

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

## تصاویر لندست

هرا پرور<sup>۱</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

ایران

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

Commented [1a]:  
مشخصات نویسنده یا نویسنده گان با فونت B Lotus 13 Bold

Formatted: Font: 13 pt, Complex Script Font: 13 pt

Formatted: Font: 13 pt, Complex Script Font: 13 pt

Formatted: Right-to-left

Formatted: Font: 13 pt, Complex Script Font: 13 pt

Formatted: Font: 13 pt, Complex Script Font: 13 pt

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

Commented [2a]: زیرنویس شود

### چکیده

دمای سطح زمین یا LST که از تصاویر **سنجش‌ازدور مادون‌قرمز** حرارتی به دست می‌آید، مستقیماً با تغییرات کاربری و پوشش زمین مرتبط است. **سنجش‌ازدور**، به‌عنوان یک روش غیرقابل جایگزین در مقیاس جهانی و منطقه‌ای، پایش مؤثر با تداوم مکانی-زمانی دمای سطح زمین را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین، تهیه تصاویر دمای سطح زمین 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 کاربری مبتنی بر پایتون توسعه داده شد که امکان بازیابی بسیار آسان و سریع‌تر دمای سطح زمین را فراهم می‌سازد. دمای سطح زمین 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. 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. دمای سطح زمین 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. این رابط کاربری به محققان و متخصصان اجرایی کمک می‌کند تا تغییرات حرارتی را در سری‌های زمانی و **براساس** کاربری‌های مختلف در مطالعات خود و به‌ویژه توسعه شهری پایش نمایند.

Deleted: سنجش از دور

Deleted: مادون قرمز

Deleted: سنجش از دور

Deleted: مورد نیاز

Deleted: بخار آب

Commented [2b]:  
ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تر عملکرد روش‌های مختلف بازیابی دما از تصاویر سنجش از دور، شامل توضیحات در مورد معیارهای ارزیابی مورد استفاده، نقاط قوت و ضعف هر روش و مقایسه با سایر روش‌ها، به دقت و کیفیت مطالعه افزوده خواهد شد.

• کاربردهای عملی: بیان کاربردهای عملی این روش‌ها در پایش تغییرات حرارتی و توسعه شهری و ارائه مثال‌های واقعی از کاربرد در مطالعات میدانی، به کاربردی بودن مطالعه کمک خواهد کرد.

Deleted: بر اساس

Deleted: سنجش از دور

**واژه‌های کلیدی:** **سنجش‌ازدور**، الگوریتم تک کانال، روش معادله انتقال تابشی، الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک پنجره.

**Commented [5]:** ۱. عدم ارجاع به منابع جدید: در مقدمه، اطلاعات ارائه شده بدون ارجاع به منابع قدیمی است. این اطلاعات از آن‌ها گرفته شده است، ارائه شده است. این موضوع می‌تواند اعتبار و قابلیت اطمینان مطالعه را کاهش دهد.

۲. عدم توضیح کافی درباره تابش طیفی و تصحیح اتمسفری: مطالعه‌ای که به توضیح مفاهیم مهمی مانند تابش طیفی و تصحیح اتمسفری پرداخته است، نیازمند توضیحات بیشتر و کامل‌تر است تا خواننده بتواند مطالب را به درستی درک کند.

۳. عدم بیان مشکلات موجود: در مقدمه به صورت کاملی به مشکلاتی که در استخراج دمای سطح زمین از داده‌های حرارتی ممکن است به وجود آید، اشاره نشده است. مطالعه‌ای که به بررسی یا حل این مشکلات نپردازد، قابلیت کاربردی کمتری دارد.

۴. اشاره به هدف مطالعه: مقدمه نباید فقط اطلاعات عمومی را ارائه دهد بلکه باید به وضوح هدف و اهمیت مطالعه را نیز بیان کند. در این مقدمه، هدف از ارائه رابط کاربری LST مطرح شده است اما به طور کامل و به وضوح توضیح داده نشده است.

۵. عدم توضیح درباره منطقه مورد مطالعه: اطلاعات کافی درباره منطقه مورد مطالعه ارائه نشده است که این اطلاعات می‌توانست به درک بهتر مطالعه کمک کند. این

متن اصلی: [5] Commented  
دو ستونه با تورفتگی نیم سانت پاراگراف بندی شود  
اصلاح انواع خطاهای نگارشی با نرم افزار ویراستیار انجام گیرد  
<https://virastyar.ir/>

**Deleted:** آن که... به درجه سانتی گراد یا کلونین اندازه گیری می‌شود می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد (۲۰). دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز مادون

قرمز... حرارتی سنسجش از دور سنسجش از دور... مشتق می‌شود و یک متغیر مهم آب و هوایی برای درک تأثیرات کاربری و پوشش زمین (LULC) است (۶). در سال‌های سال‌های... اخیر

نیاز به داده‌های داده‌های... دمای سطح زمین جهت برنامه‌ریزی برنامه ریزی... و مدیریت سرزمین آن را به یکی از

**Deleted:** سنسجش های... حرارتی روی ماهواره‌ها نه تنها تحت تأثیر پارامترهای سطح (تابش و دما) بلکه تحت تأثیر ترکیب و ساختار جو (عمدتاً بخار آب) نیز قرار

می‌گیرد؛ بنابراین، اثرات جوی نام‌برده‌ها... باید برای استفاده مناسب از داده‌های سنسجش از دور سنسجش از دور... مادون قرمز مادون قرمز... حرارتی (Thermal Infrared)،

تصحیح شوند حذف دما تحقیقاتی های در برنامه (TIR) (طوری که) Atmospheric Correction (اتمسفرفه طور کلی...)

## مقدمه

دمای سطح زمین (LST) را می‌توان به عنوان دمای محسوس زمین تعریف کرد و برای محاسبه مقادیر آن که به درجه سانتی گراد یا کلونین

اندازه‌گیری می‌شود می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد (۲۰). دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز حرارتی

سنسجش از دور مشتق می‌شود و یک متغیر مهم آب و هوایی برای درک تأثیرات کاربری و پوشش زمین (LULC) است (۶). در سال‌های

اخیر نیاز به داده‌های دمای سطح زمین جهت برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین آن را به یکی از موضوعات علمی مهم تبدیل نموده است

(۷). تخمین دمای سطح زمین در مناطق وسیع و نظارت مؤثر با تداوم مکانی-زمانی تقریباً غیرممکن است (۱۳)، اما سنسجش از دور راهی

مؤثر برای به دست آوردن دمای سطح زمین در مقیاس جهانی و منطقه‌ای فراهم می‌نماید (۲). ماهواره‌های سنسجش از دور دارای مزیت

پوشش گسترده و توانایی انجام بازبینی منظم یک منطقه هستند (۲۴). با این حال، تمام سکوها سنسجش از دور دارای باندهای حرارتی

مادون قرمز روی سنسجش خود نیستند. برخی از سکوها با باندهای مادون قرمز حرارتی عبارت‌اند از سکوی سازمان ملی اقیانوسی و جوی

(NOAA)، تابش سنسج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS)، ماهواره زمینی (Landsat) و رادیومتر پیشرفته فضا برد بازتابی

و گسیل گرمایی (ASTER) (۱۴). یک تصویر مادون قرمز حرارتی با توجه به منبع تصویر می‌تواند دارای وضوح فضایی بالا، متوسط

یا پایین باشد. به عنوان مثال وضوح اطللس (ATLAS) (۵-۱۰ متر)، لندست سنسجش ETM (۶۰ متر)، سنسجش TIRS (۱۰۰ متر)، سنسجش

TM (۱۲۰ متر)، Terra ASTER (۹۰ متر)، HJ-1B (۳۰۰ متر)، MODIS (۱۰۰۰ متر) و FY-2C SVISSR (۵۰۰۰ متر) است (۸).

تابش طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنسجش های حرارتی روی ماهواره‌ها نه تنها تحت تأثیر پارامترهای سطح (تابش و دما) بلکه تحت

تأثیر ترکیب و ساختار جو (عمدتاً بخار آب) نیز قرار می‌گیرد؛ بنابراین، اثرات جوی نام‌برده باید برای استفاده مناسب از داده‌های

سنسجش از دور مادون قرمز حرارتی (TIR، Thermal Infrared) در برنامه‌های تحقیقاتی دما حذف شوند. تصحیح اتمسفری

(Atmospheric Correction) به طور کلی، تبدیل اندازه‌گیری‌های بالای سطح اتمسفر (TOA، Top Of the Atmosphere) به

اندازه‌گیری‌های سطح زمین است (۴). از آنجایی که گسیلمندی و اثرات جوی دو عامل اساسی برای استخراج دمای سطح زمین از داده‌های

حرارتی هستند، بسیاری از محققان با در نظر گرفتن این عوامل رویکردهای مختلفی را برای بازیابی دمای سطح زمین پیشنهاد کرده‌اند.

این الگوریتم‌ها با توجه به تعداد باندهای مادون قرمز حرارتی استفاده شده نام‌گذاری شده‌اند. به عنوان مثال، الگوریتم‌های تک کانال یا تک

پنجره‌ای از یک باند مادون قرمز حرارتی استفاده می‌کنند (۱۲)، با این حال، روش‌هایی مثل پنجره مجزا شامل بیش از یک باند هستند (۱۱)

و (۱۳). هدف از این مطالعه ارائه رابط کاربری LST است که بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و برای

مأموریت‌های مختلف لندست ۵، ۷ و ۸ را تسهیل نماید. شهر گرگان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و نقشه‌های دمای سطح زمین

برای ۵ سال مختلف تهیه شد.

## روش تحقیق

## 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، **درمجموع** ۹ سری از ماهواره‌های لندست برای اهداف رصد زمین پرتاب شدند. لندست ۶ تنها ماهواره‌ای بود که نتوانست به مدار برسد (۱۹).

لندست ۵ با سنجنده TM و لندست ۷ با سنجنده ETM<sup>+</sup> دارای شش باند بازتابی (مرئی، **مادون‌قرمز نزدیک** و **مادون‌قرمز با طول‌موج کوتاه**، تفکیک فضایی ۳۰ متر) و یک باند در منطقه **مادون‌قرمز** حرارتی (باند 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 باند حرارتی است که **بانام‌های** ۱-۶ باند (کم‌بهره - low-gain) و ۲-۶ باند (با بهره بالا - high-gain) شناخته می‌شوند. باند حرارتی با بهره بالا به دلیل نزدیکی به شرایط میدان واقعی، برای به دست آوردن اطلاعات دما نسبت به باند **کم‌بهره** دقیق‌تر است (۱۴).

لندست ۸ در فوریه سال ۲۰۱۳ برای تداوم داده‌های **سنجش‌ازدور** با وضوح فضایی بالا در مأموریت تداوم داده لندست با دو سنجنده مدار زمین قرار گرفت. سنجنده تصویربردار عملیاتی زمین (OLI) داده‌ها را با وضوح فضایی ۳۰ متر در هشت باند در نواحی طیفی مرئی، **مادون‌قرمز نزدیک** (NIR) و امواج کوتاه **مادون‌قرمز** (SWIR) طیف الکترومغناطیسی و یک باند پانکروماتیک اضافی (PAN) با وضوح فضایی ۱۵ متر به دست می‌آورد. **سنجنده‌های مادون‌قرمز 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 (۱۹). سنجنده های مادون قرمز حرارتی جدید با داشتن دو باند حرارتی در پنجره اتمسفر بین ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر نسبت به سنجنده های قبلی TM/ETM پیشرفت کرده‌اند. تک باند حرارتی قبلی به دو باند حرارتی تقسیم می‌شود که اکنون باریک‌تر از قبلی هستند (۱۱). داده‌های لندست به صورت رایگان در وب سایت (https://earthexplorer.usgs.gov) USGS و سایر تارنماها موجود است. در این مطالعه از داده‌های سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۱ (سنجنده TM لندست ۵)، ۲۰۰۲ (سنجنده ETM<sup>+</sup> 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.

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)

سنجنده	زمان و ساعت (UTC)	مسیر-ردیف	T <sub>0</sub> (°C)	RH (%)	Pres (Hp)	DownRad	UpRad	ارتفاع (km)
لندست ۵ TM	۱۹۸۹/۰۹/۰۷ ۰۶:۲۷:۴۳	۱۶۳-۰۳۴	---	---	---	---	---	۰/۱۷۶
	۲۰۰۱/۰۸/۰۷ ۰۶:۴۱:۵۰	۱۶۳-۰۳۴	۲۹/۰	۶۶/۱	۱۰۰۹/۲	۶/۶۹	۴/۶۵	۰/۱۷۶

Deleted: در مجموع

Deleted: مادون قرمز

Deleted: مادون قرمز

Deleted: طول موج

Deleted: مادون قرمز

Deleted: سنجنده های

Deleted: با نام‌های

Deleted: کم بهره

Deleted: کم بهره

Deleted: سنجش از دور

Deleted: مادون قرمز

Deleted: مادون قرمز

Deleted: سنجنده های

Deleted: مادون قرمز

Deleted: ( )

Deleted: ( )

۰/۱۷۶	۰/۴۹	۴/۲۴	۶/۱۹	۱۰۰۰/۸	۷۶/۵	۲۷/۹	۱۶۳-۰۳۴	۲۰۰۲/۰۷/۱۷	لندست ۷
								۰۶:۴۹:۵۱	ETM+
۰/۱۷۶	۰/۵۶	۳/۶۶	۵/۵۴	۱۰۱۰/۳	۶۲/۶	۲۷/۰	۱۶۳-۰۳۴	۲۰۱۳/۰۸/۰۸	لندست ۸
								۰۷:۰۳:۳۲	TIRS/OLI
۰/۱۷۶	۰/۵۴	۴/۰۹	۶/۱۷	۱۰۰۸/۷	۶۲/۷	۳۲/۲	۱۶۳-۰۳۴	۲۰۲۱/۰۸/۱۴	
								۰۷:۰۱:۴۰	

دمای نزدیک سطح زمین (T<sub>0</sub>) - رطوبت نسبی (RH) - فشار (Pres) - رادیانس بالارونده (DownRad)، رادیانس پایین‌رونده (UpRad)، انتقال اتمسفر (τ)

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 تاریخ های تصاویر اخذ شده از منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

### رابط کاربری نرم‌افزار

با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون یک رابط کاربری به‌منظور محاسبه دمای سطح زمین برای داده‌های لندست تهیه شد. اکثر نرم‌افزارهای پردازش تصویر به مراحل پیچیده‌ای برای محاسبه دمای سطح زمین نیاز دارند. ابزارهایی نیز پیش از این تهیه شده‌اند که به صورت افزونه یا جعبه ابزار تحت نرم‌افزارهای دیگری اجرا می‌شوند. در این میان می‌توان به جعبه ابزار متن‌باز تهیه شده در محیط Arc Map برای بازیابی دمای سطح زمین از لندست با الگوریتم‌های بازیابی و مدل‌های انتشار مختلف (۱۹) و افزونه متن‌باز PyQGIS (۹) اشاره نمود. با این وجود برنامه‌ای که به طور 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 دمای سطح زمین

رادیانس (تابش) طیفی (Spectral Radiance)

با در نظر گرفتن داده‌های ماهواره‌ای، مقادیر پیکسل مادون قرمز حرارتی ابتدا از مقادیر عدد رقومی (Digital Number (DN)) به رادیانس تبدیل می‌شوند. رادیانس باند حرارتی برای لندست ۵ و ۷ (ETM<sup>+</sup> - TM) با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید (۱۹):

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

که در آن: L<sub>λ</sub> رادیانس طیفی بالای اتمسفر (TOA) (Watts/(m<sup>2</sup>.srad.μm))، مقدار پیکسل کالیبره شده کوانتیزه شده DN، LMAX<sub>λ</sub> (Watts/(m<sup>2</sup>.srad.μm)) بر اساس فایل فراداده لندست (لندست ۵ = ۱۵/۳۰۳) و (لندست ۷ = ۱۷/۰۴۰)، LMIN<sub>λ</sub> (Watts/(m<sup>2</sup>.srad.μm)) بر اساس فایل فراداده لندست (لندست ۵ = ۱/۲۳۸) 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 (۲۵):

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

که در آن L رادیانس طیفی TOA بر حسب (Watts/(m<sup>2</sup> sr μm)) است و M<sub>L</sub> و A<sub>L</sub> از فایل فراداده لندست ۸ به دست می‌آیند.

### دمای روشنایی (Brightness Temperature (BT))

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 (۲۱).

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad [3]$$

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

جدول ۲ - ثابت‌های کالیبراسیون باندهای حرارتی برای تصاویر ماهواره‌های لندست (۲۵)

Table 2. Thermal band calibration constants for Landsat satellites (25)		
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)

میانگین دمای مؤثر اتمسفر (Mean Atmospheric Temperature Effective)

جدول ۳ معادلات عملی را برای محاسبه میانگین مؤثر دمای اتمسفر ( $T_a$ ) با استفاده از دمای نزدیک به سطح ( $T_o$ ) را نشان می‌دهد. در این مطالعه منطقه تابستانی عرض جغرافیایی میانی (Mid-latitude summer) برای محاسبه در نظر گرفته شد.

جدول ۳- تخمین متوسط دمای اتمسفر مؤثر ( $T_a$ ) با استفاده از دمای هوای نزدیک به سطح ( $T_o$ ) (۱۹).

Table 3. Estimating the effective mean atmospheric temperature  $T_a$  using the near surface air temperature  $T_o$  (19).

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

قابلیت انتقال یا عبور اتمسفر (Atmospheric Transmittance ( $\tau$ )), رادیانس بالارونده (Up welling Radiance) و رادیانس پایین‌رونده (Down welling Radiance)

اداره کل ملی هوانوردی و فضای آمریکا، ناسا (National Aeronautics and Space Administration (NASA)) یک ابزار 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 ماهواره ای برای کاربردهای سنجنش از دور کمی و چند زمانی ضروری است (۵). ماثین حساب پارامتر تصحیح اتمسفر از پروفایل‌های جهانی جوی مدل‌سازی شده از مراکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) برای تاریخ، زمان و مکان خاص به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند (۱).

مقادیر پارامترهای جوی به دست آمده 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 بخار آب اتمسفر (Water Vapor Content)

روش‌های مختلف برای تخمین محتوای بخار آب اتمسفر ( $w_i$ ) شرح داده شده است که در این مطالعه محتوای بخار آب با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، رطوبت نسبی (Relative Humidity) و دمای نزدیک به سطح ( $T_o$ ) از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود (۱۹).

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

که در آن:

$\omega_i$  (g/cm<sup>2</sup>) محتوای بخار آب و  $T_0$  دمای نزدیک سطح بر حسب کلونین است و RH (%) به رطوبت نسبی اشاره دارد (۱۹).

توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) Land Surface Emissivity

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 ارایه 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. و در حالت سوم ( $NDVI > 0.5$ )، پیکسل‌هایی با مقادیر شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) بالاتر از ۰/۵ به عنوان مناطق کاملاً پوشیده شده با گیاه در نظر گرفته می‌شوند (رابطه ۵).

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

$\epsilon_s$  و  $\epsilon_v$  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:

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

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 (۱۸):

$$LSE = \epsilon_s \times (1 - FVC) + \epsilon_v \times FVC \quad [7]$$

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 (۱۸)

Table 4. LSE values for Landsat thermal bands (18)			
باند ۱۱	باند ۱۰	باند ۶	گسیلمندی
۰/۹۷۷	۰/۹۷۱	۰/۹۹۴	گسیلمندی خاک (ES)
۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	۰/۹۸۰	گسیلمندی پوشش گیاهی (EV)

روش‌های بازیابی دمای سطح زمین

الگوریتم تک کانال (SCA) Single-Channel Algorithm

الگوریتم تک کانال (SCA) را برای بازیابی دمای سطح زمین از داده‌های سنجنده مادون قرمز حرارتی لندست (Landsat TIR) بر اساس رابطه ۸ استفاده می‌کنند (۳):

$$T_s = \gamma [\epsilon^{-1} (\psi L_{sensor} + \psi_2) + \psi_3] + \delta \quad [8]$$

$T_s$  دمای سطح زمین،  $\epsilon$  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:

$$\delta = -\gamma L_{sensor} + T_{sensor} \quad \text{و} \quad \gamma = \left\{ \frac{C_2 L_{sensor}}{T_{sensor}^2} \left[ \frac{\lambda^4}{C_1} L_{sensor} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad [9]$$

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

$$C_2 = 14387.7 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

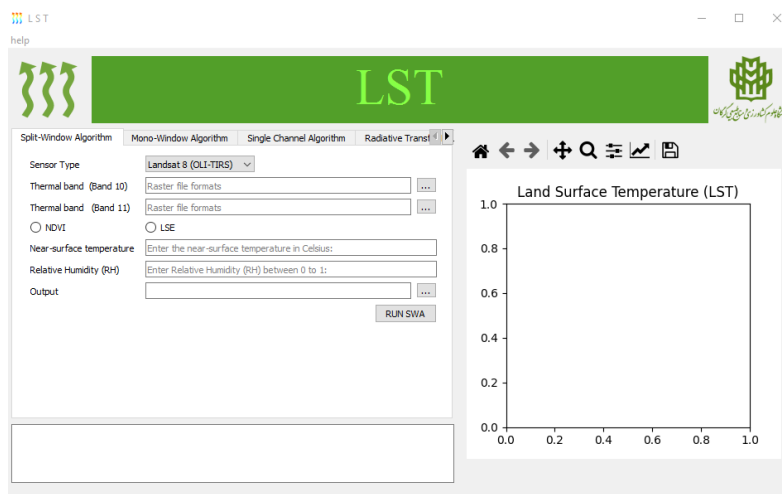
که در آن:  $T_{sensor}$  دمای روشنایی سنجنده بر حسب کلوین، و  $\lambda$  طول موج مؤثر باند مادون قرمز حرارتی مورد استفاده است. متوسط طول موج باند ۶ لندست های ۵ و ۷ به میزان ۱۱/۵ میکرومتر است و برای باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ به ترتیب ۱۰/۹ و ۱۲ میکرومتر است (جدول ۵).

جدول ۵- مرکز طول موج باندهای حرارتی لندست

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

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

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 0.14714\omega^2 - 0.15583\omega + 1.1234 \\ \psi_2 &= -1.1836\omega^2 - 0.3760\omega - 0.52894 \\ \psi_3 &= -0.04554\omega^2 + 1.8719\omega - 0.39071 \end{aligned} \quad [10]$$



شکل ۱- رابط کاربری الگوریتم تک کانال

Fig. 1. User Interface for Single-Channel Algorithm

الگوریتم تک پنجره (Mono Window Algorithm (MWA))

الگوریتم تک پنجره (MWA) توسعه یافته کوئین (۱۶) برای به دست آورد (۱۹):

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

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

که در آن:

$T_s$  دمای سطح زمین بر حسب کلوین،  $T$  دمای روشنایی در سنجنده بر حسب کلوین،  $T_a$  میانگین دمای مؤثر اتمسفر بر حسب کلوین،  $\tau$  انتقال اتمسفر،  $\varepsilon$  گسیلمندی سطح زمین و  $a$  و  $b$  ثابت‌های الگوریتم هستند (جدول ۶)،  $C$  و  $D$  پارامترهای الگوریتم محاسبه شده با

استفاده از مدل توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) و انتقال اتمسفر است. شکل ۲ رابط کاربری برای الگوریتم تک پنجره را نشان می‌دهد.

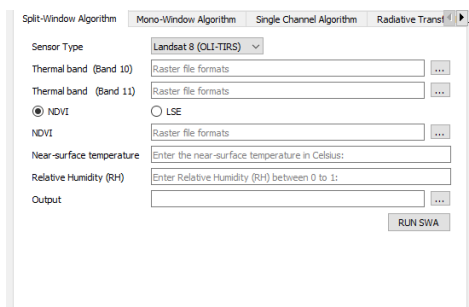
جدول ۶- ضرایب a و b الگوریتم تک پنجره (۱۹)

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

$T_0$  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:

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

برای تخمین دمای سطح زمین 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>).



شکل ۲- رابط کاربری الگوریتم تک پنجره

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

با توجه به عدم دسترسی به پارامترهای جوی مربوط به تصویر لندست ۱۹۸۹، برای بازیابی دمای سطح زمین از یک الگوریتم تک پنجره جدیدتر که نیازی به پارامترهای جوی ندارد و از رابطه ۱۳ به دست می‌آید، استفاده شد (۱۷):

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

که در آن:

$(T_s)$  دمای سطح زمین،

$BT$  دمای روشنایی دمای سطح زمین سنجنده (K)،

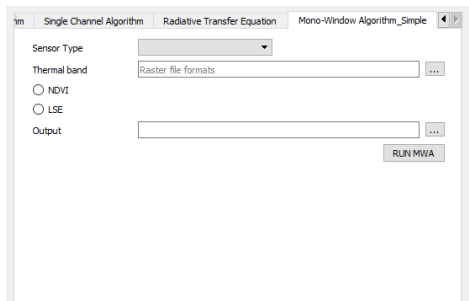
$\lambda$  طول موج رادیانس ساطع شده (۱۱/۵ میکرومتر)،

$\rho$  مقدار ضریب  $\rho = \frac{hc}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mk = 14380 \mu mk$  (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.

واحد اندازه‌گیری متریک برای عبارت: [6د] Commented فرمولی در رابطه لازم است





شکل ۳- رابط کاربری الگوریتم تک پنجره جدید

Fig. 3. User Interface for new Mono Window Algorithm

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

نادیده گرفتن تصحیح اتمسفری

تصحیح اثرات جوی بر روی تصاویر ماهواره ای نوری برای کاربردهای سنجش از دور کمی و چند زمانی ضروری است. منجر به خطاهای سیستماتیک در تخمین دمای سطح زمین برای هر جوی می‌شود. یکی از روش‌های پرکاربرد برای بازیابی دمای سطح زمین 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 دمای سطح زمین 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.

حل معکوس معادله انتقال تابشی (RTE) یک روش مستقیم و مناسب‌ترین روش برای بازیابی دمای سطح زمین 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 (۴):

$$L_{\lambda}^{sen} = [\varepsilon B_{\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon) L_{\lambda}^{\downarrow}] \tau + L_{\lambda}^{\uparrow} \quad [14]$$

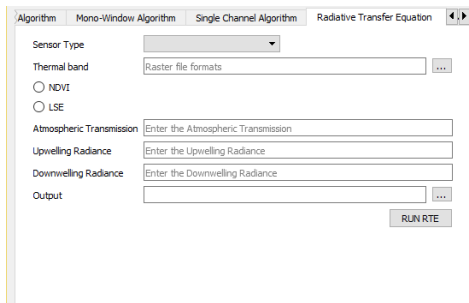
که در آن:  $L_{\lambda}^{sen}$  رادیانس ثبت شده در سنجنده باند حرارتی مربوطه (۶ و ۱۰) و  $B_{\lambda}$  رادیانس جسم سیاه است. بنابراین، رادیانس ساطع شده برای یک جسم سیاه در دمای Ts را می‌توان با وارونه کردن رابطه ۱۴ به دست آورد. بدین شکل، رادیانس ساطع شده برای یک جسم سیاه در دمای Ts با معکوس نمودن رابطه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

$$B_{\lambda}(T_s) = \frac{L_{\lambda}^{sen} - L_{\lambda}^{\uparrow} - \tau(1 - \varepsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}}{\tau\varepsilon} \quad [15]$$

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

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

که در آن: K1 و K2 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.



شکل ۴- رابط کاربری الگوریتم رابطه انتقال تابشی

Fig. 4. User Interface for RTE

الگوریتم پنجره مجزا (Split-Window Algorithm (SWA)) الگوریتم پنجره مجزا از دو باند حرارتی استفاده می‌کند که معمولاً در پنجره اتمسفر بین ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر قرار دارند (۱۰). 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 دمای سطح زمین اعمال می‌کند ساختار الگوریتم در رابطه ۱۷ ارائه شده است (۱۵):

$$T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 + c_4w) / (1 - \varepsilon) + (c_5 + c_6w)\Delta\varepsilon \quad [17]$$

که در آن:  $T_s$  دمای سطح زمین،

$T_i$  و  $T_j$  دمای روشنایی در سنجنده در باندهای پنجره مجزا  $i$  و  $j$  بر حسب کلونین،  $\varepsilon$  متوسط گسیلمندی،  $\Delta\varepsilon$  اختلاف گسیلمندی و  $w$  مقدار کل بخار آب اتمسفر ( $g/cm^2$ ) 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:

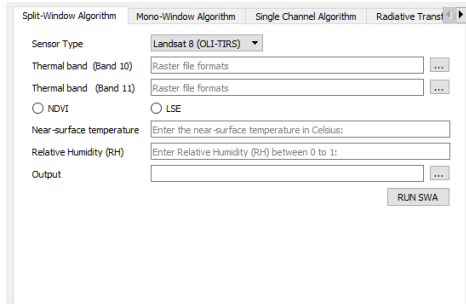
$$\varepsilon = 0.5(\varepsilon_i - \varepsilon_j) \quad \text{and} \quad \Delta\varepsilon = (\varepsilon_i - \varepsilon_j) \quad [18]$$

مقادیر ضرایب الگوریتم پنجره مجزا در جدول ۶ آورده شده است (۱۵). شکل ۵ رابط کاربری برای الگوریتم پنجره مجزا را نشان می‌دهد.

جدول ۷- ضرایب الگوریتم پنجره مجزا (۱۵)

Table 7. Split-window coefficient values (15)

C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0	ضریب 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

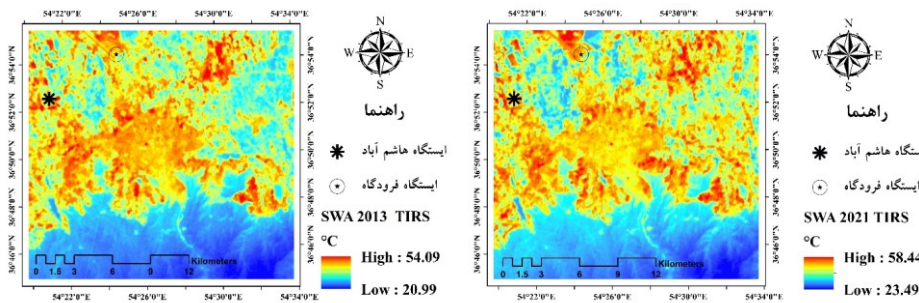
### بررسی دقت

به منظور 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 پیش‌بینی شده توسط یک مدل و مقادیر مشاهده شده را با هم مقایسه و ارزیابی می‌کند (۱۹). در رابطه ۱۹  $T_{satellite}$  و  $T_{station}$  به ترتیب دمای سطح زمین محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای و دمای سطح زمین 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 دمای سطح زمین برای شهر گرگان، ایران با استفاده از سنجنده‌های Landsat 7 ETM+، Landsat 5 TM 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. الگوریتم‌های پنجره مجزا به دلیل نیاز به دو باند مادون قرمز حرارتی تنها با داده‌های لندست ۸ مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۶ نقشه‌های دمای سطح زمین تهیه شده با روش الگوریتم پنجره مجزا برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ نمایش می‌دهد.



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

محدوده تغییرات دمای سطح زمین 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

station: Deleted

**Commented [۷]:** عدم ارجاع به منابع: در متن ارائه شده، ارجاع به منابعی که روش‌ها و الگوریتم‌های مورد استفاده از آن‌ها الهام گرفته شده است، ارائه نشده است. این امر می‌تواند اعتبار مطالعه را کاهش دهد و امکان بررسی و اعتبارسنجی روش‌های استفاده شده را برای خواننده محدود کند.

نبود مشخصات تجربیات: در بخش نتایج، اطلاعات کافی درباره مشخصات تجربیات و شرایط اجرایی استفاده شده برای بازیابی دمای سطح زمین با مقایسه حقایق زمینی ارائه نشده است. این اطلاعات می‌توانستند به خواننده کمک کنند تا درک بهتری از روش‌های استفاده شده در مطالعه داشته باشند.

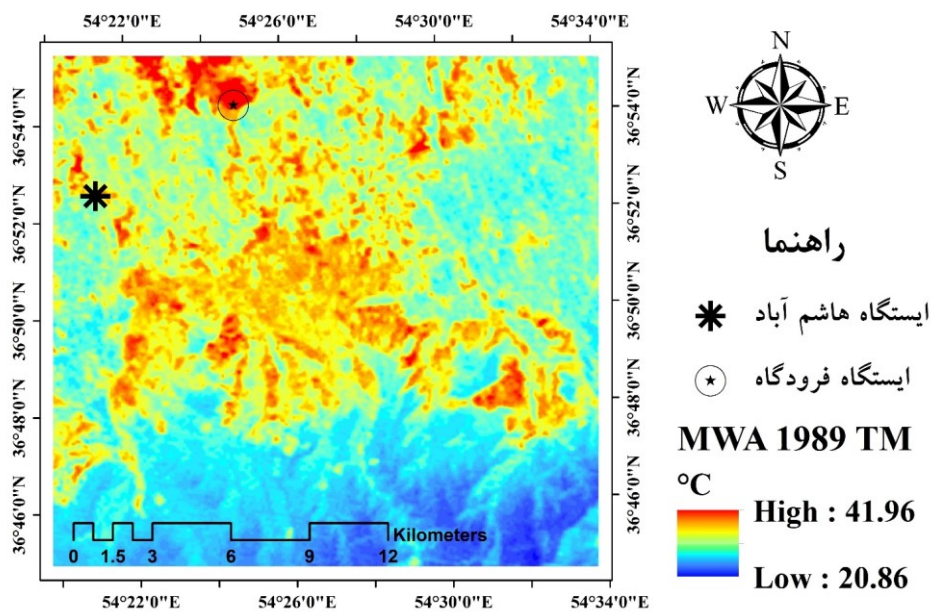
عدم بیان تحلیل دقیق نتایج: در متن ارائه شده، نتایج به طور کافی تحلیل نشده‌اند و جواب به پرسش‌های مطرح شده در مقدمه ارائه نشده است. این موضوع می‌تواند از فهم بهتری از یافته‌های مطالعه جلوگیری کند.

عدم بیان خطاها و محدودیت‌ها: در بخش نتایج، به طور کافی به خطاها و محدودیت‌های موجود در مطالعه اشاره نشده است. بیان این موارد می‌تواند به دقت و قابلیت اعتماد مطالعه کمک کند.

نبود ارزیابی کیفیت نتایج: در متن ارائه شده، به بررسی کیفیت و اعتبار نتایج به دست آمده از الگوریتم‌ها اشاره نشده است. ارائه این اطلاعات می‌توانست به اعتبار و قابلیت اطمینان نتایج کمک کند.

عدم اشاره به نقاط قوت و ضعف روش‌ها: در متن ارائه شده، به طور کافی به نقاط قوت و ضعف روش‌های استفاده شده در مطالعه اشاره نشده است. ارائه این اطلاعات به خواننده کمک می‌کند تا درک بهتری از ارزیابی مطالعه داشته باشند.

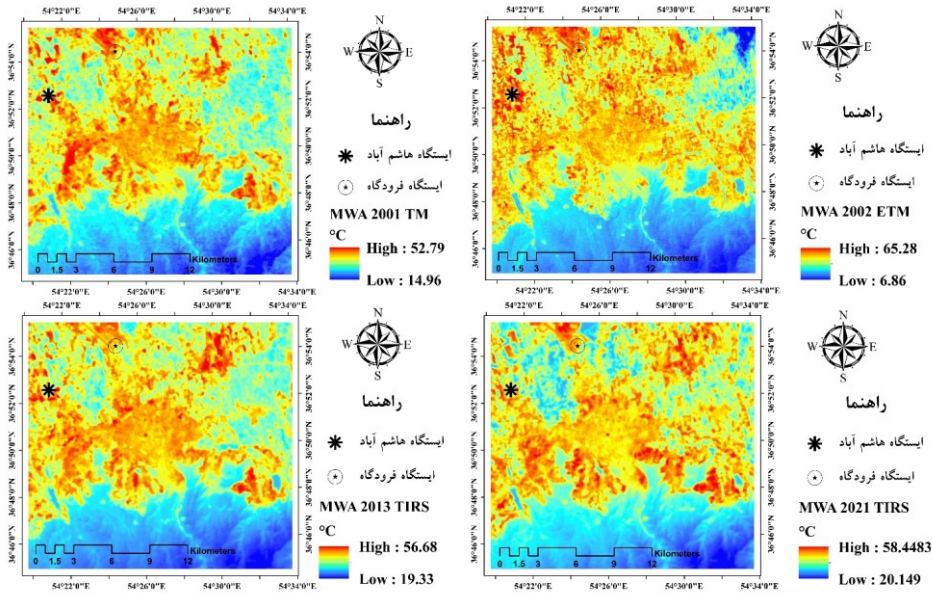
و زمین‌های کشاورزی یا زمین‌های بایر و مقادیر پایین در مناطق جنگلی و پوشش گیاهی انبوه ثبت شده است. بررسی دقیق‌تر نحوه توزیع مکانی و زمانی دما نیازمند مطالعه بیشتر و مقایسه با نقشه‌های کاربری و شاخص‌های طیفی مختلف است. با توجه به اینکه اطلاعات و پارامترهای جوی برای لندست ۱۹۸۹ موجود نبود، از یک الگوریتم پنجره مجزای ساده (۱۷) که نیازی به پارامترهای جوی ندارد برای محاسبه دمای سطح زمین تنها برای این سال استفاده شد (شکل ۷).



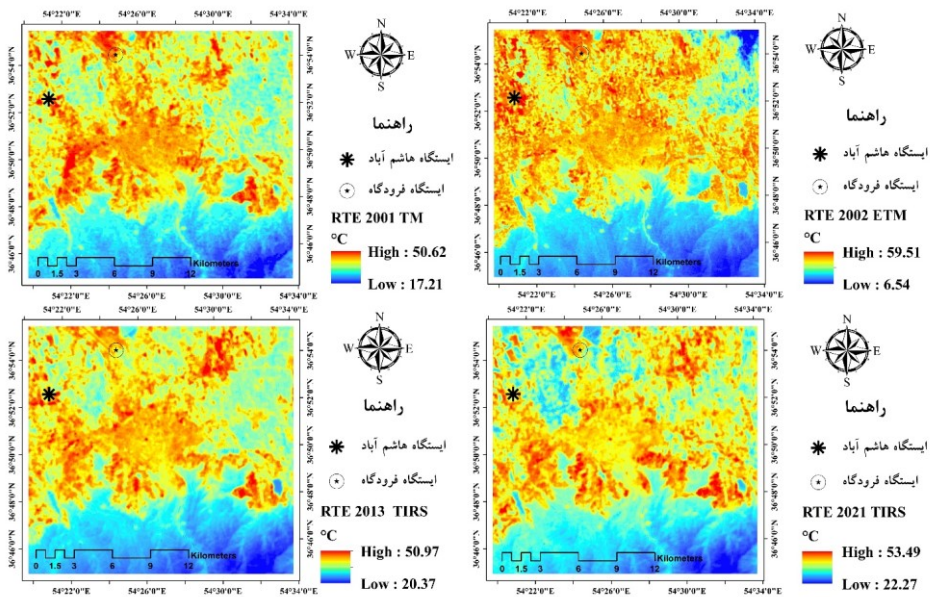
شکل ۷- دمای سطح زمین به دست آمده از الگوریتم تک پنجره ساده- ۱۹۸۹ لندست ۵ سنجنده TM

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

سایر الگوریتم‌ها شامل الگوریتم تک کانال (SCA)، الگوریتم تک پنجره (MWA) و الگوریتم رابطه انتقال تابشی (RTE) برای تمامی تصاویر لندست سنجنده های ETM، TM و OLI/TIRS استفاده شدند (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰)



شکل ۸- دمای سطح زمین 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

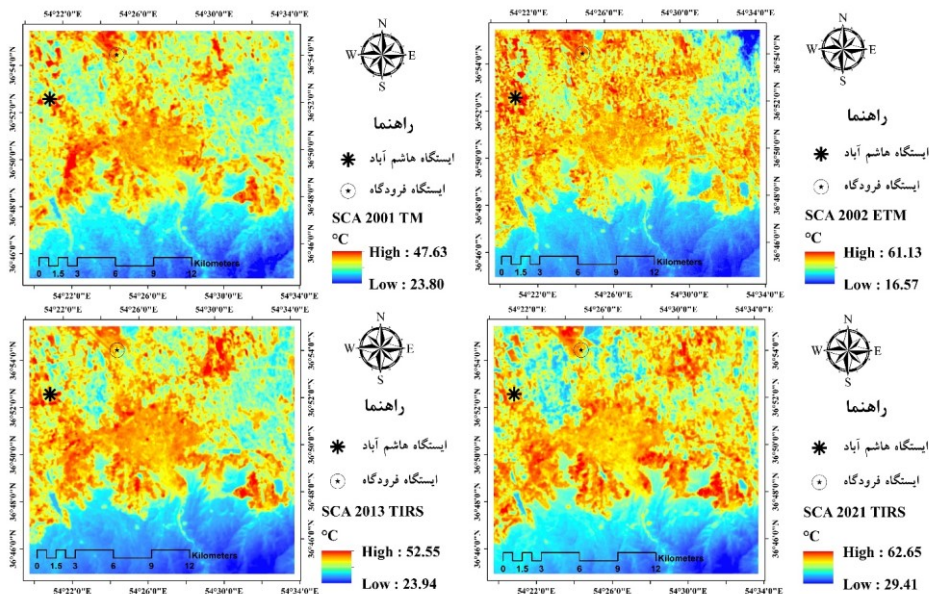


شکل ۹- دمای سطح زمین به دست آمده از الگوریتم رابطه انتقال تابشی سال ۲۰۰۱ (A)، ۲۰۰۲ (B)، ۲۰۱۳ (C) و ۲۰۲۱ (D) لندست ۵، ۷ و ۸

۸ و

۱۳

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



شکل ۱۰- دمای سطح زمین 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

مقادیر پارامترهای جوی و مدل مورد استفاده در روش‌های بازیابی دمای سطح زمین برای ۵ تصویر در جدول ۸ مشاهده می‌شود. داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاه گرگان و هاشم‌آباد برای ارزیابی دقت مقادیر دمای سطح زمین به دست آمده از سنجنده‌ها استفاده شد (جدول ۸). به منظور کاهش خطاهای احتمالی با تغییر دما از مکانی به مکان دیگر به دلیل تغییرات توپوگرافی و پوشش زمین، مختصات محدوده ایستگاه هواشناسی بعد از بررسی بر تصاویر گوگل ارث تعیین و به فایل‌های شیب تبدیل شد و سپس دمای سطح زمین موجود در پیکسل‌هایی که محدوده ایستگاه هواشناسی قرار داشت با مقدار دمای نزدیک سطح زمین اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه هواشناسی مقایسه شد.

جدول ۸- مقایسه مقادیر دمای سطح زمین به دست آمده با روش‌های روش رابطه انتقال تابشی (RTE)، الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک پنجره (MWA) و الگوریتم تک کانال (SCA) با داده‌های 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 هاشم‌آباد WHO Index: (۹۹۲۴۱)	ایستگاه فرودگاه WHO Index: (۴۰۷۳۸)	تاریخ
-	۳۹	۴۰	۴۰	۳۴/۴		۲۰۰۱/۰۸/۰۷
-	۴۶	۴۳	۴۵	۳۵/۶		۲۰۰۲/۰۷/۱۷
	۱۲/۷۸	۱۱/۶۵	۸/۷۵		RMSE	
۴۰	۴۰	۳۷	۴۱		۳۴/۰	۲۰۱۳/۰۸/۰۸
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

۶/۹۲	۸/۹۷	۳/۷۵	۶/۸۳	RMSE
مختصات ایستگاه هواشناسی فرودگاه: 54° 24.792'E-36° 54.294'N (ارتفاع ۲ متر) - مختصات ایستگاه هواشناسی هاشم آباد: 36° 52.536'N-54° 21.176'E (ارتفاع ۱۳/۳ متر)				

بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نشان داد روش رابطه انتقال تابشی با مقدار خطای ۳/۷۵ و تک کانال با ۸/۹۷ 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 گسیلمندی سطح زمین (LSE) باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

نقشه‌های دمای سطح زمین یا 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 (۱۷) نیز تنها برای سال ۱۹۸۹ استفاده شد. رابط کاربری منبع باز LST برای ارزیابی دمای سطح زمین با الگوریتم‌های مختلف با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده است و این امکان را فراهم می‌کند تا کاربران رشته‌های مختلف از جمله محیط‌زیست، جغرافیا و سنجش از دور، مطالعات اقلیم و هواشناسی، برنامه‌ریزی شهری و سایر زمینه‌های مرتبط بتوانند دمای سطح زمین را برای منطقه مورد مطالعه خود بدون نیاز به داشتن نرم‌افزار دیگری به دست آورند. الگوریتم‌های مختلفی در زمینه تخمین دمای سطح زمین 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 (۱۷) که نیازی به پارامترهای اتمسفری برای ارزیابی دمای سطح زمین 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 دمای سطح زمین ارزیابی 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 دمای سطح زمین دشوار است (۲۲). 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 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 (۱۸)، 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 دمای سطح زمین معرفی کردند. محتوای بخار آب اتمسفر یک پارامتر حساس و خاص هر منطقه است که بر آب و هوا و دمای بالای سطح زمین تأثیر می‌گذارد و شرایط غالب در منطقه را بهتر نشان می‌دهد. در الگوریتم پنجره مجزا از دو باند طیفی برای محاسبه گسیلمندی و دمای روشنایی به همراه محتوای بخار آب اتمسفر در ارزیابی دمای سطح زمین استفاده می‌شوند، در حالی که محتوای بخار آب اتمسفر در الگوریتم تک پنجره استفاده نمی‌شود. از این رو الگوریتم پنجره مجزا قادر است شرایط میدان

### Commented [۸]:

۱. استفاده از ادعاهای بدون ارائه دلیل علمی: برخی از ادعاها و استنتاجات مطرح شده در مقاله بدون ارائه دلیل علمی یا ارجاع به مراجع مناسب استفاده شده‌اند که می‌تواند از جانب علمی مقاله ضعیفی به حساب آید.
  ۲. بررسی دقیق روش‌های ارزیابی دقت: این مطالعه نیاز به بررسی دقیق‌تری از روش‌های ارزیابی دقت دارد، از جمله انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی و معیارهای استفاده شده برای مقایسه با نتایج ماهواره‌ای.
  ۳. مقایسه با مطالعات پیشین: ارتباط نتایج این مطالعه با یافته‌های مطالعات پیشین بیشتر باید مورد بررسی قرار گیرد، به ویژه در مورد تفاوت‌ها و تطابق‌های موجود.
  ۴. بهبود دقت ارزیابی: مطالعه بیشتری در زمینه بهبود دقت ارزیابی دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و مدل‌های توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) مورد نیاز است.
  ۵. ارتباط با تغییرات محیطی: ارتباط بیشتر نتایج با تغییرات محیطی، مانند تغییرات کاربری اراضی و اثرات اقلیمی، می‌تواند مطالعه را بهبود بخشد.
  ۶. استفاده از داده‌های زمینی بیشتر: از آنجا که ارتباط میان داده‌های زمینی و ماهواره‌ای معمولاً دشوار است، استفاده از داده‌های زمینی بیشتری می‌تواند به بهبود دقت نتایج کمک کند.
  ۷. ارزیابی تأثیرات محلی: ارزیابی تأثیرات محلی، مانند تأثیرات اندازه ذرات ریزگرد و سایر عوامل محلی بر دمای سطح زمین، می‌تواند به درک بهتری از داده‌ها کمک کند.
  ۸. جملات پراکنده را در قالب بخش‌های مجزا سازماندهی مجدد کنید.
  ۹. بیشتر بر تحلیل و تفسیر نتایج جداول و نمودارها تمرکز کنید.
  ۱۰. محدودیت‌های پژوهش را بیان کنید.
  ۱۱. پیشنهادها برای تحقیقات آتی ارائه دهید.
- با بهبود این نقاط، مطالعه می‌تواند به تجزیه و تحلیل دقیق‌تری از دمای سطح زمین و تأثیرات آن در محیط زیست و اقلیم کمک کند.

### متن اصلی: Commented [9]:

دو ستون به تورفتگی نیم سانت پاراگراف بندی شود اصلاح انواع خطاهای نگارشی با نرم افزار ویراستار انجام گیرد <https://virastyar.ir/>

را با دقت بیشتری ثبت کند و نتایج بهتری را در مقایسه با الگوریتم تک پنجره در سطوح ناهمگن منطقه مورد مطالعه آشکارتر سازد. پرور و همکاران (۱۵) در بررسی تغییرات کاربری منطقه شهری که نیاز به دقت و جزئیات بیشتری از تغییرات دمایی داشتند، کل نتایج قابل قبولی از SWA به دست آوردند. ژو و همکاران (۲۳)، برای جلوگیری از تأثیر روش‌های مختلف بازتابی 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.

در مطالعه‌ای دیگر یو و همکاران (۲۶)، 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، در حالی که الگوریتم پنجره مجزا دارای دقت متوسطی داشت. همچنین عملکرد باند ۱۰ و ۱۱ نیز در تمام الگوریتم‌ها مقایسه شد. باند ۱۱ دارای عدم قطعیت بیشتری نسبت به باند ۱۰ است، زیرا بیشتر تحت تأثیر جذب بخار آب قرار می‌گیرد و بنابراین نسبت به خطاهای پروفایل جوی حساس‌تر است (۲۶). دمای سطح زمین تحت تأثیر عوامل زیادی مانند ریزگردها و هواپیزها، پوشش زمین و چیدمان شهر قرار دارد (۱۵). الگوریتم‌های مختلف با در نظر گرفتن دمای نزدیک به سطح و محتوای بخار آب و سایر پارامترهای جوی دمای سطح زمین را محاسبه می‌کنند. مرور مطالعات نشان داد نمی‌توان به طور 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 بازتابی دمای سطح زمین 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.

#### منابع مورد استفاده

تمام رفرنسها شماره صفحات باید داشته باشد: [10] Commented

1. Barsi J A, Schott J R, Hook S J, Raqueno N G, Markham B L and Radocinski R G. 2014. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. Retrieved from.
2. Cheng J, Meng X, Dong S and 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>.
3. Cristóbal J, Jiménez-Muñoz J C, Prakash A, Mattar C, Skoković D and Sobrino J A. 2018. An Improved Single-Channel Method to Retrieve Land Surface Temperature from the Landsat-8 Thermal Band. *Remote Sensing*, 10(3), doi 10.3390/rs10030431.
4. Diaz L R, Santos D C, Käfer P S, Rocha N S, Costa S T, Kaiser E A and Rolim S B. 2021. Land Surface Temperature Retrieval Using High-Resolution Vertical Profiles Simulated by WRF Model. *Atmosphere*, 12(11), doi 10.3390/atmos12111436.
5. Doxani G, Vermote E F, Roger J-C, Skakun S, Gascon F, Collison A, De Keukelaere L, Desjardins C, Frantz D, Hagolle O, Kim M, Louis J, Pacifici F, Pflug B, Poilvé H, Ramon D, Richter R and Yin F. 2023. Atmospheric Correction Inter-comparison eXercise, 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>.
6. Ebrahimi A, Motamedvaziri B, Nazemosadat S M J and 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 [dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.4.4](https://doi.org/10.1001.1.26767082.1399.11.4.4.4). (In Persian).
7. Fekrat H, Asghari Saraskanrood S and 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](https://doi.org/10.1001.1.26767082.1399.11.4.6.6). (In Persian).

Formatted: Complex Script Font: Times New Roman, 11 pt, Do not check spelling or grammar



8. Guo A, Yang J, Sun W, Xiao X, Xia Cecilia J, Jin C and 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>.
9. Isaya Ndossi M and Avdan U. 2016. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. *Remote Sensing*, 8(5), doi 10.3390/rs8050413.
10. Jimenez-Munoz J and 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.
11. Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A, Skoković D, Mattar C and 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.
12. Malakar N K, Hulley G C, Hook S J, Laraby K, Cook M and 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.
13. Meng X, Cheng J, Zhao S, Liu S and Yao Y. 2019. Estimating Land Surface Temperature from Landsat-8 Data using the NOAA JPSS Enterprise Algorithm. *Remote Sensing*, 11(2), doi 10.3390/rs11020155.
14. Nugraha A S, Gunawan T and 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.
15. Parvar Z, Mohammadzadeh M and 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*, doi 10.30495/girs.2022.1973023.2021 . (In Persian).
16. Qin Z, Karnieli A and 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.
17. Rongali G, Keshari A K, Gosain A and Khosa R. 2017. *A Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Estimation from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data*.
18. Rongali G, Keshari A K, Gosain A K and Khosa R. 2018. Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(2): 14, doi 10.1007/s41651-018-0021-y.
19. Sekertekin A and 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), doi 10.3390/rs12020294.
20. Soydan O. 2020. Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, 34: 100688, doi <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100688>.
21. 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>.
22. Wang M, He G, Zhang Z, Wang G, Wang Z, Yin R, Cui S, Wu Z and 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, doi <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.015>.
23. Xu X, Pei H, Wang C, Xu Q, Xie H, Jin Y, Feng Y, Tong X and 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>.
24. Yang J, Zhou J, Götttsche F-M, Long Z, Ma J and 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>.

25. Yeneneh N, Elias E and 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>.
26. Yu X, Guo X and 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), doi 10.3390/rs6109829.

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

### 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.

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

**Commented [11]:** Here are some proofreading suggestions for your text:

1. **Capitalization consistency:** Ensure consistency in the capitalization of "land surface temperature (LST)" throughout the abstract. You can choose to capitalize it or keep it in lowercase, but maintain consistency.
  2. **Hyphenation:** Consider hyphenating "Spatio-temporal" for clarity.
  3. **Clarity:** In the sentence "LST helps in separating urban areas from bare areas and improves land use/cover generation through classification of remotely sensed imagery," consider rephrasing for clarity. For example, "LST aids in distinguishing between urban and bare areas, thereby enhancing land use/cover classification from remotely sensed imagery."
  4. **Conciseness:** The phrase "a Python-based user interface was developed to make land surface temperature retrieval easier and faster" can be made more concise. For example, "This study presents a Python-based user interface for efficient land surface temperature retrieval."
  5. **Consistency in tense:** Ensure consistency in tense throughout the abstract. For example, the phrase "LST can be retrieved by inputting required parameters in different methods" can be revised to "LST can be retrieved by inputting required parameters using different methods."
  6. **Abbreviation clarification:** On first mention, consider expanding "RMSE" to "root mean square error" for clarity.
  7. **Parallel structure:** Ensure parallel structure in the list of keywords. For example, "Single Channel Algorithm, Radiative Transfer Equation, Split Window Algorithm, and Mono Window Algorithms" can be revised to "Single Channel Algorithm, Radiative Transfer Equation, Split Window Algorithm, and two Mono Window Algorithms."
  8. **Keywords consistency:** Ensure consistency in the format of keywords. For example, "Remote sensing" is followed by a comma, but other keywords are not. It's better to maintain uniformity.
- These adjustments should enhance the clarity, consistency, and professionalism of your abstract.

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

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

1. Ph.D. 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

\* Corresponding author e-mail address: [mahini@gau.ac.ir](mailto:mahini@gau.ac.ir)

## Abstract

### 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. In contrast, thermal infrared remote sensing has the advantage of wide coverage and the ability to make regular revisits of a site on a regional and global scale. 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

Formatted: Space After: 0 pt, Line spacing: single

Formatted: Font: (Default) +Body (Calibri), Complex Script Font: +Body CS (Arial)

Formatted: Normal, Left, Space After: 0 pt, Pattern: Clear

Commented [12]: Here are some proofreading suggestions for your text:

- 1. Capitalization consistency:** Ensure consistency in the capitalization of "land surface temperature (LST)" throughout the text. You can choose to capitalize it or keep it in lowercase, but maintain consistency.
- 2. Hyphenation:** Consider hyphenating "Spatio-temporal" for clarity.
- 3. Conciseness:** Some sentences are quite lengthy and could be broken down for better readability. For instance, "In contrast, thermal infrared remote sensing has the advantage of wide coverage and the ability to make regular revisits of a site on a regional and global scale" could be simplified to "However, thermal infrared remote sensing offers wide coverage and enables regular revisits of sites at regional and global scales."
- 4. Clarity:** Some sentences are complex and could benefit from simplification. For example, "The availability of meteorological parameters can play a large role in the selection of the algorithm" could be clarified to "Meteorological parameters significantly influence algorithm selection."
- 5. Parallel structure:** Ensure parallel structure in the list of keywords. For example, "Single Channel Algorithm, Radiative Transfer Equation, Split Window Algorithm, and Mono Window Algorithms" can be revised to "Single Channel Algorithm, Radiative Transfer Equation, Split Window Algorithm, and two Mono Window Algorithms."
- 6. Abbreviation clarification:** On first mention, consider expanding "RMSE" to "root mean square error" for clarity.
- 7. Keywords consistency:** Ensure consistency in the format of keywords. For example, "Remote sensing" is followed by a comma, but other keywords are not. It's better to maintain uniformity.
- 8. Language clarity:** Some technical terms and concepts may be unclear to non-experts. Consider providing brief explanations or simplifying where possible.
- 9. Grammar:** In the sentence "This paper introduced a python-based user interface for computation of Land surface temperature," "python-based" should be capitalized as "Python-based" for consistency.
- 10. Punctuation:** Ensure consistency in punctuation throughout the text.

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. The availability of meteorological parameters can play a large role in the selection of the algorithm. 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, Mono Window Algorithms.

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

### تصاویر لندست

طرح مسئله: دمای سطح زمین (LST) را می‌توان به طور کل دمای محسوس زمین تعریف کرد. برای محاسبه مقادیر آن که به درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. دمای سطح زمین که از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز حرارتی سنجش از دور مشتق می‌شود، یک متغیر کلیدی برای درک تأثیرات کاربری و پوشش زمین (LULC) از جمله الگوهای حرارتی شهری است. دمای سطح زمین تحت تأثیر عوامل زیادی مانند نوع سطح زمین، رطوبت سطح، روشنایی و شرایط جوی است یا به آن‌ها بستگی دارد. بنابراین، اندازه‌گیری درجای دمای سطح زمین در مناطق بزرگ دشوار است. در مقابل، سنجش از دور مادون قرمز 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 سنسورهای حرارتی روی ماهواره‌ها نه تنها تحت تأثیر پارامترهای سطح (تابش و دما) بلکه تحت تأثیر ترکیب و ساختار جو (عمدتاً بخار آب) نیز قرار می‌گیرد؛ بنابراین، اثرات جوی نام برده باید برای استفاده مناسب از داده‌های سنسور از دور مادون قرمز حرارتی در برنامه‌های تحقیقاتی دما حذف شوند. تصحیح اتمسفری به طور 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 دمای سطح زمین از داده‌های حرارتی هستند، روش‌های مختلفی با توجه به منابع داده‌های مختلف توسعه یافته است. این الگوریتم‌ها با توجه به تعداد باندهای مادون قرمز حرارتی استفاده شده نام‌گذاری شده‌اند. به عنوان مثال، الگوریتم‌های تک کانال یا تک پنجره‌ای از یک باند مادون قرمز 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 دمای سطح زمین است. بدین ترتیب دمای سطح زمین 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 دمای سطح زمین استفاده شد. داده‌های سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۱ (لندست ۵ سنجنده TM)، ۲۰۰۲ (لندست ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup>) 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 دمای سطح زمین برای داده‌های لندست تهیه شد. اکثر نرم‌افزارهای پردازش تصویر به مراحل پیچیده‌ای برای محاسبه دمای سطح زمین 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، دمای سطح زمین 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. در حالی که 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 مادون قرمز 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 پیش‌بینی‌شده 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 دمای سطح زمین داده‌های لندست ۵ سنجنده های 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 دمای سطح زمین بازیابی شده توسط الگوریتم‌ها تقریباً یکسان بوده و دمای سطح منطقه شهری به طور قابل‌توجهی بالاتر از حومه شهر است. همه الگوریتم‌ها می‌توانند دمای سطح زمین 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 بخار آب 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 نیست. این دماها در ارتفاع تا دو متر از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شوند.

نتیجه‌گیری: این مقاله یک رابط کاربری مبتنی بر پایتون برای محاسبه دمای سطح زمین ارائه می‌دهد. چهار الگوریتم بازیابی دمای سطح زمین (الگوریتم تک کانال (SCA)، روش معادله انتقال تابشی (RTE)، و دو الگوریتم تک پنجره (MWA)) با استفاده از داده‌های لندست ۵ و ۷ سنجنده های 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. دمای سطح زمین 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. انتخاب الگوریتم‌ها برای بازیابی دمای سطح زمین، 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: سنجنش از دور، الگوریتم تک کانال، روش معادله انتقال تابشی، الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک پنجره.