



تخمین دمای سطح اراضی اردبیل با استفاده از تصاویر لندست و ارزیابی دقت روش‌های برآورد دمای سطح زمین با داده‌های میدانی

مقاله پژوهشی

حسین فکرت^۱، صیاد اصغری سراسکانرود^۲، سید کاظم علوی پناه

دریافت: ۱۳ تیر ۱۳۹۹ / پذیرش: ۱۵ مهر ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۱۱ آذر ۱۳۹۹

چکیده

پیشینه و هدف در طول دو دهه اخیر نیاز شدید به اطلاعات دمای سطح زمین جهت مطالعات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی، برآورد دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است. از سویی دیگر روش‌های مختلفی جهت تخمین دمای سطح زمین ارائه شده است که هر کدام نتایج متفاوتی را برای مناطق مختلف در پی داشته است. در این پژوهش الگوریتم‌هایی که در مطالعات مختلف هر کدام نتایج قابل قبولی داشته، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در حوزه مطالعات حرارتی 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 و محدودیت اطلاعاتی در تهیه داده‌های دمایی به‌خصوص برای مناطق وسیع است.

منطقه مورد مطالعه نیز با این کمبود روبه‌رو است و این محدودیت، اهمیت موضوع انتخاب‌شده برای این پژوهش جهت تخمین دمای سطح زمین با استفاده از فناوری سنسور از دور را بیشتر نمایان می‌سازد. هدف از این تحقیق، تخمین دمای سطح شهرستان اردبیل و ارزیابی دقت چهار الگوریتم تک کاناله، تک پنجره بهبود یافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابش، مقایسه دقت دو ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ در برآورد دمای سطح زمین.

مواد و روش‌ها در این پژوهش از سه نوع داده استفاده شده است؛ تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸، داده‌های دو ایستگاه هواشناسی، و داده‌های زمینی برداشت‌شده با دماسنج دیجیتالی. تصاویر مورد استفاده از دو ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ با فاصله زمانی ۱۹ ساله انتخاب شده است. داده‌های هواشناسی مورد استفاده نیز از دو ایستگاه سینوپتیک موجود در محدوده مورد مطالعه اخذ گردید. علاوه بر دمای سطح زمین، داده‌های رطوبت نسبی، حداقل دما و حداکثر دمای ۲۴ ساعت نیز در دو تاریخ مدنظر اخذ گردید، همچنین دو نقطه از منطقه مورد مطالعه انتخاب و دمای سطح زمین در موقعیت این دو ایستگاه هم‌زمان با عبور ماهواره با استفاده از دو دماسنج دیجیتالی ثبت شد. جهت مدل‌سازی تابش و میزان انتقال اتمسفری از نرم‌افزار محاسبه‌گر تحت وب MODTRAN

حسین فکرت^۱، صیاد اصغری سراسکانرود^۲ (✉)، سید کاظم علوی پناه^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنسور از دور و GIS، دانشکده ادبیات و علوم

انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استاد گروه سنسور از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: s.asghari@uma.ac.ir

<http://doi.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.6.6>

زمین شهرستان اردبیل برای دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ در محیط نرم‌افزار متلب کدنویسی و استخراج گردید. باند ۶ ماهواره لندست ۵ برای سال ۲۰۰۰ و از باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ به دلیل مقدار نویز کمتر نسبت به باند ۱۱ و نزدیکی به مقدار ۹/۶۶ که بیشترین تابش زمین برای سال ۲۰۱۹ استفاده شد. مقایسه نقشه‌های دمای سطح حاصل از الگوریتم‌ها با ایستگاه‌های سینوپتیک و زمینی نشان داد که در هر دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ الگوریتم تک کانال دقت بیشتری نسبت به بقیه روش‌ها داشته است. مقایسه نتایج روش تک کانال، نشان از اختلاف $+۲/۵$ و -۲ با ایستگاه‌های ۱ و ۲ برای سال ۲۰۰۰ و اختلاف دمای $+۱/۳$ ، $+۰/۹$ ، -۱ و $-۰/۹$ به ترتیب با ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ برای سال ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. استفاده مستقیم از ضرایب انتقال‌پذیری اتمسفر در فرآیند روش تک کانال، در بالا بودن دقت این روش مؤثر بوده است. از نظر دقت بعد از الگوریتم تک کانال، به ترتیب روش تک پنجره بهبودیافته، الگوریتم RTE و در نهایت الگوریتم رابطه معکوس تابع پلانک قرار گرفتند. نتایج مقایسه خروجی هر چهار الگوریتم با داده‌های ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، نشان از دقت بالاتر ایستگاه‌های زمینی برداشت‌شده با دماسنج دیجیتالی نسبت به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دارد، از جمله دلایل آن می‌توان به قرارگیری ایستگاه‌های هواشناسی (به‌خصوص Station_1) در محدوده شهری با توجه به ناهمگن بودن محیط شهری و امکان تداخل پیکسلی و تداخل دمایی کاربری‌ها اشاره کرد، در حالی که ایستگاه‌های زمینی از محدوده خارج از شهر و از محیطی با پیکسل‌های همگن (بایر و کشاورزی) انتخاب گردید. همچنین نتایج هر چهار الگوریتم مستخرج از تصویر لندست ۸ در مقایسه با نتایج چهار الگوریتم حاصله از تصویر لندست ۵، دقت بیشتری را نشان می‌دهد و با توجه به بهبود توان تفکیک مکانی سنجنده TIRS نسبت به TM، دقت بیشتر خروجی‌های سنجنده TIRS قابل پیش‌بینی بود.

واژه‌های کلیدی: گسیلمندی، دماسنج دیجیتالی، دمای سطح زمین، اردبیل

استفاده شده است. توان تشعشعی با دو روش گسیلمندی بر اساس شاخص NDVI و گسیلمندی بر اساس حدآستانه گذاری NDVI و دمای سطح زمین با چهار الگوریتم تک کانال، تک پنجره بهبودیافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابشی با استفاده از باند ۶ لندست ۵ و باند ۱۰ لندست ۸ در نرم‌افزار MATLAB برای دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ کدنویسی گردید. در نهایت دقت الگوریتم‌ها با استفاده از داده‌های دمای سطح ایستگاه سینوپتیک و نمونه‌برداری میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث نتایج نشان داد که برای سه الگوریتم تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک و RTE، روش اول گسیلمندی و برای الگوریتم تک پنجره بهبودیافته روش دوم گسیلمندی از دقت بالاتری برخوردار بوده است. داده‌های دمای سطح اخذشده از ایستگاه‌های هواشناسی در سال ۲۰۰۰ از لحاظ زمانی ۱۲ دقیقه اختلاف و برای سال ۲۰۱۹ اختلاف ۴ دقیقه‌ای با زمان عبور ماهواره دارد. ایستگاه اول هواشناسی تا حدودی در محدوده شهری واقع شده است. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل بیشتر بودن اختلاف ایستگاه اول با LST برآورد شده در مقایسه با ایستگاه دوم همین عامل باشد، چراکه ناهمگونی پیکسل‌ها و تغییرات زیاد سطوح در محدوده شهری باعث تداخل ارزش پیکسل‌ها و به دنبال آن احتمال بروز خطا در برآورد دمای سطح در محدوده انسان‌ساز شهری را بالا می‌برد. برای ایستگاه زمینی نیز دو نقطه با محیطی همگن و خارج از محدوده شهری با کاربری کشاورزی (یونجه) و کاربری بایر که محصول آن برداشت‌شده بود، انتخاب و دمای سطح آن‌ها هم‌زمان با عبور ماهواره اندازه‌گیری شد. نتایج خروجی تخمین دمای سطح زمین با دو ایستگاه سینوپتیک و دو ایستگاه زمینی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در هر دو تاریخ الگوریتم تک کانال کمترین اختلاف را با ایستگاه‌های ثبت دما نشان داد. **نتیجه‌گیری** در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ چهار الگوریتم برآورد دمای سطح زمین شامل روش‌های تک کانال، تک پنجره بهبودیافته، رابطه معکوس تابع پلانک و رابطه انتقال تابش کدنویسی و نقشه‌های دمای سطح

مقدمه

نیست، ولی الگوریتم دوم که بر اساس حد آستانه گذاری شاخص NDVI بود، با نتیجه خوبی روی این سنسورها همراه بوده است. پاراستاتیدیس و همکاران (۱۵) اقدام به تخمین میزان دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره سری لندست کرده‌اند. آن‌ها با استفاده از پلتفرم متن‌باز گوگل ارث انجین محدوده عملیاتی خود را در سطح جهانی و بازه زمانی را از تصاویر اولیه ماهواره لندست در سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش تولید محصول دمای سطح زمین از کل تصاویر سری ماهواره لندست بوده که امکان دسترسی به صورت آنلاین در غالب برنامه‌های تحت وب را فراهم می‌آورد. فیضی‌زاده و همکاران (۹) با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TIRS اقدام به تخمین دمای سطح زمین در حوزه آبریز مهاباد واقع در استان آذربایجان غربی نمودند. آن‌ها با استفاده از معیارهایی مانند شاخص NDVI، ستون بخار آب و کسر پوشش گیاهی، دمای سطح زمین را با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا تخمین زدند. مقایسه نتایج به دست آمده با داده‌های ایستگاه هواشناسی نشان از اختلاف ۱/۴ درجه سانتی‌گراد دارد. بررسی نتایج تحقیق نشان داد که مناطقی از شهر که دارای پوشش گیاهی متراکم و پوشیده از آب بودند دارای پایین‌ترین دما و مناطقی که فاقد پوشش گیاهی بودند بالاترین مقدار دمایی را به خود اختصاص داده بودند. سویرینو و همکاران (۲۱) با استفاده از تصاویر فراطیفی هوایی اقدام به تهیه نقشه گسیلمندی با الگوریتم TES و کتابخانه طیفی استر کردند و نتایج کار را با داده‌های زمینی، داده‌های لیدار، داده‌های رادیوسوند و همچنین داده ایستگاه‌های هواشناسی صحت سنجی کردند. نتایج نشان داد که الگوریتم TES مورد استفاده جهت استفاده در سطوح مختلف شهری در مناطق مختلف نیاز به توسعه دارد. ندوسی و اودان (۱۴) در مطالعه خود با استفاده از پلاگین LST نرم‌افزار PythonQGIS با تصاویر حرارتی ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ اقدام به تهیه نقشه دمای سطح زمین و مقایسه الگوریتم‌ها کردند. نتایج نشان داد که در هر سه ماهواره، الگوریتم تابع پلانک از خطای کمتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار بوده است. اصغری و امامی (۲) در مطالعه‌ای اقدام به بررسی رابطه

دمای سطح زمین از کلیدی‌ترین پارامترهایی است که می‌تواند اطلاعات با ارزشی از خصوصیات فیزیکی سطح زمین و هوای اطراف آن مهیا کند (۱۱). این اطلاعات نقشی اساسی در بسیاری از فرآیندهای محیطی مثل جریان انرژی، چرخه آب، اقلیم، مطالعات شهری و بسیاری از علوم طبیعی ایفا می‌کند (۳۱)، از سویی دیگر در طول دو دهه اخیر نیاز شدید به اطلاعات دمای سطح زمین جهت فعالیت‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی، برآورد دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است (۱۰). جهت مطالعات حرارتی ماهواره‌های متعددی از جمله Terra, Landsat, NOAA, ASTER و MODIS و Sentinel 3 وجود دارند که هر کدام از ویژگی‌های خاصی برخوردار است. در این پژوهش نیز با توجه به اینکه اغلب الگوریتم‌های تخمین دمای سطح زمین برای سری ماهواره‌های لندست طراحی شده‌اند و همچنین به دلیل آرشو منظم و گسترده بیش از ۵۰ ساله‌ای که سری این ماهواره در اختیار دارد، تصاویری از لندست ۵ و ۸ انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. روش‌های مختلفی جهت تخمین دمای سطح زمین ارائه شده است که هر کدام نتایج متفاوتی را برای مناطق مختلف در پی داشته و دقت هر کدام از روش‌ها همواره مورد بحث و ارزیابی بوده است. مطالعات متعددی هم‌راستا با موضوع این پژوهش در دنیا و ایران صورت گرفته و با توجه شرایط منطقه، نوع داده و نوع الگوریتم مورد استفاده، نتایج متفاوتی در پی داشته است، از جمله می‌توان به تحقیقات ذیل اشاره کرد؛ سویرینو و رئیسونی (۲۰) اقدام به بررسی دو الگوریتم جداکننده دمای سطح زمین از گسیلمندی و روش حد آستانه گذاری با استفاده از NDVI جهت ارزیابی توان تشعشعی نمودند. الگوریتم TES را که جهت تعیین توان تشعشعی زمین و دمای سطح برای داده‌های ASTER توسعه داده شده بود، بر روی سنسورهای با یک یا دو باند حرارتی مانند AASTER، AVHRR و TM5 اعمال کردند و به این نتیجه رسیدند که این الگوریتم برای این سنسورها مناسب

ضرایب، باعث بالارفتن دقت خروجی‌ها و امکان مطالعه مناطق وسیع در کمترین زمان و همچنین محاسبه خودکار الگوریتم‌های دمای سطح زمین را فراهم می‌آورد. صحت سنجی و اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده از تخمین دمای سطح زمین از دیگر موضوعات اساسی و مورد بحث در مطالعات حرارتی محسوب می‌شود در این پژوهش برای ارزیابی دقیق‌تر روش‌ها علاوه بر دمای سطح ایستگاه‌های هواشناسی، دمای سطح هم‌زمان با عبور ماهواره با دماسنج دیجیتالی ثبت گردید.

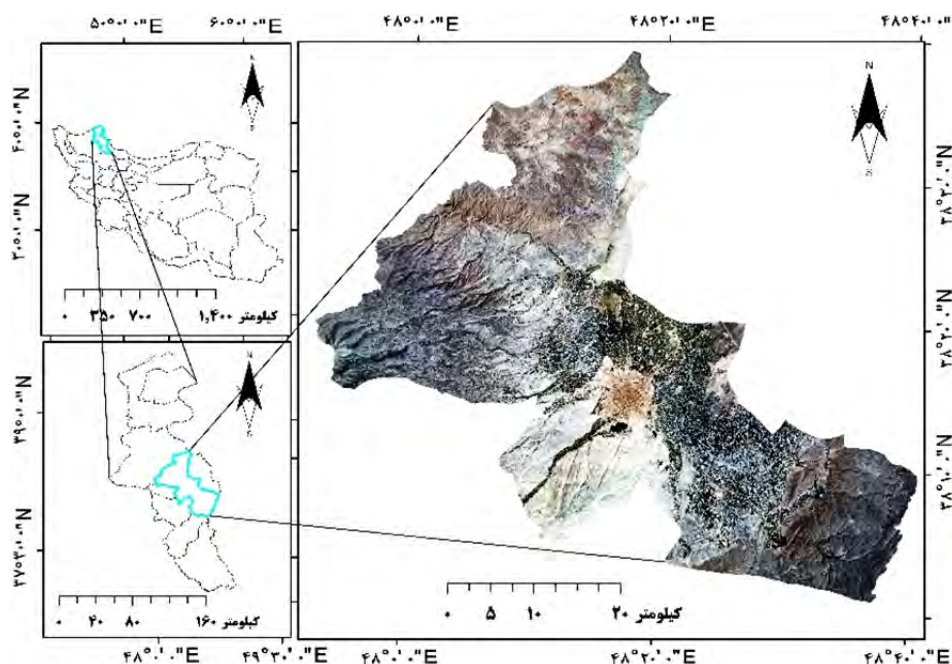
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

شهرستان اردبیل با جمعیت بالغ بر ۱۲۷۰۴۲۰ نفر و مساحت ۲۲۱۶۷ کیلومتر مربع به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهرستان و مرکز استان اردبیل در محدوده جغرافیایی $37^{\circ} 55'$ تا $38^{\circ} 36'$ عرض شمالی و $47^{\circ} 48'$ تا $48^{\circ} 39'$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان با میانگین ارتفاعی بیش از ۱۴۰۰ متر از سطح دریا براساس تقسیمات کوسن دارای چهار اقلیم مدیترانه‌ای گرم، مدیترانه‌ای معتدل، کوهستانی سرد و معتدل است. شرایط کوهستانی و پستی بلندی‌های زیاد، نقش کاهنده در مقدار متوسط درجه حرارت منطقه مورد مطالعه داشته است. از دیگر عوامل تأثیرگذار در اقلیم شهرستان اردبیل می‌توان دریای خزر را نام برد که نقشی تعدیل‌کننده درجه حرارت برای منطقه دارد. از لحاظ زمین‌شناسی نیز بیشترین مساحت شهرستان متشکل از سازند مخروط افکنه‌های پایکوهی و مهم‌ترین واحدهای توپوگرافی این شهرستان دشت و چاله اردبیل است.

کاربری اراضی با دمای سطح زمین پرداختند. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸ ابتدا دمای سطح زمین را با الگوریتم تک کانال استخراج و سپس نقشه کاربری اراضی شهر اردبیل را برای دو سال ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰ با استفاده از الگوریتم شی‌اگرا استخراج و سپس نقشه تغییرات کاربری اراضی را در یک بازه زمانی ۱۸ ساله تهیه کردند. نتایج پژوهش نشان داد که رابطه قوی بین کاربری اراضی و دما وجود دارد. مناطق شهری به دلیل جاذب بودن دارای دمای بیشتر و مناطقی که دارای پوشش گیاهی و آب بوده‌اند کمترین دما را به خود اختصاص دادند. ندوسی و اودان (۱۴) در پژوهشی دیگر سه تا الگوریتم برآورد دمای سطح زمین را باهم مقایسه کرده‌اند. دمای سطح زمین با الگوریتم‌های پلانک، پنجره مجزا و تک کانال در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ با استفاده از پلاگین متن‌باز PyQGIS کد نویسی و استخراج گردید. در انتها نتایج سه روش با داده‌های دمای سطح زمین سایت مذکور مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته که نتیجه کار نشان از عملکرد بهتر الگوریتم پلانک با مقدار RMSE ۲/۲۹ نسبت به دو الگوریتم دیگر داشته است.

در حوزه مطالعات حرارتی 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 و محدودیت اطلاعاتی در تهیه داده‌های دمایی به‌خصوص برای مناطق وسیع است. منطقه مورد مطالعه نیز با این کمبود روبه‌رو است و این محدودیت، اهمیت موضوع انتخاب‌شده برای این پژوهش جهت تخمین دمای سطح زمین با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور را بیشتر نمایان می‌سازد. همچنین استفاده از زبان برنامه‌نویسی و نرم‌افزارهای متن‌باز علاوه بر امکان توسعه الگوریتم‌ها و محلی کردن



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه به صورت ترکیب رنگ واقعی (باندهای ۴، ۳ و ۲) ماهواره لندست ۸

Fig. 1. Location of the study area as a true color composite (bands 4, 3 and 2) of Landsat8 satellite

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از سه نوع داده شامل تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ایستگاه هواشناسی و داده‌های نمونه‌برداری میدانی دمای سطح زمین استفاده شده است. تصاویر مورد استفاده از دو ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ با فاصله زمانی ۱۹ ساله

انتخاب شده است (جدول ۱). در انتخاب تصویر تا حد امکان سعی شد که هر دو تصویر از یک ماه (مرداد)، بدون ابر و تا چند روز قبل تصویر مدنظر بارندگی رخ نداده باشد تا فرآیند تخمین دمای سطح به درستی و با حداقل خطا صورت پذیرد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

Table 1. Specifications of satellite images used

ماهواره	زمان اخذ تصویر (محلی)	زمان اخذ تصویر (جهانی)	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	ردیف	گذر
لندست ۵	۱۱:۳۳:۰۲	۰۷:۰۳:۰۲	۷۹/۰۵/۱۰	۲۰۰۰/۰۷/۳۱	۳۳	۱۶۷
لندست ۸	۱۱:۵۶:۰۰	۰۷:۲۶:۰۰	۹۸/۰۵/۳۰	۲۰۱۹/۰۸/۲۱	۳۳	۱۶۷

داده‌های هواشناسی مورد استفاده نیز از دو ایستگاه سینوپتیک موجود در محدوده مورد مطالعه اخذ گردید. دمای سطح زمین در این دو ایستگاه روزانه و هر ۸ ساعت یکبار در عمق ۲ الی ۵ سانتی متری سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به زمان عبور ماهواره از منطقه، نزدیک‌ترین زمان داده ثبت شده ساعت ۱۲ بوده که مورد استفاده قرار گرفته است.

علاوه بر دمای سطح زمین، داده‌های رطوبت نسبی، حداقل دما و حداکثر دمای ۲۴ ساعت نیز در دو تاریخ مدنظر اخذ گردید، همچنین دو نقطه از منطقه مورد مطالعه انتخاب و دمای سطح زمین در موقعیت این دو ایستگاه هم‌زمان با عبور ماهواره با استفاده از دو دماسنج دیجیتالی ثبت شد. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول ۲ و ایستگاه‌های زمینی در

صورت وجود خطا، برطرف شود. به جهت خاصیت تغییرپذیری دما و لزوم هم‌زمانی دمای برداشت‌شده با زمان عبور ماهواره و محدودیت در تعداد دماسنج، دمای سطح دو نقطه از منطقه اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

جدول ۳ ارائه‌شده است. دماسنج به‌کاربرده شده دارای دو حس‌گر داخلی و خارجی و قابلیت ثبت حداقل دما و حداکثر دما با دقت ۰/۱ درجه سلسیوس را دارد و قبل از اندازه‌گیری میدانی، در آزمایشگاه با استفاده از یخ کالیبره گردید تا در

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

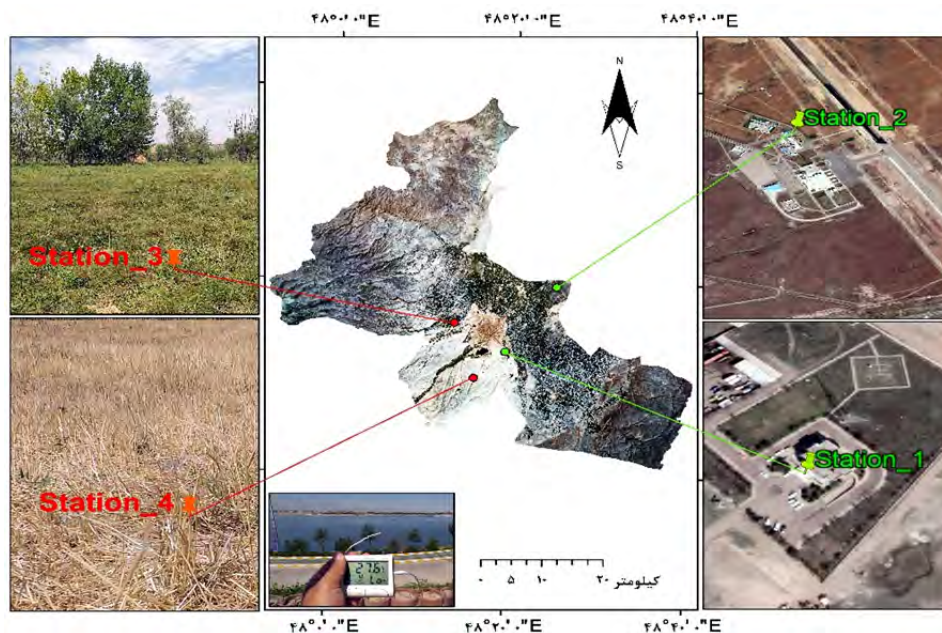
Table 2. Meteorological station specifications

ایستگاه سینوپتیک	زمان ثبت دمای سطح	کد ایکنو	ارتفاع (متر)	متوسط فشار	عرض جغرافیایی (Y)	طول جغرافیایی (X)
اردبیل (Station-1)	۱۲:۰۰	ARAD	۱۳۳۵/۲	۸۶۲/۷	۳۸.۱۳.۰۵	۴۸.۱۹.۴۳
فرودگاه (Station-2)	۱۲:۰۰	OITL	۱۳۱۷/۳	۸۶۴/۹۶	۳۸.۱۹.۵۰	۴۸.۲۴.۵۷

جدول ۳. موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های زمینی

Table 3. Location and specifications of ground stations

ایستگاه زمینی	زمان ثبت دمای سطح	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (Y)	طول جغرافیایی (X)
Station-3	۱۱:۵۶	۱۳۴۳	۳۸.۱۶.۸۵	۴۸.۱۴.۰۶
Station-4	۱۱:۵۶	۱۳۸۴	۳۸.۱۰.۳۷	۴۸.۱۵.۹۲



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (ایستگاه‌های ۱ و ۲) و زمینی (ایستگاه‌های ۳ و ۴)

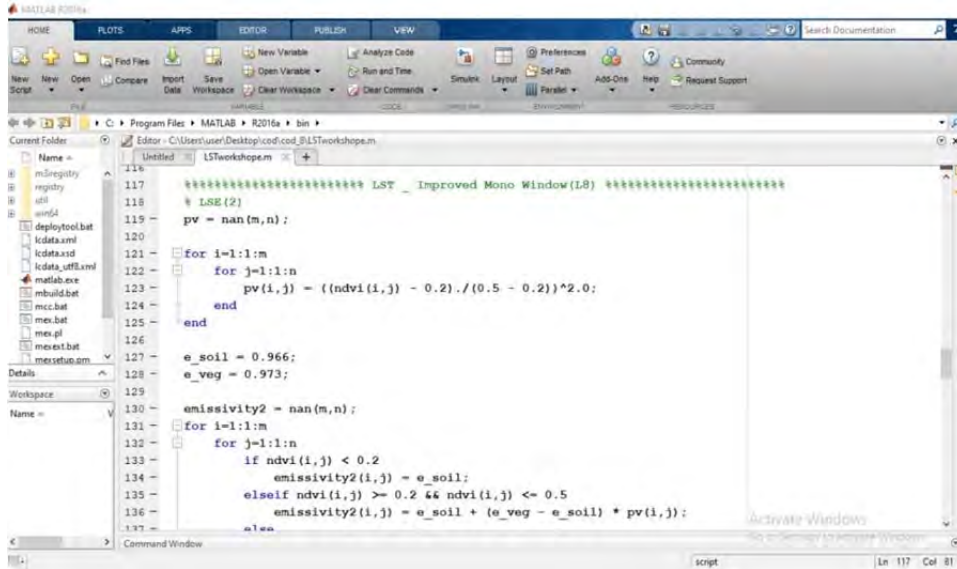
Fig. 2. Location of meteorological (stations 1 and 2) and ground station (stations 3 and 4)

۵ و باند ۱۰ لندست ۸ در نرم‌افزار MATLAB 2016 برای دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ کدنویسی گردید (شکل ۳). برای محاسبه LST، استفاده از تک باند (باند ۱۰) دقت بیشتری در مقایسه با

در این پژوهش کلیه مراحل استخراج دمای سطح زمین با چهار الگوریتم تک کانال، تک پنجره بهبودیافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابشی با استفاده از باند ۶ لندست

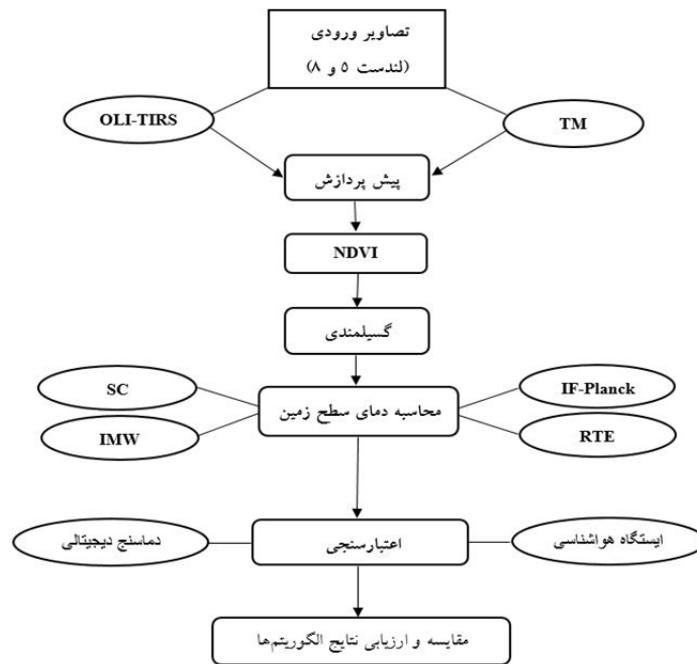
استفاده هم‌زمان از دو باند ۱۰ و ۱۱ فراهم می‌کند، چراکه اطمینان کمتری برای کالیبراسیون کامل هر دو باند وجود دارد (۲۵ و ۲۸). توان تشعشعی با دو روش گسیلمندی براساس شاخص NDVI و گسیلمندی بر اساس حدآستانه گذاری

NDVI محاسبه گردید. در نهایت دقت الگوریتم‌ها با استفاده از داده‌های دمای سطح ایستگاه سینوپتیک و نمونه‌برداری میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. روند کلی مراحل انجام پژوهش در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۳. محیط کاری نرم‌افزار متلب و کدهای نوشته شده جهت تخمین دمای سطح زمین

Fig. 3. Work space of MATLAB 2016 software and written codes to estimate the land surface temperature



شکل ۴. نمودار روند پژوهش

Fig. 4. Flow chart of research methodology

پیش پردازش

گسیلمندی به روش حد آستانه گذاری NDVI استفاده شده است. با توجه به اینکه موانع اتمسفری مانند جذب و پخش ممکن است تأثیراتی را در مقادیر گسیلمندی حاصل از شاخص NDVI ایجاد کنند (۲۳)، از همین رو ابتدا تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی در به حداقل رساندن تأثیرات اتمسفری روی داده‌ها انجام گرفت و سپس شاخص NDVI بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad [1]$$

در این رابطه؛ NIR برابر با باند مادون قرمز نزدیک و RED برابر با باند قرمز است. پس از محاسبه شاخص NDVI بر اساس مقادیر به دست آمده، توان تشعشی طبق جدول ۴ تعیین می‌شود (۳۰).

جهت پیش پردازش تصاویر اپتیکال دو ماهواره مورد استفاده در این پژوهش از روش تصحیح اتمسفر QUAC که به صورت مستقیم از اطلاعات موجود در طیف پیکسل‌های مشاهده شده استفاده می‌کند (۵) در محیط نرم افزار ENVI®5.3 استفاده شده است. در فرایند تبدیل ارزش‌های رقومی پیکسل‌ها به رادیانس باندهای حرارتی و همچنین تبدیل رادیانس به دمای روشنائی، تصحیح رادیومتریکی روی باند حرارتی صورت می‌گیرد (۲۴).

تعیین توان گسیلمندی سطح زمین

با استفاده از شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده NDVI، امکان محاسبه توان تشعشی مواد مختلف خاکی در محدوده ۱۰-۱۲ فراهم می‌شود (۲۷). در این پژوهش نیز از دو روش محاسبه گسیلمندی بر اساس شاخص NDVI و تعیین

جدول ۴. مقادیر گسیلمندی بر اساس ارزش NDVI

Table 4. Emissivity values based on the NDVI

NDVI	LSE
NDVI < - ۰/۱۸۵	۰/۹۵۵
-۰/۱۸۵ ≤ NDVI < ۰/۱۵۷	۰/۹۸۵
۰/۱۵۷ ≤ NDVI ≤ ۰/۷۲۷	۱/۰۰۹ + ۰/۰۴۷ × ln(NDVI)
NDVI > ۰/۷۲۷	۰/۹۹۰

پیکسل‌های حاوی پوشش گیاهی استفاده می‌شود (۲۲) که با استفاده از رابطه ۲ تعیین شد.

$$\varepsilon_{\lambda} = \begin{cases} \varepsilon_{s\lambda} & NDVI < NDVI_s \\ \varepsilon_{s\lambda} + (\varepsilon_{v\lambda} - \varepsilon_{s\lambda})P_v & NDVI_s \leq NDVI \leq NDVI_v \\ \varepsilon_{v\lambda} & NDVI > NDVI_v \end{cases} \quad [2]$$

در این رابطه؛ ε_{λ} برابر با گسیلمندی باند مورد نظر، $\varepsilon_{s\lambda}$ گسیلمندی خاک، $\varepsilon_{v\lambda}$ گسیلمندی پوشش گیاهی، P_v نسبت گیاهی، $NDVI_s$ و $NDVI_v$ به ترتیب مقدار NDVI پیکسل‌های خاک لخت و پیکسل‌های کاملاً پوشیده از گیاه و $NDVI_s \leq$

روش دوم مورد استفاده در این پژوهش جهت تخمین گسیلمندی، برآورد توان تشعشی بر اساس آستانه گذاری شاخص NDVI است. با توجه به اینکه محدوده طیفی سنسورهای حرارتی TM و TIRS با محدوده طیفی روش حد آستانه گذاری NDVI مطابقت دارد، این روش نیز جهت تخمین میزان گسیلمندی مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر گسیلمندی برای دو پوشش خاک و گیاه برای لندست ۵ در جدول ۵ (۱۵) و برای لندست ۸ (باند ۱۰) در جدول ۶ (۲۷) نمایش داده شده است. این روش که در آن مقادیر معینی از NDVI بکار برده می‌شود، جهت تمییز پیکسل‌های خاک از

NDVI ≤ NDVIv از پیکسل‌های خاک و گیاه است (۲۰).

جدول ۵. مقدار گسیلمندی خاک و گیاه برای ماهواره لندست ۵ (باند ۶)

Table 5. The emissivity values of soil and vegetation for Landsat 5 (band 6)

ES	EV	باند
۰/۹۸۴	۰/۹۹۰	TM (باند ۶)

جدول ۶. مقدار گسیلمندی خاک و گیاه برای ماهواره لندست ۸ (باند ۱۰)

Table 6. The emissivity values of soil and vegetation for Landsat 8 (band 10)

ES	EV	باند
۰/۹۶۶	۰/۹۷۳	TIRS1 (باند ۱۰)

الگوریتم استفاده شده است که به شرح زیر است.

الگوریتم تک کانال

روش تک کانال برای سنجنده‌هایی که دارای یک باند حرارتی هستند مناسب است و با استفاده از رابطه ۴ حاصل می‌شود (۱۰).

$$LST = \gamma[\varepsilon^{-1}(\psi_1 L_{\text{sensor}} + \psi_2) + \psi_3] + \delta \quad [4]$$

در این رابطه؛ ε و L_{sensor} به ترتیب نشان‌دهنده گسیلمندی و رادیانس حرارتی است. γ نشانگر گاما که با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد، δ برابر با دلتا که از رابطه ۶ حاصل شده و ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 پارامترهای تصحیح اتمسفری هستند و با اعمال آن‌ها اثر اتمسفر روی خروجی‌ها از بین رفته یا تا حد زیادی تعدیل می‌شود (۷) و به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۷، ۸ و ۹ محاسبه شد (۱۰).

$$\gamma = \left\{ \frac{C_2 L_{\text{sensor}, \lambda}}{T_{\text{sensor}}^2} \left[\frac{\lambda^4}{C_1} L_{\text{sensor}, \lambda} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad [5]$$

$$C1 = 1.19104 \times 10^8 (W \cdot \mu m \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1})$$

$$C2 = 1.43877 \times 10^4 (\mu m^4 \cdot K)$$

$$\delta = -\gamma L_{\text{sensor}, \lambda} + T_{\text{sensor}} \quad [6]$$

$$\psi_{1(\omega, T_a)} \equiv \frac{1}{\tau_{(\omega, T_a)}} \quad [7]$$

$$\psi_{2(\omega, T_a)} \equiv -L_{\text{atm}(\omega, T_a)}^{\downarrow} - \frac{L_{\text{atm}(\omega, T_a)}^{\uparrow}}{\tau_{(\omega, T_a)}} \quad [8]$$

جهت محاسبه Pv ابتدا شاخص NDVI با استفاده از باندهای ۳ (Red) و ۴ (NIR) در سنجنده TM و باندهای ۴ (Red) و ۵ (NIR) در سنجنده OLI، محاسبه و سپس مقدار Pv با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد (۶).

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad [3]$$

در این رابطه؛ در مقیاس جهانی برای NDVIv مقدار ۰/۵ و برای NDVI_s مقدار ۰/۲ پیشنهاد شده است (۲۲).

محاسبه میزان انتقال اتمسفری

جهت مدل‌سازی تابش و میزان انتقال اتمسفری، ضریب انتقال‌پذیری اتمسفر، تابش‌های رو به بالا و تابش‌های رو به پایین نیاز است (۱۶) که در این پژوهش از نرم‌افزار محاسبه‌گر تحت وب MODTRAN نسخه ۶ استفاده شده است. این پلتفرم که محدوده وسیعی از امواج الکترومغناطیس را شامل می‌شود (امواج ماورای بنفش تا مادون قرمز دور)، برای روش‌های تک باندهای مثل تک کانال و تک پنجره نتایج بهتر و دقیق‌تری به همراه دارد (۴).

الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین

جهت تخمین دمای سطح زمین در این پژوهش از چهار

$$\Psi_{3(\omega, T_a)} \equiv -L_{atm}^{\downarrow}(\omega, T_a) \quad [9]$$

در این رابطه‌ها؛ C_1 و C_2 ضرایب ثابت تابشی پلانک، در رابطه ۶، $L_{sensor\lambda}$ و T_{sensor} به ترتیب برابر رادیانس سنجنده حرارتی (باند ۱۰ سنجنده TIRS و باند ۶ سنجنده TM و دمای درخشندگی سنجنده و در نهایت L_{atm}^{\uparrow} ، L_{atm}^{\downarrow} و τ در رابطه‌های ۷، ۸ و ۹ به ترتیب تابش‌های رو به بالای اتمسفر، تابش‌های رو به پایین اتمسفر و ضخامت اتمسفر (میزان انتقال‌پذیری اتمسفر) را نشان می‌دهد (۱۳).

الگوریتم تک پنجره بهبودیافته

روش تک پنجره در ابتدا توسط ژیا هو و همکاران برای تصاویر حرارتی سنجنده TM ارائه شد. سپس نسخه بهبودیافته این روش توسط وانگ و همکاران (۲۷) پیشنهاد شد. این الگوریتم با استفاده از رابطه ۱۰ تعیین شد.

$$T_s = \frac{[a_{10,6}(1-C_{10,6}-D_{10,6})+(b_{10,6}(1-C_{10,6}-D_{10,6})+C_{10,6}+D_{10,6})T_{10,6}-D_{10,6}T_a]}{C_{10,6}} \quad [10]$$

در این رابطه؛ $T_{10,6}$ دمای درخشندگی باند ۱۰ TIRS و باند ۶ TM، $a_{10,6}$ و $b_{10,6}$ ضرایب تقریبی برگرفته شده از تابع پلانک برای باندهای حرارتی لندست ۵ و ۸ که مقدار آن‌ها برای دماهای مختلف در جدول ۷ آورده شده است، T_a میانگین مؤثر دمای جوی که برای مناطق مختلف در جدول ۸ پیشنهاد شده است و $C_{10,6}$ و $D_{10,6}$ پارامترهای داخلی الگوریتم هستند که با استفاده از رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ تعیین گردید.

$$C_{10,6} = \tau_{10,6} \epsilon_{10,6} \quad [11]$$

$$D_{10,6} = (1 - \tau_{10,6})[1 + (1 - \epsilon_{10,6})\tau_{10,6}] \quad [12]$$

در این رابطه؛ τ و ϵ در رابطه‌های بالا به ترتیب ضخامت اتمسفر و توان تشعشعی دو باند حرارتی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۷. ضرایب تقریبی a و b برای لندست ۵ (باند ۶) و لندست ۸ (باند ۱۰)

Table 7. Approximate coefficients a and b for Landsat 5 (band 6) and Landsat 8 (band 10)

رنج دمایی	$a_{10} - a_6$	$b_{10} - b_6$	R_2
۲۰°C - ۷۰°C	-۷۰/۱۷۷۵	۰/۴۵۸۱	۰/۹۹۹۷
۰°C - ۵۰°C	-۶۲/۷۱۸۱	۰/۴۳۳۹	۰/۹۹۹۶
-۲۰°C - ۳۰°C	-۵۵/۴۲۷۶	۰/۴۰۸۶	۰/۹۹۹۶

باتوجه به وضعیت دمایی محدوده مورد مطالعه از لحاظ حداقل و حداکثر دمایی، از مقادیر کلاس ۰ و ۵۰ - درجه سانتی‌گراد برای این مطالعه استفاده شد.

جدول ۸. میانگین مؤثر دمای جوی (T_a) برای مناطق مختلف

Table 8. The effective average temperature (T_a) for different regions

Atmospheres	ضرایب
Tropical model	$T_a = 17/9769 + 0/9172 T_0$
Mid-latitude summer	$T_a = 16/0110 + 0/9262 T_0$
Mid-latitude winter	$T_a = 19/2704 + 0/9112 T_0$

به شمار می‌رود که با استفاده از رابطه ۱۴ به دست آمد (۱۹).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda(T_s)} + 1\right)} \quad [14]$$

در این رابطه؛ K_1 و K_2 ضرایب باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۵ است که از متادیتای تصاویر استخراج گردیده است. مقادیر این ضرایب در جدول ۹ نمایش داده شده است، همچنین $L_{\lambda(T_s)}$ نشان‌دهنده رادیانس سطح در دو باند حرارتی ۱۰ و ۶ است و به وسیله آن، رادیانس به رادیانس سطح تبدیل می‌شود (۳) که از رابطه ۱۵ به دست آمد.

$$L_\lambda(T_s) = \frac{L_{\lambda} - L_{\lambda up}}{\tau \varepsilon_\lambda} - \frac{1 - \varepsilon_\lambda}{\varepsilon_\lambda} L_{\lambda down} \quad [15]$$

در این رابطه؛ $L_{\lambda up}$ و $L_{\lambda down}$ در رابطه ۱۵ به ترتیب تابش‌های رو به بالای اتمسفر و تابش‌های رو به پایین اتمسفر، τ ضخامت اتمسفر و ε توان تشعشعی باندهای حرارتی ۱۰ و ۶ است.

با توجه به قرار گیری منطقه مورد مطالعه در عرض‌های میانی و فصل تصاویر مورد استفاده (تابستان)، مقادیر Mid-summer latitude مورد استفاده قرار گرفت.

الگوریتم رابطه معکوس تابع پلانک

دمای سطح زمین در این روش (بر مبنای میزان تابش الکترومغناطیسی جسم سیاه) با استفاده از رابطه ۱۳ حاصل می‌شود (۱۲).

$$T_s = \frac{BT}{\left\{1 + \left[\frac{\lambda \cdot BT}{\rho}\right] \cdot \ln \varepsilon\right\}} \quad [13]$$

$$\rho(h * c / \sigma) = 1.438 \cdot 10^{-2}$$

در این رابطه؛ BT ، λ و ε به ترتیب برابر با دمای درخشندگی باندهای حرارتی ۶ و ۱۰، طول موج و گسیلمندی و ρ برابر با مقدار ثابت 1.438×10^{-2} است.

الگوریتم معادله انتقال تابشی

معادله انتقال تابشی از جمله الگوریتم‌های ساده و پرکاربرد

جدول ۹. ضرایب K_1 و K_2 برای باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۵

Table 9. The coefficients K_1 and K_2 for band 10 Landsat 8 and band 6 Landsat 5

مقدار ضرایب ثابت K_1 و K_2	K	باند	سنجنده
۷۷۴/۵۳۸۸	K_1	۱۰	TIRS (لندست ۸)
۱۳۲۱/۰۷۸۹			
۶۰۷/۷۶	K_1	۶	TM (لندست ۵)
۱۲۶۰/۵۶			

در این رابطه؛ E_{abs} خطای مطلق (قدر مطلق تفاضل مقدار واقعی از مقدار به دست آمده) و X نشان‌دهنده مقدار واقعی است.

نتایج

با توجه به اهمیت محاسبه دقیق گسیلمندی در افزایش دقت برآورد دمای سطح زمین، توان تشعشعی سطح زمین به

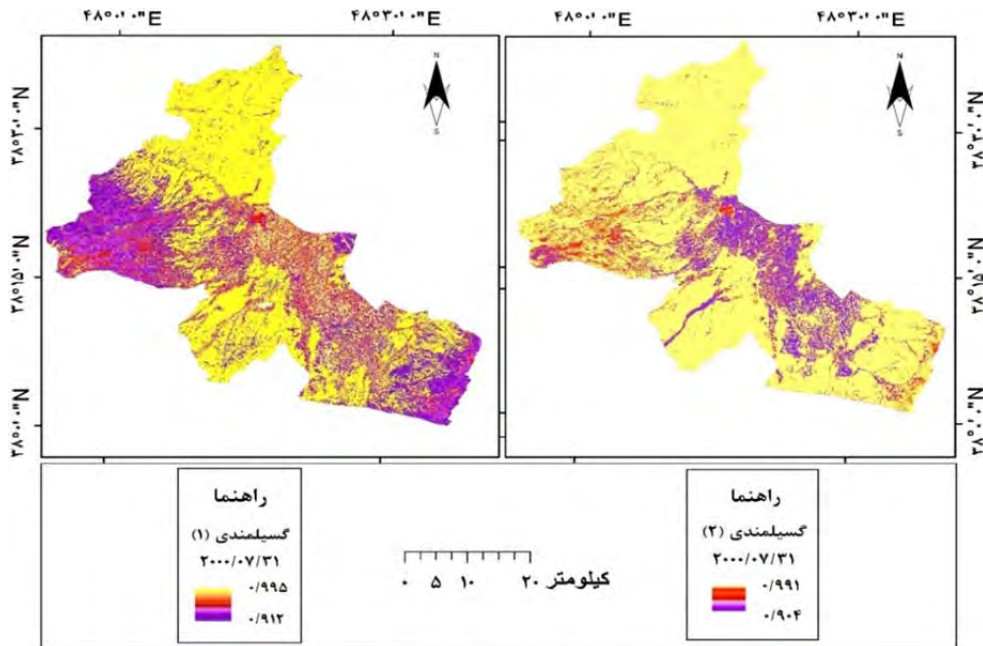
درصد خطای نسبی

این پارامتر آماری که اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (مقدار واقعی) و مقدار به دست آمده ناشی از محاسبه را مشخص می‌کند (۲۹) با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه شد.

$$E_{rel} = \frac{E_{abs}}{|X|} \quad [16]$$

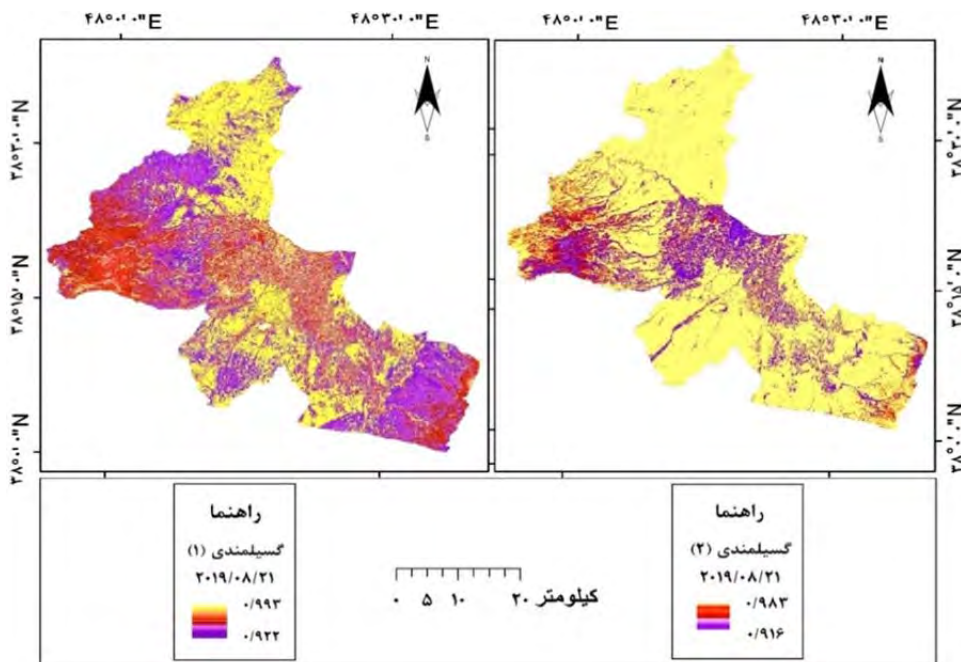
اول گسیلمندی و برای الگوریتم تک پنجره بهبودیافته روش دوم گسیلمندی از دقت بالاتری برخوردار بود و به همین دلیل مورد استفاده قرار گرفت.

دو صورت گسیلمندی براساس شاخص NDVI و گسیلمندی بر مبنای حد آستانه گذاری NDVI محاسبه گردیده است که نتایج در شکل های ۵ و ۶ نمایش داده شده است. برای سه الگوریتم تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک و RTE، روش



شکل ۵. نقشه های گسیلمندی باند ۶ ماهواره لندست ۵ در تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Fig. 5. Emissivity maps derived from band 6 Landsat 5 in 2000/07/31

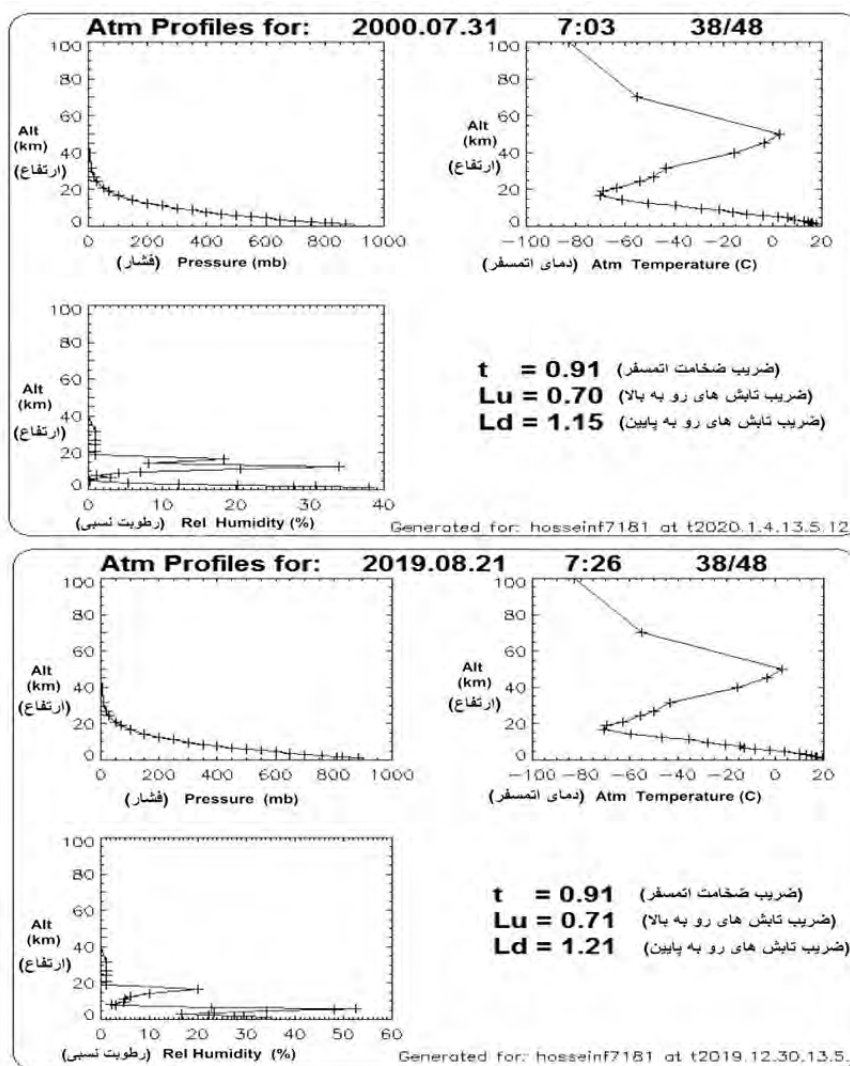


شکل ۶. نقشه های گسیلمندی باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Fig. 6. Emissivity maps derived from band 10 Landsat 8 in 2019/08/21

نسبی، دمای متوسط و مقدار فشار منطقه مورد مطالعه در زمان گذر ماهواره و با استفاده از سایر پارامترها مانند ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی منطقه، مقادیر در سامانه MODTRAN جایگذاری و در نهایت میزان انتقال پذیری اتمسفر، رادیانس رو به بالا و رادیانس رو به پایین برای دو تاریخ محاسبه گردید.

شکل ۷ پروفیل استاندارد اتمسفر از سطح زمین تا ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱ ساعت ۱۱:۳۳ و ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ ساعت ۱۱:۵۶ به وقت محلی مطابق با زمان عبور ماهواره را نشان می دهد. میزان تغییرات ارتفاع نسبت به دمای اتمسفر، فشار و رطوبت نسبی به صورت نمودار نشان داده شده است. پس از به دست آوردن پارامترهای اقلیمی نظیر رطوبت



شکل ۷. پروفیل استاندارد اتمسفری برای دو تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ و ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Fig. 7. Standard atmospheric profile in 2000/07/31 and 2019/08/21

ایستگاه هواشناسی موجود در محدوده مورد مطالعه اخذ گردید. شکل ۸ نقشه های خروجی دمای سطح زمین با چهار الگوریتم تک کانال، تک پنجره بهبود یافته، رابطه معکوس تابع پلانک و

جدول ۱۰ پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در الگوریتم های تعیین دمای سطح زمین را نشان می دهد که پس از تعیین زمان دقیق عبور ماهواره در دو تاریخ مدنظر از دو

چراکه ناهمگونی پیکسل‌ها و تغییرات زیاد سطوح در محدوده شهری باعث تداخل ارزش پیکسل‌ها و به دنبال آن احتمال بروز خطا در برآورد دمای سطح در محدوده انسان‌ساز شهری را بالا می‌برد. خروجی الگوریتم‌ها و مقایسه آن‌ها با داده‌های دمای سطح هر دو ایستگاه هواشناسی نشان از دقت بالاتر روش تک کانال نسبت به بقیه روش‌ها دارد. جهت مقایسه دقت الگوریتم‌های تخمین دمای سطح زمین و دمای سطح ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی، از درصد خطای نسبی استفاده شده که نتایج در جدول ۱۲ نمایش داده شده است. الگوریتم تک کانال نسبت به سایر روش‌ها کمترین مقدار درصد خطای نسبی را به همراه داشته است.

معادله انتقال تابشی با استفاده از تصویر حرارتی (باند ۶) سنجنده TM ماهواره لندست ۵ برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱ را نشان می‌دهد. جدول ۱۱ دمای سطح زمین به دست آمده توسط الگوریتم‌ها در محل دو ایستگاه هواشناسی و همچنین دمای سطح اندازه‌گیری شده توسط خود ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی از لحاظ زمانی ۱۲ دقیقه اختلاف با زمان عبور ماهواره دارد که ناگزیر مورد استفاده قرار گرفت. ایستگاه اول هواشناسی تا حدودی در محدوده شهری واقع شده است و با توجه به نتایج به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل بیشتر بودن اختلاف داده ایستگاه اول با LST برآورد شده در مقایسه با ایستگاه دوم همین عامل باشد،

جدول ۱۰. داده‌های اخذ شده از ایستگاه هواشناسی شهرستان اردبیل در دو تاریخ (ساعت ۱۲:۰۰ به وقت محلی)

Table 10. Data received from Ardabil meteorological station on two dates (12:00 local time)

تاریخ	ایستگاه	درصد رطوبت نسبی	حداقل دما	حداکثر دما	دمای متوسط	فشار
۲۰۰۰/۰۷/۳۱	اردبیل (S1)	۳۸	۳۱/۳	۱۷/۶	۸۷/۰/۲	
(۷۹/۰۵/۱۰)	فرودگاه (S2)	۴۰	۲۹/۶	۱۶/۱	۸۷۳	
۲۰۱۹/۰۸/۲۱	اردبیل (S1)	۳۴/۳	۲۸/۶	۱۹/۲	۸۶۸/۶	
(۹۸/۰۵/۳۰)	فرودگاه (S2)	۳۶/۱	۲۷/۸	۱۸/۷	۸۶۹/۸	

جدول ۱۱. مقایسه دمای تخمینی با دمای سطح ایستگاه هواشناسی در تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

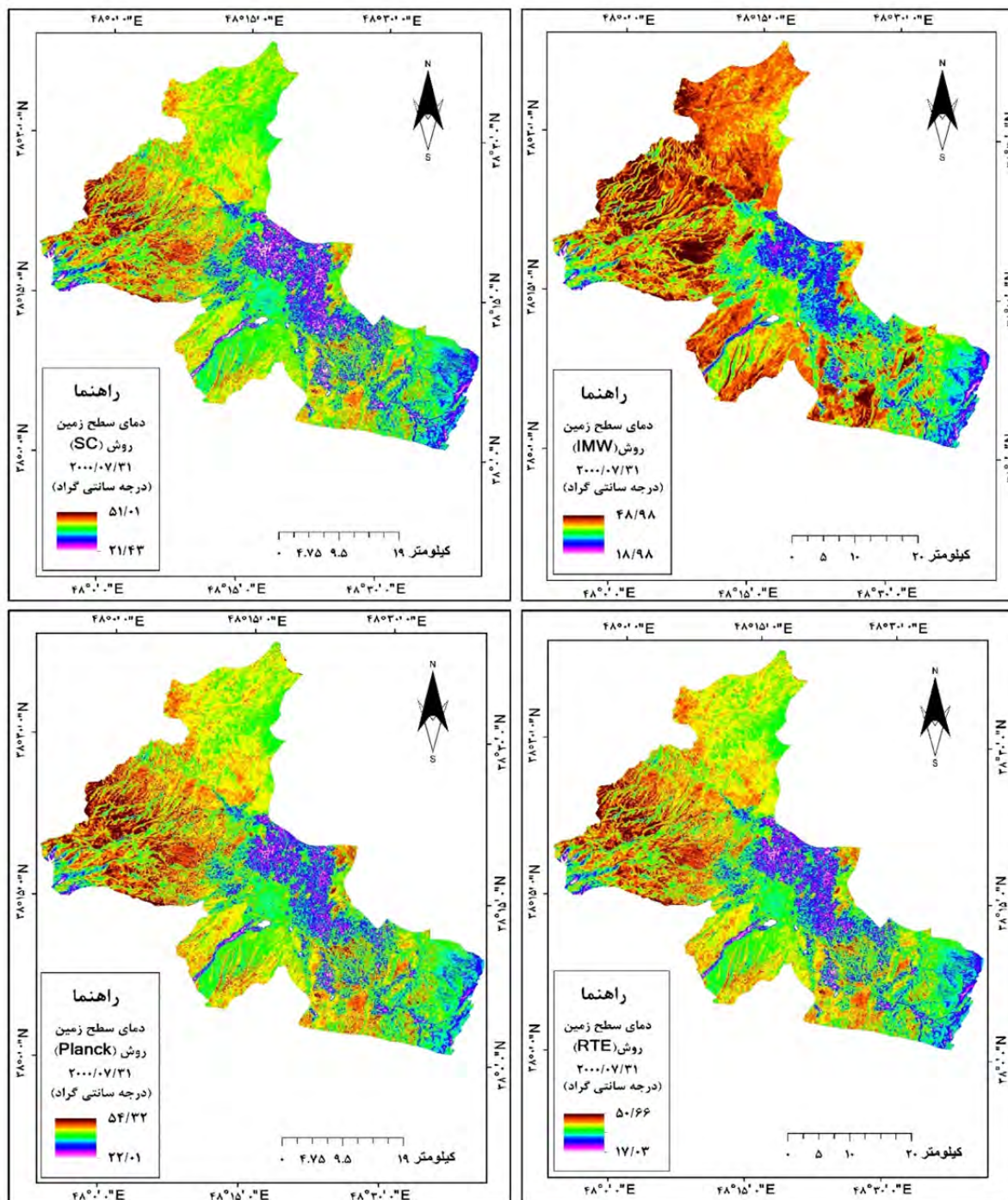
Table 11. Comparison of the estimated LST with LST of the meteorological station in 2000/07/31

ایستگاه	دمای سطح ثبت شده در ایستگاه هواشناسی	تک کانال SC	تک پنجره IMW	پلانک I F Planck	RTE
Station-1	۴۴/۳	۴۶/۸	۴۷/۲	۴۷/۹	۴۱/۲
Station-2	۴۲/۹	۴۰/۹	۴۵/۵	۴۶/۲	۴۰/۰

جدول ۱۲. درصد خطای نسبی بین دمای تخمینی با دمای سطح ایستگاه‌های هواشناسی در تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Table 12. Percentage of RE between the estimated LST and the LST of meteorological stations on 2000/07/31

ایستگاه	تک کانال SC	تک پنجره IMW	پلانک I F Planck	RTE
Station-1	۵/۶۴	۶/۵۴	۸/۱۲	۶/۹۹
Station-2	۴/۶۶	۶/۰۶	۷/۶۹	۶/۷۵

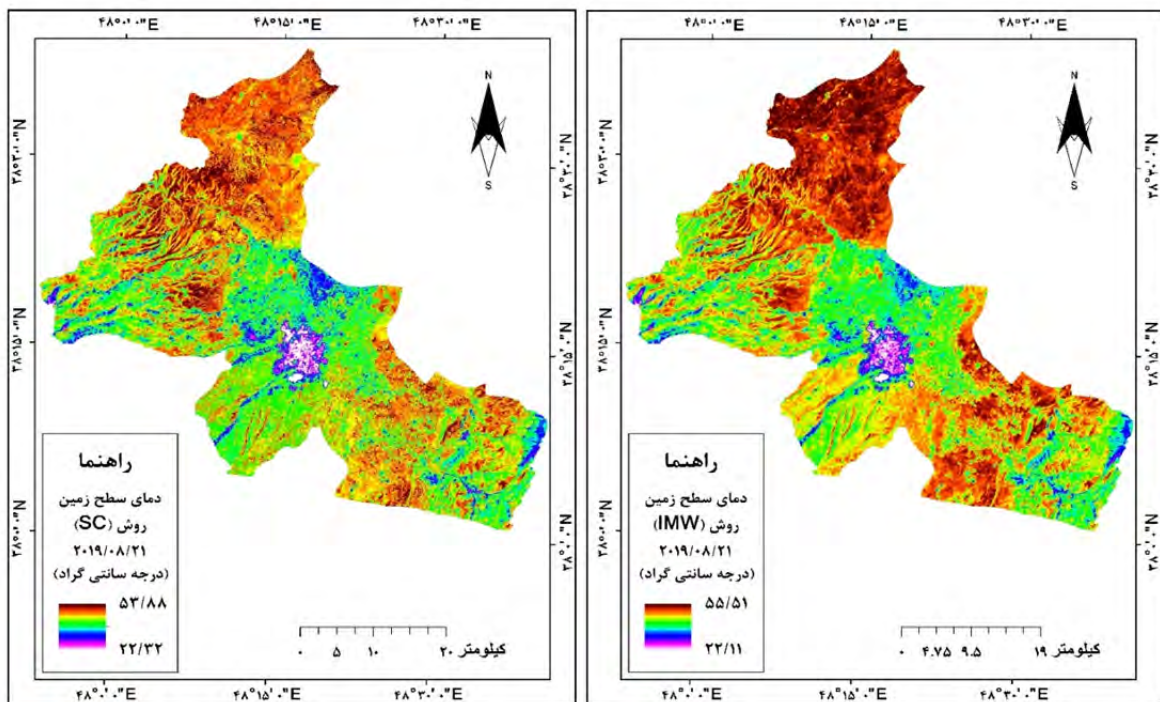


شکل ۸. نقشه‌های دمای سطح زمین مستخرج از الگوریتم‌های SC، IMW، Planck و RTE برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Fig. 8. LST maps extracted from SC, IMW, Planck and RTE algorithms in 2000/07/31

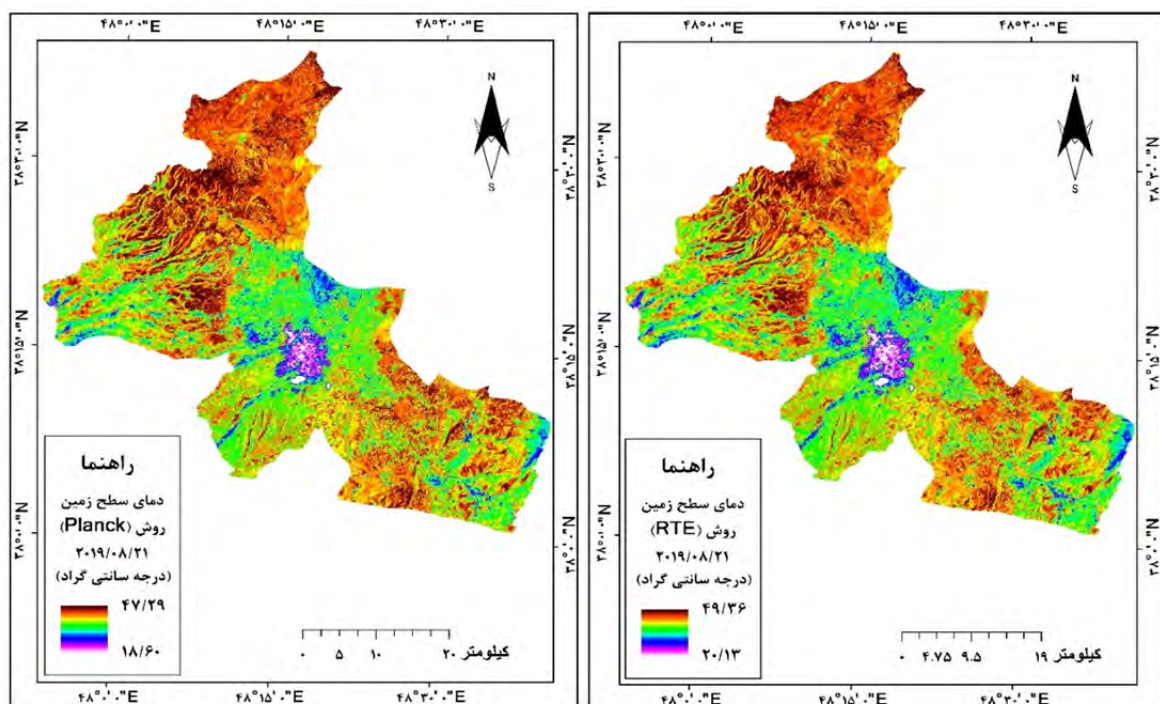
و دمای سطح ثبت شده با دماسنج دیجیتالی در ایستگاه‌های ۳ و ۴ با خروجی الگوریتم‌ها صورت گرفت، کمترین اختلاف مربوط به الگوریتم تک کانال بوده است. جهت مقایسه دقت الگوریتم‌های تخمین دمای سطح زمین و دمای سطح ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی، از درصد خطای نسبی استفاده شده که نتایج در جدول ۱۴ نمایش داده شده است. طبق نتایج، الگوریتم تک کانال کمترین درصد خطای نسبی در بین سایر الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. از بین چهار ایستگاه نیز ایستگاه دوم هواشناسی با درصد خطای نسبی ۲/۱۵ و ایستگاه چهارم زمینی با ۲/۲۷ درصد کمترین درصد خطای نسبی با الگوریتم تک کانال را داشته‌اند. بعد از روش تک کانال، به ترتیب الگوریتم‌های تک پنجره بهبودیافته، RTE و تابع معکوس پلانک کمترین درصد خطای نسبی را با چهار ایستگاه داشته‌اند.

نقشه‌های خروجی دمای سطح زمین با استفاده از تصویر بانده ۱۰ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ برای تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ در شکل ۹ نشان داده شده است. از لحاظ زمانی نزدیک‌ترین داده در ایستگاه هواشناسی به زمان عبور ماهواره، داده‌های ثبت شده در ساعت ۱۲:۰۰ بود که اختلاف ۴ دقیقه‌ای با زمان عبور ماهواره دارد. برای ایستگاه زمینی نیز دونقطه با محیطی همگن و خارج از محدوده شهری با کاربری کشاورزی (یونجه) و کاربری بایر که محصول آن برداشت شده بود، انتخاب و دمای سطح آن‌ها هم‌زمان با عبور ماهواره اندازه‌گیری شد که مقادیر در شکل ۱۰ ارائه شده است. مقادیر دمای سطح زمین در ایستگاه‌های هواشناسی (Station_1 و Station_2)، ایستگاه‌های زمینی (Station_3 و Station_4) و الگوریتم‌های خروجی در جدول ۱۳ نمایش داده شده است. طبق جدول ۱۳ در مقایسه‌ای که بین دما سطح اخذ شده در ایستگاه‌های ۱ و ۲



شکل ۹. نقشه‌های دمای سطح زمین مستخرج از الگوریتم‌های SC، IMW، Planck و RTE برای تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Fig. 9. LST maps extracted from SC, IMW, Planck and RTE algorithms in 2019/08/21



شکل ۹. (ادامه)

Fig. 9. (continued)



شکل ۱۰. دمای سطح زمین در موقعیت ایستگاه‌های زمینی ۳ و ۴

Fig. 10. Land surface temperature at ground stations 3 and 4

جدول ۱۳. مقایسه دمای تخمینی با دمای سطح ایستگاه‌های هواشناسی و زمینی در تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Table 13. Comparison of the estimated LST with LST of the meteorological and ground stations in 2019/08/21

RTE	پلانک I F Planck	تک پنجره IMW	تک کانال SC	دمای ایستگاه هواشناسی	دمای مشاهده زمینی	ایستگاه
۴۴/۷	۴۵/۵	۴۴/۵	۴۳/۹	۴۲/۶	-	Station-1
۴۳/۶	۴۴/۴	۴۳/۴	۴۲/۷	۴۱/۸	-	Station-2
۲۸/۵	۲۸/۹	۲۸/۱	۲۵/۵	-	۲۶/۶	Station-3
۴۱/۲	۴۱/۹	۴۰/۸	۳۸/۶	-	۳۹/۵	Station-4

جدول ۱۴. درصد خطای نسبی بین دمای سطح تخمینی با دمای سطح ایستگاه‌های هواشناسی و زمینی در تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Table 14. Percentage of RE between the estimated LST and the LST of meteorological and ground stations on 2019/08/21

RTE	پلانک I F Planck	تک پنجره IMW	تک کانال SC	ایستگاه
۴/۹۲	۶/۸۰	۴/۴۶	۳/۰۵	Station-1
۴/۳۰	۶/۲۲	۳/۸۲	۲/۱۵	Station-2
۷/۱۴	۸/۶۴	۵/۶۳	۴/۱۳	Station-3
۴/۳۰	۶/۰۷	۳/۲۹	۲/۲۷	Station-4

بحث و نتیجه گیری

گرفت. در هر دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰ الگوریتم تک کانال دقت بیشتری نسبت به بقیه روش‌ها داشته است. مقایسه نتایج روش تک کانال با ایستگاه‌ها، نشان از اختلاف $+۲/۵$ و -۲ با ایستگاه‌های ۱ و ۲ برای سال ۲۰۰۰ و اختلاف دمای $+۱/۳$ ، $+۰/۹$ ، $-۰/۹$ و به ترتیب با ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ برای سال ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. از جمله دلایل افزایش دقت روش تک کانال نسبت به سایر روش‌ها می‌توان به استفاده مستقیم این روش از ضرایب انتقال‌پذیری اتمسفر اشاره کرد. با استفاده از پارامترهای ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 ، اطلاعات دقیق پروفیل اتمسفری منطقه وارد فرایند محاسبه الگوریتم شده و به دنبال آن اثر پخش اتمسفری بر روی خروجی‌ها حذف و یا تا حد زیادی تعدیل می‌شود. به‌کارگیری مستقیم پارامترهای اتمسفری محلی L_{atm}^{\uparrow} و L_{atm}^{\downarrow} و در روش تک کانال از دیگر عوامل کاهش خطای این روش نسبت به سایر الگوریتم‌ها است. این پارامترها اطلاعاتی از تابش‌های رو به بالا و پایین جوی و ضخامت اتمسفر در منطقه مورد مطالعه در زمان عبور ماهواره را نشان می‌دهد و میزان انتقال‌پذیری اتمسفر را شبیه‌سازی و نقش

در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ چهار الگوریتم برآورد دمای سطح زمین شامل روش‌های تک کانال، تک پنجره بهبودیافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابش کد نویسی و نقشه‌های دمای سطح زمین شهرستان اردبیل برای دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰ در محیط نرم‌افزار متلب کد نویسی و استخراج گردید. باند ۶ ماهواره لندست ۵ برای سال ۲۰۰۰ و از باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ به دلیل مقدار نویز کمتر نسبت به باند ۱۱ و نزدیکی به مقدار $۹/۶۶$ (که بیشترین تابش زمین در این محدوده است) برای سال ۲۰۱۹ استفاده شد. با توجه به اهمیت بالای محاسبه دقیق توان گسیلمندی در تعیین دمای سطح، دو روش گسیلمندی با استفاده از NDVI و گسیلمندی براساس حدآستانه گذاری NDVI روی هر چهار الگوریتم اجرا شد. روش اول برای سه الگوریتم تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابش و روش دوم بر الگوریتم تک پنجره بهبودیافته نتیجه بهتری به همراه داشت، لذا در روند کار مورد استفاده قرار

۸ سه روش برآورد دمای سطح زمین RTE، پنجره مجزا و تک کاناله را روی ۲۱ تصویر حرارتی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ اجرا کردند. در مقایسه سه الگوریتم روش پنجره مجزا با کمترین مقدار $RMSE (K2-6/1)$ دارای بیشترین دقت نسبت به دو الگوریتم قبلی داشته است. وان و همکاران (۲۶) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ دمای سطح زمین را با سه الگوریتم RTE، تک پنجره و تک کانال برای دو سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ برآورد کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که الگوریتم تک کانال با مقدار $RMSE$ ، ۰/۵ درجه سلسیوس دقت بالاتری نسبت به الگوریتم RTE با $RMSE$ ، ۰/۸۵ و الگوریتم تک پنجره با $RMSE$ ، ۲/۳۴ درجه سلسیوس داشته است. سجویب و وانگ (۱۸) در پژوهشی اقدام به مقایسه چهار الگوریتم تخمین دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ کردند. صحت سنجی نتایج آن‌ها با محصول حرارتی سنجنده MODIS نشان داد که به ترتیب الگوریتم‌های پنجره مجزای با $RMSE$ ، ۱/۱۹ و ۱/۵۰ درجه سلسیوس نتایج بهتری نسبت به RTE و تک کانال داشته است. دانودیا و همکاران (۸) در مطالعه‌ای دقت دو الگوریتم RTE و تک کانال را در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر الگوریتم RTE نسبت به روش تک کانال بوده است. مقدار $RMSE$ برای RTE، ۰/۸۰ و برای تک کانال ۰/۸۴ درجه سلسیوس محاسبه شده است.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده جهت ارزیابی بهتر نتایج از تعداد دماسنج‌های بیشتری هم‌زمان با عبور ماهواره استفاده شود. همچنین برای محاسبه خودکار LST با روش‌های مختلف، توصیه می‌گردد کدهای نوشته‌شده در این پژوهش توسعه و تبدیل به GUI (رابط گرافیکی کاربر) در بستر محیط نرم‌افزار متلب شود و تنها با واردسازی متادیتای تصویر و برخی پارامترهای محلی و اتمسفری از منطقه مورد مطالعه، LST با الگوریتم‌های مختلف و به‌صورت خودکار محاسبه گردد.

تصحیح اتمسفری تصاویر را ایفا می‌کند. این ضرایب در دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌صورت غیرمستقیم استفاده شده است و تعداد پارامترهای با مقادیر ثابت در این الگوریتم‌ها بیشتر است. از نظر دقت بعد از الگوریتم تک کانال، به ترتیب روش تک پنجره بهبودیافته، الگوریتم RTE و در نهایت الگوریتم رابطه معکوس تابع پلانک قرار گرفتند. نتایج مقایسه خروجی هر چهار الگوریتم با داده‌های ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، نشان از دقت بالاتر ایستگاه‌های زمینی برداشت‌شده با دماسنج دیجیتال نسبت به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دارد، از جمله دلایل آن می‌توان به قرارگیری ایستگاه‌های هواشناسی (بخصوص Station_1) در محدوده شهری با توجه به ناهمگن بودن محیط شهری و امکان تداخل پیکسلی و تداخل دمایی کاربری‌ها اشاره کرد، درحالی‌که ایستگاه‌های زمینی از محدوده خارج از شهر و از محیطی با پیکسل‌های همگن (بایر و کشاورزی) انتخاب گردید. همچنین اختلاف‌زمانی داده ایستگاه‌های هواشناسی با زمان عبور ماهواره از منطقه برای سال ۲۰۰۰، حدود ۱۲ دقیقه و برای سال ۲۰۱۹ حدود ۴ دقیقه بوده است و با توجه به خاصیت تغییرپذیری بالای دما در بستر زمان، این اختلاف‌زمانی ممکن است باعث افزایش اختلاف بین داده‌های هواشناسی و نتایج الگوریتم‌ها شود، درحالی‌که داده‌های زمینی هم‌زمان با عبور ماهواره برداشت گردید. همچنین نتایج هر چهار الگوریتم مستخرج از تصویر لندست ۸ در مقایسه با نتایج چهار الگوریتم حاصله از تصویر لندست ۵، دقت بیشتری را نشان می‌دهد و با توجه به بهبود توان تفکیک مکانی سنجنده TIRS نسبت به TM، دقت بیشتر خروجی‌های سنجنده TIRS قابل پیش‌بینی بود.

همسو با موضوع پژوهش تحقیقاتی دیگری نیز صورت گرفته از جمله عسگرزاده و همکاران (۱) در پژوهشی اقدام به تخمین و مقایسه الگوریتم‌های تک بانندی و چندبانندی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های تک بانندی از دقت بیشتری نسبت به روش‌های چندبانندی برخوردار بوده است. سانتوس و همکاران (۱۷) در پژوهشی با استفاده از داده‌های سنجنده حرارتی TIRS

References

1. Asgarzadeh P, Darvishi Bolorani A, Bahrami H, Hamzeh S. 2016. Comparison between land surface temperature estimation in single and multi-channel method using Landsat images 8. *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science)*, 7(3): 18-29. (In Persian).
2. Asghari SS, Emami H. 2018. Monitoring the land surface temperature and examining the relationship between land use and land surface temperature using from OLI and ETM⁺ sensor images, (Case study: Ardabil city). *Journal of Geographical Sciences*, 19(53): 195-215. (In Persian). doi:https://doi.org/10.29252/jgs.19.53.195.
3. Barsi JA, Barker JL, Schott JR. 2003. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a single thermal band earth-sensing instrument, IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477). In., pp 21-25 July 2003, vol. 2005: 3014-3016 p.
4. Berk A, Conforti P, Kennett R, Perkins T, Hawes F, Van Den Bosch J. 2014. MODTRAN[®] 6: A major upgrade of the MODTRAN[®] radiative transfer code. In: 2014 6th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS). IEEE, pp 1-4. https://doi.org/10.1109/WHISPERS.2014.807757.
5. Bernstein LS, Adler-Golden SM, Sundberg RL, Levine RY, Perkins TC, Berk A, Ratkowski AJ, Felde G, Hoke ML. 2005. Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi-and hyperspectral imagery. In: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. International Society for Optics and Photonics, pp 668-678. https://doi.org/10.1117/1112.603359.
6. Carlson TN, Ripley DA. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3): 241-252. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1.
7. Cristóbal J, Jiménez-Muñoz JC, Prakash A, Mattar C, Skoković D, Sobrino JA. 2018. An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the Landsat-8 thermal band. *Remote Sensing*, 10(3): 431. doi:https://doi.org/10.3390/rs10030431.
8. Danodia A, Nikam R, Kumar S, Patel N. 2017. Land surface temperature retrieval by radiative transfer equation and single channel algorithms using landsat-8 satellite data. *Indian Institute of Remote Sensing-ISRO*: 1-7.
9. Feizizadeh B, Didehban K, Gholamnia K. 2016. Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on landsat satellite images and split window algorithm Study area: Mahabad Catchment. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98): 171-181. (In Persian).
10. García-Santos V, Cuxart J, Martínez-Villagrasa D, Jiménez MA, Simó G. 2018. Comparison of three methods for estimating land surface temperature from landsat 8-tirs sensor data. *Remote Sensing*, 10(9): 1450. doi:https://doi.org/10.3390/rs10091450.
11. Isaya Ndossi M, 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. doi:https://doi.org/10.3390/rs8050413.
12. Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA. 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22). doi:https://doi.org/10.1029/2003JD003480.
13. Li Z-L, Tang B-H, Wu H, Ren H, Yan G, Wan Z, Trigo IF, Sobrino JA. 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131: 14-37. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008.
14. Ndossi MI, Avdan U. 2016. Inversion of land surface temperature (LST) using Terra ASTER data: a comparison of three algorithms. *Remote Sensing*, 8(12): 993. doi:https://doi.org/10.3390/rs8120993.
15. Parastatidis D, Mitraka Z, Chrysoulakis N, Abrams M. 2017. Online global land surface temperature estimation from Landsat. *Remote sensing*, 9(12): 1208. doi:https://doi.org/10.3390/rs9121208.
16. Rubio E, Caselles V, Badenas C. 1997. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8–14, μm Wave band: Analysis of two field methods. *Remote Sensing of Environment*, 59(3): 490-521. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00123-X.
17. Sahana M, Dutta S, Sajjad H. 2019. Assessing land transformation and its relation with land surface temperature in Mumbai city, India using geospatial techniques. *International Journal of Urban Sciences*, 23(2): 205-225. doi:https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1488604.
18. Sajib MQU, Wang T. 2020. Estimation of Land Surface Temperature in an Agricultural Region of Bangladesh from Landsat 8: Intercomparison of Four Algorithms. *Sensors*, 20(6): 1778. doi:https://doi.org/10.3390/s20061778.
19. Sinha S, Pandey PC, Sharma LK, Nathawat MS, Kumar P, Kanga S. 2014. Remote estimation of land surface temperature for different LULC features of a moist deciduous tropical forest

- region. In: Srivastava PK, Mukherjee S, Gupta M, Islam T (eds) Remote Sensing Applications in Environmental Research. Springer International Publishing, Cham, pp 57-68. https://doi.org/10.1007/1978-1003-1319-05906-05908_05904.
20. Sobrino J, Raissouni N. 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International journal of remote sensing*, 21(2): 353-366. doi:<https://doi.org/10.1080/014311600210876>.
 21. Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC, Sòria G, Romaguera M, Guanter L, Moreno J, Plaza A, Martínez P. 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2): 316-327. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>.
 22. Sobrino JA, Oltra-Carrió R, Jiménez-Muñoz JC, Julien Y, Sòria G, Franch B, Mattar C. 2012. Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach: Application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 141-147. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.022>.
 23. Srivastava PK, Han D, Rico-Ramirez MA, Bray M, Islam T, Gupta M, Dai Q. 2014. Estimation of land surface temperature from atmospherically corrected LANDSAT TM image using 6S and NCEP global reanalysis product. *Environmental Earth Sciences*, 72(12): 5183-5196. doi:[10.1007/s12665-014-3388-1](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3388-1).
 24. USGS. 2016. Landsat 8 (L8) data users handbook. Landsat Science Official Website.
 25. USGS. 2014. USGS earthexplorer. Retrieved from <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
 26. Vlassova L, Perez-Cabello F, Nieto H, Martín P, Riaño D, De La Riva J. 2014. Assessment of methods for land surface temperature retrieval from Landsat-5 TM images applicable to multiscale tree-grass ecosystem modeling. *Remote Sensing*, 6(5): 4345-4368. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6054345>.
 27. Wang F, Qin Z, Song C, Tu L, Karnieli A, Zhao S. 2015. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote sensing*, 7(4): 4268-4289. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70404268>.
 28. Yu X, Guo X, Wu Z. 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS- Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote sensing*, 6(10): 9829-9852. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6109829>.
 29. Zakkula G. 1999. Elements of sampling theory and methods. Prentice Hall. 540 p.
 30. Zhang J, Wang Y, Li Y. 2006. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers & Geosciences*, 32(10): 1796-1805. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001>.
 31. Zhang Z, He G. 2013. Generation of Landsat surface temperature product for China, 2000–2010. *International journal of remote sensing*, 34(20): 7369-7375. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2013.82036>.



Estimation of Ardabil land surface temperature using Landsat images and accuracy assessment of land surface temperature estimation methods with ground truth data

Hossein Fekrat, Sayyad Asghari Saraskanrood, Seyed Kazem Alavipanah

Received: 3 July 2020 / Accepted: 6 October 2020
Available online 1 December 2020

Abstract

Background and Objective Over the past two decades, the intense need for land surface temperature information for environmental studies and management and planning activities has made estimating the land surface temperature one of the most important scientific topics. On the other hand, different methods have been proposed to estimate the land surface temperature, each of which has resulted in different results for different regions. In this study, the algorithms that have had acceptable results in different studies have been selected and evaluated. In the field of thermal studies, what is considered as a major defect in monitoring the land surface temperature is the lack of sufficient meteorological stations to know the temperature values in places without stations and information limitations in preparing temperature data, especially for large areas. The study area is also facing this shortage, and this limitation further highlights the importance of the topic selected for this study to estimate the surface temperature using remote sensing technology.

Verification and validation of results obtained from estimating the land surface temperature are other basic and discussed topics in thermal studies. The purpose of this study is an estimation of temperature in Ardabil city and evaluate the accuracy of the four single-channel algorithms, the improved mono-window, the Planck's inversion function method and the radiative transfer equation (RTE) method, to compare the accuracy of the two Landsat 5 and Landsat 8 satellites in estimating the land surface temperature.

Materials and Methods Three types of data have been used in this study; Landsat 5 and 8 satellite images, data of two meteorological stations and ground data harvested with a digital thermometer. The images used are from the two satellites Landsat 5 and Landsat 8 with a time interval of 19 years. The meteorological data used were obtained from two synoptic stations in the study area. In addition to land surface temperature, relative humidity, minimum temperature and maximum temperature data of 24 hours were also obtained on two dates. Also, two points of the study area were selected and land surface temperature in the position of these two stations simultaneously with the satellite Recorded from two digital thermometers.

H. Fekrat¹, S.A. Saraskanrood², S.K. Alavipanah³

1. MSc. Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
2. Associate Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
3. Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

e-mail: s.asghari@uma.ac.ir

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.6.6>

MODTRAN web version calculator software version 6 has been used to model the radiation and the amount of atmospheric transmission. Emissivity with two methods of LSE methods based on NDVI and LSE NDVI Thresholds Method and land surface temperature with four algorithms: single-channel algorithms, An Improved mono-window, inversion of

Planck's function and radiative transfer equation using band 6 Landsat 5 and band 10 Landsat 8 bands. It was coded in MATLAB software for 2000 and 2019. Finally, the accuracy of the algorithms was evaluated using synoptic station surface temperature data and field sampling.

Results and Discussion The collected data and results are analyzed and while presenting the output maps, the accuracy of the methods with terrestrial and meteorological data as well as the accuracy of Landsat 5 and Landsat 8 satellites in estimating the land surface temperature has been compared and evaluated. The results showed that for the three single-channel algorithms, the inversion of Planck's function and RTE, the first method of emission and for the An Improved Mono-Window algorithm, the second method of emission had a higher accuracy. Land surface temperature data obtained from meteorological stations in 2000 differ by 12 minutes in terms of time and by 2019 differ by 4 minutes in terms of satellite transit time. The first meteorological station is located somewhat within the city limits and according to the results, it seems that the most important factor is the greater difference between the data of the first station and the estimated LST compared to the second station is the same factor because the heterogeneity of pixels and large changes in levels in urban areas interfere with a pixel value. And subsequently increases the likelihood of errors in estimating surface temperature within the urban anthropogenic range. For the ground station, two points with a homogeneous environment and outside the urban area with agricultural use (alfalfa) and barren use of the harvested product were selected and their surface temperature was measured at the same time as the satellite. The output results of land surface temperature estimation were compared and evaluated with two synoptic stations and two ground stations. In both histories, the single-channel algorithm showed the least difference with the temperature recording stations.

Conclusion In this research, using Landsat 5 and Landsat 8 satellite images, four algorithms for estimating the land surface temperature of the earth, including single-channel algorithms, An Improved mono-window, inversion of Planck's function and

radiative transfer equation and land surface temperature maps of Ardabil city for two 2000 and 2019 were coded and extracted in MATLAB software environment. The band 6 Landsat 5 satellite was used for 2000 and the band 10 Landsat 8 satellite was used for 2019 due to less noise than the 11th band and the proximity of 9.66 (which is the highest radiation in this range). Comparison of land surface temperature maps obtained by the algorithms with synoptic and ground stations showed that in both 2000 and 2019, the single-channel algorithm was more accurate than the other methods. Comparison of the results of the single-channel method with the stations shows a difference of +2.5 and 2- with stations 1 and 2 for the year 2000 and a temperature difference of +3.3, +0.9, 1- and -0.9. Shows stations 1, 2, 3 and 4 for 2019, respectively. It seems that the direct use of atmospheric transmittance coefficients in the single-channel method process has been effective in the high accuracy of this method. In terms of accuracy, after the single-channel algorithm, the An Improved Mono-Window method, the RTE algorithm, and finally the Planck function inverse correlation algorithm were placed, respectively. The results of comparing the output of all four algorithms with the data of stations 1, 2, 3 and 4, show that the ground stations harvested with a digital thermometer are more accurate than the data of meteorological stations. One of the reasons for this is the location of meteorological stations (especially, Station_1) in the urban area due to the heterogeneity of the urban environment and the possibility of pixel interference and temperature interference of land uses, while ground stations from the out-of-town area. And was selected from an environment with homogeneous pixels (barren and agricultural). Also, the results of all four algorithms extracted from the Landsat 8 image show more accuracy compared to the results of the four algorithms obtained from the Landsat 5 image, and due to the improved spatial resolution of the TIRS sensor compared to the TM, the TIRS sensor output is more accurate, It was predictable.

Keywords: Emissivity, Digital thermometer, Land surface temperature (LST), Ardabil

Please cite this article as: Fekrat H, Saraskanrood SA, Alavipanah SK. 2020. Estimation of Ardabil land surface temperature using Landsat images and accuracy assessment of land surface temperature estimation methods with ground truth data. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(4): 114-136.