دمای بالاتر را نشان می‌دهند. این امر می‌تواند به دلیل توسعه در مناطق بیرونی شهر و از بین رفتن پوشش گیاهی در مناطق حاشیه شهر باشد. در این مطالعه، الگوریتم‌های تک پنجره مجزا بهبود یافته (MWA)، الگوریتم تک کانال (SCA)، الگوریتم معکوس تابع پلانک (Planck) و الگوریتم معادله انتقال تابش (RTE) برای استخراج LST در نرم‌افزار متن باز PyQGIS Plugin پیاده سازی شده است. همچنین پارامترهای گسیل‌مندی، شاخص پوشش گیاهی NDVI، محاسبه رادیانس و دمای روشنایی نیز در این

سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ استفاده کردند. همچنین از روش شی‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی برای طبقه‌بندی و برای محاسبه LST استفاده کردند. نتایج نشان داد که دمای نواحی شهری در سال ۲۰۱۵، ۴۳ درجه و در سال ۲۰۱۸، ۴۵ درجه سانتی‌گراد به دلیل جذب گرما دمای بیش‌تری دارند و کاربری مناطق آبی در سال ۲۰۱۵، دمای ۳۵ درجه و در سال ۲۰۱۸، دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد را داشته‌اند که دارای دمای کمتری می‌باشند. تسوو همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود از داده‌های لندست ۸ و الگوریتم‌های تک پنجره‌ای، روش تک کانال، الگوریتم پنجره مجزا (SWA-Q) و الگوریتم پنجره مجزا (SWA-S) Sobrino برای برآورد LST در طی سال‌های ۲۹ نوامبر ۲۰۱۳، ۱۶ نوامبر ۲۰۱۴، ۱۸ اکتبر ۲۰۱۵، ۷ فوریه ۲۰۱۶ در شنژن و هنگ کنگ استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که برآورد LST توسط SWA-Q بهتر از سایر الگوریتم‌های دیگر عمل کرده است. بونای<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ی خود برای بازیابی LST داده‌های مادون قرمز حرارتی باند ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS لندست ۸ برای محاسبه الگوریتم‌های تک پنجره و پنجره مجزا در منطقه تانگراک جنوبی اندونزی استفاده کردند. هدف آن‌ها از این مطالعه بررسی توزیع مکانی LST و همچنین تعیین الگوریتم دقیق‌تر بازیابی LST با محاسبه RMSE می‌باشد. نتایج نشان داد که براساس توزیع LST برای هر دو الگوریتم مشخص است که آن‌ها الگوی مشابهی دارند و مقادیر بالاتر LST در قسمت جنوبی تانگراک جنوبی حاکم می‌باشد و بهترین نتیجه با الگوریتم پنجره مجزا با RMSE ۷/۶۹ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. رونگالی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ی خود یک ارزیابی مهم از الگوریتم‌های مختلف وارونگی دما ارائه دادند. این الگوریتم‌ها شامل تک پنجره، پنجره مجزا، زاویه دوتایی، تک کانال می‌باشد. هدف اصلی در این مطالعه استخراج الگوریتم پنجره مجزا برای بازیابی دما با

3. Beas  
4. Jain  
5. Normalized Difference Built-up Index  
6. Normalized Difference Bareness Index

1. Bunai  
2. Rongali

در این مطالعه جهت آماده‌سازی تصاویر و اعمال شاخص‌ها برای استخراج LST ابتدا بر روی تصاویر مورد نظر پیش پردازش‌های مانند انواع تصحیحات رادیومتریکی و تصحیح اتمسفری با روش (QUAC<sup>۵</sup>) انجام شد.

**تعیین توان گسیلمندی سطح زمین:** نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده به وسیله جسم سیاه در همان دما گسیلمندی سطحی تعریف می‌شود. یکی از کلیدی‌ترین پارامترهای موثر برای محاسبه حرارت سطحی گسیلمندی سطحی می‌باشد. در واقع مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح مورد نیاز می‌باشد (علوی پناه، ۱۳۸۷). پس از تهیه نقشه شاخص تفاضل پوشش گیاهی سپس نقشه گسیلمندی برای تاریخ ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ حاصل از باند های ۱۰ لندست ۸ برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDVI محاسبه شد. سپس با استفاده از گسیلمندی الگوریتم‌های تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک و RTE و الگوریتم تک پنجره بهبود یافته محاسبه گردید.

**برآورد میزان انتقال پذیری اتمسفری:** در این مطالعه برای تعیین میزان ضخامت اتمسفر (انتقال پذیری) در محدوده باند ۱۰ لندست ۸ سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ و همچنین برای محاسبه پارامترهای upwelling radiance, down welling radiance از سامانه شبیه‌ساز انتقال اتمسفری MODTRAN استفاده گردیده است (شکل ۱).

افزونه محاسبه گردید. همچنین از سامانه تحت وب گوگل ارث انجین به منظور تهیه و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است که در تحقیقات مشابه مورد استفاده قرار نگرفته یا کمتر استفاده شده است.

### مواد و روش تحقیق

در این مقاله، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده‌های OLI/TIRS در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ و ماه جولای (تیرماه سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ شمسی) جهت استخراج LST و تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده گردید (جدول ۱). با این‌که تاکنون روش کامل و دقیق برای اندازه‌گیری LST به رغم احساس ضرورت به آن وجود نداشته است. اما روش‌های زیادی برای استخراج LST ارائه گردیده است؛ مانند الگوریتم‌های مانند پنجره مجزا یا دوباندی<sup>۱</sup>، تک پنجره‌ای<sup>۲</sup>، تک باندی<sup>۳</sup> و همچنین الگوریتم سیال<sup>۴</sup> را می‌توان نام برد. در این پژوهش، به منظور برآورد میزان LST از چهار الگوریتم تک کانال، تک پنجره بهبود یافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابش استفاده گردید. لازم به ذکر است لندست ۸ دارای دو باند حرارتی می‌باشد که باند ۱۰ در این مطالعه انتخاب شده است. از جمله دلایل انتخاب این باند نزدیکی به محدوده حداکثر تابش زمین (۹/۶۶ میکرومتر) می‌باشد و مقدار نویز در این محدوده کمتر از باند یازده می‌باشد. به منظور برآورد دقیق درجه حرارت سطح زمین باید تصاویر ماهواره‌ای دارای کیفیت خوب و بدون ابر باشند. چرا که در صورت ابری بودن و ماسک کردن نیز داده آن قسمت از بین رفته و نتیجه دقیقی حاصل نخواهد شد.

1. Split Window
2. Mono Window
3. Single channel
4. Sebal

5. Quick Atmospheric Correction

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

ماهواره / سنجنده	گذر / ردیف	تاریخ اخذ تصاویر	ساعت اخذ تصاویر
لندست ۸/TIRS/OLI	167/34	2013-07-19	07:03:15
لندست ۸/TIRS/OLI	167/34	2019-07-04	07:26:09

Year: 2013 Month: 07 Day: 19  
 GMT Hour: 07 Minute: 28

Latitude: +36 Longitude: +48  
 + is North - is South + is East - is West

Use atmospheric profile for closest integer lat long [help](#)  
 Use interpolated atmospheric profile for given lat long [help](#)

Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)  
 Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)

Use Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve  
 Use Landsat-7 Band 6 spectral response curve  
 Use Landsat-5 Band 6 spectral response curve  
 Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances

Optional: Surface Conditions  
 (If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used.  
 If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)

Altitude (km): 1.663 Pressure (mb): 829.3  
 Temperature (C): 26.4 Relative Humidity (%): 28.2

Results will be sent to the following address:  
 Email: parisababaei73@gmail.com

Calculate  
 Clear Fields

Year: 2019 Month: 07 Day: 04  
 GMT Hour: 07 Minute: 26

Latitude: +36 Longitude: +48  
 + is North - is South + is East - is West

Use atmospheric profile for closest integer lat long [help](#)  
 Use interpolated atmospheric profile for given lat long [help](#)

Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)  
 Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)

Use Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve  
 Use Landsat-7 Band 6 spectral response curve  
 Use Landsat-5 Band 6 spectral response curve  
 Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances

Optional: Surface Conditions  
 (If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used.  
 If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)

Altitude (km): 1.663 Pressure (mb): 829.1  
 Temperature (C): 24.4 Relative Humidity (%): 44.4

Results will be sent to the following address:  
 Email: parisababaei73@gmail.com

Calculate  
 Clear Fields

شکل ۱: محیط MODTRAN برای تخمین میزان انتقال اتمسفری باندهای حرارتی در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

### تعیین بخار آب اتمسفر (Determination of Atmospheric Water Vapor)

تک کانال، آگاهی از میزان بخار آب اتمسفری در زمان گذر ماهواره بسیار مهم است. در این مطالعه از معده پایین جهت تخمین بخار آب اتمسفری استفاده شده است. رطوبت نسبی از داده های هواشناسی به دست آمده است (رابطه ۴) (ندوسی و آودان، ۲۰۱۶).

$$W_i = 0.981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[ \frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times RH \right\} + 0.1679 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$W_i = \text{بخار آب اتمسفری}$$

$$T_0 = \text{دمای هوای نزدیک سطح زمین بر حسب درصد}$$

$$RH = \text{رطوبت نسبی}$$

مراحل تخمین دما با استفاده از روش تک کانال بدین صورت می باشد که ابتدا توان گسیلمندی زمین محاسبه و بعد دمای درخشندگی بدست می آید. سپس پارامترهای اتمسفری با استفاده از روش MODTRAN تابش های سطح بالا و سطح پایین و ضخامت اتمسفر (میزان انتقال پذیری) برای دو باند مورد نظر در زمان عبور ماهواره محاسبه می گردد. و

### روش های برآورد LST

روش تک کانال: الگوریتم تک کانال به منظور استخراج LST از یک باند مادون قرمز حرارتی ساخته شده است. مطابق این الگوریتم، LST همانطور که در معادلات رابطه ۱ نشان داده شده است محاسبه می گردد.

$$T_s = \gamma [\varepsilon^{-1} (\psi_1 L_{sensor} + \psi_2) + \psi_3] + \delta$$

$$\gamma = \left\{ \frac{C_2 L_{sensor}}{T_{sensor}^2} \left[ \frac{\lambda^4}{C_1} L_{sensor} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\delta = -\gamma L_{sensor} + T_{sensor}$$

$T_s$  نشان دهنده LST،  $T_{sensor}$  نشان دهنده دمای

روشنایی سنجنده بر حسب کلوین

$\lambda$  نشان دهنده طول موج موثر از باند مادون قرمز حرارتی مورد استفاده

$$C_1 = 1/19104 \times 10^8$$

$$W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^4 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$C_2 = 14387.7 \mu m.k$$

نشان دهنده پارامترهای اتمسفری که قابلیت تخمین با  $\psi_1, \psi_2$  و  $\psi_3$  استفاده از معادله های رابطه ۳ را دارد.

$$\psi_1 = 0.14714w^2 - 0.15583w + 1.1234$$

$$\psi_2 = -1.1836w^2 - 0.3760w - 0.52894 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\psi_3 = -0.04554w^2 + 1.8719w - 0.39071$$

رابطه ۶

$$C_i = \varepsilon_i \tau_i$$

$$D_i = (1 - \tau_i)[1 + (1 - \varepsilon_i)\tau_i]$$

$\varepsilon_i$  = بیانگر انتشار LST

$\tau_i$  = بیانگر انتقال اتمسفری

$T_a$  و  $\varepsilon_i$  و  $\tau_i$  سه پارامتر مورد نیاز برای تبدیل دمای روشنایی به LST

جهت به دست آوردن میانگین دمای اتمسفری موثر  $Q_{in}$  و همکاران روابط خطی را بسته به موقعیت منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. در این مطالعه برای لندست ۸ سنجنده TIRS، Mid-Latitude Summer، به عنوان پروفیل اتمسفری مناسب برای ماه‌های جولای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ در نظر گرفته شد. از جمله دلایل آن عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و قرار گیری ایران در عرض‌های میانی و فصل تصویر می‌باشد. درجه حرارت  $T_a$  و  $T_0$  در معادلات هر دو بر حسب کلوین اندازه‌گیری می‌شوند (جدول ۲) (ندوسی و آودان، ۲۰۱۶).

هچنین Atmospheric water vapor بر حسب واحد گرم در سانتی‌متر مکعب و در آخر با جایگزاری این پارامترها در نرم افزار Plugin PyQGIS الگوریتم تک کانال محاسبه گردید.

روش تک پنجره بهبود یافته: برای بدست آوردن LST با کیفیت مناسب، لیو و ژانگ از MWA استفاده کردند. این الگوریتم نیاز به محاسبه LSE، انتقال اتمسفری و میانگین دمای اتمسفر و دمای روشنایی دارد. الگوریتم تک پنجره بهبود یافته توسط رابطه ۵ داده شده است.

رابطه ۵

$$\frac{a_i(1-C_i-D_i)+[b_i(1-C_i-D_i)+C_i+D_i]T_i-D_iT_a}{C_i} = T_s$$

$T_s$  = بیانگر LST

$T_i$  = دمای روشنایی

$T_a$  = میانگین دمای اتمسفر بر حسب کلوین

$$a_i = -67/355351$$

$$b_i = 0/458606$$

$D_i$  و  $C_i$  بر اساس معادله‌های رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

جدول ۲: بر آورد میانگین دمای اتمسفر برای مناطق مختلف

Atmospheres	ضرایب
For USA 1976	$T_a = 25/9396 + 0/88045 T_0$
Tropical model	$T_a = 17/9796 + 0/91715 T_0$
Mid-latitude Summer	$T_a = 16/1110 + 0/92621 T_0$
Mid-latitude winter	$T_a = 19/2704 + 0/91118 T_0$

**رادیانس باند حرارتی:** از اطلاعات باند حرارتی سنجنده TIRS برای محاسبه دمای درخشندگی استفاده می‌شود. برای محاسبه دمای درخشندگی اول مقدار رقومی هر پیکسل به کمک مقادیر کالیبراسیون داده شده به انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده تبدیل می‌شود. جهت تبدیل مقدار رقومی هر پیکسل در تصاویر خام در انرژی خام به انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده برای تصاویر لندست ۸ که با استفاده از معادله رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$ML^* Q_{cat} + A_L = L_\lambda \quad \text{رابطه ۷}$$

در روش تک پنجره بهبود یافته اولین مرحله محاسبه انتقال اتمسفری می‌باشد، در مرحله بعد میانگین دمای اتمسفر محاسبه می‌گردد و همچنین Atmospheric profile بر روی Mid-Latitude Summer قرار داده می‌شود و در مرحله بعد دمای روشنایی و گسیلمندی محاسبه می‌شود و سر انجام همه این پارامترها در نرم افزار Plugin PyQGIS قرار داده شد و الگوریتم تک پنجره بهبود یافته بر حسب درجه سانتی گراد محاسبه گردید.

**روش رابطه معکوس تابع پلانک:** در این روش محاسبه رادیانس و دمای روشنایی و همچنین گسیلمندی صورت می‌گیرد.

برای استخراج LST استفاده می‌کند. این امر باعث می‌شود استفاده از الگوریتم‌های پنجره تقسیم غیر ممکن باشد. معادله RTE در معادله رابطه ۱۱ نشان داده شده است.

رابطه ۱۱

$$[\varepsilon_{\lambda} L_{\lambda}(T_{\lambda}) + (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{down}] \tau + L_{\lambda up} = L_{\lambda}$$

$L_{\lambda}$  = بیانگر تابش مادون قرمز حرارتی که توسط ماهواره‌ای دریافت می‌شود. یک سنجنده که عمدتاً از تابش سطح و تابش‌های رو به پایین از اتمسفر و تابش‌های رو به بالا از اتمسفر تشکیل شده است.

$\tau$  بیانگر انتقال اتمسفری

$\varepsilon$  نشان‌دهنده انتشار سطح زمین

$$T_s L_{\lambda up} = \text{تابش جسم سیاه از دمای جنبشی}$$

$$L_{\lambda down} = \text{تابش رو به پایین یا آسمان}$$

با توجه به این دلیل که در بیشتر شرایط، معمولاً در زمان گذر ماهواره، منطقه مورد مطالعه فاقد داده‌های هواشناسی می‌باشد از این رو از NASA's Atmospheric Correction Parameter Calculator برای شبیه‌سازی شرایط اتمسفری استفاده شده است. با متغیرهای مورد نیاز در دسترس، تابش سطح زمین ( $T_s$ ) از  $L_{\lambda}$  دمای جنبشی  $T_s$  می‌تواند با استفاده از معادله رابطه ۱۲ محاسبه شود (ندوسی و آودان، ۲۰۱۶).

$$L_{\lambda}(T_s) = \frac{L_{\lambda} - L_{\lambda up} \frac{1 - \varepsilon_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda}}}{\tau \varepsilon_{\lambda}} L_{\lambda down} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

جهت محاسبه این الگوریتم در ابتدا توان گسیلمندی زمین برای ماهواره لندست ۸ محاسبه و در مرحله بعد انتقال پذیری و تابش‌های رو به بالا و رو به پایین محاسبه می‌شود و سرانجام این پارامترها در نرم افزار PyQGIS Plugin جایگزاری شده و در نهایت LST به روش الگوریتم معادله انتقال تابشی بر حسب درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید.

**طبقه‌بندی در بستر سامانه گوگل ارث انجین<sup>۲</sup>:**

پس از تخمین LST با استفاده از روش‌های مختلف، نقشه کاربری اراضی برای دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان در بستر پلت فرم محاسبات ابری GEE استخراج گردید. GEE کل

پ در رابطه بالا،  $L_{\lambda}$  بیانگر انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده  $[ML, (W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))]$  نشان‌دهنده ضریب تبدیل ضریبی،  $Q_{cal}$  نیز بیانگر ارزش پیکسل (DN) تصویر خام حرارتی،  $A_L$  نشان‌دهنده ضریب تبدیل جمعی است (کریمی فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۶).

**دمای روشنایی:** بعد از تبدیل ارزش پیکسل به انرژی طیفی، دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده با استفاده از معادله رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

$$\text{رابطه ۸} \quad BT = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

BT دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده بر حسب کلوین (K)،  $L_{\lambda}$  انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده بر حسب  $(W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ،  $k_2$  ضریب ثابت کالیبراسیون اول بر حسب  $(W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ،  $k_1$  ضریب ثابت کالیبراسیون دوم بر حسب کلوین بدست می‌آید (کریمی فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۶). بعد از محاسبه گسیلمندی و رادیانس و دمای روشنایی تابع پلانک در plugin اجرا می‌شود. معادله رابطه ۹ عملکرد Planck را نشان می‌دهد (ندوسی و آودان، ۲۰۱۶).

$$\text{رابطه ۹} \quad \frac{BT}{\left\{1 + \left[\frac{\lambda \cdot BT}{\rho}\right] \cdot \ln \varepsilon\right\}} = T_s$$

$LST = T_s$  بر حسب کلوین

$BT =$  دمای روشنایی سنجنده بر حسب کلوین

$\lambda =$  طول موج

$$\text{رابطه ۱۰} \quad 10^{-2} \text{mk}/4381 = \rho(h * c / \sigma)$$

$\varepsilon =$  گسیلمندی

در روش رابطه معکوس تابع پلانک اولین مرحله محاسبه توان تشعشعی زمین می‌باشد و سپس سایر پارامترهای دمای روشنایی که از قبل محاسبه شده در نرم‌افزار PyQGIS Plugin جایگزاری شده و سرانجام LST با استفاده از الگوریتم تابع پلانک محاسبه گردید.

**روش معادله انتقال تابشی<sup>۱</sup>:** برای به دست آوردن

داده‌های LST از باندهای لندست ۸ سنجنده TIRS، معادله انتقال تابش در Plugin QGIS اجرا می‌شود. سپس این plugin از یک باند مادون قرمز حرارتی

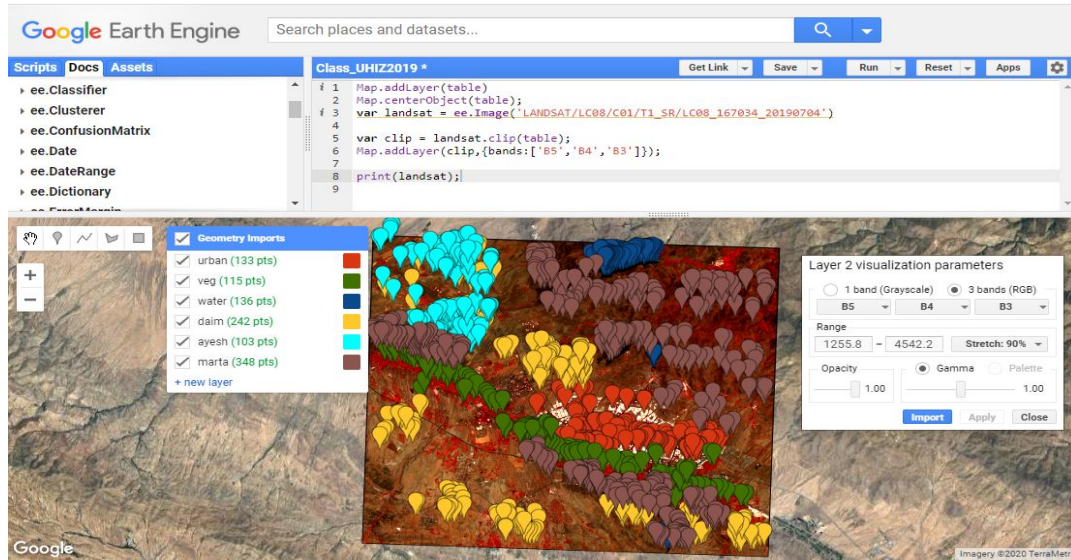
لیسلند<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۵: ۴). به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی از داده‌های برداشت میدانی با استفاده از GPS برای تصویر سال ۲۰۱۹ و برای سال ۲۰۱۳ از تصاویر گوگل ارث استفاده شده است. با اعمال نمونه‌های کنترل زمینی که به صورت تصادفی برداشت شده است، ماتریس خطا و آماره‌های ضریب کاپا و صحت کلی هر یک از نقشه‌های کاربری اراضی چندزمانه بدست آمد. تعداد نمونه‌های کنترلی سال‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. در ادامه، با انجام تصحیحاتی روی نقشه‌های کاربری، نقشه‌های نهایی کاربری اراضی استخراج گردید.

**منطقه مورد مطالعه:** شهر زنجان به عنوان اولین و بزرگترین نقطه شهری استان به عنوان یکی از شهرهای میانه اندام بزرگ کشور در رده جمعیتی ۵۰۰-۲۵۰ هزار نفری و مرکز سیاسی-اداری استان زنجان محسوب می‌شود (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۳). منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر، شامل شهر زنجان به همراه اراضی پیرامون آن می‌باشد (شکل ۳). موقعیت جغرافیایی منطقه از ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. طبق تقسیم‌بندی صورت گرفته، شهر زنجان به ۳ منطقه شهری و ۲۵ ناحیه تقسیم‌بندی شده است. همچنین، براساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر زنجان به ۴۳۰۸۷۱ نفر رسیده و نسبت جمعیت شهر به جمعیت استان ۴۰/۷۴ درصد بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).

بایگانی لندست را به همراه تعداد زیادی از مجموعه داده‌های شفاف از ناسا، آژانس فضایی اروپا و سایر تصاویر موجود در اختیار قرار داده است. فراخوانی انواع تصاویر لندست (۱ تا ۸) با هر نوع سطح پردازشی در GEE امکان‌پذیر است. در این پژوهش، از تصاویر تصحیح اتمسفری شده سطح یک<sup>۱</sup> استفاده شده است (سایت رسمی سامانه گوگل ارث انجین<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰). با استفاده از کدهای نسبتاً ساده JavaScript تصاویر سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ به صورت تصحیح شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای مرحله پردازش آماده گردید (گورلیک<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۸). در این پژوهش، از طبقه‌بندی پیکسل‌پایه در بستر GEE که مجموعه‌ای مدرن الگوریتم‌های طبقه‌بندی را شامل می‌شود و قابلیت پایش و تهیه نقشه کاربری را دارد استفاده شده است (شلسستو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۷). به عبارت دیگر، امکان طبقه‌بندی به روش‌های مختلف از جمله الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان<sup>۵</sup>، جنگل تصادفی<sup>۶</sup>، حداقل فاصله از میانگین<sup>۷</sup> و غیره در بستر GEE وجود دارد. این قابلیت مهم در سرعت پردازش و طبقه‌بندی تصاویر به نحوه موثری عمل می‌کند به طوری که با فراخوانی تصویر تصحیح شده سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ و برداشت نمونه‌های تعلیمی (شکل ۲)، طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان انجام شد (احراری، ۱۳۹۸: ۱۱۰). هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که صحت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته باشد تکمیل نیست لذا برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی صحت می‌شود. صحت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده بوده و در نقشه‌های کاربری اراضی بدست آمده از تصاویر سنجنش از دور بایستی حداقل ۸۵ درصد باشد

1. Surface Reflectance Tier1
2. [www.earthengine.google.com/](http://www.earthengine.google.com/)
3. Gorelick
4. Shelestov
5. Support Vector Machine
6. Random Forest
7. Minimum Distance

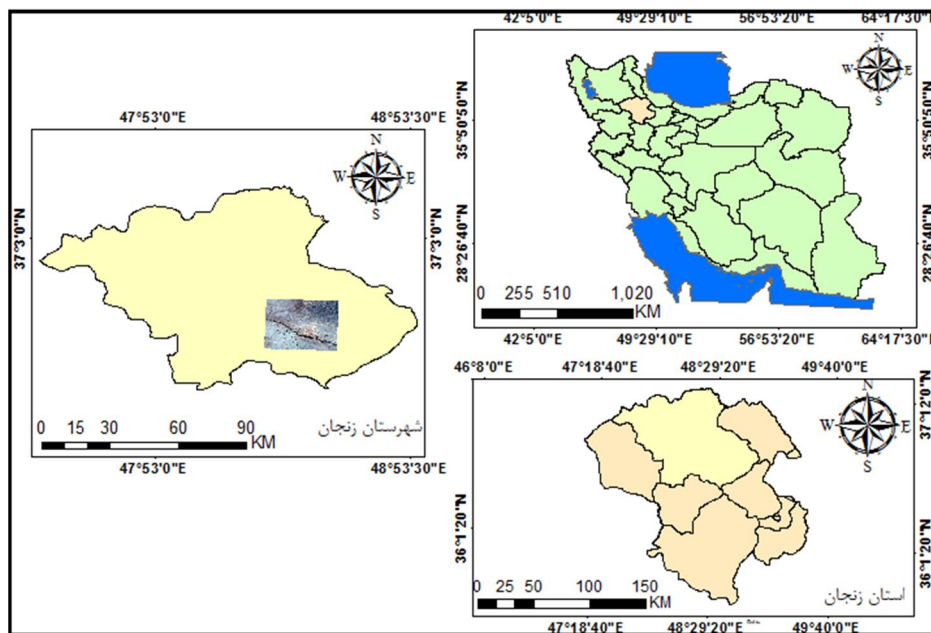




شکل ۲: تعداد و پراکنش فضایی نمونه‌های تعلیمی برداشت شده برای هر یک از کلاس‌های سال ۲۰۱۹

جدول ۳: تعداد نمونه‌های کنترلی ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

سال	کاربری	اراضی ساخته شده	پوشش گیاهی	پهنه آبی	زراعت دیمی	آیش	مرتج	مجموع
۲۰۱۹		۱۰۸	۱۰۴	۶۴	۱۲۶	۱۱۲	۱۷۰	۶۸۴
۲۰۱۳		۱۰۶	۱۰۹	۹۸	۱۴۷	۱۳۹	۲۳۸	۸۳۷



شکل ۳: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران، استان زنگنه و شهرستان زنگنه

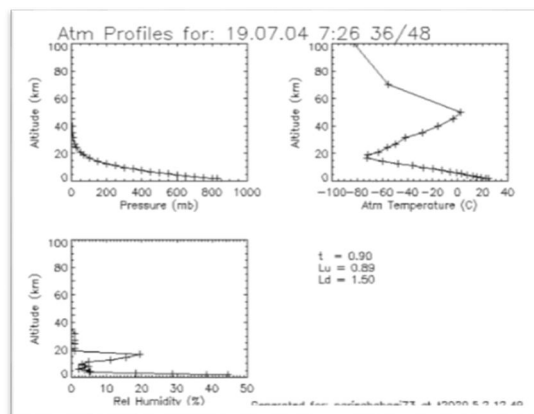
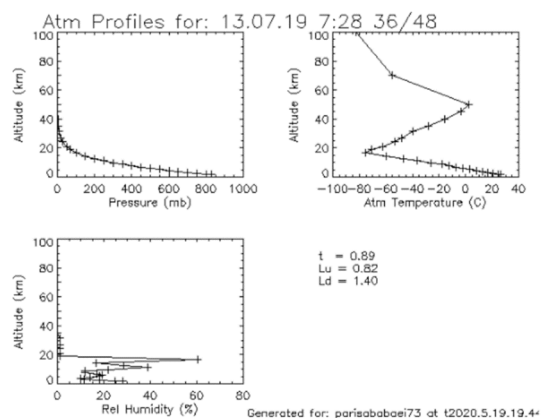
LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این مطالعه این کار با استفاده از پلتفرم تحت وب MODTRAN برای دو تاریخ ۰۴-۰۷-۲۰۱۹ و ۱۹-۰۷-۲۰۱۹

### نتایج و یافته‌های پژوهش

انتقال اتمسفر: تعیین میزان انتقال‌پذیری اتمسفر یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین پارامترها در برآورد

مورد مطالعه در زمان گذر ماهواره و با استفاده از سایر پارامترها مانند ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی منطقه، این مقادیر در سامانه MODTRAN جایگزاری شده و سرانجام میزان انتقال پذیری اتمسفر برای دو تاریخ بدست آمد.

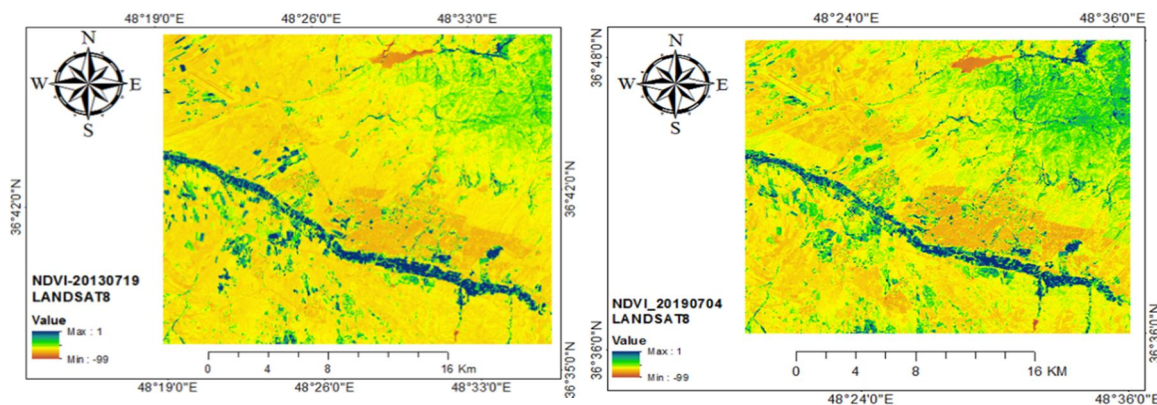
۲۰۱۳-۰۷ محاسبه شده است. شکل ۴ بیانگر پروفیل اتمسفر سطح زمین تا ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری می‌باشد. همچنین میزان تغییرات ارتفاع نسبت به دمای اتمسفر، فشار و رطوبت نسبی به صورت نمودار نمایش داده می‌شود. بعد از اینکه پارامترهای اقلیمی مانند رطوبت نسبی، دمای متوسط و مقدار فشار منطقه



شکل ۴: پروفیل استاندارد اتمسفری در تاریخ ۲۰۱۳/۰۷/۱۹ در ساعت ۷/۲۸ و در تاریخ ۲۰۱۹/۰۷/۰۴ در ساعت ۷/۲۶

شده پوشش گیاهی برای سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ محاسبه شد. که نتایج در شکل ۵ آمده است. سپس با استفاده از همین مقادیر NDVI، گسیلمندی استخراج شد. همانطور که در تصاویر NDVI سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ مشاهده می‌شود، باغ‌های اطراف و زمین‌های کشاورزی شهر دارای NDVI بالاتری می‌باشند.

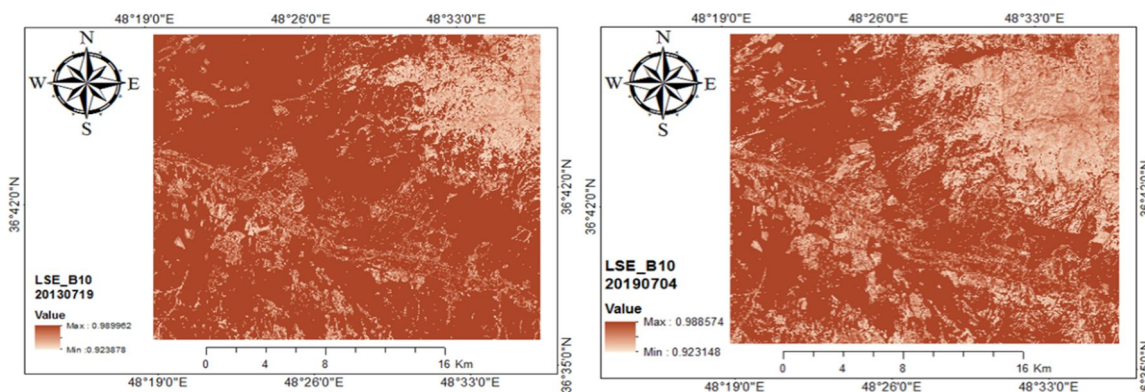
گسیلمندی: برآورد دقیق توان تشعشی از مهم‌ترین پارامتر در افزایش دقت الگوریتم‌های برآورد LST می‌باشد. بنابراین در این مطالعه توان تشعشی سطح زمین براساس شاخص NDVI برای باند ۱۰ لندست ۸ محاسبه گردید. یکی از عوامل موثر در کاهش دمای محیطی به میزان پوشش گیاهی در آن منطقه بستگی دارد. برای همین در مرحله اول شاخص تفاضل نرمال



شکل ۴: نقشه NDVI سنجنده OLI برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

طبقه‌بندی گردید. و سپس نقشه گسیلمندی برای تاریخ ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ حاصل از باند ۱۰ لندست ۸ در شکل ۶ برای منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. با استفاده از گسیلمندی الگوریتم‌های تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک، الگوریتم تک پنجره بهبود یافته و معادله انتقال تابشی محاسبه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که مناطق دارای پوشش گیاهی مانند باغات و مراتع دارای ضریب گسیلمندی بیش‌تری نسبت به سایر مناطق می‌باشند.

نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده به وسیله جسم سیاه در همان دما گسیلمندی سطحی تعریف می‌شود. یکی از کلیدی‌ترین پارامترهای موثر برای محاسبه حرارت سطحی گسیلمندی سطحی می‌باشد. در واقع مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح مورد نیاز می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۷). پس از تهیه نقشه شاخص تفاضل پوشش گیاهی، پوشش‌های گیاهی با استفاده از مقادیر NDVI



شکل ۵: نقشه گسیلمندی باند ۱۰ لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۳/۰۷/۱۹ و ۲۰۱۹/۰۷/۰۴

آخر الگوریتم معادله انتقال تابشی با مقدار  $4/3$  درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین میزان اختلاف را با داده دمای ایستگاه هواشناسی دارد (جدول ۴). در مقایسه‌ای که بین الگوریتم‌های LST و دمای ایستگاه هواشناسی در محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ صورت گرفت، نتایج نشان داد که کمترین اختلاف مربوط به الگوریتم تک کانال با مقدار  $0/2$  - درجه سانتی‌گراد می‌باشد. و الگوریتم پلانک و معادله انتقال تابشی در جایگاه بعدی قرار می‌گیرند کمترین میزان دقت مربوط به الگوریتم تک پنجره بهبود یافته با میزان ۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۴). نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم تک کانال در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ دارای بیش‌ترین میزان دقت نسبت به الگوریتم‌های دیگر می‌باشد و دلیل آن این می‌تواند باشد که الگوریتم تک کانال از پارامترهای اتمسفری به صورت مستقیم استفاده می‌کند. نتایج نقشه‌های حرارتی نمایش داده شده بیانگر این می‌باشد که مناطق سرد (آبی رنگ)

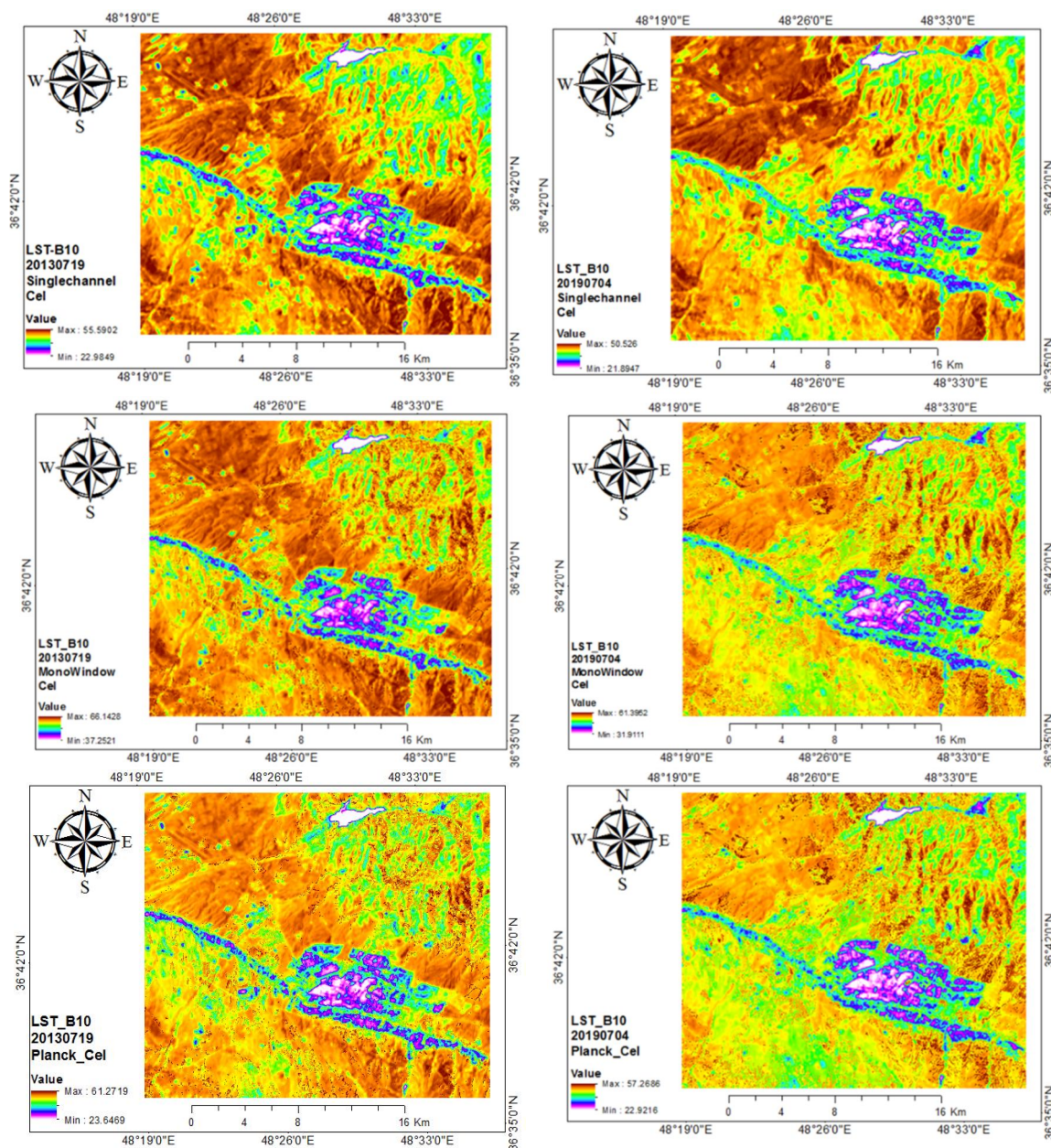
### نتایج بازنمایی LST

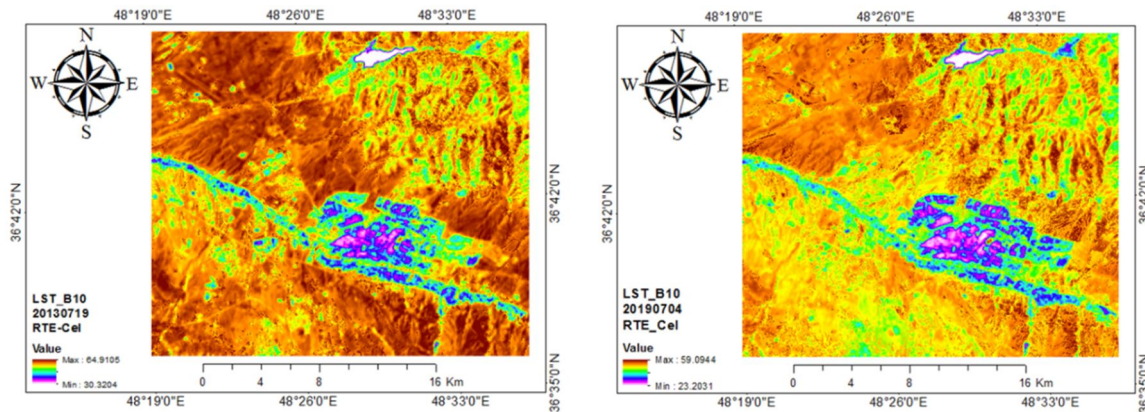
نتایج تخمین الگوریتم‌های محاسبه LST: پس از محاسبه گسیلمندی و دمای روشنایی تصاویر، LST برای بازه زمانی براساس الگوریتم‌های مورد نظر محاسبه گردید. در شکل ۷ الگوریتم‌های LST براساس درجه سانتی‌گراد برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ نشان شده است. در این پژوهش، نتایج الگوریتم‌های برآورد LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و داده‌های LST در موقعیت ایستگاه هواشناسی که به صورت ساعتی اندازه‌گیری شده است مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل شده کمترین میزان اختلاف در ایستگاه هواشناسی مربوط به الگوریتم تک کانال برای سال ۲۰۱۳ می‌باشد. اختلاف ایستگاه هواشناسی با الگوریتم تک کانال  $1/4$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. الگوریتم پلانک با اختلاف  $2/5$  درجه سانتی‌گراد در جایگاه دوم و بعد الگوریتم تک پنجره بهبود یافته با اختلاف ۴ و در

عمدتاً نشان‌دهنده مناطق با پوشش گیاهی و فضاهای مسکونی و باغات و زمین‌های کشاورزی نیز جزء سبز است. در نقشه‌های حرارتی شهر زنجان مناطق

جدول ۴: مقایسه دمای الگوریتم‌های مختلف با دمای ایستگاه هواشناسی بر حسب درجه سانتی‌گراد در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

ایستگاه	سال	دمای ایستگاه هواشناسی	تک کانال	تک پنجره	پلانک	معادله انتقال تابشی
زنجان	۲۰۱۳/۰۷/۱۹	۲۶/۴	۲۷/۸	۳۰/۴	۲۸/۹	۳۰/۷
		میزان اختلاف	۱/۴	۴	۲/۵	۴/۳
زنجان	۲۰۱۹/۰۷/۰۴	۲۴/۴	۲۴/۲	۲۶/۴	۲۵/۳	۲۵/۳
		میزان اختلاف	-۰/۲	۲	۰/۹	۰/۹





شکل ۶: نقشه‌های LST حاصل از الگوریتم‌های مختلف بر حسب درجه سانتی‌گراد سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

کم‌ترین RMSE و MAPE و بیش‌ترین دقت بوده‌اند. به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۳ RMSE و MAPE برای الگوریتم تک کانال به‌ترتیب برابر با ۱/۴۷۲ و ۵/۵۷۹ بوده است و تابع پلانک در جایگاه بعدی قرار دارد. در سال ۲۰۱۹ نیز الگوریتم تک کانال با دارا بودن مقدار RMSE و MAPE ۰/۱۳۱ و ۰/۵۳۷ دارای بیش‌ترین دقت می‌باشد و تابع پلانک نیز در رده بعدی قرار دارد. خروجی شاخص‌های آماری RMSE و MAPE برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ در جدول ۶ نمایش داده شده است.

ارزیابی خطای نقشه‌های LST: یکی دیگر از داده‌های اعتبارسنجی نتایج دمای تخمین زده شده با تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی می‌باشد که در این پژوهش، داده‌های ایستگاه زنجان مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۵). بنابراین در این پژوهش برای ارزیابی الگوریتم‌های LST از RMSE و MAPE استفاده گردید. براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی برای سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ محاسبه گردید. براساس نتایج بدست از جدول ۶ الگوریتم تک کانال در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ دارای

جدول ۵: داده‌های ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه در دو تاریخ

تاریخ	ایستگاه	درصد رطوبت نسبی	حداقل دما	حداکثر دما	دمای متوسط	فشار
۲۰۱۳-۰۷-۱۹	زنجان	۲۸/۲	۱۳/۴	۳۷/۴	۲۶/۴	۸۲۹/۳
۲۰۱۹-۰۷-۰۴	زنجان	۴۴/۴	۱۲/۹	۳۲/۳	۲۴/۴	۸۲۹/۱

جدول ۶: برآورد خطای RMSE و MAPE الگوریتم‌های ایستگاه هواشناسی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

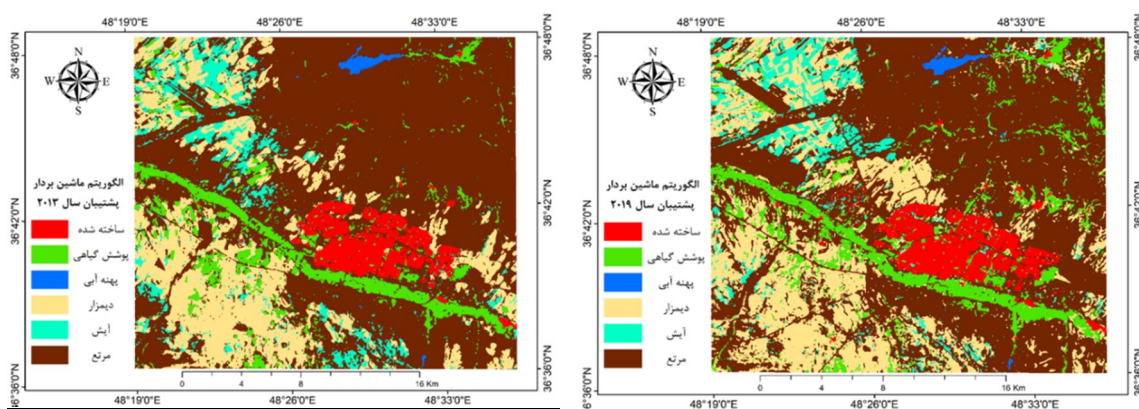
سال	شاخص	تک کانال	تک پنجره	پلانک	معادله انتقال تابشی
۲۰۱۳	RMSE	۱/۴۷۲	۴/۰۹۲	۲/۵۴۵	۴/۳۰۱
	MAPE	۵/۵۷۹	۱۵/۵۰۱	۹/۶۴۳	۱۶/۲۹۳
۲۰۱۹	RMSE	۰/۱۳۱	۲/۰۸۵	۰/۹۱۰	۰/۹۵۲
	MAPE	۰/۵۳۷	۸/۵۴۶	۳/۷۳۱	۳/۹۰۳

انجین با فراهم‌سازی محیطی مناسب و به صرفه از لحاظ سرعت، زمان، هزینه و غیره در پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای، نتایج مناسبی از لحاظ ضرایب کاپا و صحت کلی ارائه داد، به طوری که برای سال ۲۰۱۳، صحت کلی و ضریب کاپا نقشه کاربری اراضی به‌ترتیب

طبقه‌بندی کاربری اراضی: پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در بستر سامانه گوگل ارث انجین، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم پیکسل‌پایه ماشین بردار پشتیبان تهیه گردید (شکل ۸). سامانه گوگل ارث

۰/۹۴ و ۹۵/۶۷ و برای سال ۲۰۱۹، ۹۸/۸۰ و ۰/۹۸ به دست آمد که نشان دهنده قابلیت بالای این الگوریتم

طبقه بندی در تفکیک و جداسازی کاربری اراضی منطقه می باشد.



شکل ۷: نقشه های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

منفی رشد روز افزون شهرها باشد. در این پژوهش، بعد از تهیه نقشه های کاربری و همچنین نقشه های LST برای بازه زمانی ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ جهت بررسی تغییرات دما در کاربری های مختلف توسط نرم افزار ArcGIS و انطباق تصویر هر کاربری با LST در هر دو سال بدست آمد. به منظور استخراج دمای کاربری های مختلف در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ از نقشه LST الگوریتم تک کانال به دلیل دقت بالاتر نسبت به الگوریتم های دیگر استفاده شده است. در نهایت با استفاده از تصاویر طبقه بندی کاربری اراضی و LST اطلاعات آماری هر یک از کاربری ها استخراج گردید. شاخص های آماری میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر دما با استفاده از تابع Zonal Statistics در نرم افزار ArcGIS محاسبه شدند (جدول ۷).

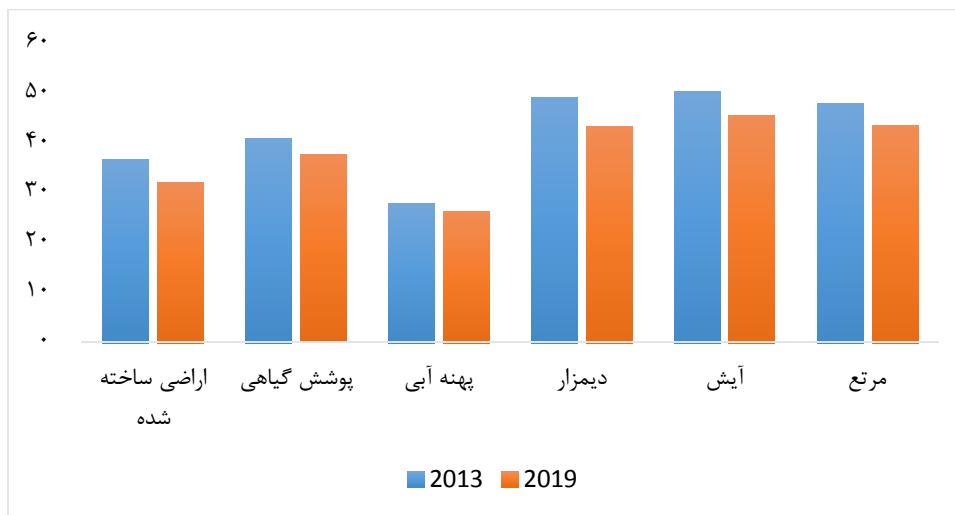
رابطه LST با کاربری اراضی: در شناخت میکروکلیمای نواحی شهری بررسی وضعیت پراکندگی تابش های حرارتی و رابطه آن با نوع کاربری های اراضی از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. از این رو دما از جمله عواملی می باشد که متاثر از شرایط محیطی می باشد. همچنین برنامه ریزی کاربری اراضی به عنوان هسته اصلی برنامه ریزی شهری با تکیه بر شناخت از محیط به دنبال راهبردی جهت حرکت مجموعه محیطی، اجتماعی و اکولوژیکی شهرها به سوی اهداف توسعه پایدار، به خصوص در کشورهای در حال توسعه است. از این رو شناخت میزان تاثیرگذاری نقش کاربری های شهری در شکل گیری جزایر شهری می تواند بستر ساز جهت دهی به استراتژی های شهری در کنترل جزایر حرارتی یا کاهش آن به عنوان اثر

جدول ۷: میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر دمای کاربری و پوشش زمین (برحسب درجه سانتی گراد) شهر زنجان در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

شاخص آماری	حداقل دما		حداکثر دما		میانگین		انحراف معیار	
	۲۰۱۳	۲۰۱۹	۲۰۱۳	۲۰۱۹	۲۰۱۳	۲۰۱۹	۲۰۱۳	۲۰۱۹
سال								
اراضی ساخته شده	۲۵/۷۷	۲۲/۴۳	۵۰/۸۲	۴۵/۵۷	۳۶/۴۶	۳۱/۷۴	۴/۲۸	۴/۲۸
پوشش گیاهی	۳۰/۸۴	۲۷/۶۹	۵۰/۵۶	۴۶/۰۶	۴۰/۶۸	۳۷/۲۹	۳/۷۳	۳/۲۲
پهنه آبی	۲۲/۹۸	۲۱/۸۹	۵۰/۲۵	۴۷/۳۳	۲۷/۴۵	۲۵/۹۶	۴/۹۷	۴/۹۶
دیمزار	۳۶/۸۲	۲۹/۶۴	۵۳/۴۰	۴۹/۰۸	۴۸/۹۰	۴۳/۰۲	۱/۸۶	۲/۱۵
آبش	۳۳/۴۸	۲۹/۵۰	۵۴/۳۳	۴۸/۹۱	۴۹/۸۶	۴۵/۱۶	۲/۰۹	۲/۱۳
مرتع	۲۹/۴۷	۲۵/۸۲	۵۵/۵۹	۵۰/۵۲	۴۷/۶۰	۴۳/۱۹	۳/۲۱	۲/۷۹

که کاربری آب دارای ظرفیت گرمایی بالایی می‌باشد و همچنین از خاصیت خنک‌کنندگی برخوردار می‌باشد. کاربری آب دارای میانگین دمای ۲۷/۴۵ و ۲۵/۹۶ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای می‌باشد. کاربری اراضی ساخته شده (مناطق شهری) نیز بعد از کاربری آب با میانگین دمای ۳۶/۴۶ و ۳۱/۷۴ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ دارای دمای کم‌تری می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده از کاربری‌ها در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ نشان داد که همه کاربری‌ها در سال ۲۰۱۳ از دمای بالاتری نسبت به سال ۲۰۱۹ برخوردار می‌باشند (شکل ۹).

نتایج بررسی تغییرات دمای کاربری‌های مختلف در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ نشان داد که اراضی آیش به‌ترتیب با میانگین دمای ۴۹/۸۶ و ۴۵/۱۶ دارای دمای بالاتری نسبت به بقیه کاربری‌ها می‌باشد (جدول ۷). این حداکثر دما در زمین‌های آیش به این دلیل می‌باشد که این اراضی کشتی صورت نگرفته و فاقد پوشش گیاهی می‌باشند و به همین دلیل از دمای بالاتری نسبت به بقیه کاربری‌ها برخوردار می‌باشد. دیمزار و مراتع در رده‌های بعدی از نظر برخورداری از حداکثر دما در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ در ماه جولای قرار دارند. کاربری آب از حداقل دما بین کاربری‌ها برخوردار می‌باشد و دلیل آن این می‌باشد



شکل ۸: مقایسه میانگین دمای کاربری‌های مختلف بر حسب درجه سانتی‌گراد در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

پلانک و معادله انتقال تابش در محیط نرم‌افزار QGIS اجرا و پیادسازی شد و نقشه‌های LST منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ استخراج گردید. با توجه به اهمیت بالای محاسبه دقیق توان گسیلمندی در تعیین LST، روش گسیلمندی با استفاده از NDVI برای هر چهار الگوریتم اجرا شد. برای صحت‌سنجی نتایج الگوریتم‌های LST، از داده‌های دمای سطح ایستگاه هواشناسی زنجان در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ استفاده گردید. در نهایت روش‌های آماری RMSE و MAPE به منظور برآورد خطای الگوریتم‌ها اجرا شد. براساس نتایج، به ترتیب الگوریتم‌های تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک،

### بحث و نتیجه‌گیری

برای مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی و شهری داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری‌های موجود الزامی می‌باشد. در واقع نتایج چنین مطالعاتی بیانگر نوع مدیریت اعمال شده در منطقه و حتی بیانگر نقاط ضعف و قوت آن در طول دوره مورد مطالعاتی است، که می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی قدرتمند در اختیار مدیران و مسئولان محلی جهت مدیریت بهینه اراضی در جهت نیل به توسعه پایدار قرار داده شود. در این پژوهش، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست سنجنده‌های OLI/TIRS؛ چهار الگوریتم LST شامل تک کانال، تک پنجره بهبود یافته، رابطه معکوس تابع

۱۳۹۷). همچنین نتایج کلی بدست آمده نشان داد که همه کاربری‌ها در سال ۲۰۱۳ از دمای بالاتری نسبت به سال ۲۰۱۹ برخوردار بودند. شناخت تغییرات دمای کاربری اراضی در یک روند و بازه‌ی زمانی، اولین گام برای بهبود برنامه‌ریزی و همچنین توسعه شهری است. نتایج نشان داد که جزایر حرارتی در مناطق بدون پوشش همچون مناطق دیمزارها و آیش‌ها مشهود هستند. بنابراین جهت کاهش اثرات این جزایر، مناطق با درجه حرارت‌های بالا شناسایی و همچنین زمین‌های بدون کاربری مانند آیش‌ها و دیمزار در اطراف مناطق شهری جهت افزایش پوشش گیاهی معرفی می‌شوند. زیرا این دو منطقه (آیش و دیمزارها) به عنوان جزایر حرارتی شناخته شده اصلی در منطقه مورد مطالعه هستند و در پایان به مدیران و برنامه‌ریزان شهری پیشنهاد می‌گردد تا در نواحی که نیازمند رسیدگی هستند به افزایش پوشش گیاهی به منظور کاهش دمای سطح زمین و اثرات جزایر حرارتی اقدام کنند. همچنین نتایج این تحقیق می‌تواند در اختیار محققان و کارشناسان مربوطه در سطح منطقه به منظور کسب اطلاعات از دمای سطح زمین، کاربری زمین و همچنین تغییرات حادث شده در سطح منطقه قرار گیرد و با اتخاذ سیاست‌های مطلوب و درست به پیش‌بینی وضع آینده نیز اقدام شود. جهت انجام تحقیقات بیشتر در زمینه نظارت بر تغییرات کاربری اراضی شهرستان زنجان پیشنهاد می‌شود که از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و تفکیک طیفی بالاتر جهت آشکارسازی تغییرات جزئی‌تر استفاده شود.

۲. احراری، امیرحسین. ۱۳۹۸. موتور مجازی پردازش تصاویر ماهواره‌ای (آموزش سامانه گوگل ارث انجین)، انتشارات کلید آموزش، تهران، چاپ اول، ص ۲۴۸.
۳. اصغری سراسکانرود، صیاد. فعال‌نذیری، مهدی و احسان قلعه. ۱۳۹۸. ارتباط کاربری‌های مختلف با دمای سطح زمین مبتنی بر تحلیل خودهمبستگی فضایی (موران) با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (OLI) مطالعه موردی: شهر اردبیل).

تک پنجره بهبود یافته و معادله انتقال تابش دارای کمترین خطا بودند. به طور کلی الگوریتم‌ها دقت قابل قبولی در مقایسه با پژوهش‌های مشابه داشته‌اند (هاشمی دره‌بادامی، ۱۳۹۴؛ ابراهیمی هروی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۶؛ تسوو و همکاران، ۲۰۱۷؛ رونگالی و همکاران، ۲۰۱۸ و جین و همکاران، ۲۰۱۹). از جمله نوآوری‌های دیگر پژوهش حاضر، استفاده از سامانه پلتفرم تحت وب گوگل ارث انجین می‌باشد، که با فراهم‌سازی محیطی مناسب و به صرفه از لحاظ سرعت، زمان، هزینه و غیره در پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای، نتایج مناسبی را در تهیه و طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی ارائه می‌دهد. به طوری که براساس نتایج این پژوهش، صحت کلی و ضریب کاپای نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ به ترتیب ۹۵/۶۷ و ۰/۹۴ و برای سال ۲۰۱۹، ۹۸/۸۰ و ۰/۹۸ به دست آمد که نشان دهنده قابلیت بالای این سامانه و الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. نتایج بررسی تغییرات دمایی کاربری‌های مختلف در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ نشان داد که اراضی آیش به ترتیب با میانگین دمای ۴۹/۸۶ و ۴۵/۱۶ و کاربری‌های دیمزار و مراتع در رده‌های بعدی از نظر برخورداری از حداکثر دما در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ قرار دارند. این حداکثر دما در اراضی آیش به این دلیل می‌باشد که در این اراضی کشتی صورت نگرفته و فاقد پوشش گیاهی می‌باشند و به همین دلیل از دمای بالاتری نسبت به بقیه کاربری‌ها برخوردار می‌باشد کاربری‌های آب، کاربری شهری و پوشش گیاهی به ترتیب دارای کمترین میانگین دما در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ می‌باشند (پیرنظر و همکاران،

## منابع

۱. ابراهیمی هروی، بهروز. رنگزن، کاظم، ریاحی بختیاری، حمید رضا و ایوب تقی‌زاده. ۱۳۹۳. تحلیل روابط بین جزایر حرارتی شهری و تغییرات کاربری/ پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در کلانشهر کرج، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم زمین.



- Temporal Analysis of Urban Heat-Island of Mashhad City due to Land Use/Cover Change and Expansion. *Geogr. Urban Plan Res.*, 3(1): 1-27.
13. Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., and Alavipanah, S.K. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment*, 113(12): 2606-2617.
  14. Bunai, T., Rokhmatuloh, A.W., Wibowo, A., and Shidiq, I.P.A. (2017). Comparison Spatial Pattern of Land Surface Temperature with Mono Window Algorithm and Split Window Algorithm: A Case Study in South Tangerang, Indonesia. *Series: Earth and Environmental Science*, 149.
  15. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202: 18-27.
  16. Hong, J.W., Hong, J., Kwon, E.E., and Yoon, D. (2019). Temporal dynamics of urban heat island correlated with the socio-economic development over the past half-century in Seoul, Korea. *Environmental Pollution*, 254: 112-934.
  17. Isaya Ndossi, M., and Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. *Remote sensing*, 8(5): 413.
  18. Jain, S., Sannigrahi, S., Sen, S., Bhatt, S., Chakraborti, S., and Rahmat, S. (2020). Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area. *Journal of Urban Management*, 9(1): 54-66.
  19. Lillesand, T., Kiefer, R.W., and Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
  20. Ramachandra, T.V., and Uttam, K. (2009). Land surface temperature with land cover dynamics: multi-resolution, spatio-temporal data analysis of Greater
۱. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال سی، شماره ۱. صص ۹۳-۱۱۰.
  ۴. پورمحمدی، محمدرضا. جمالی، فیروز و اکبر اصغری زمانی. ۱۳۸۷. ارزیابی گسترش فضایی - کالبدی شهر زنجان با تاکید بر تغییرات کاربری زمین، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۶۳، صص ۲۹-۴۶.
  ۵. پیرنظر، مجتبی. روستایی، شهرام. فیضی‌زاده، بختیار و فاطمه رئیسی نافچی. ۱۳۹۷. بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست 8- مطالعه موردی شهر تهران. مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره ۲۹، صص ۲۴۰-۲۲۷.
  ۶. خسروی، یونس. حیدری، محمدعلی. توکلی، آزاده و عباسعلی زمانی. ۱۳۹۶. تحلیل رابطه تغییرات دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر زنجان). برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیست و یک، شماره ۳، صص ۱۱۹-۱۴۴.
  ۷. شکیبا، علیرضا. ضیائیان فیروزآبادی، پرویز. عاشورلو، داود و سودابه نامداری. ۱۳۸۸. تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM. مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، شماره ۱، صص ۳۹-۵۶.
  ۸. علوی پناه، سیدکاظم. ۱۳۸۷. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. چاپ دوم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
  ۹. کریمی فیروزجائی، محمد. کیاورز، مجید. علوی‌پناه، کاظم. ۱۳۹۶. پایش و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴. نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، سال پنجم، شماره ۳ صص ۱۵۱-۱۲۳.
  ۱۰. مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵.
  ۱۱. هاشمی دره بادامی، سیروس. نورایی صفت، ایشار. کریمی، سعید و سجاد نظری. ۱۳۹۴. تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/ پوشش با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال سوم، شماره ۳، صص ۲۸-۱۵.
  12. Alavipanah, S.K., Darrehbadami, S.H., and Kazemzadeh, A. (2015). Spatial-

23. Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., and Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5: 17.
24. Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., and Zhang, Y. (2017). Urban heat island assessment using the Landsat 8 data: a case study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science*, 1(1): 10.
25. [www.earthengine.google.com/2020](http://www.earthengine.google.com/2020).
- Bangalore. *International Journal of Geoinformatics*, 5(3): 44.
21. Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K., and Khosa, R. (2018). Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(2): 14.
22. Santamouris, M., and Kolokotsa, D. (Eds.). (2016). *Urban climate mitigation techniques*. Routledge.