دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۲
زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۵۶-۳۹

*علی حسینقلی زاده[۱]
پرویز ضیائیان فیروزآبادی[۲]
پریسا صفر بیرانوند[۳]

مقایسه الگوریتم‌های مختلف برآورد دما حاصل از گسیلندهای مختلف با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۳

چکیده

دمای سطح زمین فاکتور اصلی در تعادل انرژی کره زمین بوده و به عنوان ورودی مدل‌های تغییرات آب‌وهوایی و محیطی به‌کار می‌رود. درگذشته و حتی در حال حاضر به دلیل فقدان و یا کمبود ایستگاه‌های کافی هواشناسی در بسیاری از مناطق کشور، اندازه‌گیری و ثبت دما انجام نگرفته است به‌طوری‌که اطلاع دقیقی از تغییرات دمایی در آن مناطق در دست نیست، لذا وجود روشی که بتواند سریع، دقیق و کم‌هزینه و آن‌هم در مقیاس وسیع دما را اندازه‌گیری نماید لازم و ضروری است. استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به دلیل دید وسیع و یکپارچه، در دسترس بودن بسیاری از تصاویر و آرشیو غنی گزینه مناسبی در برآورد این پارامتر به شمار می‌رود. در این تحقیق روش‌های مختلف استخراج دمای سطح زمین ازجمله Mono-window،Artis و Stefan-Boltzman مورد بررسی قرار گرفت به‌طوری‌که در هر روش، گسیلمندی از راه‌های مختلفی از جمله NDVI، Classification و Product MODIS محاسبه و سپس وارد معادلات گردید. همچنین از تصاویر متنوع سری لندست شامل TM/ETM+/OLI و محصول گسیلمندی MODIS استفاده گردید. برای تبدیل دمای سطح به ارتفاع یک و نیم متری نیز از یک دماسنج دقیق محیطی با دقت ۰/۲ درجه سانتی گراد و رابطه خطی (دمای هوا=0.44×LST + 8/8) استفاده شد سپس نتایج به‌دست آمده با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، محاسبه RMSE و آزمون آماری T مورد راستی آزمایی قرار

*۱- دانشجوی دکترا سنجش از دور و جی آی اس دانشگاه تهران. (نویسنده مسئول). E-mail: ali.hosinzade.khu@gmail.com
۲- گروه سنجش از دور و جی ای اس دانشگاه خوارزمی تهران.
۳- کارشناس ارشد سنجش از دور و جی ای اس دانشگاه خوارزمی تهران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

گرفت. نتایج نهایی نشان داد کهبهترین روش با RMSE 1/09 مربوط به تصویر +ETM و روش Stefan-Boltzman و بدترین روش نیز با RMSE ۲/٦٤ مربوط به استفاده از تصویر MODIS و روش Mono-Window است. لذا پیشنهاد می‌گردد برای سایر مناطق که از لحاظ پارامترهای جغرافیایی به منطقه مورد مطالعه شباهت دارند روش Stefan-Boltzman به‌کار گرفته شود.

کلید واژه‌ها: دمای سطح زمین، تهران، Artis، Stefan_Boltzman، Mono_Window.

مقدمه

دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلمندی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفری بستگی دارد. این دما را می‌توان با استفاده از تابش مادون‌قرمز که از سطح زمین ساطع می‌گردد به وسیله معادله معکوس پلانک برآورد نمود (Hossingholizade and Ziaean, 2018). ازجمله روش‌های مرسوم جهت بررسی تغییرات مکانی دمای هوا، استفاده از روش‌های رگرسیون و درون‌یابی میان ایستگاه‌های هواشناسی است که به دلیل توزیع نامنظم و در بیش‌تر موارد فاصله‌های بسیار زیاد ایستگاه‌ها و مدنظر قرار ندادن شرایط آب و هوایی استقرار ایستگاه‌ها و توپوگرافی منطقه، بررسی نتایج حاصل از روش‌های سنتی بیان شده و تعمیم آن‌ها را، امری غیرواقع بینانه و بعضاً با خطای زیاد همراه خواهد کرد (Mallick et al., 2008). استفاده از رگرسیون و درون‌یابی، حاکی از محدودیت‌های روش‌های مورد استفاده در پایش تغییرات مکانی دماست چراکه این روش‌ها بیش‌تر در مناطق با وسعت کم، هموار (عدم تغییرات ارتفاعی) و تقریباً یکدست از لحاظ تغییر در شرایط اقلیمی از کارایی قابل‌توجهی برخوردار هستند (Ebrahimi et al., 2016). واضح است که در بررسی دمای هوا در مقیاس‌های وسیع عوامل دیگری مانند پوشش گیاهی، تغییرات کاربری اراضی، شرایط توپوگرافی و ... دخیل هستند (Alavipanah, 2006). در این میان تعداد محدود ایستگاه‌های هواشناسی جهت تعیین دمای هوا در مقیاس‌های بزرگ مکانی و همچنین نقطه‌ای بودن دمای این ایستگاه‌ها ازجمله مشکلات پیشرو است، به‌طوری‌که تعمیم آن به سایر نقاط که در فاصله‌های دور و نزدیکی از ایستگاه پایش دما قرار دارند را با عدم قطعیت بسیار روبرو می‌کند. این مسئله ضرورت روش‌های علمی که امکان محاسبه دمای هر نقطه از سطح زمین را فراهم می‌کند را بیش‌تر مطرح می‌کند (Jahanbakhsh et al., 2011). در این پژوهش استخراج گسیلمندی از سه روش مختلف شامل: NDVI Normalized difference vegetation index، Classification و Modis Product صورت گرفت سپس برای برآورد دمای سطح از معادلات Mono-Window، Artis و Stefan-Boltzman و تصاویر سنجنده های TM، ETM+ و TIRS استفاده شد. با مقایسه نتایج این روش‌ها با یکدیگر و همچنین دمای ارائه‌شده توسط سازمان هواشناسی روش مناسب تعیین گردید درزمینه‌ی تعیین دمای سطح زمین تحقیقاتی انجام‌گرفته که می‌توان به این موارد اشاره کرد: Alavipanah et al (2011) دمای سطح یاردانگ های کویر لوت را با استفاده از تصاویر لندست و روش Mono-window برای سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ مورد بررسی قراردادند که نتایج حاکی از کم‌تر بودن دمای

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

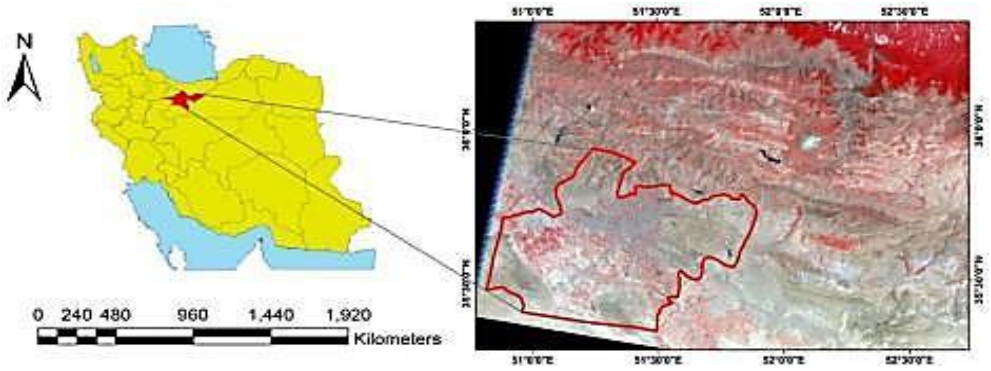
یاردانگ‌های کویر لوت نسبت به زمین‌های شنی اطراف داشت. Alipour et al (2003) دمای سطح زمین در شهر الشتر را با استفاده از روش Mono_window و گسیلمندی حاصل از NDVI محاسبه کردند که نتایج نشان از وابستگی زیاد دمای سطح به میزان بخار آب موجود در جو زمین داشت. Malekpour et al (2006) تحقیقی در رابطه با تخمین درجه حرارت سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی ETM و الگوریتم سبال در شهر تهران انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش به‌کار رفته جهت تخمین مقادیر بازتابش و درجه حرارت سطح، بروی مناطق شهری یکنواخت با دقت قابل قبولی عملی بوده و می‌تواند به منظور برآورد میزان توسعه شهری در یک دوره زمانی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. Rozentin et al (2014) با استفاده از روش الگوریتم Split-Window دمای سطح منطقه مورد مطالعه را با استفاده از تصاویر لندست ۸ برآورد کردند که ریشه مربعات خطای LST را ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد برآورد نموده‌اند. Hamzehlouee (2015) نقاط حرارتی تهران را با استفاده از تصاویر با توان تفکیک بالای Geoeye و داده‌برداری میدانی محاسبه نمود. Sadeghiny et al (2012) با استفاده از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ با روش تک پنجره و همچنین رگرسیون خطی و پردازش‌های آماری روند گسترش نقاط حرارتی را در سال‌های مذکور برای منطقه تهران مورد بررسی قرار دادند. Ebrahimi (2013) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM به بررسی رابطه بین جزایر حرارتی و انواع مختلف کاربری‌ها با استفاده از روش Split-Window در منطقه کرج پرداخت. Almodaresi et al (2014) برای استخراج LST به کمک لندست ۸ از شاخص NDVI استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد نقشه تهیه شده با استفاده از باند ۱۱ دقتی بیش تر از باند ۱۰ دارد. همچنین برای مناطق سردسیر یا تصاویر نیمه دوم سال، باند حرارتی ۱۰ و برای تصاویر نیمه نخست سال یا مناطق گرمسیر، باند حرارتی ۱۱ نتایج بهتری دارد. Mao et al (2005) با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و الگوریتم Split-Window دمای سطح زمین را بازیابی کردند. Wang and Lo (2004) حرارت چندین شهر را با استفاده از تصاویر حرارتی مادون‌قرمز و قدرت تفکیک مکانی بالا با استفاده از روش تک پنجره ارزیابی نمودند که در نتیجه آن‌ها دریافتند به هنگام روز، بخش‌های تجاری و سپس مناطق حمل‌ونقل، بالاترین دما را دارند و پایین‌ترین دما به ترتیب به محل‌های دارای آب، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی است. در شب مناطق تجاری، خدماتی، صنعتی و حمل‌ونقل سریع‌تر خنک می‌شوند و در اصل دمای آن‌ها در ساعات اولیه بامداد، قدری بیش‌تر از پوشش گیاهی و کشتزارهاست. Amiri (2009) با استفاده از تصاویر TM، ETM+ چند زمانه شهر تبریز و روش Artis به بررسی تغییرپذیری فضایی–زمانی حرارت در زمینه کاربری پوشش زمین پرداختند. در تحقیقی که توسط Sadeghiny et al (2014) انجام شد روند تغییرات حرارتی تهران به صورت فضایی–زمانی در بازه زمانی ۱۹۸٦ تا ۲۰۱۰ با استفاده از روش تک پنجره مورد بررسی قرار گرفت که در طی آن با توجه به نتایج خود همبستگی فضایی عمومی دو نتیجه‌ی مهم حاصل شد: اول در طول دوره مطالعه خوشه‌های حرارتی جدیدی در شهر تهران شکل گرفته است و دوم وسعت فضایی خوشه‌های حرارتی قبلی رو به افزایش است. تحقیقات مشابهی هم توسط Baghideh (2009)، Fezeazade (2016) و Hashemi (2013) با روش Mono_window و تصاویر سنجنده TM جهت دستیابی به دمای

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

سطح صورت گرفته است. در این تحقیق ضمن استفاده از NDVI به عنوان روش مرسوم استخراج گسیلمندی از دو روش طبقه‌بندی و محصول MODIS جهت استخراج گسیلمندی استفاده گردید همچنین علاوه بر تصویر TM از تصاویر+ETM و OLI در زمان‌های مختلف استفاده شد.

محدوده مورد مطالعه

بخش‌هایی از استان تهران در عرض جغرافیای ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ٤٨ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی است. این منطقه از نظر اقلیمی دارای تنوع زیادی می‌باشد. به گونه‌ای که از اقلیم بیابانی در قسمت‌های جنوبی شروع شده و تا اقلیم مرطوب در شمال و کوهستانی در قسمت‌های شرقی ادامه پیدا می‌کند. منطقه مورد مطالعه از نظر سیستم طبقه‌بندی UTM در قاچ ۳۹ شمالی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: ایران و منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Iran and Case study

در این پژوهش از تصاویر سنجنده های TM و +ETM و(OLI)TIRS (جدول ۱) و MODIS Product، داده‌های هواشناسی شامل داده‌های دمای هوا (Ta) و رطوبت نسبی (RH) و همچنین نمونه‌برداری دمایی از سطح و هوای بالای آن (ارتفاع یک و نیم متری) استفاده شد. شماره ردیف و مسیر مورداستفاده برای کلیه تصاویر به‌ترتیب ۳۵ و ١٦٤ است. همچنین سعی شد تصاویر با کم‌ترین میزان ابرناکی انتخاب شد تا در استفاده از الگوریتم‌های مختلف اختلال ایجاد نکند.

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

Table 1- Specifications of the images used

سنجنده	تاریخ اخذ تصویر (میلادی-شمسی)		آزیموت خورشیدی (درجه)
	میلادی	شمسی	
TM	۲۰۱۰/۰٦/۰٤	۸۹/۰۳/۱٤	۱۱۸/۲۸۱
ETM	۲۰۰۲/۱۰/۱۲	۸۱/۰۷/۲۰	۱۵۱/٦۲٦
TIRSOLI	۲۰۱۵/۰۹/۰٦	۹٤/۰٦/۱۵	۱٤۲/۵٤۲
TM	۲۰۰۸/۰٦/۳۰	۸۷/۰٤/ ۱۰	۱۱۳/۸۷۷

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

Table 1- Specifications of the images used

سنجنده	تاریخ اخذ تصویر (میلادی-شمسی)		آزیموت خورشیدی (درجه)
	میلادی	شمسی	
ETM	۲۰۰۲/۰۸/۰۹	۸۱/۰۵/۱۸	۱۲۵/۷۷٤
TM	۲۰۰۹/۰۷/ ۱۹	۸۸/۰٤/۲۸	۱۱۷/۷۸۹
ETM	۲۰۰۱/۰٦/۰۳	۸۰/۰۳/۱۳	۱۱۸/۰۷۲
MODIS	۲۰۰۹/۰۷/۱۹	۸۸/۰٤/۲۸	۱۲۹/۰۱٦
MODIS	۲۰۰۸/۰٦/۳۰	۸۷/۰٤/۱۰	۱۲٤/۱۲۱
MODIS	۲۰۱۵/۰۹/۰٦	۹٤/۰٦/۱۵	۱۲۷/۳٤۲

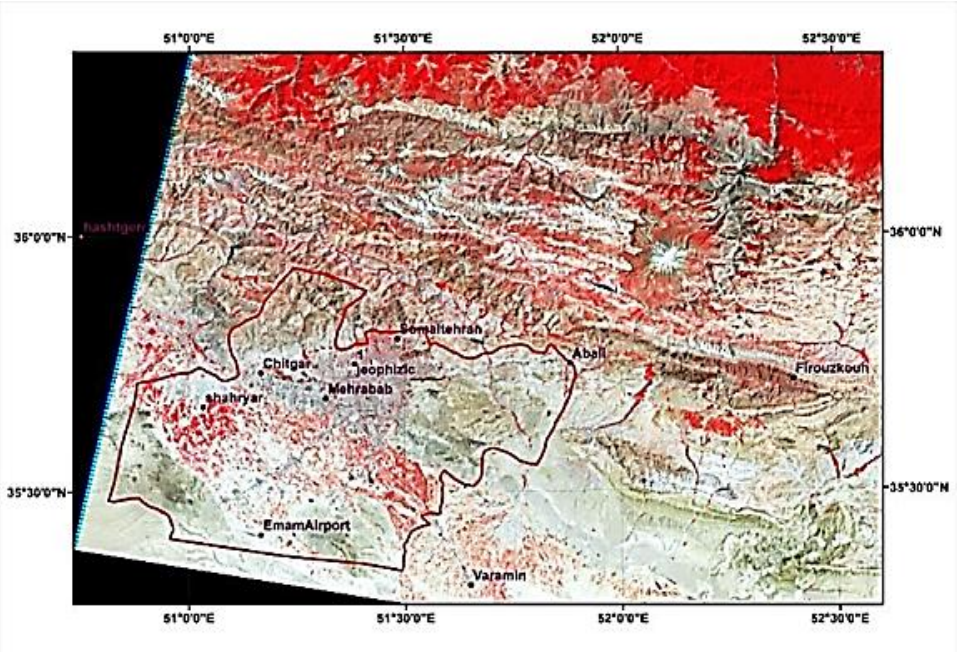
برای بالا بردن دقت، پراکندگی مناسب در منطقه و همچنین تعدادی از ایستگاه‌ها در خارج از منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید جدول (۲) مشخصات ایستگاه‌های مورداستفاده و شکل (۲) موقعیت آن‌ها را نشان می‌دهد. تصاویر TM،ETM+،TIRS و MODIS استفاده شده در این پژوهش از نظر زمین مرجع بودن مورد بررسی قرار گرفت. برای تصحیح اتمسفری نیز از روش FLAASH استفاده شد روش FLAASH برخلاف سایر روش‌ها که پارامترهای پیش‌فرض را جهت تصحیح به‌کار می‌گیرند از مدل‌های فیزیکی انتقال انرژی الکترومغناطیسی برای تصحیح اثرات اتمسفر استفاده می‌کند در این روش کلیه پارامترها ازجمله ساعت، تاریخ، طول و عرض جغرافیایی، نوع سنسور، ارتفاع متوسط منطقه، باندهای بازیابی بخار آب، نوع مواد معلق در هوا، نوع تصویر، میزان کربن دی‌اکسید (CO_2) مستقیم توسط خود کاربر قابل تغییر است که همگی آن‌ها از فایل Header همراه تصاویر استخراج شد.

جدول ۲- ایستگاه‌ها و موقعیت مکانی آن‌ها

Table 2- Stations and their location

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	آبعلی	۳۵ ٤۵	۵۱ ۵۳	۷	ژئوفیزیک	۳۵ ٤۵	۵۱ ۲۳
۲	چیتگر	۳۵ ٤٤	۵۱ ۱۰	۸	شمال تهران	۳۵ ٤۸	۵۱ ۲۹
۳	هشتگرد	۳٦ ۰۰	۵۰ ٤۵	۹	شهریار	۳۵ ٤۰	۵۱ ۰۲
٤	دوشان تپه	۳۵ ٤۲	۵۱ ۲۰	۱۰	فرودگاه مهرآباد	۳۵ ٤۱	۵۱ ۱۹
۵	فیروزکوه	۳۵ ٤۳	۵۲ ۲٤	۱۱	ورامین	۳۵ ۱۹	۵۱ ۳۹
٦	فرودگاه امام	۳۵ ۲۵	۵۱ ۱۰				

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

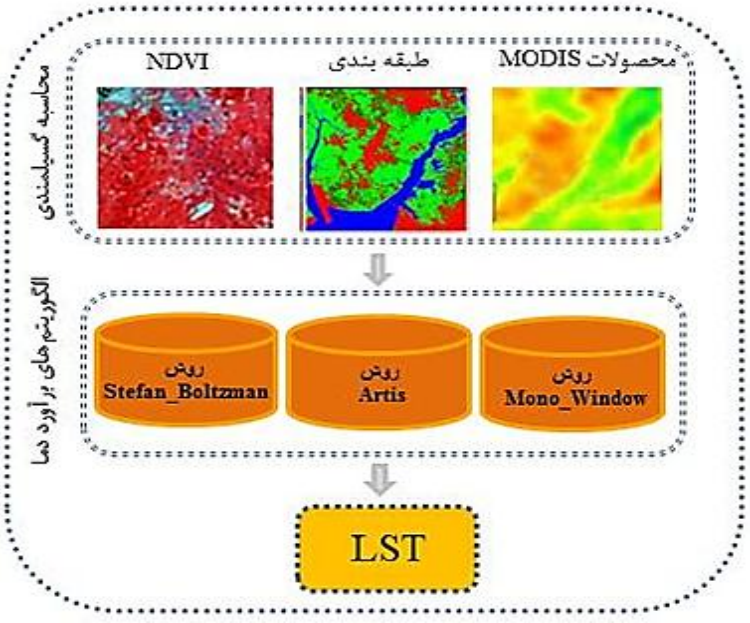


شکل ۲: ایستگاه‌ها و محدوده منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر

Figure 2: The position of the stations and the study area on the image

روش‌های استخراج گسیلندگی زمین

روش‌های مختلفی برای به دست آوردن دمای سطح زمین وجود دارد که در این تحقیق از سه روش زیر استفاده شد، شکل (۳) روند کلی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳: روند کلی برآورد دما با گسیلندگی‌های مختلف

Figure 3: General process of temperature estimation with different emission

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

الف) برآورد گسیلندگی بر مبنای NDVI

با دو باند قرمز و مادون‌قرمز با استفاده از رابطه (۱) مقدار NDVI محاسبه و سپس از روش آستانه گذاری NDVI (جدول ۳) نقشه گسیلمندی تهیه گردید.

$$NDVI=\frac{band\,4-band\,3}{band\,4+band\,3}$$ رابطه (۱)

جدول ۳- تقسیم‌بندی‌های محدوده NDVI (Zimanyi, 2007 & Malinowski, 2007)

Table 3- NDVI Area Divisions (Zimanyi, 2007 & Malinowski, 2007)

NDVI	گسیلندگی سطح زمین (ε)
$-1<NDVI<-0/185$	۰/۹۸۵
$-0/185<NDVI<0/157$	۰/۹۵۵
$0/157<NDVI<0/727$	۱/۰۰۹٤+۰/۰۰٤۷ Ln (NDVI)
$0/727<NDVI<0/8$	۰/۹۹
$0/8<NDVI<1$	۰/۹۹

ب) برآورد گسیلمندی بر مبنای طبقه‌بندی

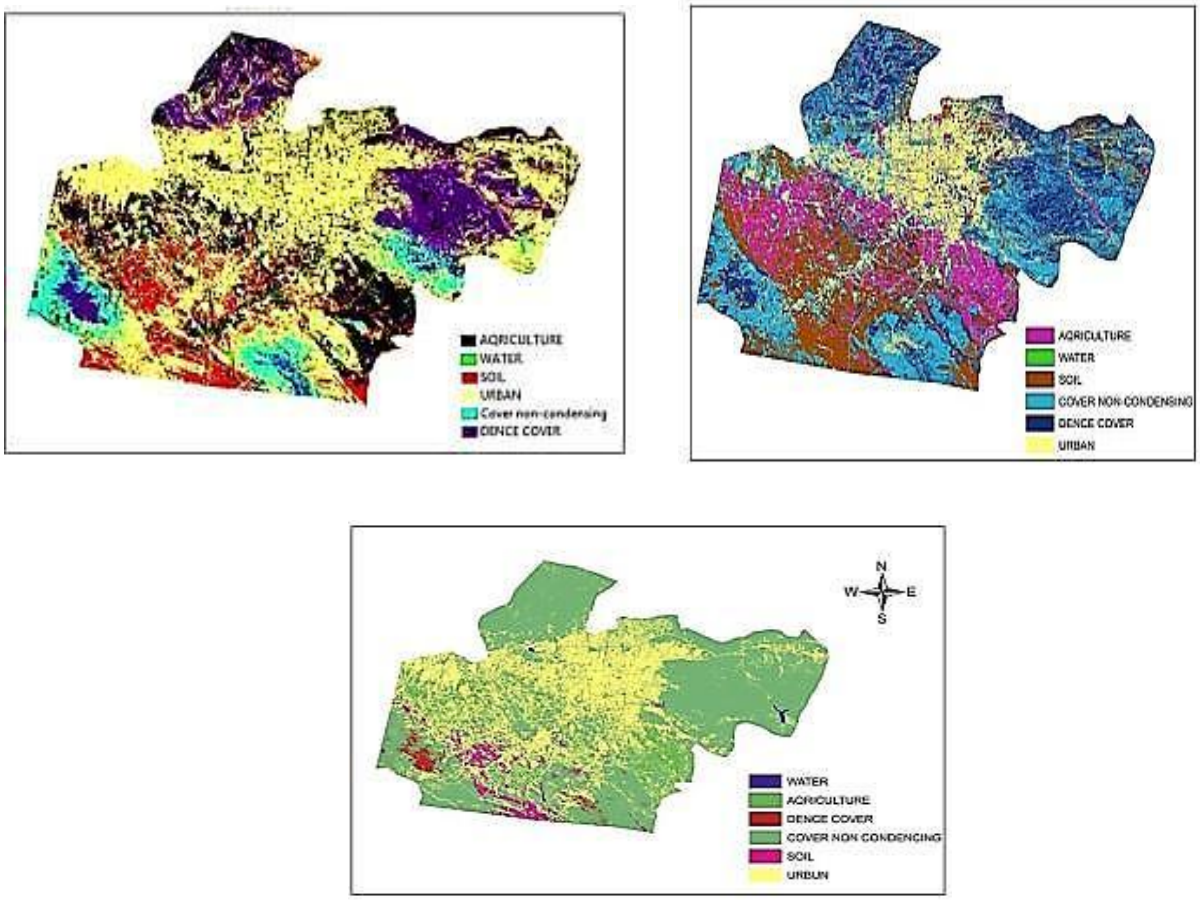
تصاویر به شش طبقه شامل: کشاورزی، آب، خاک، پوشش گیاهی متراکم، پوشش گیاهی غیر متراکم و منطقه شهری با کمک نقشه‌های ۱/۲۰۰۰ کاربری اراضی و روش بیش‌ترین شباهت صورت گرفت (شکل ٤). سپس به هر طبقه براساس جدول (۵) عدد گسیلمندی اختصاص داده شد. جدول (٤) دقت طبقه‌بندی تصاویر مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ٤- میزان ضریب کاپا و صحت کلی برای تصاویر مختلف

Table 4- Kappa coefficient and overall accuracy for different images

تصویر	صحت کلی	ضریب کاپا
OLI ۲۰۱۵	۹۳/۹۹	۹۰/۷۹
ETM+۲۰۰۲	۹۰/٤۸	۸۷/۲۱
TM ۲۰۱۰	۹۳/٤٤	۸۹/۸۷
ETM ۲۰۰۲/۰۹/۰۸	۹۰/۱۲	۸٦/٤۱
ETM+۲۰۰۱	۸۸/۹۵	۸۵/۱۱
TM ۲۰۰۸	۹۱/۳۵	۸۹/۵۰
TM ۲۰۰۹	۹٤/۰۱	۹۱/۷٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل٤: تصویر طبقه شده با روش MLC

الف) تصویر TM سال ۲۰۱۰

ب) تصویر ETM سال ۲۰۰۲

ج) تصویر OLI سال ۲۰۱۵

Figure 4: Classified image by MLC method

A) ImageTM 2010

B) 2002 ETM image

C) OLI image of 2015

جدول ۵- میزان گسیلمندی طبقات مختلف (Chen, 2015; Coll & et al., 2000)

Table 5- Emission rate of different classes

ردیف	محصول (طبقه)	میزان گسیلندگی
۱	آب	۰/۹۹۲
۲	خاک	۰/۹۶۲
۳	زیر کشت (کشاورزی)	۰/۹٤۲
٤	پوشش متراکم	۰/۹۷۵
۵	پوشش غیر متراکم	۰/۹۲٤
٦	منطقه شهری	۰/۹۱۸

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

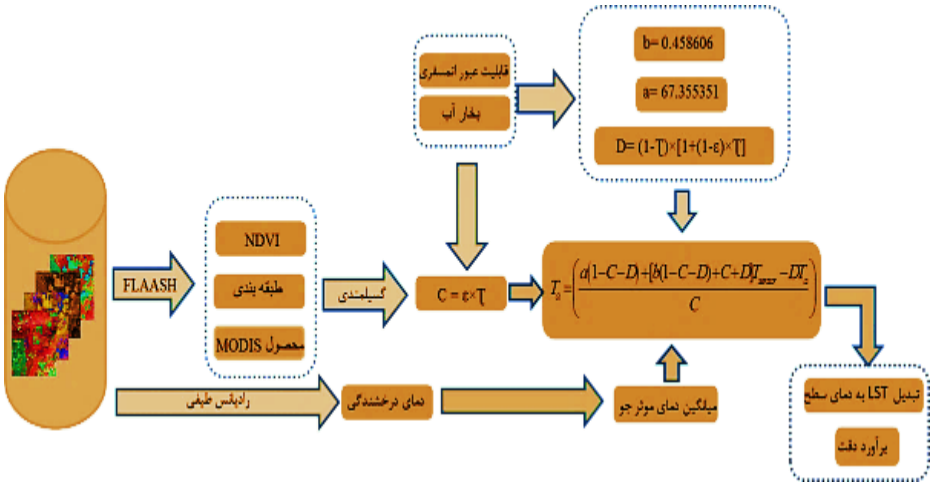
ج) برآورد گسیلندگی بر مبنای محصول آماده MODIS

تصاویر باند ۳۱ و ۳۲ MODIS به‌منظور هم‌اندازه شدن با پیکسل‌های تصاویر لندست متناسب با سری آن به اندازه‌های ٦٠، ۱۲۰ و ۱۰۰ به‌ترتیب برای تصاویر+ETM، TM و OLI) Resample و سپس وارد معادلات برآورد دما شد.

روش‌های برآورد دمای سطح زمین

الف) روش Mono_Window

در این روش تبدیل رادیانس طیفی (L) به دمای درخشندگی (BT) برحسب درجه کلوین و تخمین قابلیت عبور دهندگی جو براساس روابط (۲، ۳، ٤، ٥) صورت گرفت، شکل (٥) روند کلی برآورد دما بروش Mono-window را نشان می‌دهد (Qin, 2001):



شکل ٥: روند کلی برآورد دما به روش Mono_window

Figure 5: General process of temperature estimation using Mono_window method

رابطه (۲) $L_l = gain \times DN \times offset$

رابطه (۳) $L_l = \frac{L_{max} - L_{min}}{Qcal_{max} - Qcal_{min}} \times (DN - Qcal_{min}) + L_{min}$

رابطه (٤) $T_{sensor} = \frac{K_2}{Ln(\frac{K_1}{L_l} + 1)}$

رابطه (٥) $W_i = 0.0981 \times \left\{10 \times 0.6108 \times \exp\left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)}\right] \times (RH/100)\right\} + 0.1697$

در روابط بالا پارامترهای BT: دمای مؤثر در سنجنده (کلوین)، K1: ثابت کالیبراسیون اول، K2: ثابت کالیبراسیون دوم، L: رادیانس طیفی سنجنده، W_i مقدار بخارآب، RH رطوبت نسبی و T_0 دمای هوای نزدیک

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

سطح زمین است؛ که مقدار K برای سنجنده های مختلف از جدول (٦) استخراج گردید. Mao & Qin, 2005 (Zhang & Weng 2008; Zhang & Weng, 2006).

جدول ٦- مقدار K برای سری‌های مختلف ماهواره لندست (Landsat User Hand Book,2007; Landsat, U. 8 (L8) Data Users Hand book Version, 2013; Landsat, N. Science Data Users Handbook, 1999)

Table 6- Value K for different series of Landsat satellite

ریب کالیبراسیون	K_1	K_2
TM	٦٠٧/٧٦	١٢٦٠/٥٦
ETM+	٦٦٦/٠٩	١٢٨٢/٧١
OLI BAND10	٧٧٤/٨٩	١٣٢١/٠٨
OLI BAND11	٤٨٠/٨٩	١٢٠١/١٤

سپس برای محاسبه قابلیت عبور دهندگی جو با توجه به مقدار بخار آب و میانگین دمای مؤثر جو از روابط جدول (٧ و ٨) استفاده شد.

جدول ٧- جدول تخمین قابلیت عبور اتمسفری بخار آب برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Qin et al., 2001)

Table 7- Table for estimating the atmospheric permeability of water vapor in grams per cubic centimeter

تخمین قابلیت عبوراتمسفری	بخار آب (گرم)	درجه حرارت هوا
٠/٩٧٤٢٩-٠/٠٨٠٠٧ W_i	٠/٤-١/٦	بالا
١/٠٣١٤١٢-٠/١١٥٣٦ W_i	١/٦-٣	بالا
٠/٩٨٢٠٠٧-٠/٠٩٦١١ W_i	٠/٤-١/٦	پایین
١/٠٥٣٧١-٠/١٤١٤٢ W_i	١/٦-٣	پایین

جدول ٨- برآورد میانگین دمای مؤثر جو براساس ناحیه مورد مطالعه (Latif, 2014, Gong et al., 2012)

Table 8- Estimation of the average effective atmospheric temperature based on the study area

ردیف	ناحیه مورد مطالعه	برآورد میانگین دمای مؤثر جو
١	حاره	١٧/٩٧٩٦ +٠/٩١٧١٥ × T_0
٢	ایالات‌متحده آمریکا	٢٥/٩٣٩٦+٠/٨٨٠٤٥ ×T_0
٣	برون حاره (تابستان)	١٦/٠١١٠ +٠/٩٢٦٢١ ×T_0
٤	برون حاره (زمستان)	١٩/٢٧٠٤ +٠/٩١١١٨ ×T_0

در نهایت با استفاده از روابط زیر دمای سطح زمین محاسبه گردید (Muñoz, 2003).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه (٦) $C = e_i \times t_i$

رابطه (٧) $a = -۶۷/۳۵۵۳۵۱$

$b = ۰/٤٥٨٦۰٦$

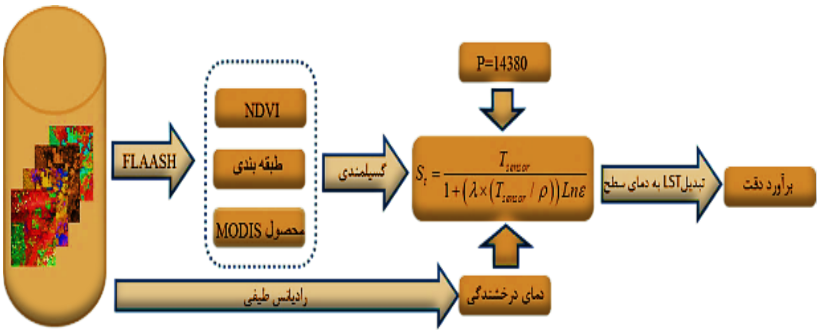
رابطه (٨) $D=(1-t_i)\times[1+(e_i \times t_i)]$

رابطه (٩) $T_S = \frac{\{a(1-C-D)+[b(1-C-D)+C+D]\times T_{sensor} - (D\times T_a)\}}{C}$

که در معادلات فوق T_s درجه حرارت سطح زمین، T_{sensor} درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، e_i میزان گسیلندگی، T_a میانگین دمای مؤثر جو، t_i قابلیت عبور دهندگی جو است.

ب) روش Artis

برای به‌دست آوردن دما با این روش به‌ترتیب نیاز به محاسبه رادیانس طیفی، درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده و گسیلمندی است؛ که با توجه به اینکه این مراحل به طور مشابه در روش تک پنجره اجرا شد از بیان دوباره فرمول‌ها خودداری می‌شود. درنهایت پس از محاسبه پارامترهای لازم با استفاده از رابطه (۱۰) دمای سطح زمین محاسبه شد (Tan, 2010) روند کلی این روش در شکل (٤) آمده است. (Farina, 2012; Feng et al., 2014).



شکل ٦: روند کلی برآورد دما به روش Artis

Figure 6: General process of temperature estimation by Artis method

رابطه (۱۰) $\rho = ۱٤۳۸۰$

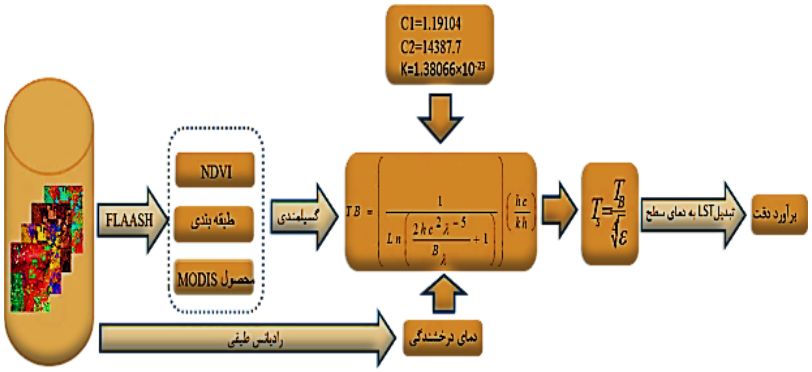
$S_t = \frac{T_{sensor}}{1+(l\times(T_{sensor}/r))Lne}$

در رابطه (۱۰) λ طول موج رادیانس ساطع شده (۱۱/۵ میکرومتر) و ε توان تشعشعی است.

ج) روش استفان-بولتزمن

در این روش پس از محاسبه رادیانس و دمای درخشندگی مقدار دمای سطح با استفاده از روابط (۱۱ و ۱۲) به‌دست آمد (Ha et al., 2008). شکل (۷) مراحل کار روش استفان-بولتزمن را نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۷: روند کلی برآورد دما به روش Stefan_Boltzman

Figure 7: General process of temperature estimation by Stefan_Boltzman method

رابطه (۱۱)

$$B_l = \frac{C_1}{l^5 \exp\left(\frac{C_2}{l \times T}\right) - 1}$$

رابطه (۱۲)

$$TB = \left(\frac{1}{Ln\left(\frac{2hc^2 l^{-5}}{B_l} + 1\right)}\right)\left(\frac{hc}{kh}\right)$$

در روابط ۱۱ و ۱۲ مقادیر C۱ ضریب ثابت ($۱/۱۹۱۰۴\times۱۰^{-۸}$)، C۲ ضریب ثابت (۱۴۳۸۷/۷)، h ثابت پلانک $۶/۶۲\times۱۰^{-۳۴}$، سرعت نور ($۲/۹۹۸\times۱۰^{۸}$)، λ طول موج تابش گسیل شده (طول موج مرکزی)، B_λ تابش جسم سیاه، K ثابت استفان–بولتزمن ($۱/۳۸۰۶۶\times۱۰^{-۲۳}$) است.

نمونه‌برداری میدانی

برای تبدیل دمای سطح زمین به ارتفاع یک و نیم متری براساس نمونه‌برداری‌های انجام شده همزمان به عبور ماهواره و مقایسه آن با دمای ایستگاه‌های هواشناسی در نرم‌افزار SPSS، برای تهران رابطه $T_a = ۰/۴۴ \times T_s + ۸/۸$ پیشنهاد شد که کلیه دماهای به‌دست‌آمده از روش‌های Mono_Window، Artis و Stefan-Boltzman توسط رابطه فوق به دمای هوای یک و نیم متری به منظور مقایسه با داده‌های هواشناسی تبدیل شد.

یافته‌ها و بحث

مقدار گسیلمندی پارامتر مهم و تأثیرگذار در تخمین مقدار دقیق‌تر LST محسوب می‌شود براساس جدول (۱۰) در بین روش‌های مورداستفاده، مقادیر شاخص میانگین خطای مطلق برای سه روش Mono-Window، Artis و Stefan_Boltzman به‌ترتیب ۱/۸۷۷، ۱/۷۴۴ و ۱/۵۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. مقایسه برآورد دما حاصل از ناشی از طبقه‌بندی با دیگر روش‌ها ازجمله گسیلمندی حاصل از NDVI و محصول آماده Modis نشان از برآورد مناسب‌تر Stefan_Boltzman با گسیلمندی برآمده از روش طبقه‌بندی دارد (جدول ۱۰). در روش طبقه‌بندی، عوارضی که بر روی زمین قرار دارند، به طور اختصاصی یک عدد منحصربه‌فرد برای گسیلمندی دریافت می‌کنند که

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

باعث تمایز و عدم یکنواختی اشیا و عوارض روی زمین شده است، اما در استفاده از MODISProduct به دلیل بزرگ بودن اندازه پیکسل خروجی تعداد بسیار زیاد عوارض در یک پیکسل، منجر به عدم تمایز بین اشیا شده که این امر خطا در برآورد دما می‌شود که RMSE بیش‌تری را در پی داشته است. همچنین در روش NDVI به دلیل تأکید بر گیاهان نسبت به سایر عوارض موجود، برآورد با دقت کم‌تر صورت گرفته که خود یکی از ضعف‌های برآورد دما با استفاده از گسیلمندی حاصل از NDVI است. شکل (۸) تعدادی از خروجی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۹- اعتبارسنجی روش‌ها با استفاده از آزمون T

Table 9- Validation of methods using t-test

T	Sig	Std Deviation	Mean	روش
٦/٩٥٦	۰/۷۷۷	۱/۵۲۱	۳۵/۵۰۲	Artis
۷/۷٤٤	۰/٦٤۹	۱/٦۳۹	۳٤/۸۹۱	Stefan_Boltzman
٤/۵۳۱	۰/۱۷٤	۲/۳۰٤	۳۵/۷۲٤	Mono_window
٤/۵۹۷	۰/۱۹۹	۱/۹۳۱	۳٤/۹٤۸	Artis from classification
۵/۳۲	۰/۲۸۹	۲/۲۸٤	۳۵/۵۸۰	Stefan_Boltzman from classification
٤/٤۰	۰/۱۲۲	۲/۰۸۷	۳٦/۱۳۸	Mono-Window from classification

جدول ۱۰- میزان خطای (سانتی‌گراد) محاسبه دما پس از تبدیل به دمای هوا

Table 10- Error rate (Celsius) of temperature calculation after conversion to air temperature

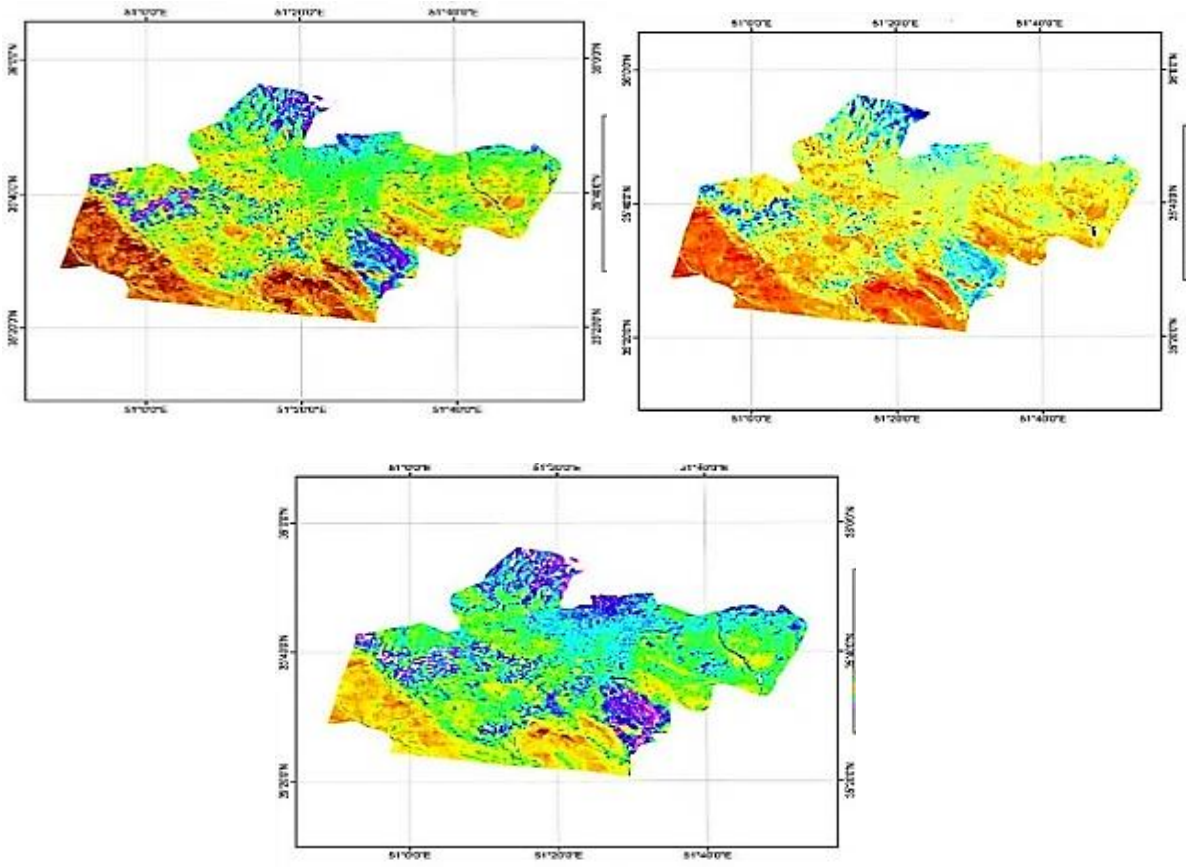
ردیف	روش / نوع تصویر	Mono_Window (تک پنجره)	Artis (دفتر علوم لندست)	Stefan_Boltzman استفان بولتزمن
۱	TM۲۰۱۰/۰٦/۰٤	۱/۵٦۹	۱/۷۰٤	۱/٤۲٤
۲	ETM+۲۰۰۲/۰۸/۰۹	۲/۱۷	۱/۸۱	۱/۵۲
۳	TIRS۲۰۱۵/۰۹/۰٦	۲/۱۹	۲/۱٦	۱/۷٤
٤	TM۲۰۰۸/۰٦/۳۰	۱/٤۳	۱/۳۵	۱/۲۸
۵	TM۲۰۰۹ /۰۷/۱۹	۲/۳۰	۲/۱۲	۱/۹۸
۷	ETM +۲۰۰۰/۱۰/۱۲	۱/۵۰	۱/۱٤	۱/۰۹
۸	ETM+۲۰۰۱/۰٦/۰۳	۱/۹۸	۱/۹۳	۱/۷۵
۹	ETM+۲۰۰۲/۱۰/۱۲	۱/۵۸	۱/۳۹	۱/۲٦
۱۰	TM۲۰۱۰/۰٦/۰٤	۱/۹۹	۱/۷۲	۱/۵۰
۱۱	TIRS۲۰۱۵/۰۹/۰٦	۱/٦۲	۱/۳۹	۱/۱٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۱۰- میزان خطای (سانتی‌گراد) محاسبه دما پس از تبدیل به دمای هوا

Continue Table 10- Error rate (Celsius) of temperature calculation after conversion to air temperature

ردیف	روش نوع تصویر	Mono_Window (تک پنجره)	Artis (دفتر علوم لندست)	Stefan_Boltzman استفان بولتزمن
۱۲	ETM+۲۰۰۲/۰۸/۰۹	۱/۵۲	۱/٤٤	۱/۳٤
۱۳	TM۲۰۰۸/۰٦/۳۰	۱/٦٤	۱/٤۰	۱/۳۵
۱٤	TM۲۰۰۹ /۰۷/۱۹	۲/۱٦	۲/۰۹	۱/۸۲
۱۵	Modis۲۰۰۸/۰٦/۳۰	۱/۹۵	۱/٦۵	۱/٤۸
۱٦	Modis۲۰۰۹/۰۷/۱۹	۲/۳۷	۲/۲۵	۲/۲۲
۱۷	Modis۲۰۱۵/۰۹/۰٦	۲/٦٤	۲/٤۹	۲/۳۸



شکل ۸: برآورد دما با استفاده از گسیلمندی حاصل از NDVI

Figure 8: Estimation of temperature using NDVI emissions

نتیجه‌گیری

پژوهش حاصل با هدف تعیین بهترین روش برآورد دما از بین روش‌های Artis،Mono-Window و Stefan-

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Boltzman در منطقه تهران صورت گرفته که در آن از راه‌های مختلف، جهت برآورد گسیلمندی استفاده شده است. نتایج نشان داد که برآورد گسیلمندی از راه طبقه‌بندی و ورود آن به معادلات برآورد دما نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشته است همچنین استفاده از تصاویر +ETM با اندازه پیکسل ٦٠ متر نسبت به تصاویر TM و OLI که به‌ترتیب اندازه پیکسل ۱۲۰ و ۱۰۰ دارند نتایج مناسب‌تری را ارائه کرده است (جدول ۱۰). با تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS و استفاده از آزمون آماری کلوموگرف_اسمیرنف و اثبات نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون T سطح معنی‌داری (sig) کم‌تر از ۵ درصد به‌دست آمد (جدول ۹) نتیجه‌گیری می‌شود می‌توان از این روش برآورد دما برای جامعه بزرگ‌تر آماری در شرایط مساوی اقلیمی و توپوگرافی استفاده کرد. به منظور افزایش و تعمیم هر چه بیش‌تر نتایج، استفاده از تصاویر حرارتی سایر ماهواره‌ها و الگوریتم‌های دیگر برآورد دما و همچنین استفاده از تعداد طبقات بیش‌تر برای طبقه‌بندی تصویر برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Reference

- AlaviPanah, S., (2006), "***Thermal remote sensing and its application in earth sciences***", First time. University of Tehran Press.
- Alavipanah, S. K., Komaki, C. B., Karimpour, R. M., Sarajian, M., Savaghebi, F. G. R., Moghimi, E., (2007), "Land surface temperature in the Yardang region of Lut Desert (Iran) based on field measurements and Landsat thermal data", ***Journal of Agricultural Science and Technology***, 9: 287-303.
- Alipour, T., Sarajian, M., Esmaeily, A,. (2003), "Land Surface Temprature Estimation From Thermal Band of Landsat Sensor, Case Study: Alashtar City", ***The International Achieves of the Photogrammetry -Remote Sensing and Spatial Information Sciences***, 38: 4-17.
- Al-Modarressi, A., Saatic. A., Ebrahimi., S. A., (2013), "***Extraction of thermal islands in Tehran using ASTER images, the first national conference on spatial information technology engineering***", Faculty of Surveying Engineering, Khajeh Nasiruddin Tusi University of Technology, Tehran.
- Akbari, A., Ebrahimi, M., (2016), "Investigation of the effect of some geographical parameters on the surface temperature of the earth using the method of Sabal and decision tree in Taftan volcano cone", ***Geographical Space***, 17 (57): 105-126.
- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., Alavipanah, S. K., (2009), "Spatial–temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran", ***Remote sensing of environment***, 113 (12): 2606-2617.
- Azar, A., Momeni, M., (2013), "***Statistics and its application in management, First edition***", Samt Publications, Tehran.
- Baghideh, M., Alijani, B., Ziaeian Firoozabadi, P., (2009), "Investigating the possibility of using NDVI vegetation index in drought analysis of Isfahan province", ***Journal of Geographical Studies of Arid Areas***, 4: 1-16.
- Buettner, K. J., Kern, C. D., (1965), "The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces", ***Journal of Geophysical Research***, 70 (6): 1329-1337.
- Chen, C., (2015), "Determining the leaf emissivity of three crops by infrared thermometry", ***Sensors***, 15 (5): 11387-11401.
- Coll, C., Caselles, V., Rubio, E., Valor, E., Sospedra, F., (2000), "Field emissivity measurements during the ReSeDA experiment", ***Phys, Chem. Earth***, 38: 11-24.
- Ebrahimi Heravi, B., Rangzan,K., Riahi Bakhtiari., (2016), "Determining the most suitable method for extracting the surface temperature using Landsat 8 satellite images in Karaj metropolis", ***Iranian Journal of Remote Sensing and GIS***, Volume 8: 59-76.
- Ebrahimi Heravi, B., (2016), "Analysis of Relationships between Urban Thermal Islands and Land Use Change/Coverage Using Satellite Images in Karaj Metropolis", M. Sc. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz.
- Farina, A., (2012), "Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain", ***Luma-Gis Thesis***.
- Feizizadeh, B., Khalil, D., (2016), "Estimation of Earth's surface temperature using Landsat 8 satellite images and separate window algorithm (Case study: Mahabad catchment)", ***Sepehr Geographical Information Quarterly***, 98: 171-185.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., Kohbanani, H. R., (2013), "Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

imagery in Maraqeh County, Iran", ***Journal of Environmental Planning and Management***, 56 (9): 1290-1315.
- Feng, H., Zhao, X., Chen, F., Wu, L., (2014), "Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island", ***Advances in Space Research***, 53 (3): 463-473.
- Gong, P., Pu, R., (2012), "***Retrieval of Land Surface Temperature from Remote Sensing Thermal Images Berkeley USA***", University of California.
- Hamzehlouee, S., (2015), "Determining thermal islands in the city using high resolution images", M.Sc. Thesis, Khajeh Nasir al-Din Tusi University, Tehran.
- Hashemi, S. M., Alavi Panah, S. K., (2016), "Assessing the spatial distribution of surface temperature in the urban environment using therm al remote sensing", ***Journal of Environmental Studies***, 1: 71-92.
- Hossinqholizadeh, A., Ziaian Firoozabadi, P., Tavakoli Saboor, M., (218),"Comparison of different algorithms for estimating ground surface temperature using remote sensing images", ***Second National Conference on Spatial Information Technology Engineering***, Faculty of Surveying Engineering, Khajeh Nasiruddin Tusi University of Technology, Tehran.
- Jahanbakhsh, S., Zahedi, M., (2012), "Calculation of ground surface temperature using Sabal method and decision tree in RS-GIS environment in the central part of Maragheh region", ***Journal of Geography and Planning***, 16: 19-36.
- Latif, M. S., (2014), "Land Surface Temperature Retrival of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm-A Case Study of Ranchi District", ***International Journal of Engineering Development and Research***, 2 (4): 2840-3849.
- Lu, D., Weng, Q., (2004), "Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ imagery", ***Photogrammetric Engineering & Remote Sensing***, 70 (9): 1053-1062.
- Lu, D., Weng, Q., (2006), "Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis", ***Indiana, USA. Remote Sensing of Environment***, 104 (2): 157-167.
- Malinowski, E., Zimanyi, E., (2007), "Designing Conventional, Spatial, and Temporal Data Warehouses: Concepts and Methodological Framework", ***Springer***, 42 (9): 104-118.
- Mallick, J., Kant, Y., Bharath, B. D., (2008), "Estimation of land surface temperature over Delhi using - Landsat-7 ETM+", ***Ind. Geophys. Union***, 12 (3): 131-140.
- Mao, K., Qin, Z., Shi, J., Gong, P, (2005), "A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data", ***International Journal of Remote Sensing***, 26 (15): 3181-3204.
- Owen, T. W., Carlson, T. N., Gillies, R. R., (1998), "An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization", ***International journal of remote sensing***, 19 (9): 1663-1681.
- 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.
- Rahimpour, K., Nematullah, M., (2020), "Evaluation of SEBAL model in estimating real evapotranspiration using MODIS satellite images in data shortage conditions (Rafsanjan plain case study)", ***Geographical Space***, 20 (70): 1-18.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., Karnieli, A., (2014), "Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm", ***Sensors***, 14 (4): 5768-5780.

- Sadeghiny, A., Alijani, B,. Ziaian,P., (2012), "Application of spatial autocorrelation techniques in thermal island analysis in Tehran", ***Journal of Applied Research in Geographical Sciences***, 30: 67-97.

- Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U., Großmann, K., (2012), "Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators-An application for the city of Leipzig (Germany)", ***Ecological Indicators***, 18: 693-704.

- Shakiba, A., ziaian Firoozabadi, P., Ashourloo, A., (2012), "Analysis of land use relationship and land cover and thermal islands of Tehran using ETM + data", ***remote sensing and GIS of Iran***, 1: 39-56.

- Shatai, A., Darvish, A., (2009), "Comparison of object-based and pixel-based classification methods of satellite images in forest type classification", ***Iranian Journal of Natural Resources***, 6: 869-881.

- Tan, K. C., Lim, H. S., MatJafri, M. Z., Abdullah, K., (2010), "Land surface temperature retrieval by using ATCOR3_T and normalized difference vegetation index methods in Penang Island", ***American Journal of Applied Sciences***, 7 (5): 717-730.

- Van, T. T., Bao, H. D. X., (2008), "A study on urban development through land surface temperature by using remote sensing: in case of Ho Chi Minh City", ***VNU Journal of Science: Earth andEnvironmentalSciences***, 24 (3): 68-80.

- Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., (2004), "Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies", ***Remote sensing of Environment***, 89 (4): 467-483.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]