

تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره مطالعه موردی: شهر مشهد

عبدالرسول سلمان ماهینی^۲

توما ویته^۴

نرگس عرب^۱

علیرضا میکاییلی تبریزی^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹

چکیده

دمای سطح زمین یکی از مهم‌ترین عوامل در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین است. داده‌های دمای سطح زمین اطلاعاتی درباره تغییرات مکانی و زمانی سطح زمین در مقیاس جهانی ارائه می‌دهند. در بسیاری از مطالعات، از جمله تخمین موجودی انرژی، بررسی رطوبت و تبخیر و تعرق، تغییرات اقلیمی، جزایر گرمایی شهری و مطالعات محیط‌زیستی دمای سطح زمین به‌عنوان پارامتر اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، اندازه‌گیری دمای سطح زمین به‌منظور برنامه‌ریزی برای استفاده از آن امری ضروری است. الگوریتم‌های زیادی برای تخمین LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه باندهای حرارتی، توسط محققان به‌کار رفته است. در این پژوهش از الگوریتم پنجره مجزا^۵ و تک پنجره^۶ از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای به‌دست آوردن دمای سطح زمین (LST)، در شهر مشهد استفاده شده است. هدف از این مطالعه بررسی توزیع فضایی دمای سطح زمین و همچنین تعیین روشی دقیق، برای تهیه نقشه دمای سطح زمین بوده است. نتایج نشان داد، دمای سطح زمین محاسبه شده به روش تک پنجره و پنجره مجزا در مقایسه با دمای هوای محاسبه شده در ایستگاه هواشناسی مورد نظر به‌طور میانگین به ترتیب ۵/۱ و ۱/۷ درجه سانتی‌گراد اختلاف داشته‌اند. بنابراین، می‌توان گفت که روش پنجره مجزا دارای دقت بالاتری است و دمای به‌دست آمده از آن با دمای واقعی تطابق بیشتری دارد. تجزیه و تحلیل رگرسیونی LST به‌دست آمده از این دو الگوریتم نشان می‌دهد که مقدار R² آن‌ها ۰/۹۶ است. نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات مفیدی را از وضعیت دمای مناطق مختلف در اختیار برنامه‌ریزان و کارشناسان برای مدیریت کارآمد سرزمین و حفاظت از منابع طبیعی قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک پنجره، شهر مشهد

۱- دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. narges.arab87@gmail.com

۲- استاد گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران (نویسنده مسئول) rassoulmahiny@gmail.com

۳- دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. amikaeili@gmail.com

۴- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه رن دو، رن، فرانسه. thomas.houet@univ-rennes2fr

۱- مقدمه

سنجش از دور به ابزاری مهم در نظارت بر دمای سطح زمین تبدیل شده است (ژو و همکاران، ۲۰۱۴). همراه با توسعه تکنیک‌های سنجش از دور برای بازیابی دمای سطح زمین، الگوریتم‌هایی برای به دست آوردن مقادیر دمای سطح زمین نیز توسعه یافته است. دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت نسبی و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. در سنجش از دور دمای سطح زمین را که در فضای بالای اتمسفر به وسیله سنجنده‌ها به دست می‌آید دمای روشنایی یا درخشندگی می‌نامند؛ که تحت تأثیر جذب و پخش اتمسفری، کمتر از دمای سطح زمین می‌باشد (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

بسیاری از الگوریتم‌ها برای تخمین دمای سطح زمین LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به ویژه باندهای حرارتی، توسط محققان استفاده شده است. این الگوریتم‌ها عبارتند از: الگوریتم تک پنجره^۲ (MV)، پنجره مجزا^۳ (SW)، دو زاویه^۴ (DA)، تک کانال^۵ (SC) و روش ساب مائو^۶ (Sobmao)، (لی و همکاران ۲۰۱۳؛ اسکوکوویچ و همکاران ۲۰۱۴). در میان این الگوریتم‌ها، (SW)، (DA) و ساب مائو بیشتر استفاده می‌شوند (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعات به روش تک کانال (SC) بیشتر در مناطق شهری و مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شده است. در این روش، از یک باند حرارتی استفاده شد. مزیت این روش این است که فقط به دو پارامتر جوی، متوسط دمای مؤثر جو و دمای سطح نیاز دارد. از مزایای الگوریتم SC سادگی آن است. الگوریتم SC فقط در یک سنسور با یک کانال TIR قابل استفاده است. استفاده از الگوریتم SC محدود است زیرا به دانش قبلی در مورد میزان تابش پیکسل‌ها در کانال TIR نیاز دارد و همچنین برای برآورد مقادیر جو به پروفیل‌های جوی دقیق و مدل انتقال تابشی (RTM) نیاز دارد. معایب اصلی

در بسیاری از مطالعات از جمله تخمین موجودی انرژی، نظارت بر رطوبت نسبی، تبخیر و تعرق، تغییرات اقلیمی، جزایر گرمایی شهری و مطالعات محیط‌زیستی دمای سطح زمین به عنوان پارامتر اصلی مورد استفاده قرار گرفته است (بونای و همکاران، ۲۰۱۸). دمای سطح زمین (LST) یکی از مهم‌ترین عوامل در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین می‌باشد (پرهیزکار عیسی‌لو و همکاران، ۱۳۹۹). داده‌های دمای سطح زمین اطلاعاتی درباره تغییرات مکانی و زمانی سطح زمین در مقیاس جهانی ارائه می‌دهند.

افزایش دمای سطح زمین (LST) باعث ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و یخ‌های منطقه قطبی شده و منجر به جاری شدن سیلاب و افزایش سطح آب دریاها می‌شود. بنابراین بررسی افزایش LST در کاربری‌های مختلف اراضی امری ضروری است (رونکالی و همکاران، ۲۰۱۸).

به طور کلی، بررسی LST برای پرداختن به موضوعات میان‌رشته‌ای در علوم زمین، اقلیم‌شناسی شهری، تغییرات محیطی و تعاملات محیط‌زیست انسانی، مهم و ضروری است. LST می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد خصوصیات فیزیکی سطح و همچنین اقلیم فراهم کند که در بسیاری از فرآیندهای محیطی نقشی حیاتی دارد (ونگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ دوست و گورمون، ۲۰۰۳). در چنین شرایطی، نقشه‌های LST که از تصاویر ماهواره‌ای تهیه می‌شوند، گزینه مطلوبی هستند زیرا مجموعه داده‌های دائمی را فراهم می‌کنند (رونکالی و همکاران، ۲۰۱۸).

ماهواره‌های سنجش از دور با سنجنده‌هایی که تفکیک‌پذیری مکانی بالایی دارند، راه را برای تخمین LST به صورت مطلوب هموار کرده‌اند. در این راستا با استفاده از باندهای مادون قرمز حرارتی ماهواره‌های لندست ۸ می‌توان LST را برای مناطق مختلف محاسبه نمود (رونکالی و همکاران، ۲۰۱۸). از آنجا که ماهواره‌های سنجش از دور می‌توانند داده‌های حرارتی را با فواصل زمانی کوتاه فراهم کنند، بنابراین

2- Mono Window

3- Split Window

4- Dual-Angle

5- Single-Channel

6- Sobmao

1- Land Surface Temperature

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره و ... / ۵۵

اما نمی‌تواند شرایط واقعی موجود در محیط را توصیف کند، زیرا فقط به تئوری جسم سیاه اشاره دارد (میس، ۲۰۱۵؛ *فرانکا و کراکتل، ۱۹۹۴*).

به‌طور کلی برآورد LST با استفاده از سنسور از دور، جایگزین بهتری برای روش‌های مرسوم می‌باشد. بنابراین، هدف اصلی این مقاله ایجاد یک الگوریتم پنجره مجزا و الگوریتم تک پنجره، برای محاسبه LST از پوشش متناسب و قابلیت اندازه‌گیری شرایط سطح زمین است (*اوون و همکاران ۱۹۹۸*). هدف از این پژوهش، انجام توزیع فضایی دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم و همچنین تعیین الگوریتم دقیق تر برای بازیابی مقدار دمای سطح زمین جهت دستیابی به جزایر حرارتی شهری برای شهر مشهد است. در مرحله دوم این پژوهش، عملکرد الگوریتم پنجره مجزا با الگوریتم تک پنجره ارزیابی و مقایسه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه آن با داده‌های دمای هوا که از وب سایت داده‌های ماهواره‌ای و اقیانوس‌شناسی *gsynres* <http://www.OGIMET/ptml.en> به دست می‌آید اعتبارسنجی می‌شود.

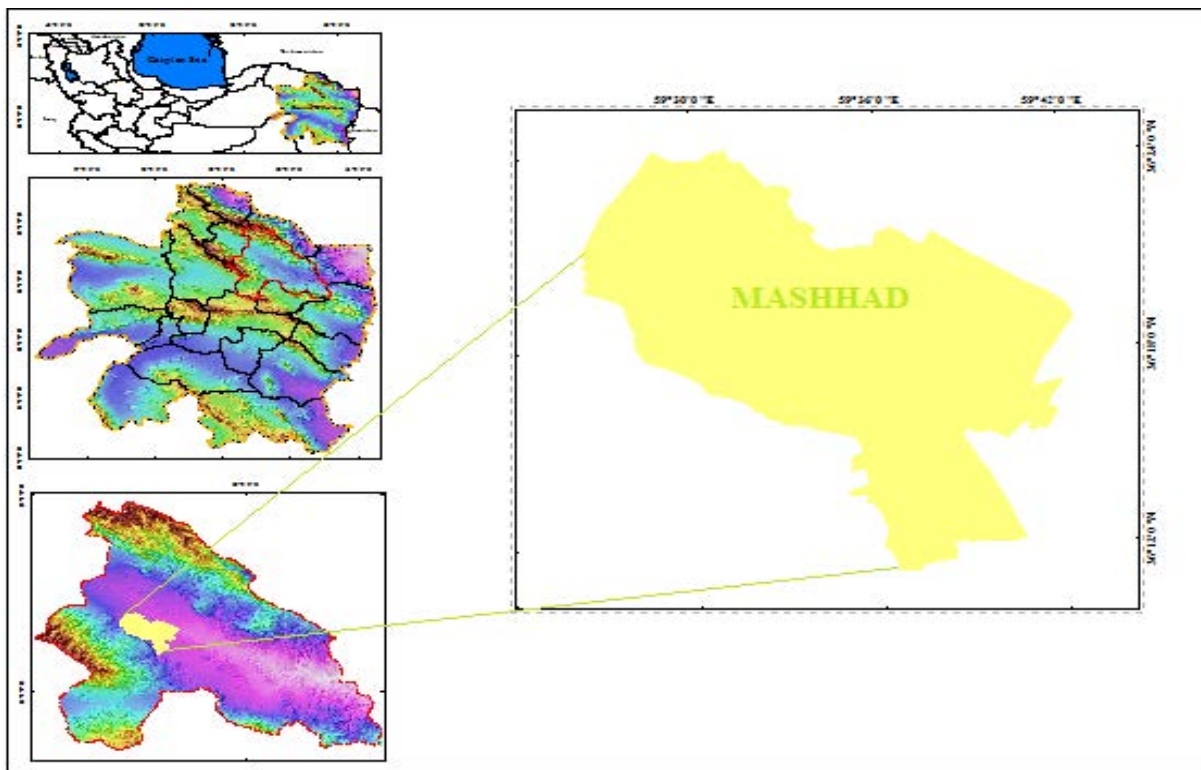
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در شهر مشهد، کلان‌شهر مهم ایران با آب و هوای سرد و خشک با میانگین دمای سالانه ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد انجام شد. شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی، در شمال شرقی ایران قرار دارد (نگاره ۱). این شهر در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه و در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع شده است. ارتفاع شهر مشهد از سطح دریا ۹۹۹ متر و فاصله آن از تهران ۹۶۶ کیلومتر است. شهر مشهد به‌عنوان اولین کلان‌شهر مذهبی ایران از جایگاه ویژه به لحاظ وسعت، جمعیت و اهمیت در مقیاس جغرافیایی و اداری برخوردار است. این شهر دارای سیزده منطقه شهرداری است.

الگوریتم SC اثرات قابل توجه عدم اطمینان از الگوهای جوی بر دقت بازیابی LST، زمان زیاد برای محاسبات، استفاده از روابط تجربی و نتایج ضعیف در مقادیر بالای بخار آب جو است (*کریستوبال و همکاران، ۲۰۰۹؛ خیمنز-مونوز و همکاران، ۲۰۰۹*). الگوریتم تک پنجره (MV)، قادر به بازیابی دمای سطح مستقیماً بر اساس معادله انتقال تابش حرارتی سطح بدون تصحیح اتمسفری است (*شین و همکاران ۲۰۰۱*). مزیت این روش این است که فقط به دو پارامتر جوی، متوسط دمای مؤثر جو و دمای سطح نیاز دارد. الگوریتم پنجره مجزا (SW) به دلیل سادگی و کارایی بالا کاربردی است. در الگوریتم پنجره مجزا، LST با میزان گسیلندگی شناخته شده با استفاده از جذب‌های مختلف جوی در کانال‌های TIR مجاور بازیابی می‌شود. علاوه بر این، الگوریتم پنجره مجزا نیاز به پروفیل‌های جوی دقیق ندارد و الگوریتم مناسب برای سنسورهای مختلف با حداقل دو کانال TIR در محدوده طیفی است.

با این حال، الگوریتم SW به دانش پیشین میزان انتشارپذیری پیکسل‌ها در هر کانال TIR نیاز دارد. معایب اصلی الگوریتم SW این است که پارامترهای زیادی از ضرایب موجود را دارد که می‌تواند منجر به عملکرد متفاوتی در حضور کل ستون بخار آب (WV) شود یا در زاویه دیدهای وسیع اوج دقت کاهش می‌یابد (*وان و همکاران، ۱۹۹۶*). علاوه بر این الگوریتم پنجره مجزا (*سابرینو و همکاران، ۲۰۰۳*)، روش تک‌کانال توسط خیمنز-مونوز و سابرینو (*خیمنز-مونوز و سابرینو، ۲۰۰۳*) و الگوریتم‌های چندزاویه‌ای (*دش و همکاران، ۲۰۰۲*) روش‌های پیشرفته‌ای هستند که استفاده می‌شوند. روشی که بیشتر محققان از آن استفاده می‌کنند روش NASA است که در کتابچه راهنمای استفاده‌کنندگان از اطلاعات علوم ماهواره لندست در همه سری‌های آن ارائه شده است (*سینگ و همکاران، ۲۰۱۴*). در این کتابچه، مقدار دمای سطح زمین از تبدیل عدد دیجیتال (DN) به شعاع طیفی شروع می‌شود و سپس دمای روشنایی (K) را به دست می‌آورد (*آردیانسیا، ۲۰۱۵*). مزیت روش ناسا، آسان و سریع و قابل اجرا بودن آن است،



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۳- روش کار مهم‌ترین رشته‌کوهی که با جهت شمال غربی- جنوب شرقی این ناحیه را دربرمی‌گیرد، اژدرکوه با ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ متر است (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۵).

در این قسمت به توضیح کامل الگوریتم پنجره مجزا و الگوریتم تک‌پنجره، برای محاسبه LST پرداخته می‌شود:

۲-۲- داده‌ها

۲-۳-۱- توسعه الگوریتم تک‌پنجره (MW) برای محاسبه LST داده‌های لندست ۸

شین و همکاران (۲۰۰۱) و سابرینو و همکاران (۱۹۹۱) بیان کرده‌اند که برای محاسبه LST، می‌توان تابش حرارتی مشاهده شده در سنجنده TIRS لندست ۸ را از معادله (۱) محاسبه کرد:

$$Bi(Ti) = ti[\epsilon i Bi(Ts) + (1 - \epsilon i) Ii \downarrow] + Ii \uparrow$$

معادله (۱)

در این معادله Ts دمای سطح زمین بر حسب کلوین است. Ti دمای روشنایی باند I در سنجنده TIRS لندست ۸ است. ϵi و Ti به ترتیب، انتقال اتمسفری و گسیلندگی زمین

در این پژوهش، برای برآورد دمای سطح زمین از سنجنده OLI و سنجنده TIRS تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده شد (جدول ۱). برای محاسبه NDVI از باند ۴ و ۵ سنجنده OLI و همچنین برای استخراج نقشه حرارتی در روش پنجره مجزا از باند ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS استفاده شده است. برای انجام مراحل پیش‌پردازش و تهیه نقشه‌ها از نرم‌افزارهای ENVI و Arc GIS استفاده شد. در این پژوهش الگوریتم پیشنهادی با داده‌های دمای هوا که از وب سایت داده‌های ماهواره‌ای و اقیانوس و هواشناسی *gsynres.phtml*. [en/http://www.OGIMET](http://www.OGIMET/en/) به دست می‌آید اعتبارسنجی می‌شود.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مجله)

تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره و ... / ۵۷

جدول ۱: مشخصات تصویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

ردیف	نوع سنجنده	تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویربرداری (به وقت محلی)	باند	ردیف و گذر	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	OLI	۲۰۱۸/۰۸/۱۵	۱۰:۳۰	۴/۵	۳۵ / ۱۵۹	۳۰
۲	TIRS	۲۰۱۸/۰۸/۱۵	۱۰:۳۰	۱۰/۱۱	۳۵ / ۱۵۹	۱۰۰
۳	OLI	۲۰۱۷/۰۷/۲۵	۱۰:۳۰	۴/۵	۳۵ / ۱۵۹	۳۰
۴	TIRS	۲۰۱۷/۰۷/۲۵	۱۰:۳۰	۱۰/۱۱	۳۵ / ۱۵۹	۱۰۰
۵	OLI	۲۰۱۶/۰۸/۲۰	۱۰:۳۰	۴/۵	۳۵ / ۱۵۹	۳۰
۶	TIRS	۲۰۱۶/۰۸/۲۰	۱۰:۳۰	۱۰/۱۱	۳۵ / ۱۵۹	۱۰۰
۷	OLI	۲۰۱۵/۰۸/۱۸	۱۰:۳۰	۴/۵	۳۵ / ۱۵۹	۳۰
۸	TIRS	۲۰۱۵/۰۸/۱۸	۱۰:۳۰	۱۰/۱۱	۳۵ / ۱۵۹	۱۰۰

فرضیات و تقریب‌ها، LST از معادله (۲) برای باند ۶ ($i = 6$) داده‌های سنجنده TM در لندست ۵ محاسبه شد.

$$T_s = [a_6(1 - C_6 - D_6) + (b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6) T_6 - D_6 T_a] / C_6$$

معادله (۲)

در این معادله، T_s دما برحسب درجه کلون است. T_6 دمای روشنایی میانگین دمای اتمسفر مؤثر است. T_6 دمای روشنایی سنجنده TM باند ۶ لندست ۵ است a_6 و b_6 ضرایبی هستند که برای تقریب مشتق تابع تابش پلانک برای باند حرارتی استفاده می‌شوند.

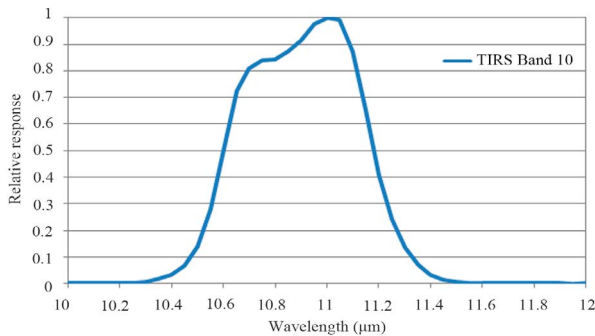
C_6 و D_6 پارامترهای داخلی الگوریتم بر اساس پارامترهای جوئی و میزان تابش زمین هستند. اگرچه سنجنده TIRS لندست ۸ دارای دو باند حرارتی (۱۰ و ۱۱) است، اما به دلیل عدم اطمینان بیشتر در مقادیر باند ۱۱، فقط داده‌های باند ۱۰ در حال حاضر برای LST مناسب هستند. بنابراین، الگوریتم تک پنجره برای محاسبه LST از داده‌های باند ۱۰ سنجنده TIRS لندست ۸ به شکل معادله (۳) ارتقا یافت (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$T_s = [a_{10}(1 - C_{10} - D_{10}) + (b_{10}(1 - C_{10} - D_{10}) + C_{10} + D_{10}) T_{10} - D_{10} T_a] / C_{10}$$

معادله (۳)

را برای باند I نشان می‌دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵). $B_i(T_i)$ نشان‌دهنده تابش حرارتی مشاهده شده توسط باند I سنجنده TIRS در لندست ۸ است که به عنوان تابع پلانک در دمای روشنایی T_i برای باند I بیان می‌شود. $B_i(T_s)$ نشان‌دهنده میزان انتشار زمین است که به عنوان تابع پلانک در دمای سطح T_s برای باند i بیان می‌شود. $I_i \downarrow$ و $I_i \uparrow$ ، به ترتیب، برای باند I میزان کاهشی جو و میزان افزایشی جوئی هستند. به شرطی می‌توان میزان انتشارپذیری زمین و انتقال جو را تخمین زد که سطح زمین به عنوان Lambertian فرض شود. شین و همکاران (۲۰۰۱). یک الگوریتم تک پنجره‌ای به روش معادله (۲) برای محاسبه LST از داده‌های TM لندست ۵، که فقط یک باند حرارتی دارند (باند ۶) ارائه دادند. استخراج الگوریتم از چندین فرضیه و تقریب منطقی برای حل T_s طبق معادله (۲) می‌باشد. میزان تابش جوئی افزایشی و کاهشی به عنوان تابعی یکپارچگی میزان جوئی (بیان شده به عنوان تابش پلانک با دمای هوای پروفیل) در ارتفاعات مختلف و تقریباً از طریق مقدار متوسط جوئی انتشار با دمای مؤثر جو (T_a) محاسبه شدند. علاوه بر این، عملکرد تابش پلانک از طریق انبساط تیلور برای تقریب تابش زمین توسط تابش دریافت شده، خطی شد. با این

در این معادله، X_{10} یک مقدار متوسط وزنی از تابش یا انتقال در باند ۱۰ سنجنده TIRS است، $X(\lambda)$ هر پارامتر طیفی به عنوان تابش و انتقال تلقی می شود و $f(\lambda)$ عملکرد طیفی است که در نگاره ۲ ارائه شده است.



نگاره ۲: عملکرد طیفی باند ۱۰ سنجنده TIRS (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵)

۲-۳-۱-۱- محاسبه دمای درخشندگی (TB)

محاسبه LST از داده های سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ با این فرض است که دمای روشنایی T_i را می توان برای پیکسل های باند ۱۰ توسط الگوریتم تک پنجره محاسبه کرد. از آنجا که تابش حرارتی مشاهده شده برای باند ۱۰ لندست ۸ سنجنده TIRS برای ذخیره سازی و انتقال در قالب ۱۶ رقم به اعداد دیجیتال (DN) تبدیل می شود، که دامنه ۰ تا ۶۵/۵۳۵ را دارد، محاسبه دمای روشنایی لندست از داده های سنجنده TIRS در لندست ۸ از طریق تبدیل مقدار DN به تابش حرارتی و سپس تبدیل تابش به دمای روشنایی امکان پذیر است. تابش طیفی حرارتی R محاسبه شده از معادله (۸) برای باند ۱۰ می تواند از طریق تقریب عملکرد تابش پلانک با استفاده از تبدیل حرارت به دمای روشنایی تبدیل شود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$T_{10} = K_2 / \ln(1 + K_1/R) \quad \text{معادله (۷)}$$

در معادله (۷)، T_{10} دمای روشنایی بر حسب کلوین باند ۱۰ است. K_1 و K_2 ثابت های تبدیل حرارتی و مخصوص

در این معادله T_s میزان LST محاسبه شده از داده های باند ۱۰ سنجنده TIRS لندست ۸ است. T_a میانگین دمای اتمسفر مؤثر است T_{10} دمای روشنایی سنجنده TIRS لندست ۸ است. a_{10} و b_{10} ثابت هایی هستند که برای تقریب مشتق تابش پلانک برای سنجنده TIRS باند ۱۰ داده شده که در جدول ۵ استفاده می شوند. D_{10} و C_{10} پارامترهای داخلی الگوریتم هستند که به شرح معادله (۴) و (۵) ارائه می شوند.

$$C_{10} = \tau_{10} \varepsilon_{10} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$D_{10} = (1 - \tau_{10})[1 + (1 - \varepsilon_{10}) \tau_{10}] \quad \text{معادله (۵)}$$

در این معادله τ_{10} انتقال اتمسفر برای باند ۱۰ سنجنده TIRS لندست ۸ است و ε_{10} انتشارپذیری زمین برای باند ۱۰ است. این ارتقا و بهبودی عمدتاً در تعیین سه پارامتر مورد نیاز (τ_{10} ، ε_{10} و T_a) در الگوریتم تک پنجره برای محاسبه LST از داده های باند ۱۰ سنجنده TIRS لندست ۸ بود که در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲: تعیین ضرایب a_{10} و b_{10} برای لندست ۸ TIRS باند ۱۰

R ²	b ₁₀	a ₁₀	دامنه دمایی
۰/۹۹۹۷	۰/۴۵۸۱	- ۷۰/۱۷۷۵	۷۰ C - ۲۰ C
۰/۹۹۹۶	۰/۴۳۳۹	- ۶۲/۷۱۸۲	۵۰ C - ۰ C
۰/۹۹۹۶	۰/۴۰۸۶	- ۵۵/۴۲۷۶	-۲۰ C - ۳۰ C

در حالی که باند ۱۰ سنجنده TIRS لندست ۸ (۱۰/۶ تا ۱۱/۲ میکرومتر) و باند ۶ سنجنده TM (۱۰/۴-۲/۵ میکرومتر) لندست ۵ متفاوت هستند. تابش افزایشی و تابش کاهش اتمسفر و انتقال اتمسفر باید مطابق طیف دوباره پردازش شود. محدوده باند ۱۰ سنجنده TIRS و پاسخ طیفی آن طبق معادله (۶) بیان می شود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$X_{10} = \frac{\int X(\lambda)(\lambda) d\lambda}{\int (\lambda) d\lambda} \quad \text{معادله (۶)}$$

جدول ۳: ثابت‌های محاسبه دمای روشنایی از داده‌های سنجنده TIRS برای باند ۱۰ و ۱۱ در لندست

M10	A10	O10 (W.m-2sr-1. M-1)	K1 (W.m-2sr-1. M-1)	K2(K)
۰/۰۰۰۳۳۴۲	۰/۱	۰/۲۹	۷۷۴/۸۹	۱۳۲۱/۰۸
M11	A11	O11 (W.m-2sr-1. M-1)	K1 (W.m-2sr-1. M-1)	K2(K)
۰/۰۰۰۳۳۴۲	۰/۱	۰/۲۹	۴۸۰/۸۸	۱۲۰۱/۱۴

باند ۱۰ هستند. جدول ۳ مقادیر ثابت‌های K1 و K2 را نشان می‌دهد که می‌توان آن‌ها را در فایل متادیتا در تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ نیز یافت در این معادله Ri تابش طیفی (W · m - 2 · sr - 1 · μm - 1) باند i است. Ri با استفاده از معادله (۸) به دست می‌آید.

معادله (۸) $Ri = MiQi + Ai - Oi$

در این معادله Mi فاکتور تقلیل ضرب مخصوص برای باند i است. Ai عامل افزایشی مخصوص برای باند i است. Qi مقدار DN برای پیکسل باند i؛ Oi جیرانی است که توسط USGS برای کالیبراسیون باندهای TIRS صادر می‌شود. مقادیر فاکتورهای Mi و Ai را می‌توان از فایل متادیتا تصویر لندست ۸ به دست آورد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$Ri = MiQi + Ai - Oi \quad \text{معادله (۸)}$$

$$pv = ((NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s))^2$$

معادله (۱۰)

در مناطق خاص، مقادیر NDVI و NDVIv را می‌توان از هیستوگرام NDVI استخراج کرد. مقادیر $NDVI_v = 0.5$ و $NDVI_s = 0.2$ برای اعمال در شرایط جهانی پیشنهاد شده است (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۸). در حالی که ممکن است در بعضی موارد مقدار سطوح گیاهی ($NDVI_v = 0.5$) خیلی کم باشد، اما برای داده‌های با وضوح بالاتر از سایت‌های کشاورزی، NDVIv می‌تواند به ۰/۸ یا ۰/۹ برسد (جیمز-مونوز و همکاران، ۲۰۰۹). میانگین پراکندگی چهار ماده زمینی نماینده در باند ۱۰ و باند ۱۱ لندست ۸ در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: انتشارپذیری مواد زمینی نماینده لندست ۸ TIRS باند ۱۰

انتشارپذیری مواد زمینی	آب	ساختمان	خاک	پوشش گیاهی
گسیلندگی	۰/۹۹۱	۰/۹۶۲	۰/۹۶۶	۰/۹۷۳

$$3-1-3-2 \text{ تعیین میانگین دمای مؤثر جو (Ta)}$$

تابش اتمسفری رو به افزایش، معمولاً با میانگین دمای

۲-۱-۳-۲- تعیین میزان انتشارپذیری یا گسیلندگی^۱

از آنجا که میزان انتشارپذیری یا گسیلندگی با طول موج متغیر است، می‌توان از روش آستانه NDVI (NTM) (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۸)، برای تخمین میزان انتشارپذیری سطوح مختلف زمین در محدوده ۱۰-۱۲ میکرومتر استفاده کرد. علاوه بر این، محدوده طیفی باند ۱۰ لندست ۸ در این محدوده مناسب است. در این دامنه طول موج، میزان انتشارپذیری می‌تواند به صورت معادله (۹) مدل شود (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۸).

$$\epsilon_{\lambda} = \begin{cases} \epsilon_{s\lambda}, & NDVI < NDVI_s \\ \epsilon_{v\lambda}P_v + \epsilon_{s\lambda}(1 - P_v) + C, & NDVI_s \leq NDVI \leq NDVI_v \\ \epsilon_{v\lambda}P_v + C_{\lambda}, & NDVI > NDVI_v \end{cases}$$

$$C_{\lambda} = (1 - \epsilon_{s\lambda})\epsilon_{v\lambda}F'(1 - P_v)$$

معادله (۹)

مؤثر جو (Ta) تخمین زده می‌شود.

براساس پژوهش سابرینو و همکاران (۱۹۹۱)، میانگین دمای مناسب جو را می‌توان از معادله (۱۱) محاسبه نمود:

$$Ta = \frac{1}{w} \int_0^w T_z dw(z, Z) \quad \text{معادله (۱۱)}$$

w مقدار کل بخار آب در جو از زمین تا ارتفاع سنجنده Z است، Tz دمای جو در ارتفاع z است و w(z, Z) نشان‌دهنده محتوای بخار آب بین z و Z است. با استفاده از فایل‌های جوئی استاندارد، شین و همکاران (۲۰۰۱). روابط خطی زیر را برای تقریبی از Ta از دمای هوای نزدیک سطح (T0) ارائه دادند (جدول ۵).

جدول ۵: روابط خطی برای تقریب میانگین دمای مناسب جو (Ta) از دمای هوای نزدیک سطح (T0)

مدل اتمسفر	معادلات روابط خطی
مدل Tropical	$Ta = 17.9769 + 0.9172T_0$
مدل Mid-Latitude summer	$Ta = 16.0110 + 0.9262T_0$
مدل Mid-Latitude winter	$Ta = 19.2704 + 0.9112T_0$

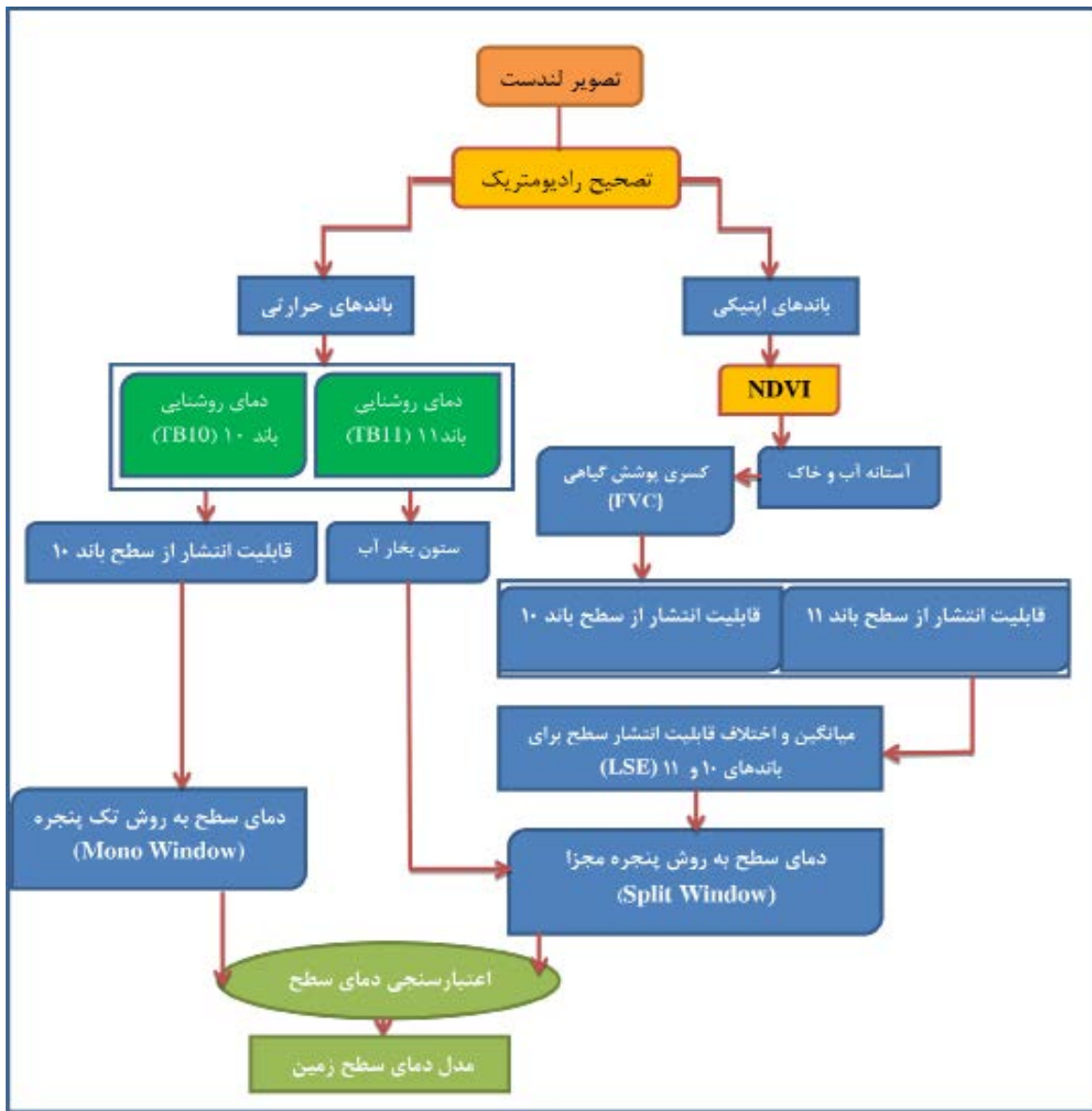
برای دستیابی به T0 از داده‌های هواشناسی سایت <http://Ogimet.com/gsynres.phtml.en> استفاده شد و سپس با توجه به عرض و طول جغرافیایی منطقه Ta میانگین دمای مؤثر جو استفاده شد.

می‌شود. الگوریتم پنجره مجزا از تصویر FVC برای تولید تصویر قابلیت انتشار سطح زمین (LSE) استفاده می‌کند. تصویر LSE خصوصیات داخلی سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کند که نشان‌دهنده توانایی تبدیل انرژی گرمایی به انرژی تابشی است. برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE) به گسیل‌مندی خاک و پوشش گیاهی برای باندهای ۱۰ و ۱۱ به صورت ۱۱ نیاز دارد. تصاویر LSE از باندهای ۱۰ و ۱۱ به صورت جداگانه به دست می‌آیند و سپس میانگین و اختلاف LSE محاسبه می‌شوند. تصویر NDVI در خاک و پوشش گیاهی طبقه‌بندی شده و برای خاک و پوشش گیاهی جداگانه به دست می‌آید. لندست ۸ دارای دو باند TIRS است. TB یا دمای درخشندگی، برای باندهای ۱۰ و ۱۱ برآورد شده است. فرآیند کالیبراسیون حرارتی، با تبدیل مقادیر عددی دیجیتال حرارتی (DN) باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS به درخشندگی طیفی جو (TOA) و پس از آن به TB انجام می‌شود. در آخر، LST با استفاده از مقادیر ضریب TB، SW، میانگین LSE، اختلاف LSE و ثابت بخار آب برآورد می‌شود. نمودار جریان الگوریتم SW پیشنهادی برای تخمین LST با استفاده از باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS و باندهای ۲-۵ سنجنده OLI در نگاره ۳ نشان داده شده است.

الگوریتم پنجره مجزا براساس رفتار مختلف جذب جوئی دو کانال رادیومتری در بازه طیفی ۱۰-۱۲.۵ میکرومتر است. از آنجا که الگوریتم پنجره مجزا، به اطلاعات دقیق در مورد جو در زمان دستیابی، نیاز ندارد، انواع مختلفی از این الگوریتم برای بازیابی موفقیت‌آمیز LST از چندین سنجنده، ایجاد و اصلاح شده است. براساس آخرین نتایج جدید، الگوریتم تعمیم‌یافته پنجره مجزا (وان، ۲۰۱۴)، یک ساختار غیرخطی از TB به شرح زیر برای به دست آوردن LST از سنجنده TIRS لندست ۸ مشخص شد. الگوریتم پنجره مجزا پیشنهادی از بازه طیفی ۱۰-۱۲.۵ میکرومتر طول موج برای باندهای ۱۰ تا ۱۱، سنجنده TIRS استفاده می‌کند. در این روش، معادله ریاضی برای تخمین LST را می‌توان

۲-۳-۲- الگوریتم پنجره مجزا برای محاسبه LST

در مطالعه حاضر با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا، برای به دست آوردن دمای سطح زمین (LST) از داده‌های سنجنده TIRS در لندست ۸ استفاده شد. همچنین علاوه بر TIRS، داده‌های سنجنده OLI نیز برای تخمین LST هنگام به‌کارگیری الگوریتم پنجره مجزا مورد نیاز است. در مرحله اول، باندهای OLI سنجنده لندست ۸، باندهای ۳، ۴ و ۵ به صورت لایه‌ای روی هم قرار می‌گیرند و تصویر NDVI با استفاده از باندهای ۴ و ۵ تولید می‌شود. تصویر FVC با استفاده از تصویر NDVI به دست می‌آید. FVC با در نظر گرفتن کسری از پوشش گیاهی منطقه محاسبه



نگاره ۳: نمودار انجام پژوهش

میانگین انتشار، $\Delta \varepsilon$ اختلاف انتشار، w مقدار کل بخار آب جوئی برحسب (g/cm^2) است و C^0 تا C^6 ضرایب معادله SW هستند که از داده های شبیه سازی شده تعیین می شوند. گسیل مندی و اختلاف متوسط گسیل مندی به صورت معادله (۱۳) بیان می شود.

$$\varepsilon = 0.5(\varepsilon_i - \varepsilon_j) \text{ and } \Delta \varepsilon = (\varepsilon_i - \varepsilon_j)$$

معادله (۱۳)

نمودار جریان الگوریتم پنجره مجزا در مطالعه حاضر برای

به صورت معادله (۱۲) بیان کرد (روننگالی و همکاران، ۲۰۱۸).

$$T_s = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C^0 + (C^3 + C^4W)(1 - \varepsilon) + (C^5 + C^6W)\Delta \varepsilon$$

معادله (۱۲)

در این معادله، T_s درجه حرارت سطح زمین است، T_i و T_j دمای درخشندگی (TB) باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ در الگوریتم پنجره مجزا و برحسب کلونین هستند، ε

جدول ۶: ضرایب الگوریتم split_window

ثابت	C ⁰	C ¹	C ²	C ³	C ⁴	C ⁵	C ⁶
مقدار	-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳۰۰	-۲/۳۳۸	-۱۲۹/۲۰۰	۱۶/۴۰۰

مرحله ۲: TB برای باندهای ۱۰ و ۱۱ برآورد می‌شود. یک فرایند کالیبراسیون حرارتی با تبدیل مقادیر DN حرارتی باندهای حرارتی (۱۰ و ۱۱) سنجنده TIRS به دمای درخشندگی طیفی TOA و پس از استفاده از TB مانند معادله (۱۶) انجام شده است.

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad \text{معادله (۱۶)}$$

در این معادله، K1 و K2 مقادیر ثابت حرارتی باندهای ۱۰ و ۱۱ از فایل متادیتا هستند، و L تابش طیفی جو است (روننگالی و همکاران، ۲۰۱۸).

مرحله ۳: NDVI از طریق باندهای ۴ و ۵ سنجنده OLI، با استفاده از معادله‌ی (۱۷) برآورد می‌شود.

$$NDVI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + B} \quad \text{معادله (۱۷)}$$

مرحله ۴: تصویر FVC با استفاده از تصویر NDVI به دست آمده از مرحله ۳ با استفاده از معادله ۱۷ به دست می‌آید. FVC با در نظر گرفتن کسری از پوشش گیاهی محاسبه می‌شود (روننگالی و همکاران، ۲۰۱۸). الگوریتم SW برای تخمین تصویر LSE از تصویر FVC استفاده می‌کند. تصویر NDVI به خاک و پوشش گیاهی طبقه‌بندی می‌شود و مقادیر NDVI با استفاده از ENVI به‌طور جداگانه برای خاک و پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. عملیات محاسبه تصویر FVC با استفاده از معادله (۱۸) انجام می‌شود.

۲-۳-۳- برآورد شاخص کسری پوشش گیاهی (FVC) شاخص کسری پوشش گیاهی (FVC) پارامتری مفید برای بسیاری از کاربردهای مربوط به محیط‌زیست و اقلیم می‌باشد. یک رویکرد مشترک برای برآورد FVC

تخمین LST در نگاره ۳ نشان داده شده است. عبارت ریاضی برای LST را می‌توان به صورت معادله (۱۴) بیان کرد.

$$LST = TB^{10} + C^1(TB^{10} - TB^{11}) + C^2(TB^{10} - TB^{11})^2 + C^0 + (C^3 + C^4W)(1 - m) + (C^5 + C^6W)\Delta m$$

معادله (۱۴):

در این معادله، LST دمای سطح زمین بر حسب کلوین (K) است، C⁰ تا C⁶ مقادیر ضریب SW است. TB¹⁰ و TB¹¹ دمای درخشندگی باندهای ۱۰ و ۱۱ بر حسب کلوین (K) است، m میانگین LSE باندهای حرارتی سنجنده TIRS، W محتوای بخار آب جوی است و Δm اختلاف LSE است. مقادیر ضرایب SW در جدول ۶ ارائه شده است (روننگالی و همکاران، ۲۰۱۸).

روش گام به گام برای الگوریتم پنجره مجزا به شرح زیر است:

مرحله ۱: TOA درخشندگی باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS و باندهای ۲-۵ سنجنده OLI با استفاده از معادله ۱۵ به صورت جداگانه برآورد می‌شوند. معادله ۱۵ تصویر خام را به تصویر تابش طیفی تبدیل می‌کند. این معادله با استفاده از Band math در نرم‌افزار ENVI محاسبه شد.

$$L\lambda = \left(\frac{Lmax - Lmin}{DNmax}\right) \times Band + Lmin \quad \text{معادله (۱۵)}$$

در معادله فوق، L تابش طیفی جو در وات / (متر مربع srad × μm) است، Lmax حداکثر تابش طیفی باندهای (۱۰ یا ۱۱) است و Lmin حداقل تابش طیفی باندهای (۱۰ یا ۱۱) است.

اختلاف در حداکثر و حداقل کالیبراسیون سنجنده

$$DNmax = Qcalmax - Qcalmin$$

جدول ۷: انتشارپذیری

انتشارپذیری	باند ۱۰	باند ۱۱
ε_s	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
ε_v	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

مرحله ۷: LST بر حسب کلونین با استفاده از الگوریتم SW به صورت معادله (۲۲) بیان می شود (روننگالی و همکاران، ۲۰۱۸).

$$LST = TB^{10} + C^1(TB^{10} - TB^{11}) + C^2(TB^{10} - TB^{11})^2 + C^0 + (C^3 + C^4W)(1 - m) + (C^5 + C^6W)\Delta m$$

معادله (۲۲)

که در این معادله، TB^{10} و TB^{11} دمای درخشندگی از باندهای (۱۰ و ۱۱) هستند، C^0 تا C^9 مقادیر ضرایب ثابت از الگوریتم پنجره مجزا هستند. m میانگین LSE، Δm اختلاف LSE و محتوای بخار آب جوئی است.

محاسبه محتوای بخار آب:

برای محاسبه بخار آب، می توان از معادله (۲۳) استفاده کرد (لیو و لوانتر، ۲۰۱۱).

$$W_i = 0.981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \right\} \times RH \Bigg\} + 0.1697$$

معادله (۲۳):

در این معادله w_i مقدار بخار آب است بر حسب

(g/cm^2) ، T_0 دمای هوای نزدیک سطح بر حسب K و RH رطوبت نسبی را نشان می دهد. دمای هوای نزدیک سطح و رطوبت نسبی از داده های هواشناسی سایت <http://Ogimet.com/gsynres.phtml> به دست آمد. در این تحقیق با توجه به در دسترس بودن دمای هوای ساعتی ایستگاه شهر مشهد در هنگام عبور ماهواره، از این داده ها برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد. برای این منظور، داده های دمای سطح به دست آمده به روش الگوریتم پنجره مجزا با کمک رابطه ۲۴ و دمای سطح حاصل از روش تک پنجره از طریق رابطه ۲۵ که به ترتیب توسط گارسیا-هارو و همکاران (۲۰۰۵) و

شامل ترکیبی غیر خطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر ماهواره ای شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است (ناجی دو میدانی و همکاران، ۱۳۹۶). شاخص FVC با معادله ۱۸ محاسبه می شود.

$$FVC = \frac{NDVI + NDVI(soil)}{NDVI(vegetation) - NDVI(soil)}$$

$$FVC = \frac{NDVI + 0.15}{0.48 - 0.15}$$

معادله (۱۸)

در این رابطه NDVI: شاخص پوشش گیاهی، NDVIs مناطق بدون پوشش گیاهی شاخص، $NDVI_v$: مناطق پوشیده از گیاه شاخص می باشد. اجسام با درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق، تشعشعات حرارتی از خود ساطع می کنند که به این تشعشعات شار تابشی گفته می شود (پرهیزکار عیسی لو و همکاران، ۱۳۹۹).

مرحله ۵: تصویر LSE از تصویر FVC به دست آمده در مرحله ۴ بر حسب معادله ۱۸ تولید می شود.

تخمین تصویر LSE به گسیل مندی خاک و پوشش گیاهی باندهای ۱۰ و ۱۱ نیاز دارد و این مقادیر گسیل مندی در جدول ۷ ارائه شده است. تصاویر LSE از باندهای ۱۰ و ۱۱ به صورت جداگانه تولید می شوند.

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

معادله (۱۹):

در این معادله، ε_s گسیل مندی خاک است، ε_v قابلیت گسیل مندی پوشش گیاهی است و FVC کسری از پوشش گیاهی است.

مرحله ۶: تصاویر LSE از باندهای ۱۰ و ۱۱، همانطور که در مرحله ۵ به دست آمده است، با استفاده از معادله ۱۹ و از طریق تفاوت بین معادله ۲۱ و میانگین ترکیب آن ها با معادله ۲۰ محاسبه شده است.

$$LSE = m = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2}$$

معادله (۲۰)

$$LSE = \Delta m = LSE_{10} - LSE_{11}$$

معادله (۲۱)

جدول ۸: مساحت مقادیر NDVI در سال‌های مورد مطالعه

ردیف	NDVI	مساحت %	مساحت %	مساحت %	مساحت %
۱	(-۰/۰۹۸)-(-۱)	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
۲	-۰/۰۹۸-۰/۱۲۹۴	۵۷/۴۷	۴۸/۵۶	۵۴/۵۹	۶۴/۶۶
۳	۰/۱۲۹۴-۰/۲۷۰۵۸	۳۲/۱۸	۳۷/۹۵	۳۳/۵۱	۲۴/۶۱۳
۴	۰/۲۷۰۵-۰/۵۲۹۴	۶/۷۷	۸/۸۵۸	۷/۷۹۵	۷/۰۵
۵	۰/۵۲۹۴-۱	۳/۵۲۴	۴/۵۴۵	۴/۰۴	۳/۶۱۷

رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶) ارائه شده، به دمای هوا تبدیل، و سپس با داده‌ایستگاه شهر مشهد مقایسه شدند.

رابطه (۲۴)

$$T_a = 14.6 + 0.44 \times LST$$

رابطه (۲۵)

$$T_a = 0.8158 \times LST - 5.111$$

مقادیر NDVI در سال ۲۰۱۵، ۴۸/۵۶ درصد در سال ۲۰۱۶، و ۵۴/۵۹ درصد در سال ۲۰۱۷ و ۶۴/۶۶ درصد در سال ۲۰۱۸ در دامنه بین -۰/۰۹۸ تا ۰/۱۲۹۴ قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی NDVI اندازه‌گیری شده در دامنه -۰/۰۹۸ تا ۰/۱۲۹۴ در همه سال‌ها بیشترین و در دامنه (-۰/۰۹۸)-(-۱) کمترین مقادیر مساحت را به خود اختصاص داده است.

تصویر میانگین LSE (نگاره ۵) با استفاده از روش مقدار آستانه NDVI به‌دست آمده است. مقدار LSE شهر مشهد بین ۱/۰۱۲۲ و ۰/۹۱۵۲ متغیر است. مقادیر NDVI برای خاک و پوشش گیاهی به‌عنوان ورودی برای به‌دست آوردن تصویر FVC با استفاده از معادله (۱۸) انجام شد. تصویر LSE با استفاده از معادله (۱۹) اجرا و محاسبه شد. محاسبات ریاضی برای تهیه نقشه‌های رستری به‌دست آمده برای تفاوت و میانگین LSE در قسمت Band math در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. میانگین LSE به‌صورت نگاره‌های (۵) برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ نشان داده می‌شوند.

LSE مقادیر کم و منفی را در مناطق ساخته شده نشان می‌دهد. مقادیر میانگین LSE بالا در مناطق جنوب‌شرقی و شرق شهر مشهد یافت شده است، باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS برای برآورد TB برحسب درجه سلسیوس با استفاده از معادله (۷) به‌کار رفت. نقشه میانگین گسیلندگی محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ در نگاره ۵ نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود مقادیر میانگین گسیلندگی از ۰/۹۱۵۲ تا ۱/۰۱۲۲ متغیر است. برای محاسبه LST به روش پنجره

با توجه به زمان عبور ماهواره از منطقه مورد مطالعه که ساعت ۱۰:۳۰ به‌وقت محلی است، از داده‌های دمای هوای ساعت ۱۰ صبح مربوط به روز تصویربرداری به‌منظور مقایسه استفاده شد.

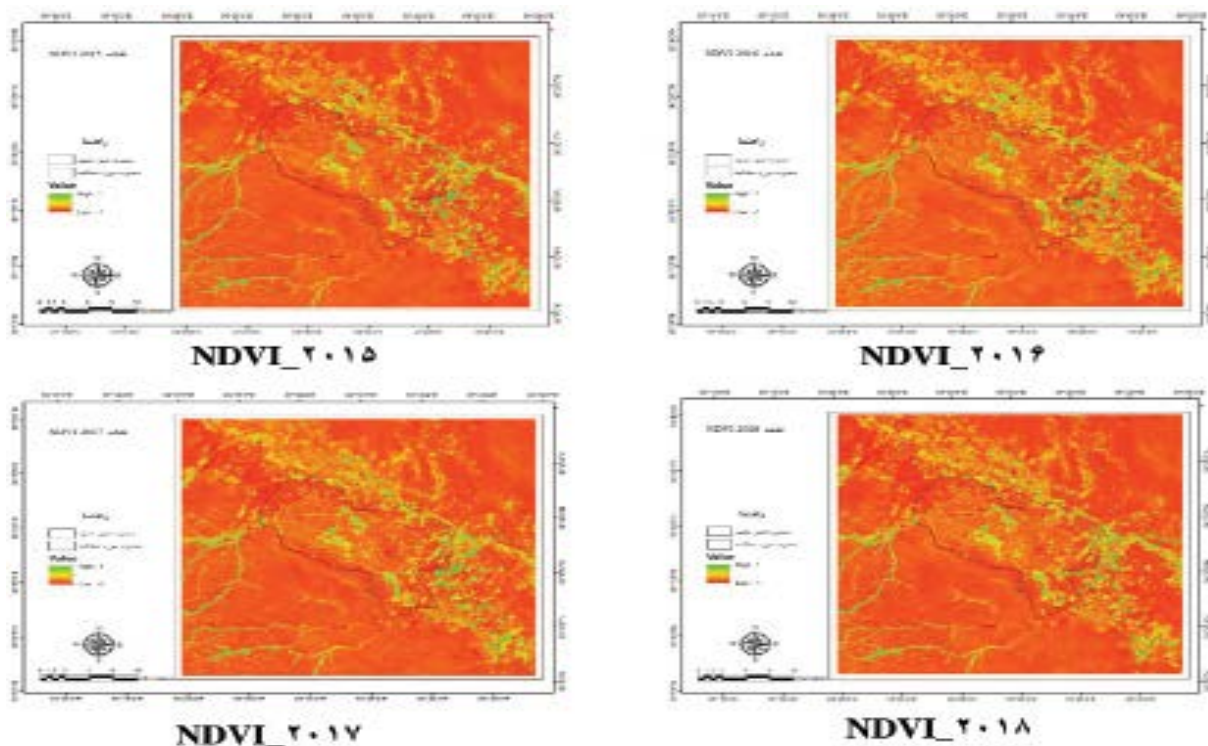
۳- نتایج و بحث

نگاره ۴ تصویر NDVI شهر مشهد را در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که از باند ۴ (RED) و باند ۵ (NIR) سنجنده OLI با استفاده از Band math در نرم‌افزار ENVI 5.3 تخمین زده شده است. مقادیر NDVI نزدیک به یک نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم و سبز در منطقه مورد مطالعه است. با استفاده از تصویر NDVI به‌عنوان ورودی، تصویر NDVI برای خاک و گیاه به‌طور جداگانه طبقه‌بندی شد. مقدار متوسط NDVI برای خاک برابر با ۰/۲ محاسبه شد و برای پوشش گیاهی ۰/۵ است.

مقادیر NDVI نشان می‌دهد که قسمت‌های جنوب شرقی شهر مشهد دارای بالاترین مقادیر NDVI است، در حالی مناطق ساخته شده و شهری NDVI منفی دارد (نگاره ۴). همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود ۵۷/۴۷ درصد

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره و ... / ۶۵



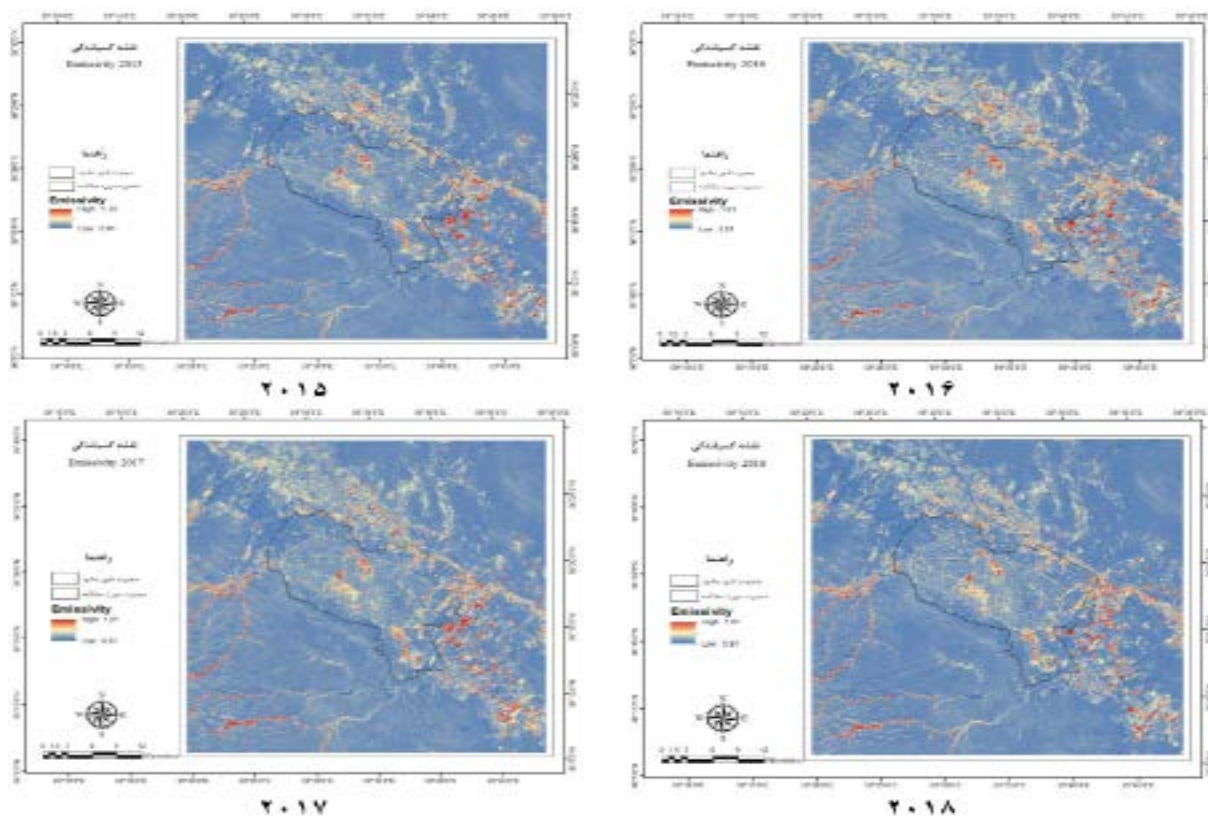
نگاره ۴: تصویر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده منطقه مورد مطالعه

نگاره ۶ LST را نشان می‌دهد که از الگوریتم پنجره مجزا برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های مورد بررسی به دست آمده است. همانطور که در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود، مقادیر LST بین ۲۸/۱۹ تا ۶۲/۱۳ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۵، بین ۲۵/۱۷ تا ۵۷/۳۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۶، بین ۲۵/۵۳ تا ۵۸/۰۱ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۷ و بین ۲۸/۳۸ تا ۶۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۸ متغیر است. در جدول (۱۰) مقادیر مساحت LST محاسبه شده به روش پنجره مجزا برای بازه‌های دمایی متفاوت

مجزا باید اختلاف گسیلندگی باند ۱۰ و ۱۱ نیز محاسبه شود. همانطور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود ۵۷/۴۹ درصد مقادیر میانگین LSE با گسیلندگی در سال ۲۰۱۵، ۴۹/۱۳ درصد در سال ۲۰۱۶، و ۵۴/۶۱ درصد در سال ۲۰۱۷ و ۶۴/۶۷ درصد در سال ۲۰۱۸ در دامنه بین ۰/۹۴۹۸ تا ۰/۹۷۰۰ قرار گرفته‌اند. به طور کلی مقادیر میانگین LSE یا گسیلندگی اندازه‌گیری شده در دامنه ۰/۹۴۹۸ - ۰/۹۷۰۰ در همه سال‌ها بیشترین و در دامنه ۰/۹۴۹۸ - ۰/۹۱۵۲ کمترین مقادیر مساحت را به خود اختصاص داده است.

جدول ۹: مساحت مقادیر میانگین LSE یا گسیلندگی در سال‌های مورد مطالعه

ردیف	فواصل گسیلندگی	مساحت % ۲۰۱۵	مساحت % ۲۰۱۶	مساحت % ۲۰۱۷	مساحت % ۲۰۱۸
۱	۰/۹۱۵۲ - ۰/۹۴۹۸	۰/۰۱۹	۰/۰۵۰	۰/۰۳۶	۰/۰۴۰
۲	۰/۹۴۹۸ - ۰/۹۷۰۰	۵۷/۴۹	۴۹/۱۳	۵۴/۶۱	۶۴/۶۷
۳	۰/۹۷۰۰ - ۰/۹۷۷۲	۳۲/۵۵	۳۷/۹۷	۳۳/۹۶	۲۴/۹۹
۴	۰/۹۷۷۲ - ۰/۹۸۹۷۰	۶/۵۰	۸/۴۲	۷/۴۵	۶/۷۷
۵	۰/۹۸۹۷ - ۱/۰۱۲۲	۳/۴۱	۴/۴۰	۳/۹۲۲	۳/۵۰



نگاره ۵: نقشه گسیلندگی

درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۷ و ۲۹/۵۹ تا ۵۷/۶۴ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۸ متغیر است. در جدول (۱۱) مقادیر مساحت LST محاسبه شده به روش تک‌پنجره برای بازه‌های دمایی متفاوت اندازه‌گیری شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۵، بیشترین مساحت ۳۵/۲۱ درصد در دامنه دمایی ۴۸/۸۴ تا ۵۱/۶۹ و همچنین در سال ۲۰۱۶ بیشترین مساحت ۳۵/۹۷ درصد در بازه دمایی ۴۵/۲۴ تا ۴۸/۲۷ قرار دارد. بیشترین مساحت ۳۳/۳۲ درصد در بازه دمایی ۴۵/۴۵ تا ۴۸/۵۷ در سال ۲۰۱۷ و بیشترین مساحت ۳۶/۸۱ درصد در بازه دمایی ۵۰/۸۲ تا ۴۸/۰۷ در سال ۲۰۱۸ قرار دارد. بالاترین میزان LST در مناطق جنوبی مشهود شده است، جایی که زمین‌های بایر به‌طور عمده یافت می‌شود. به‌طور کلی بالاترین مقادیر LST در جلگه‌های جنوبی شهر مشهود مشاهده می‌شود، در حالی که کمترین مقادیر LST در مناطق با پوشش زیاد فضای سبز مشاهده می‌شود.

اندازه‌گیری شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۵، بیشترین مساحت ۳۶/۱۹ درصد در دامنه دمایی ۵۰/۵۵ تا ۵۳/۸۸ و همچنین در سال ۲۰۱۶ بیشترین مساحت ۳۵/۸۶ درصد در بازه دمایی ۴۵/۶۱ تا ۴۸/۷۷ قرار دارد. بیشترین مساحت ۳۵/۶۲ درصد در بازه دمایی ۴۵/۶۶ تا ۴۸/۹۷ در سال ۲۰۱۷ و بیشترین مساحت ۳۵/۱۱ درصد در بازه دمایی ۵۱/۷۲ تا ۴۸/۷۱ در سال ۲۰۱۸ قرار دارد.

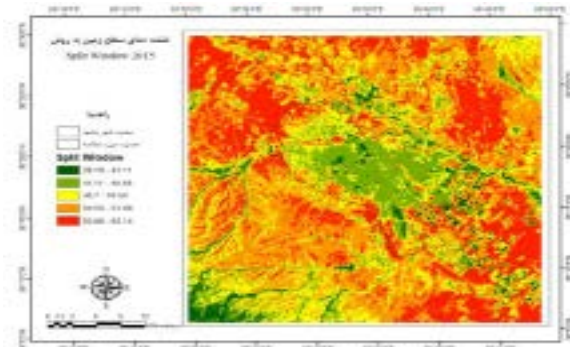
نگاره ۷ توزیع فضایی LST تخمین زده شده از الگوریتم تک‌پنجره برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. LST به‌دست آمده از الگوریتم تک‌پنجره در نگاره ۷ نشان داده شده است و در واقع مقادیر مشابهی با الگوریتم پنجره مجزا را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول (۱۱) مشاهده می‌شود، مقادیر LST بین ۲۸/۵۴ تا ۵۷/۶۸ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۵، بین ۲۴/۴۱ تا ۵۵/۲۹ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۶، بین ۲۶/۷ تا ۵۶/۲۱

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

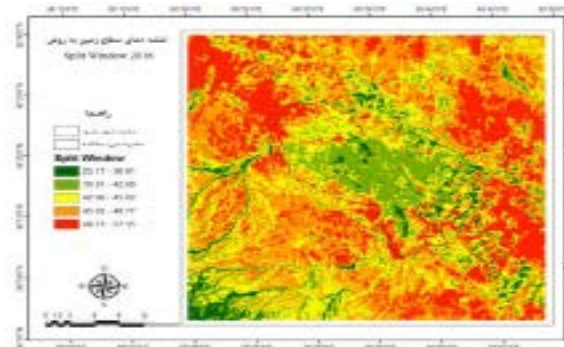
تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره و ... / ۶۷

جدول ۱۰: دمای سطح زمین به دست آمده از الگوریتم Split window

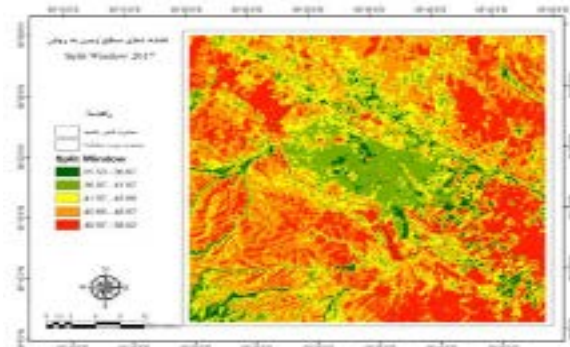
ب: (سال ۲۰۱۶)				الف: (سال ۲۰۱۵)			
مساحت٪ (۲۰۱۶)	میانگین دما (C)	فواصل دمایی (C)	کلاس دمایی	مساحت٪ (۲۰۱۵)	میانگین دما (C)	فواصل دمایی (C)	کلاس دمایی
۳/۸۶	۳۱/۰۳۵	۲۵/۱۷ - ۳۶/۹۰	۱	۳/۶۵	۳۴/۶۴	۲۸/۱۹ - ۴۱/۱۰	۱
۱۴/۵۶	۳۹/۴۹	۳۶/۹۰ - ۴۲/۰۸	۲	۱۳/۹۳	۴۳/۸۹	۴۱/۱۰ - ۴۶/۶۹	۲
۲۲/۹۹	۴۳/۸۴	۴۲/۰۸ - ۴۵/۶۱	۳	۲۱/۳۸	۴۸/۶۲	۴۶/۶۹ - ۵۰/۵۵	۳
۳۵/۸۶	۴۷/۱۹	۴۵/۶۱ - ۴۸/۷۷	۴	۳۶/۱۹	۵۲/۲۱۵	۵۰/۵۵ - ۵۳/۸۸	۴
۲۲/۷۱	۵۳/۰۶	۴۸/۷۷ - ۵۷/۳۵	۵	۲۴/۸۱	۵۸/۰۰۲	۵۳/۸۸ - ۶۲/۱۳	۵
د: (سال ۲۰۱۸)				ج: (سال ۲۰۱۷)			
مساحت٪ (۲۰۱۸)	میانگین دما (C)	فواصل دمایی (C)	کلاس دمایی	مساحت٪ (۲۰۱۷)	میانگین دما (C)	فواصل دمایی (C)	کلاس دمایی
۳/۶۳	۳۴/۴۰۵	۲۸/۳۸ - ۴۰/۴۳	۱	۳/۵۸	۳۱/۲	۲۵/۵۳ - ۳۶/۸۷	۱
۱۳/۹۴	۴۲/۸۷	۴۰/۴۳ - ۴۵/۳۲	۲	۱۴/۷۲	۳۹/۴۱	۳۶/۸۷ - ۴۱/۹۶	۲
۲۲/۲۸	۴۷/۰۱	۴۵/۳۲ - ۴۸/۷۱	۳	۲۱/۰۹	۴۳/۸۱	۴۱/۹۶ - ۴۵/۶۶	۳
۳۵/۱۱	۵۰/۲۱	۴۸/۷۱ - ۵۱/۷۲	۴	۳۵/۶۲	۴۷/۳۱	۴۵/۶۶ - ۴۸/۹۷	۴
۲۵/۰۱	۵۶/۰۵	۵۱/۷۲ - ۶۰/۳۸	۵	۲۴/۹۶	۵۳/۴۹	۴۸/۹۷ - ۵۸/۰۱	۵



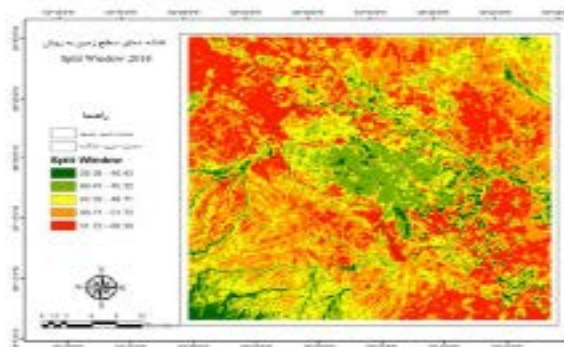
۲۰۱۵



۲۰۱۶



۲۰۱۷



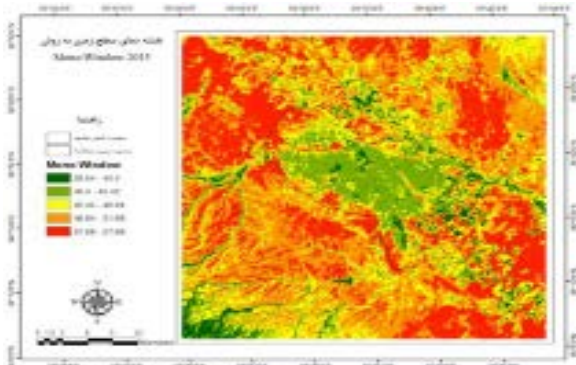
۲۰۱۸

نگاره ۶: تصویر دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا (SW)

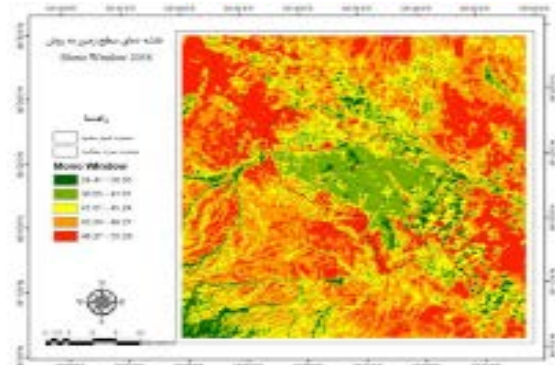
جدول ۱۱: الف: دمای سطح زمین به دست آمده از الگوریتم Mono window

ب: (۲۰۱۶)				الف: (۲۰۱۵)			
مساحت/(۲۰۱۶)	میانگین دما(C)	فواصل دمایی(C)	کلاس دمایی	مساحت/(۲۰۱۵)	میانگین دما(C)	فواصل دمایی(C)	کلاس دمایی
۳/۶۳	۳۰/۵۳	۲۴/۴۱ - ۳۶/۶۵	۱	۳/۴۹	۳۴/۴۷	۲۸/۵۴ - ۴۰/۴	۱
۱۴/۱۹	۳۹/۱۳	۳۶/۶۵ - ۴۱/۶۱	۲	۱۴/۰۶	۴۲/۹۱	۴۰/۴ - ۴۵/۴۲	۲
۲۲/۰۸	۴۳/۴۲	۴۱/۶۱ - ۴۵/۲۴	۳	۲۰/۳۹	۴۷/۱۳	۴۵/۴۲ - ۴۸/۸۴	۳
۳۵/۹۷	۴۶/۷۵	۴۵/۲۴ - ۴۸/۲۷	۴	۳۵/۲۱	۵۰/۲۶	۴۸/۸۴ - ۵۱/۶۹	۴
۲۴/۱۱	۵۱/۷۸	۴۸/۲۷ - ۵۵/۲۹	۵	۲۶/۸۱	۵۴/۶۸	۵۱/۶۹ - ۵۷/۶۸	۵

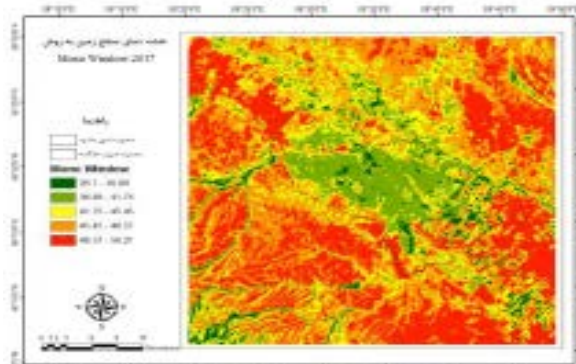
د: (۲۰۱۸)				ج: (۲۰۱۷)			
مساحت/(۲۰۱۸)	میانگین دما(C)	فواصل دمایی(C)	کلاس دمایی	مساحت/(۲۰۱۷)	میانگین دما(C)	فواصل دمایی(C)	کلاس دمایی
۳/۴۶	۳۴/۸۷	۲۹/۵۹ - ۴۰/۱۵	۱	۳/۲۷	۳۱/۷۹	۲۶/۷ - ۳۶/۸۹	۱
۱۳/۸۲	۴۲/۵۱	۴۰/۱۵ - ۴۴/۸۸	۲	۱۴/۱۷	۳۹/۳۲	۳۶/۸۹ - ۴۱/۷۵	۲
۲۰/۵۱	۴۶/۴۷	۴۴/۸۸ - ۴۸/۰۷	۳	۱۸/۹۶	۴۳/۶	۴۱/۷۵ - ۴۵/۴۵	۳
۳۶/۸۱	۴۹/۴۴	۴۸/۰۷ - ۵۰/۸۲	۴	۳۳/۳۲	۴۷/۰۱	۴۵/۴۵ - ۴۸/۵۷	۴
۲۵/۳۸	۵۴/۲۳	۵۰/۸۲ - ۵۷/۶۴	۵	۳۰/۲۵	۵۲/۳۹	۴۸/۵۷ - ۵۶/۲۱	۵



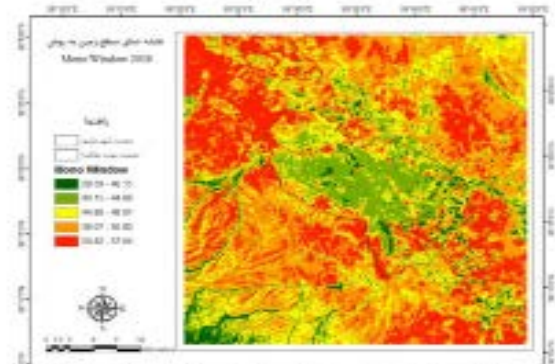
۲۰۱۵



۲۰۱۶



۲۰۱۷



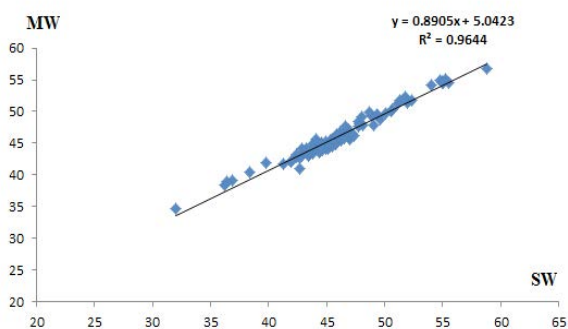
۲۰۱۸

نگاره ۷: تصویر دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه الگوریتم تک پنجره (MW)

قابل انتقال هستند. تفاوت در برآورد LST از الگوریتم‌های تک پنجره و پنجره مجزا را می‌توان به باندهای طیفی و محتوای بخار آب جوئی استفاده شده در بازیابی LST نسبت داد. الگوریتم SW از دو باند طیفی (باند ۱۰ و ۱۱) با طول موج تقریبی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر استفاده می‌کند، در حالی که الگوریتم تک پنجره برای بازیابی LST از یک باند طیفی (باند ۱۰) با طول موج تقریباً ۱۱/۵ میکرومتر استفاده می‌کند. علاوه بر این، الگوریتم پنجره مجزا SW از محتوای بخار آب جو استفاده می‌کند که ارزش واقعی شرایط غالب در سایت را نشان می‌دهد. از طرف دیگر، از محتوای بخار آب جو در الگوریتم تک پنجره استفاده نشده است.

محتوای بخار آب جو پارامتر حساسی است که بر اقلیم و دمای سطح بالای زمین تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که دو باند طیفی در الگوریتم SW برای تعیین میزان انتشار و دمای روشنایی به کار می‌رود و این مقادیر همراه با محتوای بخار آب جو در بازیابی LST استفاده می‌شوند، الگوریتم SW قادر است شرایط موجود در منطقه را با دقت بیشتری ثبت کند و نتایج بهتری را در مقایسه با الگوریتم تک پنجره ارائه دهد.

تجزیه و تحلیل رگرسیون LST به دست آمده از این دو الگوریتم نشان می‌دهد که آن‌ها مقدار R2 برابر با ۰/۹۶ را دارند و با دقت ناچیزی قابل انتقال هستند. نگاره ۸ نمودار مقایسه بین نتایج حاصل از دو روش پنجره مجزا و تک پنجره را نشان می‌دهد.



نگاره ۸: نمودار مقایسه بین دو الگوریتم SW و MW

۳-۱- مقایسه الگوریتم‌ها

برای ارزیابی عملکرد مقایسه‌ای از دو الگوریتم تک-پنجره و پنجره مجزا به منظور بازیابی LST استفاده شد. پیش‌پردازش اولیه داده‌های سنجنش از دور با نرم‌افزار ENVI انجام شده است. سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) منتشر کرده است که تنوع کالیبراسیون باند ۱۰ TIRS (0.12 W / m² / sr / μm) بهتر از باند ۱۱ (W) 0.2 / m² / sr / μm است (یو و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، باند ۱۱ بیشتر تحت تأثیر جذب بخار آب قرار می‌گیرد و بنابراین نسبت به خطاهای موجود در پروفیل‌های جوئی حساس‌تر است (کول و همکاران، ۲۰۱۲). از این رو، در مطالعه حاضر، باند ۱۰ برای بازیابی LST با استفاده از الگوریتم تک پنجره استفاده شده است (اسکوکویچ و همکاران، ۲۰۱۴). LSE یک ورودی ضروری برای تمام الگوریتم‌های بازیابی LST است. اگرچه روش‌های بازیابی همزمان LSE و LST در دسترس است، اما به دلیل پیچیدگی محاسباتی آن‌ها، روش شناخته شده LSE در مطالعه حاضر اجرا شده است. نقشه‌های LSE با استفاده از روش نیمه تجربی، آستانه NDVI از برآورد LSE تولید شده‌اند.

NDVI، میانگین LSE و اختلاف LSE با استفاده از روش حد آستانه NDVI به کارگیری دو تصویر سنجنده در لندست ۸ که در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ از شهر مشهد به دست آمده، تخمین زده شده است. مقایسه بین مقادیر محاسبه شده LST حاصل از الگوریتم پیشنهادی SW و آنچه از الگوریتم تک پنجره به دست آمده، ترتیب مشابهی از مقادیر را نشان می‌دهد. با این حال، الگوریتم پنجره مجزا مقادیر LST بالاتری دارد.

تجزیه و تحلیل رگرسیون بین نتایج به دست آمده از این دو الگوریتم برای LST، مقدار R2 برابر با ۰/۹۶ را نشان می‌دهد، همانطور که در نگاره ۸ نمایش داده شده است. همبستگی نزدیک بین LST بازیابی شده با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا، با LST بازیابی شده از الگوریتم تک پنجره، نشان می‌دهد که آن‌ها با خطای ناچیز دقت،

۲-۳- اعتبارسنجی LST بازیابی شده

دو مطالعه اعتبارسنجی عمده با اندازه گیری‌های زمینی یا دمای هوای نزدیک به سطح توسط (سریواستاوا و همکاران، ۲۰۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳) برای وارونگی LST انجام شده است. دقت نتایج در برخی مناطق اختلاف ± 2 درجه سانتی گراد با دمای واقعی زمین را نشان داد. لی و همکاران (۲۰۱۳) خطای بازیابی ۰/۷ درجه سانتی گراد LST اندازه‌گیری شده با دمای هوای سطح زمین را نشان دادند. بعضی اوقات، بسته به شرایط اقلیمی و عوامل دیگر، این اختلافات می‌تواند زیاد باشد (کالو و همکاران ۲۰۱۱).

در مطالعه حاضر، LST به‌دست آمده از لندست ۸ با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا با استفاده از روابط ۲۴ و ۲۵ به دمای هوا تبدیل شده و با دمای هوای مشاهده شده در ایستگاه مورد نظر، مقایسه شد. این مقایسه در جدول ۱۲ نشان داده شد. جدول ۱۲ تفاوت بین دمای هوای محاسبه شده (T_a) به روش تک‌پنجره و پنجره مجزا از منطقه مورد مطالعه و دمای هوای ایستگاه هواشناسی (T_s) را نشان می‌دهد که میزان خطا به طور میانگین ۱/۷ درجه سانتی گراد برای روش پنجره مجزا و ۵/۱ درجه سانتی گراد برای روش تک‌پنجره می‌باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات اخیر وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که مناطق با پوشش گیاهی، ارتفاعات بالا و سطوح پوشیده از آب دارای حداقل دما و نواحی عاری از پوشش گیاهی به‌همراه مناطق پست از مقادیر دمایی

بالایی برخوردار هستند. همچنین نتیجه این تحقیق همانند تحقیقات عیسی‌لو و همکاران (۱۳۹۹) و تاسیا و همکاران (۲۰۱۸)، دقت بسیار بالای الگوریتم پنجره مجزا نسبت به روش تک‌پنجره را در برآورد دمای سطح زمین نشان داد. در تحقیق حاضر دمای سطح زمین برآورد شده براساس دو روش مورد نظر از منطقه مورد مطالعه به وسیله رابطه‌های ۲۴ و ۲۵ به دمای هوا تبدیل شد تا بتوان نتیجه هر دو روش مورد نظر را با مقادیر دمای هوای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی مورد ارزیابی قرار داد.

۴- نتیجه‌گیری

دمای سطح زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعات جهانی به حساب می‌آید و عاملی مهم در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین است. داده‌های دمایی سطح زمین اطلاعاتی درباره تغییرات مکانی و زمانی سطح زمین در مقیاس جهانی ارائه می‌دهند. محاسبه دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در شناخت رخدادها و پدیده‌های سطح زمین کاربرد داشته باشد. در این پژوهش، الگوریتم پنجره مجزا و تک‌پنجره، برای محاسبه LST با استفاده از تصاویر لندست ۸ ارائه شده است. الگوریتم پنجره مجزا، ابزار ریاضی پویا دارد که امکان تخمین LST را با استفاده از دمای روشنایی از باندهای حرارتی سنجنده TIRS و فاکتور LSE مشتق شده از FVC با استفاده از باندهای سنجنده OLI را فراهم می‌کند. نتایج به‌دست آمده از الگوریتم پنجره مجزا با نتایج

جدول ۱۲: مقایسه دمای هوای محاسبه شده از تصویر ماهواره‌ای با دمای هوای ایستگاه هواشناسی

سال ۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	دمای محاسبه شده
۳۸/۴۷	۳۰/۵۶	۳۱/۵۲	۴۲/۹۵	دمای سطحی محاسبه‌شده از تصویر به روش پنجره مجزا (LST)
۳۱/۵۳	۲۸/۰۵	۲۸/۴۷	۳۳/۵۰	دمای هوای محاسبه‌شده از تصویر به روش پنجره مجزا (T_a)
۴۸/۰۱	۴۴/۴۳	۴۴/۸۰	۴۳/۷۳	دمای سطحی محاسبه‌شده از تصویر به روش تک‌باندی (LST)
۳۵	۳۲/۰۸	۳۲/۳۸	۳۱/۵۰	دمای هوای محاسبه‌شده از تصویر به روش تک‌باندی (T_a)
۳۰/۱	۲۶/۷	۲۵/۷	۳۵	دمای هوای اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هواشناسی (T_s)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

تعیین دمای سطح زمین با استفاده از دو الگوریتم پنجره مجزا و تک پنجره و ... / ۷۱

در دامنه دمایی ۴۸/۸۴ تا ۵۱/۶۹ و همچنین در سال ۲۰۱۶ بیشترین مساحت ۳۵/۹۷ درصد در بازه دمایی ۴۵/۲۴ تا ۴۸/۲۷، بیشترین مساحت ۳۳/۳۲ درصد در بازه دمایی ۴۵/۴۵ تا ۴۸/۵۷ در سال ۲۰۱۷ و بیشترین مساحت ۳۶/۸۱ درصد در بازه دمایی ۵۰/۸۲ تا ۴۸/۰۷ در سال ۲۰۱۸ قرار دارد.

نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات مفیدی را از وضعیت دمای مناطق مختلف که امکان ساخت و احداث ایستگاه‌های هواشناسی در آنها غیرممکن است و شناخت مناطق با استعداد ایجاد جزایر حرارتی و ارتباط آن با کاربری اراضی را در اختیار برنامه‌ریزان و کارشناسان برای مدیریت کارآمد سرزمین و حفاظت از منابع طبیعی فراهم کند.

منابع و مآخذ

- ۱- آمارنامه شهر مشهد. (۱۳۹۵). شهرداری مشهد. معاونت برنامه‌ریزی و توسعه. دی ماه ۹۵.
- ۲- پرهیزکار عیسی‌لو، ر.، ولی‌زاده کامران، و.، فیضی‌زاده، ب. (۱۳۹۹). تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین جهت شناسایی مناطق ژئوترمال (مطالعه موردی: شهرستان مشکین شهر). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۹. شماره ۱۱۴.
- ۳- رحیمیان، م. ح. شایان‌نژاد، م. اسلامیان، س. جعفری، ر. قیصری، م. و تقوئانیان، ص. (۱۳۹۶). ارزیابی روش‌های مختلف تعیین دمای پوشش گیاهی درختان پسته به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸. نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال پنجم، شماره دوم، صص ۷۹-۹۸.
- ۴- فیضی‌زاده، ب.، دیده‌بان، خ.، غلام‌نیا، خ. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۵. شماره ۹۸. تابستان.
- ۵- ناجی دومیرانی، ص.، ضیائی‌ان فیروزآبادی، پ.، سدید،

به‌دست آمده از الگوریتم تک‌پنجره و اندازه‌گیری‌ها، مقایسه شدند. برای بررسی صحت و دقت اطلاعات در این دو روش، دمای سطح زمین نهایی با استفاده از روابط ریاضی مطرح شده در متن، به دمای هوا تبدیل شده و با دمای هوا در ایستگاه اصلی هواشناسی شهر مشهد مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد، دمای هوای محاسبه‌شده به روش تک‌پنجره و پنجره مجزا در مقایسه با دمای هوای محاسبه شده در ایستگاه هواشناسی مورد نظر به‌طور میانگین به ترتیب ۱/۷ و ۵/۱ درجه سانتی‌گراد تفاوت دارند. بنابراین می‌توان گفت که روش پنجره مجزا دارای دقت بالاتری بوده است و دمای به‌دست آمده با دمای واقعی تطابق بیشتری دارد. نتایج این تحقیق با نتایج کار فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) و پرهیزکار عیسی‌لو و همکاران (۱۳۹۹) رونگالی و همکاران (۲۰۱۸)، انطباق دارد. تجزیه و تحلیل رگرسیون LST به‌دست آمده از این دو الگوریتم نشان می‌دهد که آن‌ها مقدار R2 برابر با ۰/۹۶ دارند و با دقت ناچیزی قابل انتقال هستند که با نتایج کار رونگالی و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت دارد. مقادیر LST محاسبه شده می‌تواند حداکثر تا ۵ درجه سانتی‌گراد با اندازه‌گیری دمای هوای مشاهده شده در ایستگاه متفاوت باشد. در بخش‌های پوشیده از فضای سبز، مقادیر کم LST وجود دارد، در حالی که در جنوب شرقی با زمین‌های بایر، زمین‌های غیرقابل کشت و مناطق شهری دارای مقادیر LST زیادی هستند.

نتایج به‌دست آمده از روش پنجره مجزا نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵، بیشترین مساحت ۳۶/۱۹ درصد در دامنه دمایی ۵۰/۵۵ تا ۵۳/۸۸ و همچنین در سال ۲۰۱۶ بیشترین مساحت ۳۵/۸۶ درصد در بازه دمایی ۴۵/۶۱ تا ۴۸/۷۷ قرار دارد. همچنین بیشترین مساحت ۳۵/۶۲ درصد در بازه دمایی ۴۵/۶۶ تا ۴۸/۹۷ در سال ۲۰۱۷ و بیشترین مساحت ۳۵/۱۱ درصد در بازه دمایی ۵۱/۷۲ تا ۴۸/۷۱ در سال ۲۰۱۸ قرار دارد.

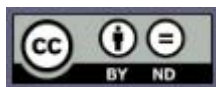
همچنین نتایج به‌دست آمده از روش تک‌پنجره نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵، بیشترین مساحت ۳۵/۲۱ درصد

14. Jimenez-Munoz, J, C., Cristobal, J., Sobrino, J, A., Soria, G., Ninyerola, M, Pons, X.)2009(. Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 47:339–349. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2007125>.
15. Jimenez-Munoz, J, C., Sobrino, J, A.)2003(. *Journal of Geophysical Research* 108 4688.
16. Li, Z, L., Tang, B, H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wa, Z., Trigo, I, F., Sobrino, J, A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives. *Remote Sens Environ* 131:14–37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
17. Liu, I., Yuanzh, Z. (2011) .Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sens.* 3, 1535-1552; doi: 10.3390/rs3071535.
18. Meneses, S, F. (2015) .Thermal Remote Sensing at Lyte Geothermal Production Field Using Mono Window Algorithm. *Proceeding World Geothermal Congress. Melbourne.*
19. Ottlé, C., Stoll, M. (1993). Effect of atmospheric absorption and surface emissivity on the determination of land surface temperature from infrared satellite data. *Int. J. Remote Sens.* 14, 2025–2037.
20. 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. *Int J Remote Sens.* 19:1663–1681. <https://doi.org/10.1080/014311698215171>.
21. 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. *Int J Remote Sens* 22: 3719–3746. <https://doi.org/10.1080/01431160010006971>.
22. Qin, Z., Berliner, P., Karnieli, A. (2001). *Remote Sensing* 22 3719-3746.
23. Singh, K, B., Grover, A., Zhan, J. (2014). *Energies* 7. 1811-1828.
- ج. رحیمی، ک. (۱۳۹۶). محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم Split window و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). بیست و چهارمین همایش و نمایشگاه ملی. سازمان نقشه‌برداری کشور. تهران.
6. Ardiansyah.)2015(. *Pengolahan Citra Penginderaan Jauh Menggunakan ENVI 5.1 dan ENVI LIDAR (Teori dan Praktik)*. Jakarta Selatan: PT. LABSIG INDERAJA ISLIM.
7. Calson, T.N., Ripley, D.A.)1997(. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* 62, 241–252.
8. Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J, C., Sobrino, J, A., NinyerolaM, P.)2009(. Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. *J Geophys Res Atmos* 114:1–16. <https://doi.org/10.1029/2008JD010616>.
9. Dash, P., Gotsche, F, M., Olesen, F, S., Fisher, H.)2002(. *International Journal of Remote Sensing* 23, 2563-2594.
10. Dousset, B., Gourmelon, F .)2003(. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover. *ISPRS J Photogramm Remote Sens.* 58:43–54. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(03\) 00016-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(03) 00016-9).
11. Franca, G, B., Cracknell, A, P.)1994(. *International Journal of Remote Sensing* 15 1695- 1712.
12. García-Haro, J. Camacho-de Coca, F. Meliá, J. and Martínez, B. (2005). Operational Derivation of Vegetation Products in the Framework of the LSA SAF Project. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik (Croatia).* 19-23 Septiembre, in press.
13. Gopinadh, R., Ashok, K, K., Ashvani, K. G., Rakesh, K.)2018(. Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*2: 14. <https://doi.org/10.1007/s41651-018-0021-y>.

4289; doi:10.3390/rs70404268.

33. Weng, Q., Lu, D., Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens Environ* 89:467-483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>.

Zhou, J., Zhang, X., Zhang, W., Zhang, H. 2014 *Remote Sensing* 6 5344-5367.



24. Skokovic, D., Sobrino, J, A., Jiménez Muñoz, J, C., Soria, G., Julien, Y., Mattar, C., Cristóbal, J. (2014). Calibration and validation of land surface temperature for Landsat8- TIRS sensor TIRS Landsat-8 characteristics. *L Prod Valid Evol ESA/ESRIN* 27.

25. Sobrino, J.A., Coll, C., Caselles, V. (1991). Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5. *Remote Sens. Environ.* 38, 19-34.

26. Sobrino, J, A., Jiménez-Muñoz, J, C., Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. *Remote Sens Environ* 90:434- 440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>.

27. Sobrino, J, A., Jiminez-Munoz, J, C., Paolini, L. (2003). *Remote Sensing of Environment* 90 434- 440.

28. Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A., Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 46, 316-327.

29. Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J. C. (2014). Minimum configuration of thermal infrared bands for land surface temperature and emissivity estimation in the context of potential future missions. *Remote Sens. Environ.* 148, 158-167.

30. Tasya, B., Rokhmatuloh., Adi, W. (2018). Comparison Spatial Pattern of Land Surface Temperature with Mono Window Algorithm and Split Window Algorithm: A Case Study in South Tangerang, Indonesia. *Earth and Environmental Science* 149 (2018) 012066. Doi : 10.1088/1755-1315/149/1/012066.

31. Wan, Z. (2014). New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote Sens Environ* 140:36-45. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.027>.

32. Wang, F., Qin, Z., Song, C., Tu, L., Karnieli, A., Zhao, Sh. (2015). An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data. *Remote Sensing.* 7, 4268-

