



## یک برنامه کاربردی مبتنی بر پایتون برای بازیابی دمای سطح زمین (LST) از تصاویر لندست

مقاله پژوهشی

زهره پرورا<sup>۱</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲\*</sup>

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷ / پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

### چکیده

مقایسه نتایج در این مطالعه نشان داد که روش‌های روش معادله انتقال تابشی (RTE) و الگوریتم تک کانال (SCA) با خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) معادل ۳/۷۶ و ۸/۹۷ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین و کم‌ترین دقت را داشتند. LST تحت تأثیر عوامل زیادی مانند ذرات معلق در هوا، پوشش زمین و ریخت‌شناسی شهر قرار دارد. الگوریتم‌های مختلف با در نظر گرفتن دمای نزدیک به سطح زمین، محتوای بخار آب و سایر پارامترهای جوی آن را محاسبه می‌کنند. نتایج این مطالعه نشان داد که انتخاب روش مناسب برای بازیابی LST تأثیر مستقیمی بر دقت نتایج مطالعات دارد. این رابط کاربردی به محققان و متخصصان اجرایی کمک می‌کند تا تغییرات حرارتی را در سری‌های زمانی و بر اساس کاربری‌های مختلف در مطالعات خود و به‌ویژه توسعه شهری پیش نمایند.

دمای سطح زمین یا LST که از تصاویر سنجنش‌ازدور مادون‌قرمز حرارتی به دست می‌آید، مستقیماً با تغییرات کاربری و پوشش زمین مرتبط است. سنجنش‌ازدور، به‌عنوان یک روش غیرقابل جایگزین در مقیاس جهانی و منطقه‌ای، پیش مؤثر با تداوم مکانی-زمانی LST را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین، تهیه تصاویر LST امکان جداسازی بهتر شهرها از مناطق بایر اطراف را فراهم می‌کند و در طبقه‌بندی سایر پوشش‌ها و کاربری‌ها نیز مفید خواهد بود. در این مطالعه، یک رابط کاربردی مبتنی بر پایتون توسعه داده شد که امکان بازیابی بسیار آسان و سریع‌تر LST را فراهم می‌سازد. LST را می‌توان با وارد نمودن پارامترهای موردنیاز در روش‌هایی نظیر الگوریتم تک کانال (SCA)، روش معادله انتقال تابشی (RTE)، الگوریتم پنجره مجزا و دو الگوریتم تک پنجره (MWA)، از مأموریت‌های لندست (۵، ۷ و ۸) بازیابی نمود.

**طرح مسئله:** دمای سطح زمین (LST) را می‌توان به‌طور کل دمای محسوس زمین تعریف کرد. برای محاسبه مقادیر آن که به درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. LST که از تصاویر ماهواره‌ای مادون‌قرمز حرارتی سنجنش‌ازدور مشتق می‌شود، یک متغیر کلیدی برای درک تأثیرات کاربری و پوشش زمین (LULC) از جمله الگوهای حرارتی شهری است. LST تحت تأثیر عوامل زیادی مانند نوع سطح زمین، رطوبت سطح،

زهره پرورا<sup>۱</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲\*</sup> (✉)

۱. علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲. علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.1973819.2025

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: mahini@gau.ac.ir

روشنایی و شرایط جوی است یا به آن‌ها بستگی دارد. بنابراین، اندازه‌گیری در جای **LST** در مناطق بزرگ دشوار است. در مقابل، سنجش‌ازدور مادون‌قرمز حرارتی ماهواره‌ای از مزیت پوشش گسترده و توانایی انجام بازدیدهای مجدد منظم از یک سایت در مقیاس منطقه‌ای و جهانی برخوردار است. تابش طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنجنده‌های حرارتی روی ماهواره‌ها نه تنها تحت تأثیر پارامترهای سطح (تابش و دما) بلکه تحت تأثیر ترکیب و ساختار جو (عمدتاً بخارآب) نیز قرار می‌گیرد؛ بنابراین، اثرات جوی نام برده باید برای استفاده مناسب از داده‌های سنجش‌ازدور مادون‌قرمز حرارتی در برنامه‌های تحقیقاتی دما حذف شوند. تصحیح اتمسفری به‌طور کلی، تبدیل اندازه‌گیری‌های بالای سطح اتمسفر به اندازه‌گیری‌های سطح زمین است.

**هدف:** از آن جا که گسیلمندی و اثرات جوی دو عامل اساسی برای استخراج **LST** از داده‌های حرارتی هستند، روش‌های مختلفی با توجه به منابع داده‌های مختلف توسعه یافته است. این الگوریتم‌ها با توجه به تعداد باندهای مادون‌قرمز حرارتی استفاده شده نام‌گذاری شده‌اند. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های تک کانال یا تک پنجره‌ای از یک باند مادون‌قرمز حرارتی استفاده می‌کنند. با این حال، روش‌هایی مثل پنجره مجزا شامل بیش از یک باند هستند. هدف از این مطالعه ارائه یک رابط کاربری مبتنی بر پایتون برای آسان‌تر و سریع‌تر کردن بازیابی **LST** است. بدین ترتیب **LST** را می‌توان با وارد کردن پارامترهای مورد نیاز در روش‌های مختلف از جمله الگوریتم تک کانال (**SCA**)، روش معادله انتقال تابشی (**RTE**)، الگوریتم پنجره مجزا و دو الگوریتم تک پنجره (**MWA**) از ماموریت‌های لندست (۵، ۷ و ۸) بازیابی کرد.

**روش تحقیق:** در این مطالعه، پنج تصویر از سری لندست ۵، ۷ و ۸ برای بازیابی **LST** استفاده شد. داده‌های سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۱ (لندست ۵ سنجنده **TM**)، ۲۰۰۲ (لندست ۷ سنجنده **ETM+**) و ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ (لندست ۸ سنجنده **OLI/TIRS**) برای شهر گرگان استفاده شده است. داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی فرودگاه و هاشم‌آباد گرگان وب سایت جهانی هواشناسی به دست آمد. با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون یک رابط کاربری به‌منظور محاسبه **LST** برای داده‌های لندست تهیه شد. اکثر نرم‌افزارهای پردازش تصویر به مراحل پیچیده‌ای برای محاسبه **LST** نیاز دارند که کاربرد آن را محدود می‌کند. بنابراین به‌منظور ساده‌سازی فرآیندهای

عملیاتی به یک مدل مستقیم و کاربردی نیاز است. علاوه بر این، اگر کاربران تصویر مدل گسیلمندی سطح زمین (**LSE**) خود را داشته باشند که توسط یک مدل متفاوت تولید شده است، امکان استفاده از آن وجود دارد. بدین ترتیب، **LST** را می‌توان با وارد نمودن پارامترهای مورد نیاز در روش‌هایی نظیر الگوریتم تک کانال (**SCA**)، روش معادله انتقال تابشی (**RTE**)، الگوریتم پنجره مجزا و دو الگوریتم تک پنجره (**MWA**)، از ماموریت‌های لندست (۵، ۷ و ۸) بازیابی نمود. تفاوت اساسی بین این روش‌ها در فرمول‌بندی ریاضی و پارامترهای ورودی است. درحالی‌که همه روش‌ها را می‌توان برای داده‌های لندست ۵ سنجنده **TM**، لندست ۷ سنجنده **ETM** و لندست ۸ سنجنده **OLI/TIRS** اعمال کرد، الگوریتم پنجره مجزا فقط برای داده‌های لندست ۸ سنجنده **OLI/TIRS** قابل اعمال است، زیرا به حداقل دو باند مادون‌قرمز حرارتی نیاز دارد. به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌ها با داده‌های ایستگاه هواشناسی از معیار آماری خطای جذر میانگین مربعات (**RMSE**) استفاده شد. **RMSE** یک معیار آماری پرکاربرد است که تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط یک مدل و مقادیر مشاهده شده را با هم مقایسه و ارزیابی می‌کند.

**نتایج و بحث:** این مطالعه نشان داد که همه الگوریتم‌ها می‌توانند نتایج قابل قبولی در تخمین **LST** داده‌های لندست ۵ سنجنده‌های **TM** و **ETM** و لندست ۸ سنجنده **OLI/TIRS** به دست آورند. در دسترس بودن داده‌های هواشناسی می‌تواند نقش زیادی در انتخاب الگوریتم ایفا کند. برای سال ۱۹۸۹ یک الگوریتم تک پنجره که به متغیرهای جوی برای تخمین نیاز ندارد استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فضایی **LST** بازیابی شده توسط الگوریتم‌ها تقریباً یکسان بوده و دمای سطح منطقه شهری به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از حومه شهر است. همه الگوریتم‌ها می‌توانند **LST** را به‌طور رضایت‌بخشی بازیابی کنند و نتایج برای مطالعات مختلف قابل استفاده است. روش‌های معادله انتقال تابشی (**RTE**) و الگوریتم تک کانال (**SCA**) با خطای جذر میانگین مربعات (**RMSE**) معادل ۳/۷۶ و ۸/۹۷ درجه سانتی‌گراد به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را داشتند. اختلاف در نتایج ممکن است به دلیل خطاهایی باشد که از شبیه‌سازی پارامترهای جوی، تخمین گسیلمندی سطح زمین و بخارآب اتمسفر ناشی می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که مقادیر دمایی مورد استفاده در ارزیابی دقت، دمای نزدیک به سطح اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های هواشناسی بوده و دمای واقعی زمین

الگوریتم‌های مختلف با در نظر گرفتن دمای نزدیک به سطح زمین، محتوای بخار آب و سایر پارامترهای جوی آن را محاسبه می‌کنند. انتخاب الگوریتم‌ها برای بازیابی LST، دستیابی به پارامترهای ورودی الگوریتم و تأیید نتایج، مشکلاتی هستند که نیاز به مطالعات بیشتری دارد. رابط کاربری ارائه شده ابزار قدرتمندی را در اختیار محققان و دولت‌ها قرار می‌دهد تا موقعیت و ابعاد تغییرات گرمای محیط را به‌ویژه در مناطق شهری به‌راحتی و سریع بررسی کنند.

**واژگان کلیدی:** سنجش‌زدور، الگوریتم تک کانال، روش معادله انتقال تابشی، الگوریتم پنجره مجزا، دو الگوریتم تک پنجره.

نیست. این دماها در ارتفاع تا دو متر از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شوند.

**نتیجه‌گیری:** این مقاله یک رابط کاربری مبتنی بر پایتون برای محاسبه LST ارائه می‌دهد. چهار الگوریتم بازیابی LST (الگوریتم تک کانال (SCA)، روش معادله انتقال تابشی (RTE)، و دو الگوریتم تک پنجره (MWA))، با استفاده از داده‌های لندست ۵ و ۷ سنجنده‌های TM و ETM و لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS مورد ارزیابی قرار گرفت و علاوه بر این، الگوریتم پنجره مجزا برای لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS ارزیابی شد. LST تحت تأثیر عوامل زیادی مانند ذرات معلق در هوا، پوشش زمین و ریخت‌شناسی شهر قرار دارد.

## مقدمه

دمای سطح زمین (LST) را می‌توان به‌عنوان دمای محسوس زمین تعریف کرد و برای محاسبه مقادیر آن که به درجه سانتی‌گراد یا کلونین اندازه‌گیری می‌شود می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد (۲۰). LST بر اساس دمای نزدیک به سطح و تبادل تابش موج بلند بین جو و سطح زمین تعیین می‌شود (۲۷) و از تصاویر ماهواره‌ای مادون‌قرمز حرارتی سنجش‌ازدور مشتق می‌شود و یک متغیر مهم آب‌وهوایی برای درک تأثیرات کاربری و پوشش زمین (LULC) است (۹،۲۱). در سال‌های اخیر نیاز به داده‌های LST جهت برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین آن را به یکی از موضوعات علمی مهم تبدیل نموده است (۱۰).

افزایش دما در محیط‌های شهری به عنوان اثر جزیره گرمایی شهری (UHI) شناخته می‌شود. پدیده جزیره حرارتی شهری زمانی رخ می‌دهد که دمای مناطق شهری بالاتر از نواحی اطراف باشد و شدت آن معمولاً بر اساس اختلاف دمای مرکز شهر با مناطق روستایی یا غیرشهری سنجیده می‌شود (۱۳). در دهه‌های اخیر، شهرنشینی و افزایش چشمگیر جمعیت شهری، اثر UHI را تشدید کرده است (۲۷). برای محاسبه جزیره گرمایی هوای شهری، از داده‌های دمای هوا که توسط ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌شوند، استفاده می‌شد. این اندازه‌گیری‌ها اگرچه وضوح زمانی بالایی دارند، اما از نظر پوشش فضایی محدود هستند (۱۳). بنابراین در سال‌های اخیر محققان برای مطالعه UHI به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور LST روی آورده‌اند (۶،۲۹،۳۰،۳۱،۳۵).

سنجش‌ازدور راهی مؤثر برای به دست آوردن LST در مقیاس جهانی و منطقه‌ای فراهم می‌نماید (۳). ماهواره‌های سنجش‌ازدور دارای مزیت پوشش گسترده و توانایی انجام بازبینی منظم یک منطقه هستند (۳۳). با این حال، تمام سکوه‌های سنجش‌ازدور دارای باندهای حرارتی مادون‌قرمز روی سنجنده خود نیستند. برخی از سکوها با باندهای مادون‌قرمز حرارتی عبارت‌اند از سکوی سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA)، تابش‌سنج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS)،

ماهواره زمینی (Landsat) و رادیومتر پیشرفته فضا برد بازتابی و گسیل گرمایی (ASTER) (۱۹). یک تصویر مادون‌قرمز حرارتی با توجه به منبع تصویر می‌تواند دارای وضوح فضایی بالا، متوسط یا پایین باشد، به‌عنوان مثال وضوح اطلس (ATLAS) (۵-۱۰ متر)، لندست سنجنده ETM (۶۰ متر)، سنجنده TIRS (۱۰۰ متر)، سنجنده TM (۱۲۰ متر)، Terra ASTER (۹۰ متر)، HJ-1B (۳۰۰ متر)، MODIS (۱۰۰۰ متر) و FY-2C SVISSR (۵۰۰۰) است (۱۲).

تابش طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنجنده‌های حرارتی ماهواره‌ها نه تنها تحت تأثیر پارامترهای سطح (تابش و دما) بلکه تحت تأثیر ترکیب و ساختار جو (عمدتاً بخارآب) نیز قرار می‌گیرد؛ بنابراین، اثرات جوی نام‌برده باید برای استفاده مناسب از داده‌های سنجش‌ازدور مادون‌قرمز حرارتی (Thermal Infrared, TIR) در برنامه‌های تحقیقاتی دما حذف شوند (۷). عدم لحاظ این عوامل می‌تواند دقت دمای سطح زمین را کاهش داده و منجر به نتایج نادرست در مطالعات محیطی و اقلیمی شود (۲۵). تصحیح اتمسفری (Atmospheric Correction) به‌طورکلی، تبدیل اندازه‌گیری‌های بالای سطح اتمسفر (Top Of the Atmosphere, TOA) به اندازه‌گیری‌های سطح زمین است (۷). بنابراین LST به عنوان یک متغیر پیچیده، تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد و باعث تغییرات سریع آن در سطح فضایی و زمانی می‌شود. از آنجایی که گسیلمندی و اثرات جوی دو عامل اساسی برای استخراج LST از داده‌های حرارتی هستند، بسیاری از محققان با در نظر گرفتن این عوامل رویکردها و الگوریتم‌های مختلفی را برای بازیابی LST پیشنهاد کرده‌اند. این الگوریتم‌ها با توجه به تعداد باندهای مادون‌قرمز حرارتی استفاده‌شده نام‌گذاری شده‌اند. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های تک کانال (SCA) یا تک پنجره‌ای (MWA) از یک باند مادون‌قرمز حرارتی استفاده می‌کنند (۱۷،۱۸)، با این حال، روش‌هایی مثل پنجره مجزا (SWA) شامل بیش از یک باند هستند (۴،۲۴).

روش‌های استخراج LST او حساسیت آن‌ها به پارامترهای مرتبط در چندین مطالعه مقایسه شده‌اند (۱،۱۱،۱۷،۲۸).

ارتفاع ۱۵۵ متری از سطح دریا واقع است. گرگان دارای تابستان‌های گرم با دمای میانگین ۲۷,۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۱,۵ درصد در ماه ژانویه است و دمای میانگین سالانه‌ی آن حدود ۱۷,۲ درجه سانتی‌گراد است. بادهای غالب در این نواحی از جهت‌های غربی، جنوب غربی و شمال غربی می‌وزند که سرعت آن‌ها بین ۱۲ تا ۱۶ کیلومتر بر ساعت است و تقریباً در تمام طول سال فعال هستند. به علاوه، رشته‌کوه البرز در جنوب، جنوب شرق و شرق گرگان به‌عنوان یک مانع طبیعی، شدت بادهای را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

### تصاویر لندست

ماهواره لندست با وضوح نسبی بالا یکی از طولانی‌ترین برنامه‌ها برای تحقیقات تغییرات جهانی است و برای کشاورزی، زمین‌شناسی، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و محیط‌زیست کاربرد دارد. از ۲۳ جولای ۱۹۷۲، در مجموع ۹ سری از ماهواره‌های لندست برای اهداف رصد زمین پرتاب شدند. لندست ۶ تنها ماهواره‌ای بود که نتوانست به مدار برسد (۲۵).

لندست ۵ با سنجنده TM و لندست ۷ با سنجنده ETM<sup>+</sup> دارای شش باندهای تابانی (مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز با طول‌موج کوتاه، تفکیک فضایی ۳۰ متر) و یک باندهای مادون‌قرمز حرارتی (باندهای ۶) هستند. باندهای حرارتی دارای وضوح فضایی بومی ۱۲۰ متر و ۶۰ متر به ترتیب برای سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> است که توسط USGS پس از نمونه‌برداری مجدد با روش برآورد مکعبی با وضوح ۳۰ متر تحویل داده می‌شود.

سنجنده ETM<sup>+</sup> لندست ۷ دارای دو باندهای حرارتی است که بانام‌های ۱-۶ باندهای کم‌بهره (low-gain) و ۲-۶ باندهای بالا-بهره (high-gain) شناخته می‌شوند. باندهای حرارتی با بهره بالا به دلیل نزدیکی به شرایط میدان واقعی، برای به دست آوردن اطلاعات دما نسبت به باندهای کم‌بهره دقیق‌تر است (۱۹).

لندست ۸ در فوریه سال ۲۰۱۳ برای تداوم داده‌های سنجنده‌ها با وضوح فضایی بالا در مأموریت تداوم داده لندست با دو سنجنده مدار زمین قرار گرفت. سنجنده

به‌عنوان مثال، عربی علی‌آباد و همکاران (۲۰۲۵) دقت یازده الگوریتم مختلف LST را بررسی کردند. نتایج نشان داد که دماهای به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف در یک روز حدود ۵ درجه سلسیوس اختلاف دارند، که این امر اهمیت روش‌های اعتبارسنجی موجود را نشان می‌دهد (۱). وانگ و همکاران (۲۰۱۹) سه الگوریتم SWA, MWA و SCA را از نظر پارامترهای ورودی، دقت و حساسیت مقایسه کرد. نتایج نشان داد که SWA کمترین حساسیت را نسبت به خطای پارامترهای ورودی نشان داد و روش‌های MWA و SCA به خطای پارامترهای ورودی حساس بودند (۲۸). سکر تکین و بونافونی (۲۰۲۰)، حساسیت و دقت بازیابی LST از تصاویر لندست را با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و مدل‌های LSE تحلیل کردند. دقت این روش‌ها برای لندست ۸ بین ۲,۱۷ تا ۵,۴۷ درجه کلون متغیر بود (۲۵).

تنوع الگوریتم‌ها و روش‌های متنوع برای به دست آوردن پارامترهای ورودی، انتخاب روش مناسب در هنگام بازیابی LST را برای محققان دشوار می‌کند. بنابراین هدف از این مطالعه ارائه یک رابط کاربری تعاملی برای بازیابی LST است که ضمن پشتیبانی از الگوریتم‌های مختلف و مأموریت‌های لندست ۵، ۷ و ۸، امکان محاسبه سریع‌تر و دقیق‌تر LST را فراهم سازد. این ابزار به کاربران کمک می‌کند تا با در نظر گرفتن اثرات جوی و گسیلمندی، نتایج دقیق‌تری در تحلیل تغییرات دمایی و مطالعات محیط‌زیستی به دست آورند. همچنین، با استفاده از این رابط کاربری، محققان قادر خواهند بود انتخاب بهینه‌تری از روش‌های بازیابی LST بر اساس ویژگی‌های خاص داده‌های خود انجام دهند و اعتبارسنجی‌های دقیق‌تری برای تحقیقات خود انجام دهند.

### روش تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شهر گرگان، واقع در شمال ایران، قرار دارد که بین طول‌های جغرافیایی ۵۴°۱۰' تا ۵۴°۴۵' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶°۴۴' تا ۳۶°۵۸' شمالی، در

سنجنده‌های قبلی TM/ETM پیشرفت کرده‌اند. تک باند حرارتی قبلی به دو باند حرارتی تقسیم می‌شود که اکنون باریک‌تر از قبلی هستند (۱۶).

داده‌های لندست به صورت رایگان در وبسایت USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>) و سایر تارنماها موجود است. در این مطالعه از داده‌های سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۱ (سنجنده TM لندست ۵)، ۲۰۰۲ (سنجنده ETM+ لندست ۷) و ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ (سنجنده OLI/TIRS لندست ۸) مربوط به شهر گرگان استفاده شده است. تاریخ و مشخصات تصاویر تهیه شده در جدول ۱ آمده است. ساعت رسمی ایران نسبت به زمان گرینویچ با توجه به تفاضل نصف‌النهار، به اضافه ۳:۳۰+ (یوتی‌سی (Coordinated Universal Time (UTC) ۳:۳۰+)) است که در نیمه دوم سال همین اعمال می‌شود و در نیمه اول سال خورشیدی با اعمال ساعت تابستانی یک ساعت به جلو کشیده شده و به اضافه ۴:۳۰+ (یوتی‌سی ۴:۳۰+) در نظر گرفته می‌شود.

تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI) داده‌ها را با وضوح فضایی ۳۰ متر در هشت باند در نواحی طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک (NIR) و امواج کوتاه مادون قرمز (SWIR) طیف الکترومغناطیسی و یک باند پانکروماتیک اضافی (PAN) با وضوح فضایی ۱۵ متر به دست می‌آورد. سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی (Thermal Infrared Sensor, TIRS) دارای دو باند طیفی در امواج مادون قرمز (LWIR) است. دو باند حرارتی (باند ۱۰ و باند ۱۱) دارای وضوح فضایی ۱۰۰ متری هستند که توسط USGS در ۳۰ متر نمونه‌برداری مجدد و منتشر می‌شوند. تصاویر لندست ۸ در واقع ۱۲ بیتی هستند که به صورت مصنوعی به شکل تصاویر ۱۶ بیتی ارائه می‌شوند و امکان توصیف بهتر وضعیت و شرایط پوشش زمین را فراهم می‌کنند. در مجموع وضوح فضایی اصلی باندهای حرارتی لندست از ۶۰ تا ۱۲۰ متر متغیر است، حتی اگر پیکسل‌ها در فاصله ۳۰ متری توسط USGS نمونه‌برداری مجدد شوند (۲۵). سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی جدید با داشتن دو باند حرارتی در پنجره اتمسفر بین ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر نسبت به

جدول ۱- اطلاعات مربوط به داده‌های لندست و پارامترهای جوی محاسبه شده (از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱)

منبع: (<https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>)

Table 1. Information about Landsat data and estimated atmospheric parameters (1989 to 2021). Ref: ogmet

ارتفاع (km)	$\tau$	UpRad	DownRad	Pres	RH (%)	$T_0$ (°C)	زمان و ساعت (UTC)	سنجنده
۰/۱۷۶	----	----	----	----	----	----	۱۹۸۹/۰۹/۰۷ ۰۶:۲۷:۴۳	لندست ۵ TM
۰/۱۷۶	۰/۴۳	۴/۶۵	۶/۶۹	۱۰۰۹/۲	۶۶/۱	۲۹/۰	۲۰۰۱/۰۸/۰۷ ۰۶:۴۱:۵۰	
۰/۱۷۶	۰/۴۹	۴/۲۴	۶/۱۹	۱۰۰۰/۸	۷۶/۵	۲۷/۹	۲۰۰۲/۰۷/۱۷ ۰۶:۴۹:۵۱	لندست ETM+۷
۰/۱۷۶	۰/۵۶	۳/۶۶	۵/۵۴	۱۰۱۰/۳	۶۲/۶	۲۷/۰	۲۰۱۳/۰۸/۰۸ ۰۷:۰۳:۳۲	لندست TIRS/OLI۸
۰/۱۷۶	۰/۵۴	۴/۰۹	۶/۱۷	۱۰۰۸/۷	۶۲/۷	۳۲/۲	۲۰۲۱/۰۸/۱۴ ۰۷:۰۱:۴۰	

$$L_{\lambda} = \left[ \frac{LMAX_{\lambda} - MIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right] \times Q_{CAL} - Q_{CALMIN} + MIN_{\lambda} \quad [1]$$

که در آن:  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی بالای اتمسفر (TOA) ( $Watts/(m^2.srad.\mu m)$ ) مقدار پیکسل کالیبره شده کوانتیزه شده DN.

$LMIN_{\lambda}$  ( $Watts/(m^2.srad.\mu m)$ ) بر اساس فایل فراداده لندست (لندست ۵ =  $15/303$ ) و (لندست ۷ =  $17/040$ )  $LMAX_{\lambda}$  ( $Watts/(m^2.srad.\mu m)$ ) بر اساس فایل فراداده لندست (لندست ۵ =  $1/238$ ) و (لندست ۷ = ۰) و مقادیر  $LMAX$ ،  $LMIN$ ،  $QCALMAX$  و  $QCALMIN$  از فراداده داده‌های لندست به دست می‌آیند.

مقادیر رادیانس برای لندست ۸ را می‌توان از رابطه ۲ به دست آورد (۳۴):

$$L_{\lambda} = M_L \cdot M \cdot Q_{CAL} + A_L \quad [2]$$

که در آن  $L$  رادیانس طیفی TOA برحسب ( $Watts/m^2$ )  $sr \mu m$  است و  $ML$  و  $AL$  از فایل فراداده لندست ۸ به دست می‌آیند.

#### دمای روشنایی (BT) Brightness Temperature

دمای روشنایی دمای جسم سیاهی است که مقدار یکسانی از تابش را در یک طول موج معین ساطع می‌کند و می‌توان آن را با معکوس کردن تابع پلانک محاسبه کرد. در واقع دمای روشنایی تابش الکترومغناطیسی است که از بالای جو زمین به سمت بالا حرکت می‌کند. پس از تبدیل رادیانس، تصویر دمای روشنایی را می‌توان با رابطه ۳ برای تمام مأموریت‌های لندست تولید کرد (۲۶).

$$BT = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad [3]$$

BT دمای روشنایی مؤثر در سنجنده برحسب کلوین،  $K1$  و  $K2$  مقادیر ثابت کالیبراسیون باندهای حرارتی برای تصاویر ماهواره‌های لندست است که از فایل فراداده لندست به دست می‌آیند (جدول ۲).  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی بالای اتمسفر ( $W/(m^2 sr \mu m)$ ) است.

دمای نزدیک سطح زمین ( $T_0$ ) - رطوبت نسبی (RH) - فشار (Pres) - رادیانس بالارونده (DownRad)، رادیانس پایین‌رونده (UpRad)، انتقال اتمسفر ( $\tau$ ) - مسیر-ردیف: ۱۶۳-۰۳۴ داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی فرودگاه و هاشم‌آباد گرگان در سامانه درخواست و فروش داده‌های سازمان هواشناسی (<https://data.irimo.ir/withoutlogin/index.aspx>) و همچنین وب سایت جهانی هواشناسی (<https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>) برای ساعت و تاریخ‌های تصاویر اخذ شده از منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

#### رابط کاربری نرم‌افزار

با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون یک رابط کاربری به‌منظور محاسبه LST برای داده‌های لندست تهیه شد. اکثر نرم‌افزارهای پردازش تصویر به مراحل پیچیده‌ای برای محاسبه LST نیاز دارند. ابزارهایی نیز پیش از این تهیه شده‌اند که به صورت افزونه یا جعبه‌ابزار تحت نرم‌افزارهای دیگری اجرا می‌شوند. در این میان می‌توان به جعبه‌ابزار متن‌باز تهیه شده در محیط Arc Map برای بازیابی LST از لندست با الگوریتم‌های بازیابی و مدل‌های انتشار مختلف (۲۵) و افزونه متن‌باز PyQGIS (۱۴) اشاره نمود. باین وجود برنامه‌ای که به‌طور مستقل در این زمینه وجود ندارد. بنابراین به‌منظور ساده‌سازی فرآیندهای عملیاتی به یک مدل مستقیم و کاربردی نیاز است. این برنامه قابلیت این را دارد که کاربر از مدل توان گسیلمندی سطح زمین (Land Surface Emissivity, LSE) خود نیز استفاده نماید.

#### پارامترهای مورد نیاز برای بازیابی LST

رادیانس (تابش) طیفی (Spectral Radiance) با در نظر گرفتن داده‌های ماهواره‌ای، مقادیر پیکسل مادون‌قرمز حرارتی ابتدا از مقادیر عدد رقومی (Digital Number (DN)) به رادیانس تبدیل می‌شوند. رادیانس باند حرارتی برای لندست ۵ و ۷ ( $ETM^+ - TM$ ) با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید (۲۵):

جدول ۲ - ثابت‌های کالیبراسیون باندهای حرارتی برای تصاویر ماهواره‌های لندست (۳۴)

Table 2. Thermal band calibration constants for Landsat satellites (34)

K1 (Watts/(m <sup>2</sup> sr.μm))	K2 (Kelvin)	ماهواره
۶۰۷/۷۶	۱۲۶۰/۵۶	لندست ۵ (باند ۶)
۶۶۶/۰۹	۱۲۸۲/۷۱	لندست ۷ (باند ۶)
۷۷۴/۸۹	۱۳۲۱/۰۸	لندست ۸ (باند ۱۰)
۴۸۰/۸۹	۱۲۰۱/۱۴	لندست ۸ (باند ۱۱)

نشان می‌دهد. در این مطالعه منطقه تابستانی عرض جغرافیایی میانی (Mid-latitude summer) برای محاسبه در نظر گرفته شد.

میانگین دمای مؤثر اتمسفر (Mean Effective Atmospheric Temperature) جدول ۳ معادلات عملی را برای محاسبه میانگین مؤثر دمای اتمسفر (Ta) با استفاده از دمای نزدیک به سطح (To) را

جدول ۳- تخمین متوسط دمای اتمسفر مؤثر (Ta) با استفاده از دمای هوای نزدیک به سطح (To) (۲۵).

Table 3. Estimating the effective mean atmospheric temperature Ta using the near surface air temperature (25).

معادلات روابط خطی	پروفیل‌های جوی
$Ta = 17.9769 + 0.9172 \times T0$	مدل گرمسیری (Tropical model)
$Ta = 16.0110 + 0.9262 \times T0$	تابستانی عرض جغرافیایی میانی (Mid-latitude summer)
$Ta = 19.2704 + 0.9112 \times T0$	زمستانی عرض جغرافیایی میانی (Mid-latitude winter)

جهانی جوی مدل‌سازی شده از مراکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) برای تاریخ، زمان و مکان خاص به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند (۲).

مقادیر پارامترهای جوی به‌دست‌آمده برای ۵ تصویر در جدول ۱ آمده است. در این جدول، پارامترهای اتمسفر شامل رادیانس بالارونده، رادیانس پایین‌رونده، انتقال اتمسفر با استفاده از محاسبه‌گر پارامتر تصحیح اتمسفر (ACPC) برای الگوریتم‌های تک پنجره (MWA)، تک کانال (SCA) و رابطه انتقال تابشی (RTE) آمده است.

محتوای بخارآب اتمسفر (Water Vapor Content) روش‌های مختلف برای تخمین محتوای بخارآب اتمسفر ( $w_i$ ) شرح داده شده است که در این مطالعه محتوای بخارآب با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، رطوبت نسبی (Relative Humidity) و دمای نزدیک به سطح ( $T_0$ ) از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود (۲۵).

قابلیت انتقال یا عبور اتمسفر (Atmospheric Transmittance ( $\tau$ ))، رادیانس بالارونده (Up welling) و رادیانس پایین‌رونده (Down welling) (Radiance) اداره کل ملی هوانوردی و فضای آمریکا، ناسا (National Aeronautics and Space Administration (NASA)) تصحیح اتمسفر، معروف به محاسبه‌گر پارامتر تصحیح اتمسفر (Atmospheric Correction Parameter Calculator (ACPC)) ارائه نموده که قابلیت انتقال یا عبور اتمسفر، رادیانس بالارونده و رادیانس پایین‌رونده را محاسبه می‌کند. امکان دسترسی برای استفاده از این ابزار تصحیح جوی از طریق به وب سایت عمومی (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) ایجاد شده است. تصحیح اثرات اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره‌ای برای کاربردهای سنجش‌ازدور کمی و چند زمانی ضروری است (۸). ماشین حساب پارامتر تصحیح اتمسفر از پروفایل‌های



و در حالت سوم ( $NDVI > 0.5$ )، پیکسل‌هایی با مقادیر شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی ( $NDVI$ ) بالاتر از  $0.5$  به عنوان مناطق کاملاً پوشیده شده با گیاه در نظر گرفته می‌شوند (رابطه ۵).

$$[5] \varepsilon_{\lambda} = \begin{cases} \varepsilon_{s\lambda}, NDVI < 0.2 \\ \varepsilon_{s\lambda} + (\varepsilon_{v\lambda} - \varepsilon_{s\lambda}) P_V, 0.2 \leq NDVI \leq 0.5 \\ \varepsilon_{v\lambda}, NDVI > 0.5 \end{cases}$$

$\varepsilon_s$  و  $\varepsilon_v$  به ترتیب نشان دهنده گسیلمندی پوشش گیاهی و خاک هستند.  $P_V$  که به عنوان شاخص پوشش گیاهی سبز کسری ( $FVC$ ) نیز نامیده می‌شود نسبت پوشش گیاهی است که به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$[6] P_V = \left[ \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2$$

که در موقعیت جهانی  $NDVI_{max} = 0.5$  و  $NDVI_{min} = 0.2$  است.

تصویر توان گسیلمندی سطح زمین ( $LSE$ ) برای لندست ۸ از رابطه ۷ محاسبه شد (۲۴):

$$[7] LSE = \varepsilon_s \times (1 - FVC) + \varepsilon_v \times FVC$$

تخمین تصویر توان گسیلمندی سطح زمین ( $LSE$ ) نیاز به مقدار گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی باندهای حرارتی دارد و این مقادیر گسیلمندی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مقادیر گسیلمندی برای باندهای حرارتی لندست (۲۴)

Table 4. LSE values for Landsat thermal bands (24)

باند ۱۱	باند ۱۰	باند ۶	گسیلمندی
۰/۹۷۷	۰/۹۷۱	۰/۹۹۴	گسیلمندی خاک ( $\varepsilon_s$ )
۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	۰/۹۸۰	گسیلمندی پوشش گیاهی ( $\varepsilon_v$ )

$T_s$  دمای سطح زمین،  $\varepsilon$  گسیلمندی سطح زمین،  $L_{sensor}$  رادیانس سنجنده برای باند حرارتی و  $\psi_1$ ،  $\psi_2$  و  $\psi_3$  توابع جوی هستند. دو پارامتر  $\gamma$  و  $\delta$  که وابسته به تابع پلانک هستند بر اساس معادله‌های ۹ به دست می‌آیند:

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

$$C_1 = 1.19104 \times 10^8 \text{ W/m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^4$$

[۹]

$$[4] \omega_i = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[ \frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{273.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times RH \right\} + 0.1697$$

که در آن:

$\omega_i$  ( $\text{g/cm}^2$ ) محتوای بخار آب و  $T_0$  دمای نزدیک سطح بر حسب کلوین است و  $RH$  (%) به رطوبت نسبی اشاره دارد. (۲۵).

توان گسیلمندی سطح زمین Land Surface Emissivity ( $LSE$ )

توان گسیلمندی سطح زمین ( $LSE$ ) را می‌توان از مقادیر آستانه شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index ( $NDVI$ )) با در نظر گرفتن سه مورد متفاوت از درصدها که در رابطه ۵ ارائه شده است، تخمین زد (۱۹ و ۲۴).

در حالت اول ( $NDVI < 0.2$ )، پیکسل به عنوان خاک برهنه در نظر گرفته می‌شود و گسیلمندی از مقادیر انعکاس در ناحیه قرمز به دست می‌آید.

در حالت دوم ( $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ ) پیکسل از مخلوطی از خاک لخت و پوشش گیاهی تشکیل شده است.

### روش‌های بازیابی LST

الگوریتم تک کانال (Single-Channel Algorithm (SCA)) را برای بازیابی LST از داده‌های سنجنده مادون قرمز حرارتی لندست (Landsat TIR) بر اساس رابطه ۸ استفاده می‌کنند (۵):

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

[۸]

۱۱/۵ میکرومتر است و برای باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ به ترتیب ۱۰/۹ و ۱۲ میکرومتر است (جدول ۵).

$C_2 = 14387.7 \mu m. K.$   
 که در آن:  $T_{sensor}$  دمای روشنایی سنجنده بر حسب کلون،  
 و  $\lambda$  طول موج مؤثر باند مادون قرمز حرارتی مورد استفاده  
 است. متوسط طول موج باند ۶ لندست‌های ۵ و ۷ به میزان

جدول ۵- مرکز طول موج باندهای حرارتی لندست

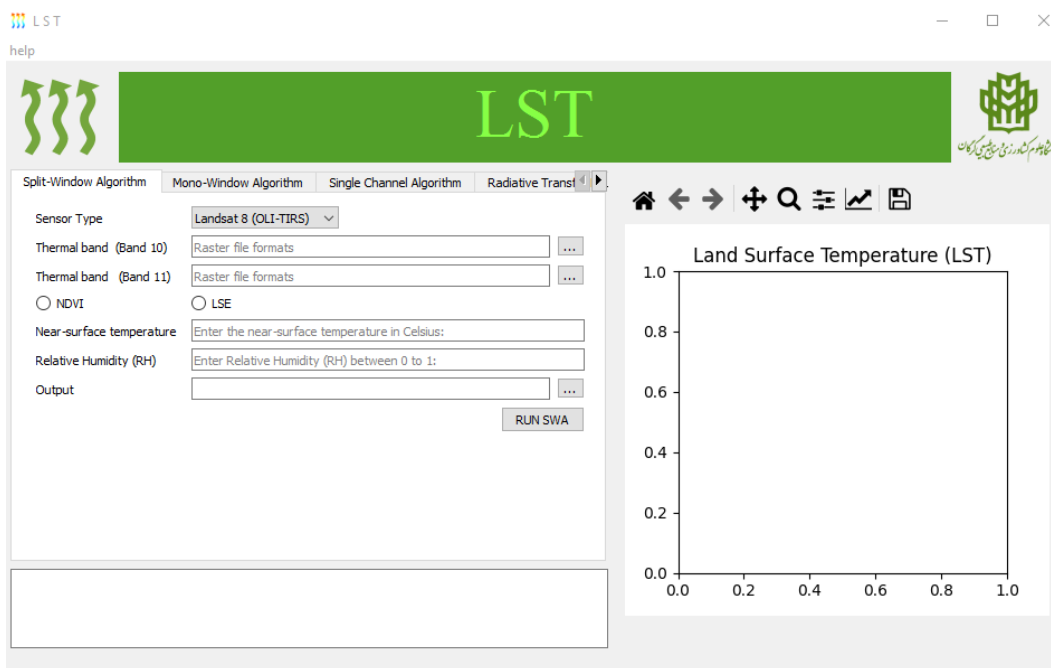
$\lambda_i$ ( $\mu m$ )	باند	ماهواره
۱۱/۴۵	۶	لندست ۴-۵-۷
۱۰/۸	۱۰	لندست ۸
۱۲	۱۱	لندست ۸

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

$$[10]\psi_2 = -1.1836\omega^2 - 0.3760\omega - 0.52894$$

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

$C_1$  و  $C_2$  ثابت‌های رابطه هستند. شکل ۱ رابط کاربری برای الگوریتم تک کانال را نشان می‌دهد. پارامترهای  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  را بر اساس معادله‌های ۱۰ می‌توان تخمین زد:



شکل ۱- رابط کاربری الگوریتم تک کانال

Fig. 1. User Interface for Single-Channel Algorithm

LST را می‌توان با اتخاذ الگوریتم تک پنجره (MWA) توسعه یافته کوئین (۲۲) برای به دست آورد (۲۵):

الگوریتم تک پنجره ( Mono Window Algorithm ) توسعه یافته کوئین (۲۲) برای به دست آورد (۲۵):

حسب کلونین،  $\tau$  انتقال اتمسفر،  $\epsilon$  گسیلمندی سطح زمین و  $a$  و  $b$  ثابت‌های الگوریتم هستند (جدول ۶)،  $C$  و  $D$  پارامترهای الگوریتم محاسبه شده با استفاده از مدل LSE و انتقال اتمسفر است. شکل ۲ رابط کاربری برای الگوریتم تک پنجره را نشان می‌دهد.

$$T_s = \{a \cdot (1 - C - D) + [b \cdot (1 - C - D) + C + [11]D] \cdot T_{10} - D \cdot T_a\} / C$$

$$a = -62.7182, b = 0.4339, C = \epsilon \times \tau, D = (1 - \tau)[1 + (1 - \epsilon) \times \tau]$$

که در آن:

$T_s$  دمای سطح زمین بر حسب کلونین،  $T$  دمای روشنایی در سنجنده بر حسب کلونین،  $T_a$  میانگین دمای مؤثر اتمسفر بر

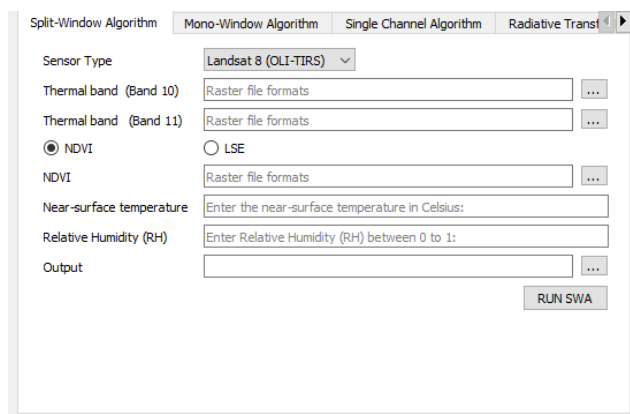
جدول ۶- ضرایب  $a$  و  $b$  الگوریتم تک پنجره (۲۵)

b (باند ۱۱)	a (باند ۱۰)	محدوده دمایی (°C)
۰/۴۵۸۱	-۷۰/۱۷۷۵	۲۰-۷۰
۰/۴۳۳۹	-۶۲/۷۱۸۲	۰-۵۰
۰/۴۰۸۶	-۵۵/۴۲۷۶	-۲۰ تا -۳۰

برای تخمین LST توسط الگوریتم تک پنجره، لازم است ضریب عبور اتمسفر  $\tau$  و مقدار بخار آب اتمسفر  $w$  تعیین شود. محتوای بخار آب اتمسفر را می‌توان با توجه به رطوبت و فشار جزئی بخار آب در هوا به دست آورد (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>).

$T_0$  دمای هوای نزدیک به سطح است که از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیکی (<https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>) به دست می‌آید.  $T_a$  میانگین دمای مؤثر اتمسفر بر حسب کلونین است که در این مطالعه بر اساس رابطه ۱۲ به دست می‌آید:

$$T_a = 16.01110 + 0.92621T_0(\text{Mid} - [12] \text{ latitude summer})$$



شکل ۲- رابط کاربری الگوریتم تک پنجره

Fig. 2. User Interface for Mono Window Algorithm (MWA)

پنجره جدیدتر که نیازی به پارامترهای جوی ندارد و از رابطه ۱۳ به دست می‌آید، استفاده شد (۲۳).

با توجه به عدم دسترسی به پارامترهای جوی مربوط به تصویر لندست ۱۹۸۹، برای بازیابی LST از یک الگوریتم تک

$\rho = \frac{hc}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mk$  مقدار ضریب  $\rho$   
 ۱۴۳۸۰  $\mu mk$  (h ثابت پلانک، c ثابت بولتزمن،  $\sigma$  سرعت نور)،  
 و  $\epsilon_\lambda$  مقدار گسیلمندی است. شکل ۳ رابط کاربری برای  
 الگوریتم تک پنجره را نشان می‌دهد.

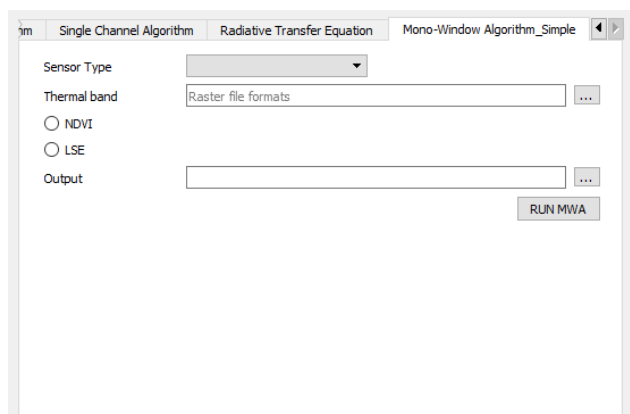
$$[13] LST(T_s) = BT / (1 + \lambda \times \left(\frac{BT}{\rho}\right) \times \ln(\epsilon_\lambda))$$

که در آن:

( $T_s$ ) دمای سطح زمین (K)،

BT دمای روشنایی دمای سطح زمین سنجنده (K)،

$\lambda$  طول موج رادیانس ساطع شده (۱۱/۵ میکرومتر)،



شکل ۳- رابط کاربری الگوریتم تک پنجره جدید

Fig. 3. User Interface for new Mono Window Algorithm

حل معکوس معادله انتقال تابشی (RTE) یک روش  
 مستقیم و مناسب‌ترین روش برای بازیابی LST با استفاده از  
 یک باند مادون قرمز حرارتی است. محاسبه رابطه انتقال تابشی  
 برای یک باند حرارتی خاص و در یک طول موج خاص ( $\lambda$ )  
 را می‌توان بر اساس رابطه ۱۴ به دست آورد (۷):

$$[14] L_\lambda^{sen} = [\epsilon B_\lambda(T_s) + (1 - \epsilon) L_\lambda^u] \tau + L_\lambda^d$$

که در آن:  $L_\lambda^{sen}$  رادیانس ثبت شده در سنجنده باند حرارتی  
 مربوطه (۶ و ۱۰) و  $B_\lambda$  رادیانس جسم سیاه است. بنابراین،  
 رادیانس ساطع شده برای یک جسم سیاه در دمای  $T_s$  را  
 می‌توان با وارونه کردن رابطه ۱۴ به دست آورد. بدین شکل،  
 رادیانس ساطع شده برای یک جسم سیاه در دمای  $T_s$  با  
 معکوس نمودن رابطه قبل و بر اساس رابطه ۱۵ به دست  
 می‌آید:

$$B_\lambda(T_s) = \frac{L_\lambda^{sen} - L_\lambda^d - \tau(1 - \epsilon)L_\lambda^u}{\tau\epsilon} \quad [15]$$

و در نهایت،  $T_s$  را می‌توان با معکوس کردن قانون پلانک  
 در رابطه قبل و بر اساس رابطه ۱۶ به دست آورد:

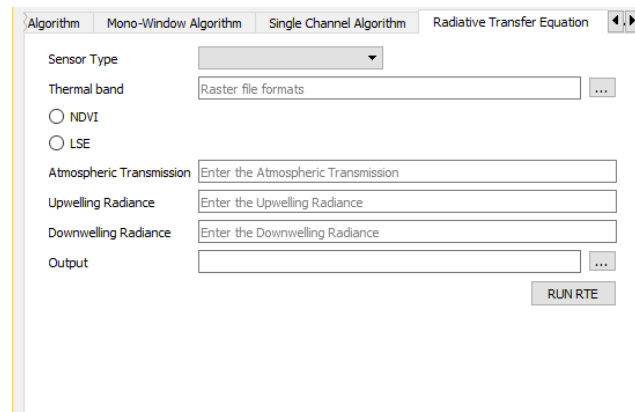
### الگوریتم رابطه انتقال تابشی ( Radiative Transfer Equation (RTE))

#### نادیده گرفتن تصحیح اتمسفری

تصحیح اثرات جوی بر روی تصاویر ماهواره‌ای نوری  
 برای کاربردهای سنجش از دور کمی و چند زمانی ضروری  
 است. منجر به خطاهای سیستماتیک در تخمین LST برای هر  
 جوی می‌شود. یکی از روش‌های پرکاربرد برای بازیابی LST با  
 تصحیح اتمسفری، روش مبتنی بر فیزیک معادله انتقال تابشی  
 است. این روش شامل یک وارونگی ساده از الگوریتم رابطه  
 انتقال تابشی برای یک باند خاص است و می‌تواند از لحاظ  
 نظری بازیابی LST دقیقی را ارائه دهد. روش رابطه انتقال  
 تابشی به اطلاعات پروفایل‌های جوی عمودی (دمای هوا،  
 بخار آب و فشار) نیاز دارد. این اطلاعات در مدل انتقال تابشی  
 برای محاسبه سه پارامتر اتمسفری لازم برای تصحیح اتمسفری  
 شامل انتقال اتمسفر، رادیانس بالارونده اتمسفر و رادیانس  
 پایین‌رونده اتمسفر معرفی می‌شود.

که در آن:  $K_1$  و  $K_2$  مقادیر ثابت‌های کالیبراسیون باندهای حرارتی برای تصاویر ماهواره‌های لندست است که از فایل فراداده لندست به دست می‌آیند. شکل ۴ رابط کاربری برای الگوریتم رابطه انتقال تابشی را نشان می‌دهد.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{\frac{L_{\lambda}^{sen} - L_{\lambda}^{\uparrow} - \tau(1-\epsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}}{\tau\epsilon}} + 1\right)} \quad [16]$$



شکل ۴- رابط کاربری الگوریتم رابطه انتقال تابشی

Fig. 4. User Interface for RTE

$T_i$  و  $T_j$  دمای روشنایی در سنجنده در باندهای پنجره مجزا  $i$  و  $j$  بر حسب کلونین،  $\epsilon$  متوسط گسیلمندی،  $\Delta\epsilon$  اختلاف گسیلمندی و  $w$  مقدار کل بخار آب اتمسفر ( $\text{g/cm}^2$ ) است.  $C_0-C_6$  ضرایب پنجره مجزا هستند که از داده‌های شبیه‌سازی شده تعیین می‌شوند. میانگین گسیلمندی و اختلاف گسیلمندی به صورت رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$\epsilon = 0.5(\epsilon_i - \epsilon_j) \quad \text{and} \quad \Delta\epsilon = (\epsilon_i - \epsilon_j) \quad [18]$$

مقادیر ضرایب الگوریتم پنجره مجزا در جدول ۶ آورده شده است (۲۰). شکل ۵ رابط کاربری برای الگوریتم پنجره مجزا را نشان می‌دهد.

الگوریتم پنجره مجزا ((Split-Window Algorithm (SWA)) معمولاً در پنجره اتمسفر بین ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر قرار دارند (۱۵). الگوریتم پنجره مجزا اثر اتمسفر را با استفاده از تفاضل جذب اتمسفری در دو باند مادون قرمز حرارتی مجاور با مرکز ۱۱ و ۱۲ میکرومتر حذف می‌کند و در نهایت ترکیب خطی یا غیرخطی دمای روشنایی را برای محاسبه LST اعمال می‌کند ساختار الگوریتم در رابطه ۱۷ ارائه شده است (۲۰):

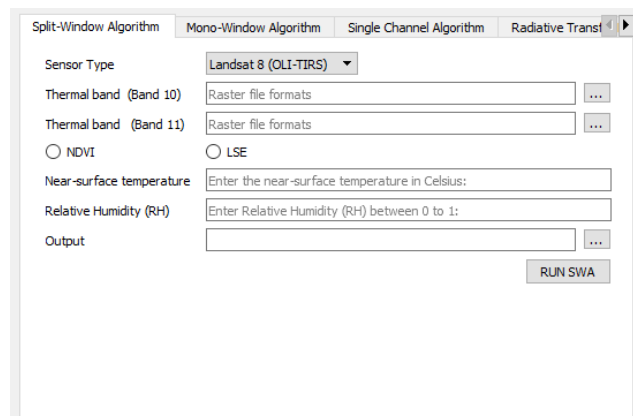
$$+c_0 + (c_3 + T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_4w) \quad [17]$$

که در آن:  $T_s$  دمای سطح زمین،

جدول ۷- ضرایب الگوریتم پنجره مجزا (۲۰)

Table 7. Split-window coefficient values (20)

ضریب	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0
مقدار	۱۶/۴۰۰	-۱۲۹/۲۰۰	-۲/۲۳۸	۵۴/۳۰۰	۰/۱۸۳	۱/۳۷۸	-۰/۲۶۸



شکل ۵- رابط کاربری الگوریتم پنجره مجزا

Fig. 5. User Interface for SWA

الگوریتم‌های پنجره مجزا به دلیل نیاز به دو باند مادون‌قرمز حرارتی تنها با داده‌های لندست ۸ مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۶ نقشه‌های LST تهیه شده با روش الگوریتم پنجره مجزا برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ نمایش می‌دهد.

محدوده تغییرات LST الگوریتم‌های پنجره مجزا در سال ۲۰۱۳ بین حداقل ۲۰/۹۸ تا ۵۴ درجه سانتی‌گراد و برای سال ۲۰۲۱ بین ۲۳/۴۸ تا ۵۸/۴۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود بالاترین دما در محدوده شهر و زمین‌های کشاورزی یا زمین‌های بایر و مقادیر پایین در مناطق جنگلی و پوشش گیاهی انبوه ثبت شده است. بررسی دقیق‌تر نحوه توزیع مکانی و زمانی دما نیازمند مطالعه بیشتر و مقایسه با نقشه‌های کاربری و شاخص‌های طیفی مختلف است.

با توجه به اینکه اطلاعات و پارامترهای جوی برای لندست ۱۹۸۹ موجود نبود، از یک الگوریتم پنجره مجزای ساده (۲۳) که نیازی به پارامترهای جوی ندارد برای محاسبه LST تنها برای این سال استفاده شد (شکل ۷).

### بررسی دقت

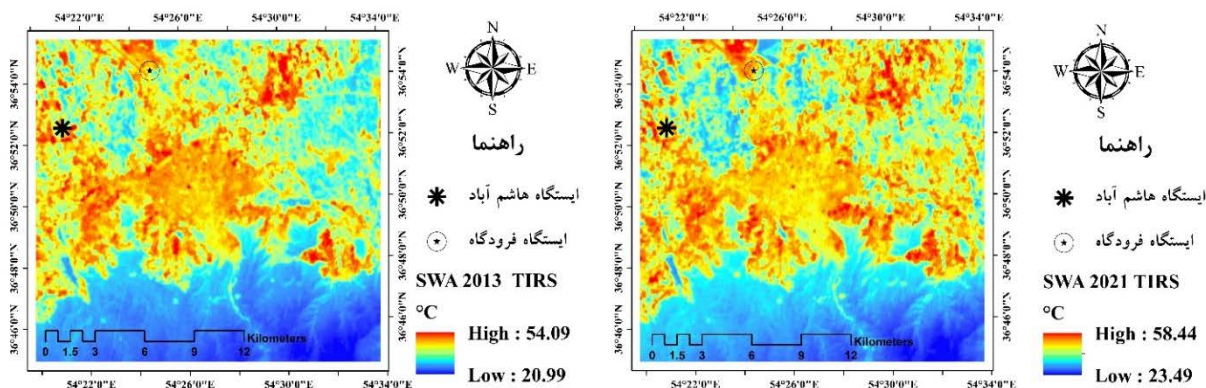
به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌ها با داده‌های ایستگاه هواشناسی از معیار آماری جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد. RMSE، یک معیار آماری پرکاربرد است که تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط یک مدل و مقادیر مشاهده شده را با هم مقایسه و ارزیابی می‌کند (۲۵).

در رابطه  $T_{satellite}$  و  $T_{station}$  به ترتیب LST محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای و LST مبتنی بر داده‌های ایستگاه هستند و  $n$  تعداد مشاهدات را نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(T_{satellite} - T_{station})^2}{n}} \quad [19]$$

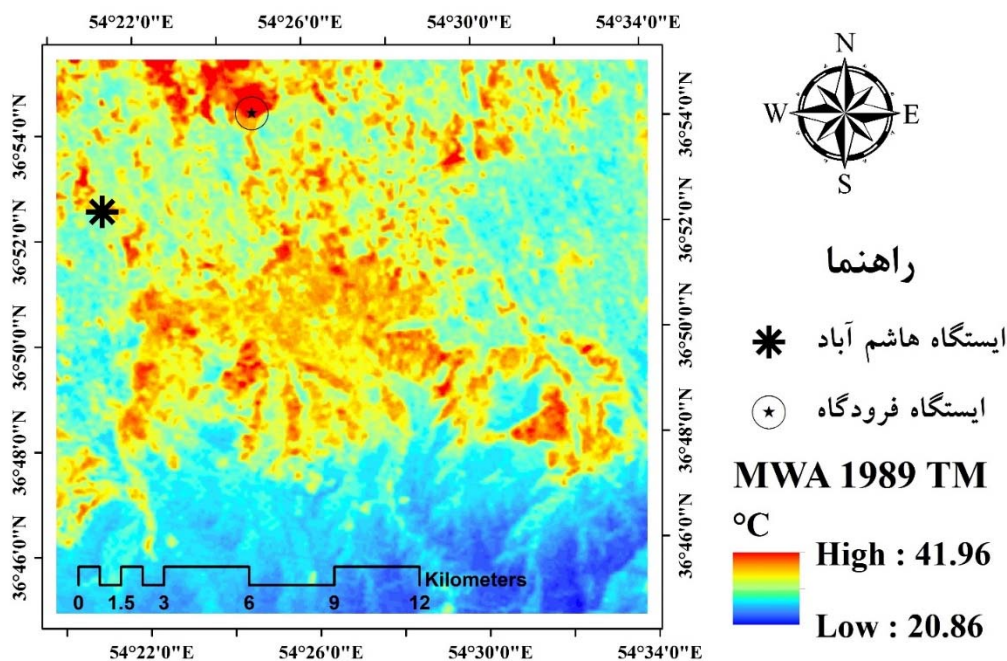
### نتایج

در این مطالعه، نقشه‌های LST برای شهر گرگان، ایران با استفاده از سنجنده‌های Landsat 5 TM، Landsat 7 ETM+ و Landsat 8 TIRS از ۵ تاریخ مختلف تهیه شد. در مجموع پنج الگوریتم شامل الگوریتم‌های پنجره مجزا، تک کانال، رابطه انتقال تابشی و دو الگوریتم مختلف تک پنجره بررسی شدند.



شکل ۶- الگوریتم پنجره مجزا سال ۲۰۱۳ (A) و ۲۰۲۱ (B) لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS

Fig. 6. Split-Window Algorithm for 2013 (A) and 2021 (B) using Landsat 8 OLI/TIRS

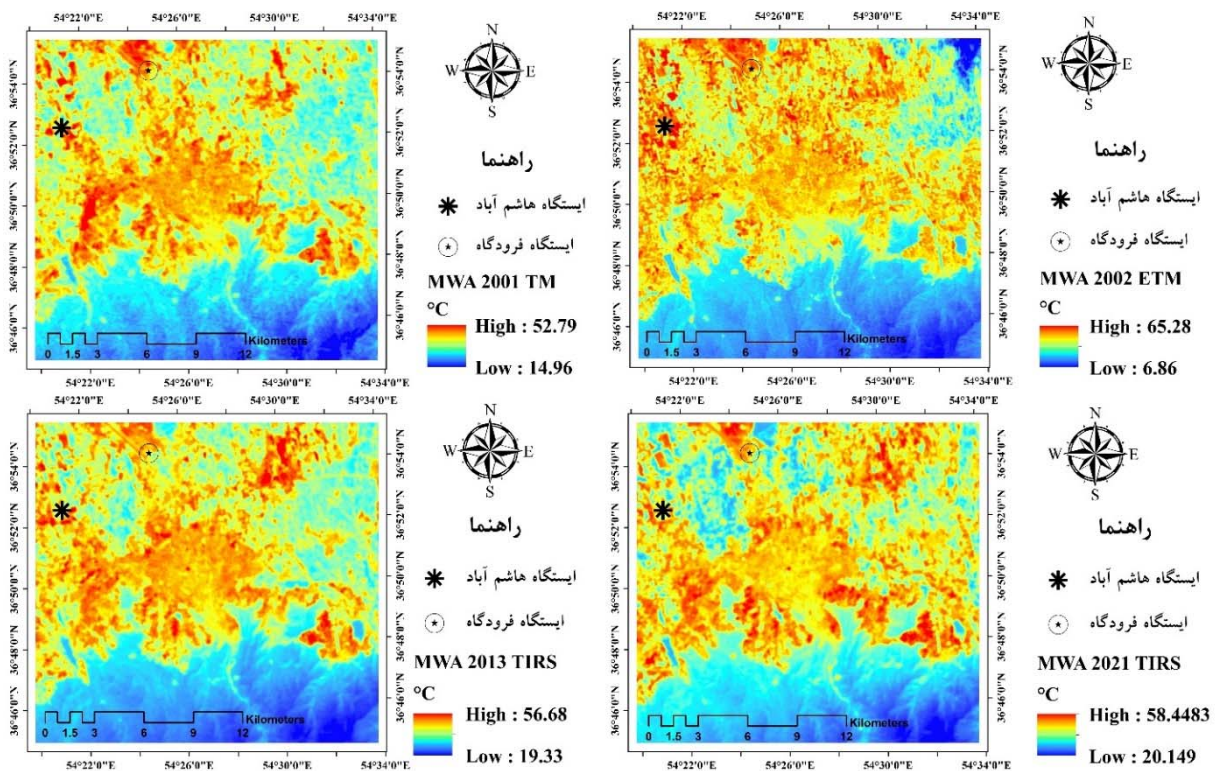


شکل ۷- LST به دست آمده از الگوریتم تک پنجره ساده- ۱۹۸۹ لندست ۵ سنجنده TM

Fig. 7. LST extracted using a simple MWA - 1989 Landsat 5 TM

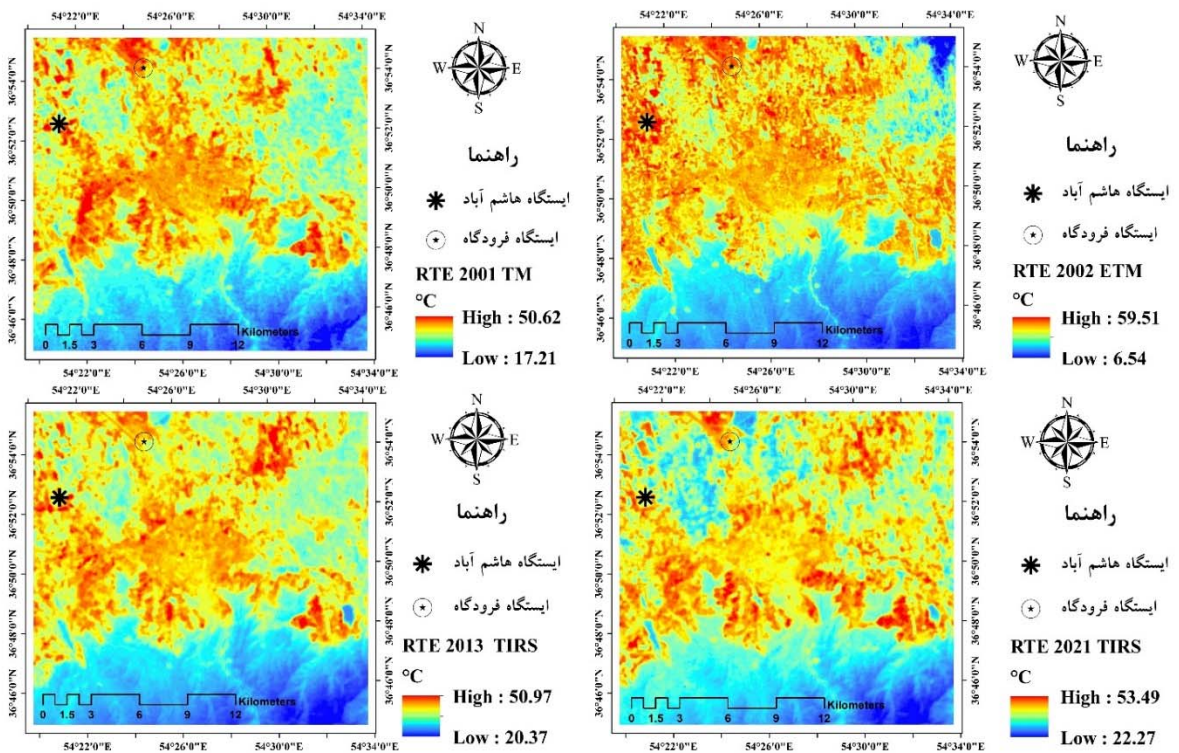
و ETM) برای تمامی تصاویر لندست سنجنده‌های TM, RTE) (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰) استفاده شدند OLI/TIRS

سایر الگوریتم‌ها شامل الگوریتم تک کانال (SCA)، الگوریتم تک پنجره (MWA) و الگوریتم رابطه انتقال تابشی



شکل ۸- LST به دست آمده از الگوریتم تک پنجره سال ۲۰۰۱ (A)، ۲۰۰۲ (B)، ۲۰۱۳ (C) و ۲۰۲۱ (D) لندست ۵، ۷ و ۸

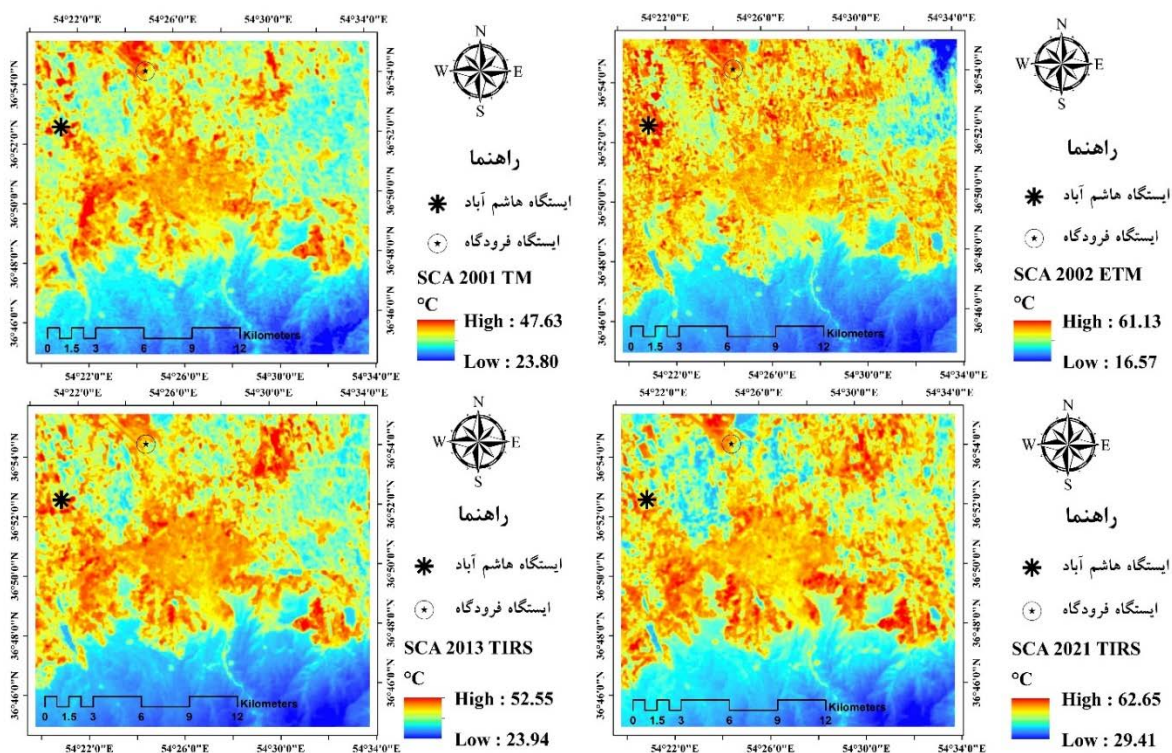
Fig. 8. LST extracted using the MWA for 2001 (A), 2002 (B), 2013 (C) AND 2021 (D) Landsat 5,7 & 8



شکل ۹ - LST به دست آمده از الگوریتم رابطه انتقال تابشی سال ۲۰۰۱ (A)، ۲۰۰۲ (B)، ۲۰۱۳ (C) و ۲۰۲۱ (D) لندست ۵، ۷ و ۸

Fig. 9. LST extracted using the RTE - 2001 (A), 2002 (B), 2013 (C) AND 2021 (D) Landsat 5,7 & 8





شکل ۱۰- LST به دست آمده از الگوریتم تک کانال سال ۲۰۰۱ (A)، ۲۰۰۲ (B)، ۲۰۱۳ (C) و ۲۰۲۱ (D) لندست ۵، ۷ و ۸

Fig. 10. LST extracted using the SCA - 2001 (A), 2002 (B), 2013 (C) AND 2021 (D) Landsat 5, 7 & 8

توپوگرافی و پوشش زمین، مختصات محدوده ایستگاه هواشناسی بعد از بررسی بر تصاویر گوگل ارث تعیین و به فایل های شیپ تبدیل شد و سپس LST موجود در پیکسل هایی که محدوده ایستگاه هواشناسی قرار داشت با مقدار دمای نزدیک سطح زمین اندازه گیری شده توسط ایستگاه هواشناسی مقایسه شد.

مقادیر پارامترهای جوی و مدل مورد استفاده در روش های بازیابی LST برای ۵ تصویر در جدول ۸ مشاهده می شود. داده های هواشناسی ایستگاه های سینوپتیک فرودگاه گرگان و هاشم آباد برای ارزیابی دقت مقادیر LST به دست آمده از سنجنده ها استفاده شد (جدول ۸). به منظور کاهش خطاهای احتمالی با تغییر دما از مکانی به مکان دیگر به دلیل تغییرات

جدول ۸- مقایسه مقادیر LST به دست آمده با روش های روش رابطه انتقال تابشی (RTE)، الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک پنجره (MWA) و الگوریتم تک کانال (SCA) با داده های ایستگاه هواشناسی

Table 8. Comparison between LST values using the MWA, SCA, RTE, and SWA with synoptic station data

SWA (C°)	SCA (C°)	RTE (C°)	MWA (C°)	ایستگاه هاشم آباد WHO Index: ۹۹۲۴۱	ایستگاه فرودگاه WHO Index: ۴۰۷۳۸	تاریخ	ماهواره
-	۳۹	۴۰	۴۰	۳۴/۴		۲۰۰۱/۰۸/۰۷	لندست ۵
-	۴۶	۴۳	۴۵	۳۵/۶		۲۰۰۲/۰۷/۱۷	لندست ۷
-	۱۲/۷۸	۱۱/۶۵	۸/۷۵		RMSE		
۴۰	۴۰	۳۷	۴۱		۳۴/۰	۲۰۱۳/۰۸/۰۸	لندست ۸

۳۷	۴۰	۳۷	۴۰	۳۲/۸	۲۰۱۳/۰۸/۰۸
۴۷	۵۲	۴۲	۴۵	۳۸/۵	۲۰۲۱/۰۸/۱۴
۴۲	۴۱	۳۸	۴۰	۳۳/۸	۲۰۲۱/۰۸/۱۴
۶/۹۴	۸/۹۷	۳/۷۵	۶/۷۳	RMSE	

رشته‌های مختلف از جمله محیط‌زیست، جغرافیا و سنجش‌ازدور، مطالعات اقلیم و هواشناسی، برنامه‌ریزی شهری و سایر زمینه‌های مرتبط بتوانند LST را برای منطقه مورد مطالعه خود بدون نیاز به داشتن نرم‌افزار دیگری به دست آورند. الگوریتم‌های مختلفی در زمینه تخمین LST توسعه داده شده است و هر یک از آن‌ها برخی از پارامترهای جوی را در محاسبات در نظر گرفته‌اند. در مطالعات در مناطق مختلف گاهی ممکن است هیچ اطلاعاتی از اندازه‌گیری زمینی برای انجام تصحیحات اتمسفری تصاویر و ارزیابی دقت نتایج در دسترس نباشد. بنابراین یک الگوریتم تک پنجره (۲۳) که نیازی به پارامترهای اتمسفری برای بازیابی LST ندارد برای این موارد در رابط کاربری تعبیه شده است.

با اجرای الگوریتم‌های مختلف و بررسی نتایج با داده‌های ایستگاه هواشناسی، کاربر می‌تواند مناسب‌ترین الگوریتم برای منطقه مورد مطالعه خود انتخاب نماید. همچنین این امکان وجود دارد تا کاربر از مدل توان گسیلمندی سطح زمین خود که با روش دیگری تهیه نموده است نیز استفاده نماید. به این ترتیب می‌توان مدل‌های مختلف را بررسی نمود و مقدار خطا را تا حد ممکن کاهش داد.

اعتبارسنجی LST بازیابی شده توسط ماهواره با استفاده از داده‌های زمینی به دلیل دشواری در تطابق دادن اندازه‌گیری‌ها با مقیاس پیکسل ماهواره و همچنین تغییرات زمانی و مکانی زیاد خود LST دشوار است (۲۸). مقایسه نتایج به دست آمده با داده‌های ایستگاه هواشناسی گرگان نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه معادله انتقال تابشی (RTE) و الگوریتم تک پنجره (MWA) نتایج نزدیک‌تری به داده‌های ایستگاه‌های انتخابی دارند. با این وجود، گفتن اینکه کدام روش در سطح جهانی

مختصات ایستگاه هواشناسی فرودگاه:  $54^{\circ} - 36^{\circ} 54.294'N$   $24.792'E$  (ارتفاع ۲ متر) - مختصات ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد:  $36^{\circ} 52.536'N - 54^{\circ} 21.176'E$  (ارتفاع  $13/3$  متر) بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نشان داد روش رابطه انتقال تابشی با مقدار خطای  $3/75$  و تک کانال با  $8/97$  درجه سانتی‌گراد خطا به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین دقت را برای لندست ۸ داشتند که هر دو نتایج قابل قبولی به حساب می‌آیند. دو الگوریتم تک پنجره و الگوریتم پنجره مجزا نیز نتایج قابل قبولی داشتند. اما در داده‌های لندست ۵ و ۷ بهترین نتایج مربوط به روش الگوریتم تک پنجره بود. مقادیر دمایی مورد استفاده در ارزیابی دقت، دمای نزدیک به سطح زمین اندازه‌گیری شده از ایستگاه هواشناسی است و دمای واقعی زمین نیست. این دماها در ارتفاع تا دو متر از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شوند. علاوه بر این تفاوت در نتایج ممکن است به دلیل خطاهای ناشی از شبیه‌سازی پارامترهای جوی، تخمین بخار آب اتمسفر و یا تخمین توان LSE باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

نقشه‌های LST در این مطالعه با استفاده از ۵ الگوریتم شامل الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک کانال (SCA)، رابطه انتقال تابش (RTE) و الگوریتم تک پنجره (MWA) برای تمامی سنجنده‌های تصاویر لندست در زمان‌های مختلف محاسبه شد.

یک الگوریتم تک پنجره (۲۳) نیز تنها برای سال ۱۹۸۹ استفاده شد. رابط کاربری منبع باز "LST" برای بازیابی LST با الگوریتم‌های مختلف با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده است و این امکان را فراهم می‌کند تا کاربران

عدم قطعیت بیشتری نسبت به باند ۱۰ بود، زیرا بیشتر تحت تأثیر جذب بخار آب قرار می‌گیرد و بنابراین نسبت به خطاهای پروفایل جوی حساس‌تر است (۳۶).

LST تحت تأثیر عوامل زیادی مانند ریزگردها و هواویزها، پوشش زمین و چیدمان شهر قرار دارد (۲۰). الگوریتم‌های مختلف با در نظر گرفتن دمای نزدیک به سطح و محتوای بخار آب و سایر پارامترهای جوی LST را محاسبه می‌کنند. مرور مطالعات نشان داد نمی‌توان به‌طور قطع یک روش را به عنوان بهترین روش در سطح جهان انتخاب نمود، اما می‌توان با مقایسه الگوریتم‌های مختلف در هر منطقه و نیز با استفاده از مدل‌های مختلف تخمین توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) برای به حداقل رساندن خطاها، روش ارجح برای بازیابی LST را بسته به هدف و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه خود انتخاب کرد. رابط کاربری ارائه شده ابزار قدرتمندی برای محققان و متخصصان دستگاه‌های اجرایی فراهم می‌کند تا در تحقیقات خود و به ویژه توسعه شهرها ابعاد تغییرات گرمای محیط را در سری‌های زمانی و بر اساس کاربری‌های مختلف با سرعت بیشتری پایش نمایند.

این مطالعه دارای برخی محدودیت‌ها بود. رابط کاربری ارائه شده تنها برای تعدادی از الگوریتم‌ها و تصاویر لندست طراحی شده است؛ بنابراین، در تحقیقات آتی می‌توان این رابط کاربری را گسترش داد و استفاده از داده‌های ترکیبی از ماهواره‌های مختلف و مدل‌های پیشرفته‌تر برای اصلاح اثرات جوی و بهبود دقت تخمین‌های LST در مناطق با شرایط متغیر اقلیمی و محیط‌زیستی بررسی شود. این اقدامات می‌توانند به تحلیل دقیق‌تر دمای سطح زمین و تأثیرات آن در محیط‌زیست و تغییرات اقلیمی کمک کنند. همچنین، یکی از محدودیت‌های استفاده از این رابط کاربری، دسترسی محدود کاربران به پارامترهای جوی است. با این حال، الگوریتم تک پنجره پیشنهادی تا حدی این مشکل را کاهش می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک راه‌حل برای کاهش تأثیرات کمبود داده‌های جوی مورد استفاده قرار گیرد.

بهترین است دشوار است، زیرا دقت پارامترهای ورودی تا حد زیادی بر عملکرد روش‌ها تأثیر می‌گذارد.

مقایسه و ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مختلف در برخی مطالعات مورد توجه قرار گرفته است. رونگالی و همکاران (۲۰۱۸)، نتایج دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره را بر اساس تصاویر لندست ۸ با هم مقایسه نمودند. آن‌ها محتوای بخار آب اتمسفر به عنوان یک پارامتر تأثیرگذار و مهم در نتایج LST معرفی کردند. محتوای بخار آب اتمسفر یک پارامتر حساس و خاص هر منطقه است که بر آب‌وهوا و دمای بالای سطح زمین تأثیر می‌گذارد و شرایط غالب در منطقه را بهتر نشان می‌دهد (۲۴). در الگوریتم پنجره مجزا از دو باند طیفی برای محاسبه گسیلمندی و دمای روشنایی به همراه محتوای بخار آب اتمسفر در بازیابی LST استفاده می‌شوند، درحالی‌که محتوای بخار آب اتمسفر در الگوریتم تک پنجره استفاده نمی‌شود (۲۴). از این رو الگوریتم پنجره مجزا قادر است شرایط میدان را با دقت بیشتری ثبت کند و نتایج بهتری را در مقایسه با الگوریتم تک پنجره در سطوح ناهمگن منطقه مورد مطالعه آشکارتر سازد (۲۵). پرور و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تغییرات کاربری منطقه شهری که نیاز به دقت و جزئیات بیشتری از تغییرات دمایی داشتند، نتایج قابل قبولی از SWA به دست آوردند (۲۰). ژو و همکاران (۲۰۲۳)، برای جلوگیری از تأثیر روش‌های مختلف بازیابی LST بر روی محصولات لندست، الگوریتم‌های مختلف تک پنجره، تک کانال و معادله انتقال تابشی را در منطقه مورد مطالعه خود مقایسه نمودند و نتایج بهتری را از معادله انتقال تابشی به دست آوردند (۳۲).

در مطالعه‌ای دیگر یو و همکاران (۲۰۱۴)، نتایج سه الگوریتم روش رابطه انتقال تابشی، پنجره مجزا و الگوریتم تک کانال را برای داده‌های لندست ۸ در مناطق مختلف با هم مقایسه نمودند. روش معادله انتقال تابشی مورد استفاده در این مطالعه دارای بالاترین دقت بود، درحالی‌که الگوریتم پنجره مجزا دارای دقت متوسطی داشت (۳۶). همچنین عملکرد باند ۱۰ و ۱۱ نیز در تمام الگوریتم‌ها مقایسه شد. باند ۱۱ دارای

## منابع مورد استفاده

1. Arabi Aliabad, F., Zare, M., & Ghafarian Malamiri, H. 2021. Comparison of the accuracy of daytime land surface temperature retrieval methods using Landsat 8 images in arid regions. *Infrared Physics & Technology*, 115, 103692. doi:<https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103692>
2. Barsi, J. A., Schott, J. R., Hook, S. J., Raqueno, N. G., Markham, B. L., & Radocinski, R. G. 2014. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. doi:10.3390/rs61111607
3. Cheng, J., Meng, X., Dong, S., & Liang, S. 2021. Generating the 30-m land surface temperature product over continental China and USA from landsat 5/7/8 data. *Science of Remote Sensing*, 4, 100032. doi:<https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100032>
4. Cheng, Y., Wu, H., Li, Z.-L., Göttsche, F.-M., Zhang, X., Li, X.,... Li, Y. 2025. A robust framework for accurate land surface temperature retrieval: Integrating split-window into knowledge-guided machine learning approach. *Remote Sensing of Environment*, 318, 114609. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114609>
5. Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J. C., Prakash, A., Mattar, C., Skoković, D., & Sobrino, J. A. 2018. An Improved Single-Channel Method to Retrieve Land Surface Temperature from the Landsat-8 Thermal Band. *Remote Sensing*, 10(3), 431. doi:10.3390/rs10030431
6. Dale, B., Dananto, M., & Kifle, B. 2025. Dynamics of land use land cover change and its effect on urban heat island in Halaba Kulito Town. *Heliyon*, 11(2), e41689. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41689>
7. Diaz, L. R., Santos, D. C., Käfer, P. S., Rocha, N. S., Costa, S. T., Kaiser, E. A., & Rolim, S. B. 2021. Land Surface Temperature Retrieval Using High-Resolution Vertical Profiles Simulated by WRF Model. *Atmosphere*, 12(11), 1436. doi:10.3390/atmos12111436
8. Doxani, G., Vermote, E. F., Roger, J.-C., Skakun, S., Gascon, F., Collison, A.,... Yin, F. 2023. Atmospheric Correction Inter-comparison eExercise, ACIX-II Land: An assessment of atmospheric correction processors for Landsat 8 and Sentinel-2 over land. *Remote Sensing of Environment*, 285, 113412. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113412>
9. Ebrahimi, A., Motamedvaziri, B., Nazemosadat, S. M. J., & Ahmadi, H. 2020. Assessing the relationship between land surface temperature with vegetation and water area change in Arsanjan county, Iran. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(4), 65-86. doi:[doi:dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.4.4](https://doi.org/10.1016/j.jrnat.2020.11.004). (In Persian).
10. Fekrat, H., Asghari Saraskanrood, S., & Alavipanah, S. K. 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. doi:dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.6.6. (In Persian).
11. García-Santos, V., Cuxart, J., Martínez-Villagrasa, D., Jiménez, M. A., & Simó, G. 2018. Comparison of three methods for estimating land surface temperature from landsat 8-tirs sensor data. *Remote Sensing*, 10(9), 1450.
12. Guo, A., Yang, J., Sun, W., Xiao, X., Xia Cecilia, J., Jin, C., & Li, X. 2020. Impact of urban morphology and landscape characteristics on spatiotemporal heterogeneity of land surface temperature. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102443. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102443>
13. Hurdud, A., Ermida, S. L., Trigo, I. F., & DaCamara, C. C. 2024. Importance of temporal dimension and rural land cover when computing surface urban Heat Island intensity. *Urban Climate*, 56, 102013. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102013>
14. 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:10.3390/rs8050413
15. Jimenez-Munoz, J., & Sobrino, J. A. 2008. Split-Window Coefficients for Land Surface Temperature Retrieval From Low-Resolution Thermal Infrared Sensors. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(4), 806-809. doi:10.1109/LGRS.2008.2001636
16. Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. 2014. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843. doi:10.1109/LGRS.2014.2312032
17. Kirner, D., Láska, K., & Stachoň, Z. 2024. Assessment and validation of Land Surface Temperature retrieval algorithms using Landsat 8 TIRS data in Antarctic ice-free areas. *Polar Science*, 42, 101127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.polar.2024.101127>
18. Malakar, N. K., Hulley, G. C., Hook, S. J., Laraby, K., Cook, M., & Schott, J. R. 2018. An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data: Methodology and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,

- 56(10), 5717-5735.  
doi:10.1109/TGRS.2018.2824828
19. Nugraha, A. S., Gunawan, T., & Kamal, M. 2019. Comparison of Land Surface Temperature Derived From Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS for Drought Monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 313, 012041. doi:10.1088/1755-1315/313/1/012041
20. Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. 2022. Effects of Land Use and Land Morphology on Land Surface Temperature: A Case Study for Bojnourd City, North Khorasan. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 118-138. doi:10.30495/girs.2022.1973023.2021. (In Persian)
21. Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. 2024. Enhancing decision-making for climate change mitigation and sustainable urban growth. *Urban Climate*, 58, 102223. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102223>
22. Qin, Z., Karnieli, A., & Berliner, P. 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-3746. doi:10.1080/01431160010006971
23. Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A., & Khosa, R. (2017). *A Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Estimation from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data* (Vol. 26).
24. Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., & Khosa, R. 2018. Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(2), 1-9. doi:10.1007/s41651-018-0021-y
25. Sekertekin, A., & Bonafoni, S. 2020. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. *Remote Sensing*, 12(2), 294. doi:10.3390/rs12020294
26. Tanjina Hasnat, G. N. 2022. Assessment of spatiotemporal distribution pattern of land surface temperature with incessant urban sprawl over Khulna and Rajshahi City Corporations. *Environmental Challenges*, 9, 100644. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100644>
27. Tanoori, G., Soltani, A., & Modiri, A. 2024. Machine Learning for Urban Heat Island (UHI) Analysis: Predicting Land Surface Temperature (LST) in Urban Environments. *Urban Climate*, 55, 101962. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101962>
28. Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Wang, Z., Yin, R.,... Cao, X. 2019. A radiance-based split-window algorithm for land surface temperature retrieval: Theory and application to MODIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76, 204-217.
29. Wang, Z., Zhou, R., & Yu, Y. 2025. The impact of urban morphology on land surface temperature under seasonal and diurnal variations: Marginal and interaction effects. *Building and Environment*, 272, 112673. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112673>
30. Xiang, Y., Zheng, B., Bedra, K. B., Ouyang, Q., Liu, J., & Zheng, J. 2023. Spatial and seasonal differences between near surface air temperature and land surface temperature for Urban Heat Island effect assessment. *Urban Climate*, 52, 101745. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101745>
31. Xu, C., Huang, Q., Haase, D., Dong, Q., Teng, Y., Su, M., & Yang, Z. 2024. Cooling Effect of Green Spaces on Urban Heat Island in a Chinese Megacity: Increasing Coverage versus Optimizing Spatial Distribution. *Environmental science & technology*, 58(13), 5811-5820.
32. Xu, X., Pei, H., Wang, C., Xu, Q., Xie, H., Jin, Y.,... Xiao, C. 2023. Long-term analysis of the urban heat island effect using multisource Landsat images considering inter-class differences in land surface temperature products. *Science of The Total Environment*, 858, 159777. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159777>
33. Yang, J., Zhou, J., Götsche, F.-M., Long, Z., Ma, J., & Luo, R. 2020. Investigation and validation of algorithms for estimating land surface temperature from Sentinel-3 SLSTR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102136>
34. Yeneneh, N., Elias, E., & Feyisa, G. L. 2022. Detection of land use/land cover and land surface temperature change in the Suha Watershed, North-Western highlands of Ethiopia. *Environmental Challenges*, 7, 100523. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100523>
35. Yu, P., Zhang, L., & Yu, P. 2024. The marginal effect of landscapes on urban land surface temperature within local climate zones based on optimal landscape scale. *Urban Climate*, 57, 102110. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102110>
36. 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:10.3390/rs6109829



## A Python-Based Application for Retrieving Land Surface Temperature (LST) from Landsat Imagery

Zahra Parvar<sup>1</sup>, Abdolrassoul Salmanmahiny<sup>2\*</sup>

Received: 2022-11-28 / Accepted: 2023-01-16 / Published: 2025-07-22

### Abstract

LST (land surface temperature) derived from thermal infrared remote sensing images is directly related to land use and land cover changes. Remote sensing, as an irreplaceable method to obtain LST at global and regional scales, enables effective monitoring of LST with Spatio-temporal continuity. LST helps in separating urban areas from bare areas and improves land use/cover generation through classification of remotely sensed imagery. In this study, a Python-based user interface was developed to make land surface temperature retrieval easier and faster. LST can be retrieved by inputting required parameters in different methods such as Single Channel Algorithm (SCA), Radiative Transfer Equation (RTE) method, Split Window Algorithm, and two Mono Window Algorithms (MWA), from Landsat missions (Landsat 5, 7, and 8).

Comparing the results in this study showed that RTE and SCA with root mean square error (RMSE) equal to 3.76 and 8.97 degrees Celsius had the highest and lowest accuracy. LST is affected by atmospheric particulate matter, land cover and urban morphology. Various methods of LST retrieval consider surface temperature, water vapor and other atmospheric factors. The developed user interface helps researchers and managers in monitoring land surface temperature change through time as affected by land use/cover, especially urban land use.

### Statement of the Problem:

Land surface temperature (LST) is generally defined as the sensed temperature of the ground. Satellite images can be used for the calculation of LST values, which are measured in degree Celsius. LST derived from satellite remotely-sensed thermal infrared imagery is a crucial factor when studying the impacts of land use and land cover (LULC) changes such as urban thermal patterns. LST is affected by or depends on many variables, including the type of land surface, atmospheric conditions, surface moisture, and illumination; thus, it is challenging to obtain in-situ LSTs that are representative of large regions. However, thermal infrared remote sensing offers wide coverage and enables regular revisits of sites at

Zahra Parvar<sup>1</sup>, Abdolrassoul Salmanmahiny<sup>2\*</sup> (✉)

1. PhD. Student of Environmental Science and Engineering, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2. Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

DOI: 10.30495/girs.2023.1973819.2025

e-mail: mahini@gau.ac.ir

regional and global scales. The spectral radiance measured by the TIR sensors on board satellites is affected not only by the surface parameters (temperature and emissivity) but also by the composition and structure of the atmosphere (especially water vapor). Thus, for proper use of TIR remote sensing data in temperature research applications, these atmospheric effects must be eliminated. In general terms, the atmospheric correction is inclusion of the top-of-the-atmosphere (TOA) conditions in ground-level measurements. Neglecting the atmospheric correction leads to systematic errors in the LST estimation for any atmosphere.

**Purpose:** Since atmospheric effects and emissivity are two fundamental factors to derive LST from thermal data, different approaches have been developed according to various data sources. These algorithms are named considering the number of TIR bands used. For example, single-channel or mono-window algorithms use only one TIR band. However, split window or multi-channel methods include more than one TIR band. The purpose of this study was to develop a python-based user interface to make land surface temperature retrieval easier and faster. Using this user-interface, LST can be retrieved from Landsat missions (Landsat 5, 7, and 8) by entering required parameters in different methods such as Single Channel Algorithm (SCA), Radiative Transfer Equation (RTE) method, Split Window Algorithm, and two Mono Window Algorithms (MWA).

**Methodology:** In this study, five images from the Landsat 5, 7, and 8 series were utilized for LST retrieval. The data for the years 1989 and 2001 (Landsat 5 TM), 2002 (Landsat 7 ETM+) and 2013 and 2021 (Landsat 8 OLI/TIRS) were used for Gorgan, a city in the north east of Iran. Meteorological data were obtained from Gorgan airport and Hashemabad synoptic station and the ogmet website in hourly basis. Using Python programming language (Python 3.7) a program was developed to calculate LST for Landsat data. Most image-processing software need complex procedures to estimate LST, which limits the application of LST. Therefore, in order to simplify the operational processes, a direct and practical model was developed. Additionally, it is possible to apply land surface emissivity (LSE) image

generated by a different model. Using the interface, LST can be retrieved by inputting the required parameters in different methods such as Single Channel Algorithm (SCA), Radiative Transfer Equation (RTE) method, Split Window Algorithm, and two Mono Window Algorithms (MWA), from Landsat missions (Landsat 5, 7, and 8). The main differences among these methods are their mathematical formulations and input parameters. While all of the methods can be applied to TM, ETM+ and OLI/TIRS data of Landsats 5, 7 and 8, the SWA is suitable only to Landsat 8 OLI/TIRS data, since it requires at least two TIR bands. Sometimes there may be no ground measurements available to perform atmospheric correction, accuracy assessment and LST retrieval. In such cases, a mono-window algorithm that does not require atmospheric variables for LST retrieval was considered. The Root Mean Square Error (RMSE) was used to compare the results of the algorithms based on weather station data. RMSE is a widely used statistical measure that compares the difference between the predicted values of a model and the observed values.

**Results and discussion:** This study revealed that all algorithms can be used in the estimation of LST from TM, ETM+ and TIRS belonging to Landsat's 5, 7 and 8. Meteorological parameters significantly influence algorithm selection. A mono-window algorithm that does not require atmospheric variables during the satellite overpass time was used for the year 1989. The findings showed that the spatial variation of the LST retrieved by the algorithms was almost the same, and the surface temperature of the urban area was significantly higher than that of the suburbs. All algorithms were shown to be able to recover LST pretty satisfactorily, and the results were applicable to various studies. Comparing the results in this study showed that RTE and SCA with root mean square error (RMSE) equal to 3.76 and 8.97 degrees Celsius had the highest and lowest accuracy respectively. The differences in the results may be due to the errors originating from the simulation of atmospheric parameters, estimation of LSE as well as errors of the estimation of atmospheric water vapor. It should also be noted that the temperature values used in the accuracy assessment were "near surface temperatures" measured from the

meteorological stations which were somehow different than the actual temperatures of the ground. These temperatures are measured at a height of two meters above the ground.

**Conclusion:** This paper introduced a Python-based user interface for computation of Land surface temperature. Four Land surface temperature retrieval algorithms (RTE, SCA, and two MWA) were evaluated using Landsat 5 TM, 7 ETM+, and 8 OLI/TIRS data, and additionally, SWA were assessed for Landsat 8 OLI/TIRS data. LST is affected by atmospheric particulate matter, land cover and urban morphology. Various methods of LST retrieval consider surface temperature, water vapor and other atmospheric factors. The selection

of algorithms for retrieving the LST, the acquisition of algorithm input parameters, and the verification of the results are problems in need of further studies. The presented user interface provides a powerful tool for researchers and relevant institutes to easily and quickly monitor the locations and dimensions of environment heat changes especially in urban areas.

**Keywords:** Remote sensing, Single Channel Algorithm, Radiative Transfer Equation, Split Window Algorithm, two Mono Window Algorithms.

**Please cite this article as:** Parvar, Zahra, Salmanmahiny, Abdolrassoul. (2025) .A Python-Based Application for Retrieving Land Surface Temperature (LST) from Landsat Imagery. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 16(1): 1-24.