نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره۱، بهار ۱۴۰۰
صفحات ۱۴۹ تا ۱۶۶

ارزیابی عملکرد مدل SADFAT در پیش بینی روزانه دمای سطحی زمین در محدوده شهر تهران

محمدجواد براتی؛ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی ماهواره ای، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
منوچهر فرج زاده اصل۱؛ استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
رضا برنا؛ دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۳/۱۳ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۵/۱۶

چکیده

محدودیت هایی مانند پوشش زمانی کم و کوچک مقیاس بودن تصویر برداری مادون قرمز حرارتی در اقلیم شناسی شهری به عنوان یک چالش علمی عصر حاضر می باشد. برای رفع این مشکل، مدل های ادغام زمانی و مکانی تصاویر مانند SADFAT در سنجش از دور مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر قابلیت استفاده از مدل SADFAT برای بکارگیری ویژگیهای مکانی تصاویر سنجنده OLI و زمانی سنجنده MODIS، به منظور برآورد LST های مناطق شهری، ارزیابی شده است. داده های ورودی به مدل شامل رادیانس حرارتی تصاویر مودیس و لندست و باند قرمز و مادون قرمز نزدیک لندست جهت پیش بینی دمای سطح روزهای متوالی سال ۲۰۱۷ میلادی محدوده شهر تهران می باشد. الگوریتم با بکارگیری دو جفت تصویر مودیس و لندست در زمان مشابه و مجموعه هایی از تصاویر مودیس در زمان پیش بینی و تعیین ضریب تبدیل تغییرات رادیانس حرارتی پیکسل ناهمگن مودیس نسبت به پیکسل لندست، LST را در مناطق ناهمگن پیش بینی می کند. برای ارزیابی نتایج مدل، تمامی پیکسل های تخمین زده شده به صورت نظیر به نظیر با پیکسل های تصویر مبنا در آن محدوده مقایسه شدند. میزان برآیند مقایسه برای روزهای فصل پاییز نشان می دهد که مدل SADFAT در این فصل بطور میانگین با ضریب همبستگی ۰/۸۶ و خطای خطای جذر میانگین مربعی ۰/۱۲۲ ، بالاترین دقت و در فصول دیگر با میانگین ضریب همبستگی ۰/۷۶ و خطای جذر میانگین مربعی حدود ۰/۴ ، دقت خوبی را ارائه نموده است . بنابراین با وجود برخی خطاهای سیستماتیک و متغیر موجود در تصاویر و اجرای الگوریتم، عملکرد این مدل برای پیش بینی LST در مقیاس زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در شهر تهران خوب ارزیابی شد.

واژه های کلیدی : ادغام زمانی و مکانی، SADFAT، جزیره حرارتی، LST، اقلیم شهری

۱ -نویسنده مسئول: Email: farajzam@modares.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

مقدمه

جزایر حرارتی شهری علاوه بر تاثیر منفی روی شهرها و ساکنین آنها، اکوسیستم های فواصل دور از شهرها را نیز تحت تاثیر قرار می دهند. به عنوان نمونه محققان ناسا کشف کردند که اقلیم های شهری اثر قابل توجهی روی فصل رشد گیاهان دارند (NASA,۲۰۰٤). اثرات نامطلوب این گرمایش باعث از بین رفتن محیط زیست، افزایش مقدار ازن سطح زمین (Rosenfeld et al.,۱۹۹۸) و افزایش نرخ مرگ و میر می شود(Changnon et al.,۱۹۹٦). افزایش مصرف انرژی به منظور کاهش دما، کیفیت هوای شهری را پایین آورده و سبب ناراحتی و عدم آسایش شهرنشینان می شود و با تاثیر بر روی سلامتی انسان ها، آسم و انواع بیماری های تنفسی دیگر را افزایش می دهد. نیاز به تولید انرژی بیشتر بوسیله ی نیروگاه ها و صنایع سنگین منجر به انتشار گازهای گلخانه ای مانند دی اکسید کربن و آلاینده های دیگر مانند دی اکسید سولفور و هواویزها می شود و علاوه بر آن هزینه های انرژی را برای شهروندان و دولت ها افزایش می دهد. علاوه بر اثرات آشکار این پدیده بر روی دما، جزیره حرارتی بر روی ویژگیهای اقلیمی و جوی نواحی شهری از قبیل الگوی بادهای محلی، تولید ابرها، افزایش رعد و برق و میزان بارش تاثیر داشته است(Yuan and Bauer,۲۰۰٦). موارد ذکر شده نشان می دهد که بهره برداری انسان از فضا در طول زمان سبب تغییر الگوی فضایی دما و پیدایش پدیده گرمایش شهری و ظهور جزایر حرارتی شهری شده است و شناسایی این تغییرات اهمیت فراوانی دارد. امروزه با استفاده از داده های ماهواره ای و تکنیک های تحلیل فضایی می توان متغیرهایی مانند دمای سطح زمین را ثبت و مقدار تغییر پذیری آنها را در محیط مادر شهرهایی مانند تهران، بصورت کمی بیان نمود.

با وجود سابقه طولانی برداشت داده های دمای سطحی زمین [۱](LST) از فضا، اخیراً نظر جوامع علمی به ارتقا و آشکارسازی اهمیت ارزش علمی محصولات LST دریافتی از ماهواره از طریق EarthTemp Network که شبکه ای برای افزایش همکاری های بین المللی جدید در اندازه گیری و درک دمای سطح زمین در همه حوزه ها می باشد، جلب شده است. مرکانت و همکاران (Merchant et al.,۲۰۱۳) فهرست ۲۸ مورد از اقداماتی که باعث افزایش جلب نظر جوامع به درک تاثیر افزایش دمای سطحی می شود را ارائه نمودند. یکی از این اقدامات بر اندازه گیری LST با استفاده از حسگرهای راه دور به دلیل پوشش کامل جغرافیایی ، برای شناسایی توزیع دما در داخل و خارج از شهر تاکید دارد. آنها محدودیت هایی مانند تفکیک زمانی و مکانی پایین تصویر برداری مادون قرمز حرارتی[۲](TIR) در اقلیم شناسی شهری را به عنوان یک چالش علمی عصر حاضر معرفی نمودند.

سنجنده های پایش کننده دمای سطح که برای طول موج TIR طراحی شده اند مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوتی دارند. تصاویر سنجنده مودیس[۳](MODIS) با استفاده از دو باند طول موج بلند مادون قرمز[۴](LWIR) برای هر روز دو تصویر تولید می کند، ماهواره های لندست ۵ [۵](TM۵) و لندست ۷ [۶](ETM+۷) داده های حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۶۰ تا ۱۲۰ متر و و لندست ۸ ، داده های حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه فراهم می کنند. ماهواره GOES در محدوده طول موج های مادون قرمزحرارتی ۴ کیلومتر، سنجنده[۷] AVHRR و سنجنده

۱ -Land Surface Temperature
۲ -Thermal Infrared
۳ -Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
٤ -Low wave Infrared
٥ -Thematic Mapper ٥
٦ -Enhanced Thematic Mapper Plus
۷ -Advanced Very High Resolution Radiometer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

MODIS یک کیلومتر و سنجنده Aster[۱]، ۹۰ متر است. محصولات جدید ESA[۲] مانند سنتینل ۲ (Sentinel۲) دارای دو ماهواره و دارای قدرت تفکیک زمانی دو بار در هفته و وضوح فضایی بالا است اما دارای حسگر TIR نیست. مشاهدات TIR توسط سنتینل ۳ (Sentinel۳) نیز دارای قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر است. بنابراین هیچ حسگر فضایی قادر به فراهم کردن تصاویر دمای سطح زمین بطور مکرر در وضوح فضایی لازم برای مطالعات شهری نیست.

برای رفع این محدودیت، مدل های ادغام زمانی و مکانی[۳] تصاویر در سنجش از دور مورد توجه قرار گرفته است. در روشهای قدیمی از دو باند تصویر یک سنجنده برای ادغام و از باند پانکروماتیک جهت افزایش دقت مکانی استفاده می شد (Zhang,۲۰۰٤). بنابراین فقط قدرت تفکیک مکانی افزایش می یافت. برای رفع این مشکل گائو و همکاران (Gao et al.,۲۰۰٦) مدل[۴] STARFM را پیشنهاد دادند. این مدل با بهره گیری از تصاویر دو سنجنده لندست و مودیس، قدرت تفکیک مکانی و زمانی بازتابندگی را هم زمان افزایش می دهد. مدل STARFM برای پیکسل ها و محدوده های جغرافیایی همگن که کاربری های یکسانی در پیکسل های مودیس و لندست دارند، طراحی شده است و در نواحی دارای کاربری های مختلف مانند مناطق شهری دارای خطا می باشد. برای حل این محدودیت، ژو و همکاران (Zhu et al.,۲۰۱۰) مدل بهبود یافته ادغام سازگار مکانی و زمانی[۵] (ESTARFM) را ارائه دادند. آنها با استفاده از انعکاس مشاهده شده در دو زمان مختلف، ضریب تبدیل و اصلاح معادله ی وزن، دقت پیش بینی انعکاس در مناطق با پوشش غیر یکسان را بهبود داده و بیان کردند که در مناطق با تنوع کاربری بالا، می توان با استفاده از مدل ESTARFM میانگین مطلق خطا را نسبت به مدل STARFM کاهش داد. رحیم پور وهمکارانش (۱۳۹۶) توانایی استفاده از مدل ESTARFM برای ترکیب تصاویر سنجنده های OLI و MODIS به منظور تهیه داده های باندهای مرئی و مادون قرمز در مقیاس روزانه با قدرت مکانی ۳۰ متر، در بخشی از حوزه آبریز زاینده رود در استان اصفهان، را ارزیابی نمودند و بیان کردند، علاوه بر اینکه مدل در برآورد مقادیر بازتابندگی سطحی دقت مطلوبی دارد، می توان از آن مانند NDVI برای پیش بینی میزان محصولات نیز استفاده کرد.

بذرگر و آخوندزاده (۱۳۹۷) با استفاده از ESTARFM، اطلاعات پرتکرار زمانی سنجنده مودیس را با اطلاعات با توان تفکیک مکانی بالای سنجنده استر ترکیب کردند. این الگوریتم برای بهبود دقت پیش بینی دمای سطح زمین با قدرت تفکیک ۹۰ متر برای قسمتی از شهر تهران که با یک تصویر استر پوشش داده شده بود، بکار گرفته شد و نتایج قابل قبولی را به ویژه در مناطق غیر همگن و حفظ جزئیات مکانی نشان داد.

در سال ۲۰۱۴، ونگ و همکارانش (Weng et al., ۲۰۱٤) روش ESTARFM را به منظور پیش بینی رادیانس حرارتی و دمای سطح زمین با در نظر گرفتن چرخه سالانه دما[۶] و ناهمگونی سطح زمین بهبود داده و روش SADFAT[۷] را ارائه دادند. این روش که دمای سطح زمین را به صورت روزانه با قدرت تفکیک لندست پیش بینی می کند، به منظور استخراج دمای سطح زمین توسعه داده شده است.

۱ -Advaced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer
۲ -Low wave Infrared
۳ - Spatial and Temporal Data Fusion Model
٤ - spatial and temporal adaptive reflectance fusion model
٥ - Enhanced Starfm
٦ - Annual Temperature Cycle (ATC)
۷ - Spatio-temporal Adaptive Data Fusion Algorithm for Temperature mapping

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

محمدی زاده و همکارانش (۱۳۹۷) از روش SADFAT جهت تهیه روزانه ی تصاویر دمای سطح با قدرت تفکیک مکانی۱۰۰ متر در محدوده ی طرح توسعه نیشکر واقع در جنوب استان خوزستان استفاده کردند و نتایج پژوهش بیانگر دقت بالا و قابل قبول روش SADFAT را نشان داد. در پژوهش های جدیدتر سعی بر آن است تا دقت الگوریتم های موجود افزایش داده شود. در تحقیق حاضر نیز قابلیت استفاده از مدل SADFAT در بکارگیری ویژگیهای مکانی تصاویر سنجنده OLI و زمانی سنجنده MODIS، به منظور برآورد میزان دمای سطحی در مقیاس روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در شهر تهران در طول سال ۲۰۱۷ ، مورد بررسی قرارگرفته است.

داده ها و روش کار

- **منطقه مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه شامل شهر تهران، پایتخت جمهوری اسلامی ایران است که از نظر جغرافیایی درمحدوده (۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی) و (۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی) قرار گرفته است. مساحت شهر تهران بر اساس طرح جامع انجام گرفته در سال ۱۳۸۵ حدود ۶۱۱ کیلومترمربع می باشد. شهر تهران با تاثیرپذیری از توپوگرافی، در منطقه مرتفع شمالی مانند شمیران دارای آب و هوای معتدل تا سرد کوهستانی، در منطقه کوهپایه ای مانند، تهرانپارس و آریا شهر دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک و در اراضی مرکزی و جنوبی تهران دارای آب و هوای خشک و نیمه بیابانی می باشد. هوای تهران در مجموع در تابستانها گرم و خشک و در زمستانها معتدل تا سرد است. میانگین دمای سالیانه تهران حدود ۲۷ درجه سانتی گراد است که در ۷ ماه اول سال این رقم بیشتر از میانگین دمای سالیانه است. حداکثر مطلق دما در تیرماه به ۴۴ درجه سانتی گراد و حداقل آن در دیماه ۱۹- درجه سانتی گراد بوده است. متوسط دمای تهران در خرداد ماه به ۲۹/۸ و در دیماه به ۲/۸ درجه سلسیوس می رسد(عربی، ۱۳۸۷). جهت وزش باد غالب غربی است. سرعت بادها معمولا کمتراز ۴۰ کیلومتر در ساعت است. اقلیم شهر تهران در دوران آلودگی از طریق افزایش دما، پتانسیل سیلاب خیزی و تغییر اقلیم به سوی وضعیت گرم و مرطوب تر شدن را نشان می دهد (روشن و همکارانش، ۱۳۸۸).

جمعیت شهر تهران بر اساس آخرین سرشماری مرکز ملی آمار کشور در سال ۱۳۹۵، ۸,۶۹۳,۷۰۶ نفر می باشد. رفت و آمد روزانه به شهر تهران از استان ها و شهرستان های اطراف در واقع عامل اصلی آلودگی شهر می باشد و وسایل نقلیه است که سهمی۸۰ درصدی در آلودگی هوای شهر دارند (نامداری، ۱۳۸۸). دلیل دیگر آلودگی نیز استقرار نامناسب و عدم رعایت اصول زیست محیطی صنایع می باشد. محدوده مطالعاتی کلانشهر تهران دارای کاربری های متنوع و میکروکلیماهای متعدد است، بنابراین در صورت کارایی مدل SADFAT در منطقه مورد مطالعه در شهرهای دیگر نیز می تواند جهت ارتقا و بهبود مطالعات مرتبط با جزیره حرارتی شهری بکار گرفته شود.

- **روش تحقیق**

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و از نظر روش توصیفی-تحلیلی می باشد. در این پژوهش از تصاویر لندست ۸ با شماره ردیف ۱۶۴ و مسیر ۳۵ با قدرت تفکیک ۳۰ متر برای باندهای انعکاسی و ۱۰۰ متر برای باند حرارتی ۱۰ و محصول MOD۰۱۱A۱ با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر در ناحیه h۲۲v۰۵ استفاده شده است. در جدول(۱) داده های مورد استفاده در مطالعه نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

جدول ۱: تصاویر مورد استفاده در پژوهش

داده	باند	شماره باند	طول موج(میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
لندست ۸	انعکاسی	۴	۰/۰-۶۳/۶۸	۳۰
		۵	۰/۰-۸۴۵/۸۸۵	۳۰
	حرارتی	۱۰	۱۰/۱۱-۶/۱۹	۱۰۰
مودیس	حرارتی	MOD۰۱۱A۱	-	۱۰۰۰

با توجه به منطقه مورد مطالعه ۳۶۵ تصویر محصول دمای روزانه سطح زمین سال ۲۰۱۷، MOD۰۱۱A۱ سنجنده MODIS از ماهواره Terra از پایگاه اینترنتی http://modis.gsfc.nasa.gov و تصاویر Landsat-۸ موجود در این سال از پایگاه اینترنتی https://earthexplorer.usgs.gov اخذ گردید. تاریخ داده های لندست مورد استفاده به شرح جدول (۲) می باشد.

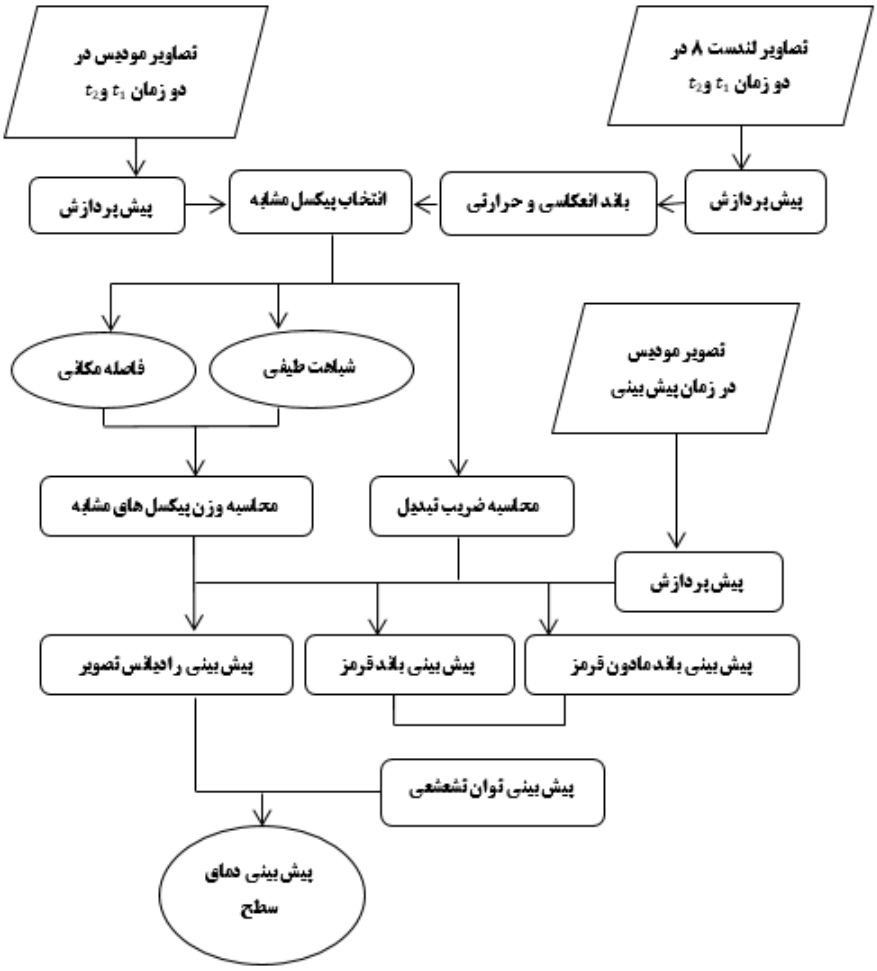
جدول ۲: تاریخ داده های لندست ۸ مورد استفاده در پژوهش

ردیف	تاریخ تصویر	ردیف	تاریخ تصویر	ردیف	تاریخ تصویر
۱	۱۴-Jan-۲۰۱۷	۹	۲۲-May-۲۰۱۷	۱۷	۲۷-Sep-۲۰۱۷
۲	۳۰-Jan-۲۰۱۷	۱۰	۰۷-Jun-۲۰۱۷	۱۸	۱۳-Oct-۲۰۱۷
۳	۱۵-Feb-۲۰۱۷	۱۱	۲۳-Jun-۲۰۱۷	۱۹	۲۹-Oct-۲۰۱۷
۴	۰۳-Mar-۲۰۱۷	۱۲	۰۹-Jul-۲۰۱۷	۲۰	۱۴-Nov-۲۰۱۷
۵	۱۹-Mar-۲۰۱۷	۱۳	۲۵-Jul-۲۰۱۷	۲۱	۳۰-Nov-۲۰۱۷
۶	۰۴-Apr-۲۰۱۷	۱۴	۱۰-Aug-۲۰۱۷	۲۲	۱۶-Dec-۲۰۱۷
۷	۲۰-Apr-۲۰۱۷	۱۵	۲۶-Aug-۲۰۱۷		
۸	۰۶-May-۲۰۱۷	۱۶	۱۱-Sep-۲۰۱۷		

جهت ادغام تصاویر از الگوریتم SADFAT استفاده شده است. در این روش از دو تصویر موجود مودیس و دو تصویر موجود لندست برای یافتن پیکسل های مشابه با پیکسل مرکزی هر پنجره و محاسبه وزن پیکسل های مشابه استفاده می شود. سپس با استفاده از تصاویر دو سنجنده، ضریب تبدیل توسط رگرسیون خطی تعیین می شود. وزن و ضریب تبدیل محاسبه شده و تصویر مودیس در زمان پیش بینی برای پیش بینی تصاویر لندست بکار گرفته می شود. بنابراین با توجه به اینکه ضریب تبدیل تغییرات رادیانس حرارتی پیکسل ناهمگن مودیس نسبت به پیکسل لندست تعیین می شود، دقت پیش بینی در مناطق ناهمگن افزایش می یابد.برای پیش بینی دمای سطح روزانه در این پژوهش از رادیانس حرارتی تصاویر مودیس و لندست و باند قرمز و مادون قرمز نزدیک لندست در طول سال ۲۰۱۷ استفاده شده است. فلوچارت اجرای مدل به صورت شکل (۱) نمایش داده شده است(محمدی زاده و همکارانش، ۱۳۹۷).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]



شکل۱: فلوچارت اجرای مدل SADFAT

پس از پیش پردازش تصاویر، تمام مراحل اجرای مدل SADFAT در محیط نرم افزار Matlab کد نویسی شده و داده های لندست و مودیس فراخوانی شده است. عملیات ها و محاسبات در نرم افزار متلب با رویکرد ماتریسی صورت می پذیرد و یک محیط برنامه نویسی کامل با زبان برنامه نویسی خاص خود و کتابخانه ای غنی با toolbox های فراوان می باشد. در ادامه مراحل انجام کار و اجرای مدل تشریح شده است:

- **پیش پردازش تصاویر**

برای پیش پردازش تصاویر از زبان توصیف واسط که به اختصار IDL[۱] نامیده می شود استفاده شده است. مفهوم و عملکرد پیش پردازش مربوط به سنجنده های OLI و MODIS متفاوت است. در تحقیق حاضر، منظور از پیش پردازش در ارتباط با سنجنده OLI تبدیل مقادیر عددی هر پیکسل (DN) به مقادیر بازتابندگی است. اما در سنجنده MODIS هدف زمین مرجع کردن و یکسان سازی اندازه پیکسل ها می باشد.

[۱] -Interface Description Language

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

- **تبدیل باند حرارتی تصاویر لندست به LST**

برای تبدیل باند حرارتی تصاویر لندست به LST از الگوریتم تک کانال (Single Chanel) استفاده شده است. جهت کاهش وابستگی الگوریتم SC به داده های دقیق مربوط به مدل انتقال تابشی اتمسفری، الگوریتم های تک باندی متعددی در طی دهه گذشته برای تخمین LST از داده های ماهواره با فرض مشخص بودن میزان ضریب گسیلمندی (LSE) پیشنهاد شده است.

الگوریتم محاسبه LST به روش SC از باند ۱۰ در مطالعات مختلف استفاده شده است (Sobrino et al.,۲۰۰٤; Jiménez et al.,۲۰۱٤) و رابطه محاسبه آن به صورت زیر است:

$$LST = \gamma \left[\frac{1}{LSE}(\psi 1\ Tsen + \psi 2) + \psi 3\right] + \delta$$ رابطه(۱)

در این رابطه رابطه (۲-۳)، ، LSE میزان ضریب گسیلمندی مربوط به طول موج باند حرارتی مورد استفاده، $Tsen$ میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی ۱۰، γ و δ دو پارامتر وابسته به تابع پلانک هستند که به صورت رابطه های (۲) و (۳) محاسبه می شود(Jiménez et al.,۲۰۱٤).

$$\gamma = \frac{Tsen^2}{b_\lambda Lsen}$$ رابطه(۲)

$$Tsen\delta = -\gamma \times Lsen + Tsen$$ رابطه(۳)

دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده، $Lsen$ میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی ، b_λ ضریب ثابت است که برای باند ۱۰ لندست ۸ برابر با ۱۳۲۴ درجه کلوین در نظر گرفته می شود.

ψ ۱، ψ ۲و ψ ۳توابع اتمسفری هستند و بر اساس روابط زیر محاسبه می شوند(Jiménez et al.,۲۰۱٤).

$$\psi_1 = \frac{1}{\tau}$$ رابطه(۴)

$$= \psi_2 - Ld - \frac{Lu}{\tau}$$ رابطه(۵)

$$\psi_3 = Ld$$ رابطه(۶)

در روابط بالا، τ قابلیت انتقال اتمسفری، Ld تابش رو به پایین اتمسفری، Lu تابش رو به بالا اتمسفری است. برای مناطقی که داده های مربوط به انتقال تابش در دسترس نباشد، از رابطه (۷) برای محاسبه توابع اتمسفری استفاده می شود. در این رابطه W میزان بخار آب موجود در اتمسفر است که با استفاده از محصول بخار آب مودیس برای تاریخ مورد نظر بدست می آید

رابطه(۷)

$$\begin{cases} \psi_1 = 0.04019W^2 + 0.02916W + 1.01523 \\ \psi_2 = -0.38333W^2 - 1.50294W - 0.20324 \\ \psi_3 = 0.00918W^2 + 1.36072W - 0.27514 \end{cases}$$

- **محاسبه رادیانس در طول موج موثر**

جهت مقایسه یکسان تصاویر مودیس و لندست محصول دمای سطح زمین سنجنده مودیس (MOD۰۱۱A۱) و دمای سطح زمین به دست آمده در مرحله قبل برای باند حرارتی سنجنده لندست طبق قانون اصلی پلانک به رادیانس در طول موج موثر باند ده لندست ۸ (۱۰/۹ میکرومتر) تبدیل می شوند(Weng et al.,۲۰۱٤). رابطه کلی قانون پلانک به صورت رابطه (۸) نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

رابطه(۸) $= \frac{C_1}{\lambda^5\left(\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)-1\right)} M_\lambda$

در این فرمول C_1=۱,۱۹۱۰٤×۱۰^۸، C_2=۱,٤۳۸۷۷×۱۰^٤ و λ= ۱۰,۹۸، T دمای سطح زمین بر حسب کلوین و M_λ انرژی ساطع شده از جسم در طول موج λ می باشد (Abutaleb et al.,۲۰۱۵).

- **انتخاب پیکسل های مشابه**

پیکسل های مشابه، پیکسل هایی با نوع پوشش یکسان با پیکسل مرکزی در هر پنجره هستند. این پیکسل ها اطلاعات زمانی و مکانی خاصی به منظور محاسبه رادیانس پیکسل مرکزی تصویر لندست فراهم می کنند (Zhu et al.,۲۰۱۰). انتخاب پیکسل های همسایه صحیح، به این دلیل که در گام های بعدی برای تلفیق تصویر کمک مورد استفاده قرار می گیرد، مهم است.

در این پژوهش از روش آستانه برای انتخاب پیکسل های مشابه با مشخصات طیفی مشابه با پیکسل مرکزی در پنجره جستجو استفاده شد. در این روش تفاوت انعکاس بین پیکسل مرکزی و پیکسل های همسایه در تصاویر لندست محاسبه می شود و آستانه ای برای تعیین پیکسل های مشابه به کار می رود. آستانه به وسیله انحراف معیار پیکسل های لندست و تعداد کلاس های پوشش زمین هر تصویر مشخص می شود (Gao et al.,۲۰۰٦). و به دلیل اینکه از یک پنجره محلی استفاده می کند در صورتی که حتی یک پیکسل به اشتباه به عنوان پیکسل مشابه با پیکسل مرکزی مشخص شود، اثر خطای طبقه بندی تنها به ناحیه ای در پنجره محلی محدود می شود (Zhu et al.,۲۰۱۰). از سوی دیگر چون انعکاس اشیاء در طول زمان تغییر می کند، بنابراین ویژگی های طیفی یک شی با شی دیگری در زمان های مختلف شباهت پیدا می کند که موجب خطا می شود، بنابراین در این روش از اطلاعات مکمل باندهای انعکاسی و حرارتی لندست در دو زمان متفاوت برای انتخاب پیکسل های مشابه استفاده می شود. اگر همه باندها برای پیکسل همسایه i ام در رابطه (۹) صدق کند پیکسل همسایه i ام به عنوان پیکسل مشابه انتخاب می شود.

رابطه (۹) $|R_L(X_i, y_i, t_i, B) - R_L(X_{w/2}, y_{w/2}, t_k, B)| \leq \sigma(B) \times 2/m$

σ (B) انحراف معیار انعکاس برای باند B است و m تعداد کلاس های پوشش زمین تصویر می باشد.

در این تحقیق اندازه پنجره متحرک ۳۰ *۳۰ متر برای اجرای روش استفاده شد و محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش بیشترین شباهت به پنج نوع پوشش شامل نواحی ساخته شده شهری(ساختمان ها)، مراکز صنعتی، پهنه های بایر، پوشش گیاهی و آب طبقه بندی شد. بنابراین از سه باند حرارتی، مادون قرمز نزدیک و قرمز لندست در دو زمان برای پیش بینی رادیانس و از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک لندست در دو زمان برای پیش بینی دو باند انعکاس استفاده شد و در صورتی که هر پیکسل از هر پنجره در همه باندها در رابطه (۹) صدق کند، پیکسل انتخابی به عنوان پیکسل مشابه انتخاب شده است.

- **محاسبه وزن پیکسل های مشابه**

وزن دهی، سهم هر پیکسل مشابه در پنجره متحرک را برای پیش بینی رادیانس پیکسل مرکزی در زمان مورد نظر تعیین می کند، این سهم به وسیله موقعیت پیکسل مشابه و شباهت طیفی بین پیکسل لندست و مودیس مشخص می شود. شباهت طیفی بیشتر و فاصله کمتر با پیکسل مرکزی، وزن و در نتیجه سهم بیشتری را برای پیکسل مشابه در هر پنجره مشخص می کند. شباهت طیفی به وسیله ضریب همبستگی هر پیکسل مشابه در تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و پیکسل مطابق با آن در تصویر با قدرت تفکیک مکانی پایین طبق رابطه (۱۰) تعیین می شود(Weng et al.,۲۰۱٤).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

رابطه(۱۰) $R_i = \frac{E[(L_i - E(L_i)(M_i - E(M_i))]}{\sqrt{D(L_i)}.\sqrt{D(M_i)}}$

$M_i = [M_i(x, y, t_1, B_1)...M_i(x, y, t_1, B_n), M_i(x, y, t_2, B_1)...M_i(x, y, t_2, B_n)]$

$L_i = [L_i(x, y, t_1, B_1)...L_i(x, y, t_1, B_n), L_i(x, y, t_2, B_1)...L_i(x, y, t_2, B_n)]$

در این معادله R_i ضریب همبستگی طیفی بین پیکسل های مودیس و لندست برای i امین پیکسل، M_i و L_i بردار طیفی شامل انعکاس هر باند در زمان t_m و t_n برای i امین پیکسل مشابه لندست و پیکسل مطابق با آن در مودیس است. E امید ریاضی، $D(L_i)$ و $D(M_i)$ به ترتیب واریانس M_i و L_i هستند. مقدار ضریب همبستگی بین [۱-،۱+] متغیر است و میزان همگن بودن پیکسل مودیس را تعیین می کند. فاصله جغرافیایی بین پیکسل مشابه و پیکسل مرکزی بر طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

رابطه(۱۱)

$$d_i = 1 + \sqrt{(x_{\frac{w}{2}} - x_i)^2 + (y_{\frac{w}{2}} - y_i)^2} / (w/2)$$

در این معادله w عرض پنجره جستجو است که برای نرمال سازی فاصله به کار می رود. این فاصله جغرافیایی برای پیکسل های مشابه در پنجره های جستجو مختلف بین ۱ تا ۲/۴ متغیر است. وزن پیکسل های مشابه با به کارگیری شباهت طیفی و فاصله مکانی پیکسل های مشابه تا پیکسل های مرکزی به دست می آید. با ترکیب معادلات (۱۰و۱۱)، یک شاخص D طبق رابطه (۱۲) محاسبه می شود (Zhu et al.,۲۰۱۰).

رابطه (۱۲) $D_i = (1 - R_i) \times d_i$ پیکسل های مشابه با

مقدار D بزرگتر در محاسبه تغییر انعکاس پیکسل مرکزی مشارکت کمتری دارند در نتیجه معادله (۱۲) طبق رابطه (۱۳) نرمال سازی می شود (Zhu et al.,۲۰۱۰).

رابطه (۱۳) $W_i = (1/D_i) / \Sigma^{N}_{i=1} (1/D_i)$ مقدار

عددی W_i بین صفر و یک متغییر است و جمع وزنی تمام پیکسل های مشابه یک است.

- **محاسبه ضریب تبدیل**

ضریب تبدیل به وسیله تحلیل رگرسیون خطی برای پیکسل مشابه در پنجره متحرک محلی محاسبه می شود. بنابراین این ضریب نسبت تغییر رادیانس برای i امین پیکسل به تغییر رادیانس برای پیکسل ناهمگن تصویر مودیس را نشان می دهد. با توجه به اینکه هر پیکسل از تصویر لندست به عنوان عضوی از پیکسل ناهمگن تصویر مودیس در نظر گرفته می شود، با رگرسیون خطی تغییر رادیانس پیکسل لندست و مودیس به دست می آید. بنابراین نسبت تغییر i امین پیکسل لندست به پیکسل مطابق با آن در مودیس برای یک پیکسل مشخص لندست ثابت می باشد و فرضیه اولیه مبنی بر اینکه میزان تغییر رادیانس هر عضو و نسبت هر عضو در یک دوره نسبتاً کوتاه ثابت است، را اثبات می کند. ضریب تبدیل با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می شود (Zhu et al.,۲۰۱۰).

رابطه (۱۴) $V_i = \frac{R_{iL}(t_m) - R_{iL}(t_n)}{R_M(t_m) - R_M(t_n)}$

در این رابطه، V_i ضریب تبدیل، R_{iL} رادیانس i امین پیکسل لندست و R_M رادیانس پیکسل مطابق با آن در تصویر مودیس است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

- **محاسبه رادیانس پیکسل مرکزی**

بعد از محاسبه ضریب تبدیل و وزن برای پیکسل های مشابه درون پنجره متحرک محلی با استفاده از رادیانس تصویر مودیس در زمان t_p و تصاویر لندست در زمان های t_m و t_n، رادیانس لندست در زمان t_p مطابق با معادله (۱۵) پیش بینی می شود.

رابطه (۱۵)

$$R_L(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p, B) = R_L(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p, B) + \sum_{i=۱}^{N} Wi \times V_i \times (R_M(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p, B) - R_M(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p, B))$$

در این رابطه R_M پیکسل تصویر مودیس، R_L پیکسل تصویر لندست، N تعداد پیکسل های مشابه برای پیش بینی پیکسل مرکزی، (x_i , y_i) موقعیت i امین پیکسل مشابه، $(X_{w/۲}, y_{w/۲})$ موقعیت پیکسل مرکزی در هر پنجره، W_i وزن i امین پیکسل مشابه و V_i یا همان ضریب تبدیل، نسبت تغییر رادیانس لندست به مودیس می باشد. در این معادله از روش پنجره متحرک استفاده شده است(Gao et al.,۲۰۰٦).

نتایج پیش بینی لندست در زمان t_p در زمان t_m و t_n به ترتیب $L_{tm}(x_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p, B)$ و $L_{tn}(x_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p, B)$ نامگذاری می شوند. رادیانسی که در زمان t_p با استفاده از ترکیب وزنی دو تصویر پیش بینی شده به دست می آیند، نتایج بهتری را به دست می آورند. هرچه این دو تصویر به زمان پیش بینی اصلی نزدیکتر باشند، وزن زمانی بالاتری را می گیرند و شباهت بیشتری با تصویر مودیس در زمان پیش بینی دارند. وزن زمانی با استفاده از بزرگی تغییرات در تصاویر مودیس در زمان t_k(K=m,n) طبق رابطه (۱۶) تعریف می شود(Weng et al.,۲۰۱٤).

رابطه(۱۶)

$$t_K = \frac{۱/|\sum_{j=۱}^{W} \sum_{i}^{W} M(x_j, y_i\, t_k\, B) - \sum_{j=۱}^{W} \sum_{i=۱}^{W} M(x_j, y_i\, t_P, B)|}{\sum_{K=m,n}\left(۱/\left|\sum_{j=۱}^{W} \sum_{i=۱}^{W} M(x_j, y_i\, t_k, B)\right) - \sum_{j=۱}^{W} \sum_{i}^{W} M(x_j, y_i\, t_P, B)|\right)}$$

رادیانس نهایی لندست در زمان t_p طبق رابطه (۱۷) محاسبه می شود.

رابطه(۱۷)

$$L(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p) = T_{tm} \times L_{tm}(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p) + T_{tn} \times L_{tn}(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p)$$

در این معادله، $L(X_{w/۲}, y_{w/۲}, t_p)$ رادیانس نهایی پیش بینی شده در زمان t_p، T_{tm} و T_{tn} وزن زمانی در زمان t_m و t_n می باشد.

- **پیش بینی دمای سطح**

پس از پیش بینی رادیانس روزانه با استفاده از الگوریتم SADFAT، تصاویر به دست آمده رادیانس، با استفاده از رابطه زیر که عکس رابطه پلانک می باشد به دمای سطح زمین تبدیل می شوند(Artis and Carnahan,۱۹۸۲).

رابطه(۱۸)

$$LST = \frac{T_{sensor}}{۱ + (\lambda \times \frac{T_{sensor}}{\alpha}) ln(\varepsilon)}$$

در این رابطه LST دمای سطح زمین در واحد کلوین، T_{Sensor} دمای روشنایی در واحد کلوین، λ طول موج رادیانس ساطع شده در واحد متر $۱۰\times۱=^{-۲}$ α در واحد متر کلوین و ε ضریب گسیلمندی سطح است(Shen et al.,۲۰۱٦). از این روش برای تمام پیش بینی دمای سطح در تمام تاریخ ها استفاده شده است.

در این رابطه محاسبه ضریب گسیلمندی جهت به دست آوردن دمای سطح زمین امری اجتناب پذیر است. برای محاسبه ضریب گسیلمندی سطح زمین از روش جیمنز و همکاران (Jiménez et al.,۲۰۰۳) استفاده شده است.

در این روش ضریب گسیلمندی سطح زمین با محاسبه شاخص پوشش گیاهی NDVI و کسر پوشش گیاهی[۱] (FVC) و انعکاس باند قرمز محاسبه می شود.(Sobrino et al.,۲۰۰۸; Yu et al.,۲۰۱٤) باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز استفاده

[۱] - Fractional Vegetation Cover

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

شده در این قسمت همان باند قرمز و مادون قرمز نزدیک پیش بینی شده با استفاده از الگوریتم SADFAT در هر تاریخ می باشد.جهت محاسبه ضریب گسیلمندی ابتدا شاخص پوشش گیاهی NDVI با استفاده از رابطه (۱۹) محاسبه شد.

رابطه(۱۹)
$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

سپس شاخص NDVI آستانه گذاری شد:

الف : NDVI <۰/۲ : در این مورد پیکسل مربوط است به خاک خشک و میزان گسیلمندی آن بر اساس آنالیز کتابخانه ای نمونه های خاک به دست آمده ۰/۹۷۱ می باشد.

ب : ۰/۵ < NDVI :پیکسل های با ارزش NDVI بزرگتر از ۰/۵ مناطق با پوشش گیاهی کامل را نشان می دهد و مقدار ثابت گسیلمندی آنها ۰/۹۸۷ تخمین زده شده است.

ج : ۰/۲ ≤NDVI ≤۰/۵ : در این مورد پیکسل ، ترکیبی از پدیده های مختلف است و مقدار گسیلمندی پس از محاسبه FVC مطابق با فرمول زیر بدست می آید:

رابطه(۲۰)
$$FVC = \left(\frac{(NDVI - NDVI_S)}{(NDVI_V - NDVI_S)}\right)^{۲}$$

در این رابطه $NDVI_V$ شاخص پوشش گیاهی متراکم و $NDVI_S$ مربوط به خاک خشک است که برای منطقه مورد نظر به ترتیب ۰/۵ و ۰/۲ می باشد و ضریب گسیلمندی باند ده لندست ۸ طبق رابطه(۲۱) محاسبه می شود.

رابطه(۲۱)

IF FVC= ۰ LSE = ۰. ۹۷۹ - ۰,۰٤٦ ρ_{RED}

IF ۰< FVC ≤ ۱ LSE = ۰. ۹۷۱(۱ – FVC) + ۰,۹۸۷ FVC

آب	۰.۹۹۱
برف/ یخ	۰,۹۸٦

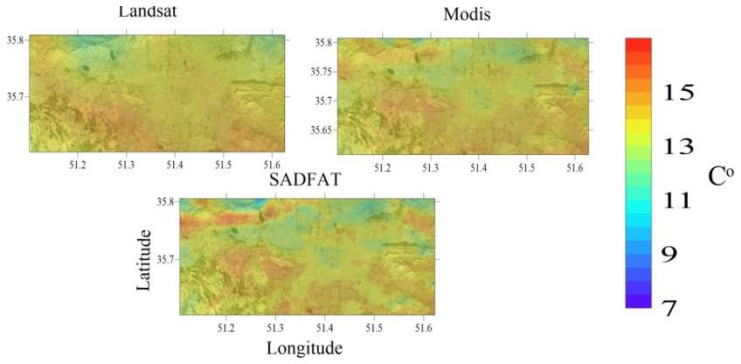
شرح و تفسیر نتایج

به دلیل تعداد زیاد خروجی های تصاویر روزانه حاصل از اعمال روش SADFAT ، نتایج حاصل بر روی ۴ تصویر در ماه های مختلف به عنوان نمونه در شکلهای (۲) تا (۵) ارائه شده است. در این شکل ها تصویر پیش بینی شده، دمای سطح زمین مودیس، و تصویر دمای سطح زمین لندست بر حسب درجه سلسیوس نشان داده شده است.

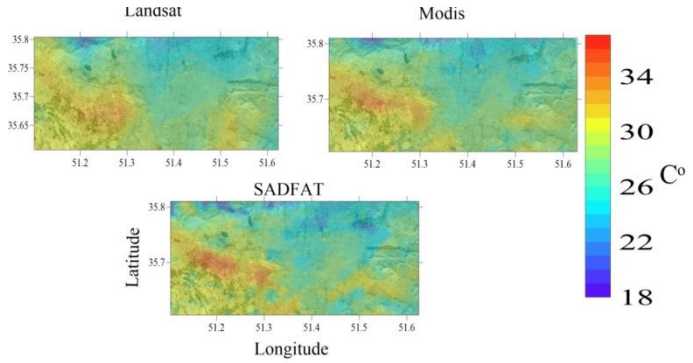
بررسی بصری تصاویر پیش بینی شده دمای سطحی، دقت خوب حاصل از کاربرد روش تلفیق SADFAT و استفاده از تصاویر حرارتی لندست و مودیس را نشان می دهد و اختلاف محدوده دمایی بیشترین مقدار و کمترین مقدار دمای سطح پیش بینی شده و مشاهده شده لندست تقریبا با یکدیگر مشابه می باشند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

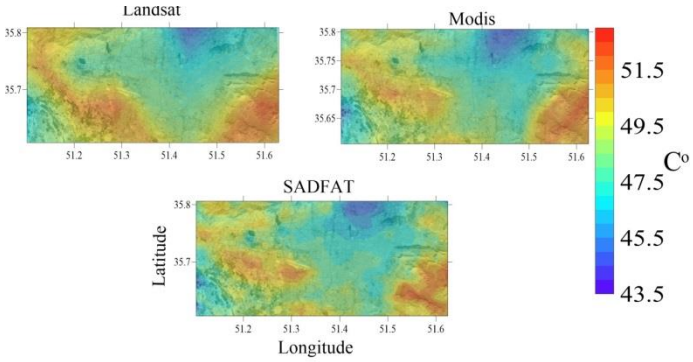
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]



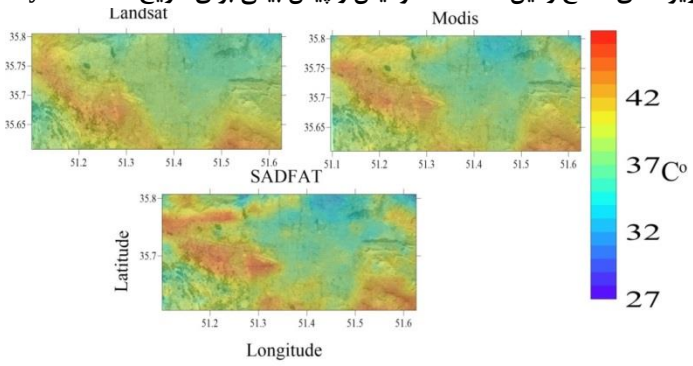
شکل ۲ : تصاویر دمای سطح زمین لندست ، مودیس و پیش بینی برای تاریخ ۹،۲۰۱۷ January (سلسیوس)



شکل ۳ : تصاویر دمای سطح زمین لندست ، مودیس و پیش بینی برای تاریخ ۳۰،۲۰۱۷ March (سلسیوس)



شکل ۴ : تصاویر دمای سطح زمین لندست ، مودیس و پیش بینی برای تاریخ ٤،۲۰۱۷ July (سلسیوس)



شکل ۵ : تصاویر دمای سطح زمین لندست ، مودیس و پیش بینی برای تاریخ ۸،۲۰۱۷ October (سلسیوس)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

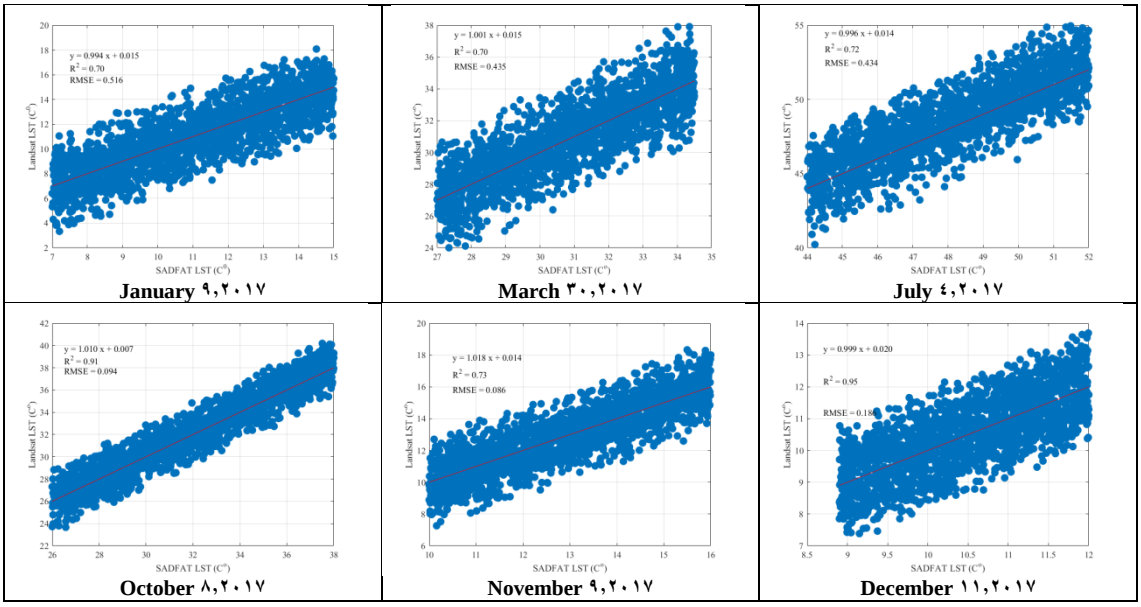
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

به منظور اعتبار سنجی مدل SADFAT، از اطلاعات تصاویر OLI موزائیک کناری با فاصله زمانی هشت روزه در محدوده همپوشانی، که در فرایند ادغام دخالت نداشته اند، استفاده شده است . ارزیابی کمی نتایج حاصل شده نیز با شاخص های ضریب همبستگی و خطای جذر میانگین مربعی انجام شده است.

هرچه ضریب همبستگی به یک نزدیکتر باشد، بیانگر شباهت بیشتر تصاویر ادغام شده با تصویر چند طیفی اولیه و در نتیجه اعوجاج طیفی کمتر می باشد(Han et al.,۲۰۰۸). خطای جذر میانگین مربعی اختلاف بین انحراف معیار و میانگین تصویر چند طیفی اولیه و ادغام شده را محاسبه می کند و در واقع مقدار خطای جذر میانگین مربعی بین هر پیکسل از تصویر ادغام شده و پیکسل متناظر با آن از تصویر مرجع را به دست می آورد(Yu et al.,۲۰۱٤). مقدار کمتر این شاخص ارزیابی بیانگر اعوجاج رنگی کمتر می باشد.برای محاسبه این پارامترها، مقایسه به صورت پیکسل به پیکسل انجام گرفت و از تمامی پیکسل های محدوده مورد مطالعه، در محاسبه پارامترهای آماری استفاده گردید. نتایج مربوط به ۶ روز سال ۲۰۱۷ که بیشترین و کمترین ضریب همبستگی و خطای جذر میانگین مربعی را دارند در شکل (۶) مشاهده می شود.

بیشترین ضریب همبستگی متعلق به ۱۱ December (۲۰ آذر) به میزان ۰/۹۵ و کمترین ضریب همبستگی متعلق به تاریخ ۹ January (۲۰ دی) به میزان ۰/۷۰ می باشد. کمترین خطای جذر میانگین مربعی متعلق به ۹ November (۱۸ آبان) با ۰/۰۸۶ و بیشترین خطای جذر میانگین مربعی متعلق به تاریخ ۹ January (۲۰ دی) با ۰/۵۱۶ می باشد. میزان همبستگی و خطای جذر میانگین مربعی در روز ۸ October به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۰۹۴ می باشد.

بنابراین با توجه به شکل (۶) روش SADFAT در پیش بینی دمای سطح زمین، در هرروز سال، برای محدوده مورد مطالعه مناسب می باشد.

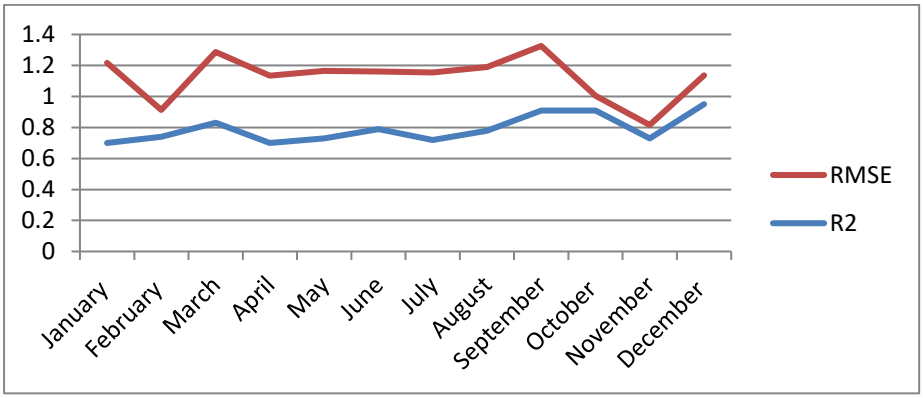


شکل ۶ : نمودار مقایسه مقادیر LST پیش بینی شده با مدل SADFAT و مشاهداتی سنجنده OLI

در شکل(۷) مقایسه شاخص های ضریب همبستگی و خطای جذر میانگین مربعی سال ۲۰۱۷ جهت بررسی و ارزیابی دقیق تر نقشه های حاصل از پیش بینی ارائه شده است.

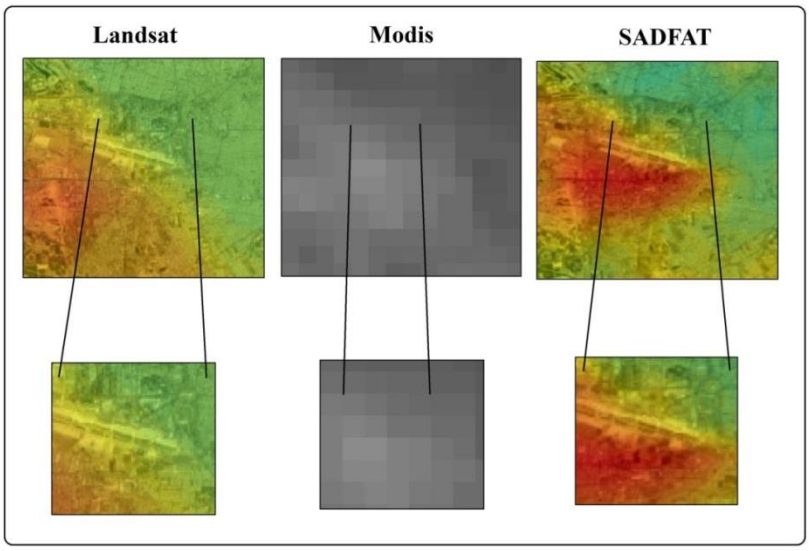
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]



شکل۷ : مقایسه شاخص های ضریب همبستگی و خطای جذر میانگین مربعی در ۱۲ روز سال ۲۰۱۷

تحلیل مکانی بازتابندگی پیش بینی شده با روش SADFAT مطابق با شکل (۸) نشان می دهد این مدل به خوبی توانسته است دمای سطح زمین را در کاربری های گوناگون و حتی در مناطقی که یک یا چند کاربری شهری در یک پیکسل MODIS ترکیب شدند، به درستی و با دقت نسبتا مناسب پیش بینی نماید. این در حالی است که نقاط مرزی نیز به خوبی تفکیک شده و عوارض ترکیب نشده اند. با توجه به اینکه مرزها به درستی تشخیص داده شده اند، به نظر می رسد در برخی کاربری ها میزان LST پیش بینی شده تا حدودی بیشتر از تصویر مشاهداتی است. همانطور که در این تصویر نیز به خوبی دیده می شود، LST کاربری شهری در تصویر پیش بینی شده بیشتر از تصویر مشاهداتی سنجنده OLI می باشد.مقادیر پیش بینی شده LST در تاریخ (October ۸) به عنوان نمونه در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸ : بزرگنمایی تصاویر دمای سطح زمین لندست ، مودیس و پیش بینی برای تاریخ ۸،۲۰۱۷ October

نتیجه گیری

در این تحقیق قابلیت استفاده از مدل SADFAT برای بکارگیری ویژگیهای مکانی تصاویر سنجنده OLI و زمانی سنجنده MODIS، به منظور برآورد LST های مناطق شهری، ارزیابی شده است. داده های ورودی به مدل شامل رادیانس

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

حرارتی تصاویر مودیس و لندست و باند قرمز و مادون قرمز نزدیک لندست جهت پیش بینی دمای سطح روزهای متوالی سال ۲۰۱۷ میلادی محدوده شهر تهران می باشد.

این روش دو جفت تصویر مودیس و لندست در زمان مشابه و مجموعه هایی از تصاویر مودیس در زمان پیش بینی را بکار گرفته، سپس با تعیین ضریب تبدیل تغییرات رادیانس حرارتی پیکسل ناهمگن مودیس نسبت به پیکسل لندست، دقت پیش بینی در مناطق ناهمگن را افزایش می دهد.

برای ارزیابی نتایج مدل مورد نظر تمامی پیکسل های تخمین زده شده به صورت نظیر به نظیر با پیکسل های تصویر مبنا در آن محدوده مقایسه شدند. میزان برآیند مقایسه برای روزهای فصل پاییز نشان می دهد که مدل SADFAT در این فصل بطور میانگین با ضریب همبستگی ۰/۸۶ و خطای خطای جذر میانگین مربعی ۰/۱۲۲ ، بالاترین دقت و در فصول دیگر با میانگین ضریب همبستگی ۰/۷۶ و خطای جذر میانگین مربعی حدود ۰/۴ عملکرد خوبی را ارائه نموده است. نتایج پژوهش های دیگران مانند ونگ و همکارانش (Weng et al., ۲۰۱٤) و محمدی زاده و همکارانش (۱۳۹۷) نیز بر کارایی مدل SADFAT در پیش بینی LST و دیگر شاخص های سنجش از دور در مناطق غیر شهری تاکید دارد. تحقیق بذرگر و آخوندزاده (۱۳۹۷) با استفاده از مدل ESTARFM نیز نشان داد دقت های نتایج گرفته شده بر اساس زمان مرجع پیش بینی متفاوت است. به طوری که داده های اولیه و فصلی پیش بینی، بر دقت نهایی این مدل موثرند و هر چه زمان مرجع الگورینم با زمان پیش بینی سازگارتر و نزدیک تر باشد، نتیجه بهتری را به دنبال خواهد داشت.

به دلیل اختلاف زمانی کم تصویر برداری ماهواره های مودیس و لندست از یک منطقه، استفاده از آنها برای تلفیق مناسب است. اما در پیش بینی های بازتابندگی به روش SADFAT خطاهای سیستماتیک و متغیری وجود دارد که آگاهی از آنها جهت افزایش دقت و صحت خروجی مهم است. از جمله خطاهای سیستماتیک و غیر قابل پیشگیری، عدم ثبات گذر ماهواره های دارای قدرت تفکیک پایین مانند ترا و آکوا از هر نقطه می باشد یعنی در هر عبور ماهواره، مکان منطقه مطالعاتی در نوار برداشت (Swath) و اندازه پیکسل تغییر می کند. با توجه به فاصله منطقه مطالعاتی از مرکز عمودی سنجنده روی زمین (نادیر)، میزان این خطا در روزهای گوناگون متفاوت است و می بایست در هر روز جداگانه بررسی شود.

اما خطای قابل پیشگیری، تغییر ناگهانی در یک یا چند تصویرمورد استفاده (در طول مدت ۱۶ روز قدرت تفکیک زمانی لندست) برای برآورد بازتابندگی سطحی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا می باشد. این تغییرات ممکن است به دلیل عوامل انسانی مانند آلودگی هوا یا عوامل طبیعی باشد. پدیده های طبیعی مانند ابر و طوفان های گرد و غبار را به دلیل اینکه از نظر زمانی ناگهانی و گذرا می باشند و سطح وسیعی را در بر می گیرند، جزء اصلی ترین منابع خطا در استفاده از مدل SADFAT می باشند. وقوع این دو پدیده به شدت بر بازتابندگی تاثیر می گذارد و بنابراین، تغییر ناگهانی ناشی از تاثیر این عوامل، در یک یا چند تصویر، خطای زیادی را وارد محاسبات می کند اما تغییرات تدریجی مانند رشد گیاهان را تا حدی می توان پیش بینی کرد و این گونه موارد خطای چندانی در محاسبا ت وارد نمی کنند (Gao et al., ۲۰۰۶).

در این پروژه نیز خطاهای مکانی ناچیزی در پیش بینی مشاهده شد، بطوریکه حتی در روزهایی که نتایج بهتری داشتند، نقاطی مشاهده شد که تصاویر پیش بینی شده LST با سنجنده OLI همخوانی کاملا یکسانی ندارند. دلیل این رخداد ممکن به دلیل تغییرات پوشش گیاهی باشد. در این پروژه با وجود برخی از خطاهای ذکر شده در برخی از تصاویر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

در طول سال و بر اساس پارامترهای آماری مطرح شده ، عملکرد این مدل برای پیش بینی LST در مقیاس زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در شهر تهران خوب ارزیابی شد. این روش قادر به پشتیبانی فعالیتهای برنامه ریزی شهری مرتبط با تغییرات اقلیمی در شهرها است، بنابراین پیشنهاد می شود عملکرد آن به تفکیک کاربری های مختلف در شهر بررسی شده و کارایی این الگوریتم با سنجنده های دیگر مانند سنتینل های کوپرنیک ارزیابی شود. با هم افزایی کانالهای طیفی مشترک سنتینل ۲ با قدرت تفکیک زمانی ۵ روز و قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر و سنتینل ۳، می توان محصول LST دارای وضوح بالا برای شناسایی بهتر جزایر حرارتی شهری تولید نمود.

منابع

بذرگر بجستانی، علیرضا و مهدی آخوندزاده هنزایی. ۱۳۹۶. استفاده از مدل ESTARFM برای ادغام محصولات دمایی سنجنده های ASTER و MODIS به منظور تهیه نقشه های سطح زمین با توان تفکیک مکانی بالا. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری* ، **۷(۴)**: **۱۴۷**-۱۶۱

رحیم پور، مرتضی؛ نعمت اله کریمی، رضا روزبهانی و عبدالعلی رضایی. ۱۳۹۶. ترکیب تصاویر سنجنده های OLI وMODIS به منظور تهیه داده های بازتابندگی سطحی در مقیاس روزانه با قدرت مکانی ۳۰ متر در مناطق دارای تنوع کاربری متفاوت. *سنجش از دور و GIS/ایران* ، **۹(۳)**: ۷۱-۹۰

روشن، غلامرضا؛ فرامرز خوش اخلاق، سعید نگهبان و جعفر میرکتولی. ۱۳۸۸. تاثیر آلودگی هوا بر نوسانات اقلیمی شهر تهران. *علوم محیطی*، **۱**: ۱۷۳-۱۹۲.

عربی، مهدی. ۱۳۸۷. *سازمان یابی و گسترش کالبدی فضایی کلان شهر تهران با تاکید بر نقش حریم شهری*. رساله دکتری، دانشگاه خوارزمی، تهران.

محمدی زاده، پریسا؛ سعید حمزه، مجید کیاورز مقدم و علی درویشی بلورانی. ۱۳۹۷. استخراج تصاویر روزانه دمای سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی بالا با استفاده از تلفیق تصاویر لندست و مادیس. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، **۶(۱)**: ۷۷-۹۹

نامداری، سودابه. ۱۳۸۸. *استخراج جزایر حرارتی در مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای(مطالعه موردی :تهران)*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

Abutaleb, K.; A. Ngie, A. Darwish, M. Ahmed, S. Arafat, and F. Ahmed. ۲۰۱۵. Assessment of urban heat island using remotely sensed imagery over Greater Cairo. *Advances in Remote Sensing*, **٤(٠١)**: ٣٥.

Artis, D. A., and W. H. Carnahan. ۱۹۸۲. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, **١٢(٤)**: ٣١٣-٣٢٩.

Changnon, S. A.; K. E. Kunkel, and B. C. Reinke. ۱۹۹۶. Impacts and responses to the ۱۹۹۵ heat wave: A call to action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, ٧٧: ١٤٩٧-١٥٠٥.

Gao, F.; J. Masek, M. Schwaller, and F. Hall. ٢٠٠٦. On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **٤٤(٨)**: ٢٢٠٧- ٢٢١٨.

Han, S.; H. Li, and H. Gu. ٢٠٠٨. The study on image fusion for high spatial resolution remote sensing images. *Int Arch Photogram Rem Sens Spatial Inform Sci*, **٣٧**: ١١٥٩-١١٦٣.

Jiménez-Muñoz, J.C., and J. A. Sobrino. ٢٠٠٣. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, ١٠٨(D٢٢).

Jimenez-Munoz, J. C.; J. A. Sobrino, D. Skokovic, C. Mattar, and J. Cristobal. ٢٠١٤. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-٨ Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **١١(١٠)**: ١٨٤٠-١٨٤٣.

Merchant, C. J.; S. Matthiesen, N. A. Rayner, J. J. Remedios, P. D. Jones, F. Olesen, B. Trewin, P. W. Thorne, R. Auchmann, G. K. Corlett, P. C. Guillevic, and G. C. Hulley. ٢٠١٣. The surface temperatures of

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

Earth: steps towards integrated understanding of variability and change. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, **۲ (۲)**: ۳۰۵-۳۲۱.

NASA. ۲۰۰٤.UHI make cities marmer, www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/۲۰۰٤/۰۸۰۱uhigreen.html.

Rosenfeld, A. H.; H. Akbari, J. J. Romm, and M. Pomerantz. ۱۹۹۸. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, **۲۸**: ٥۱_ ٦۲.

Shen, H.; L. Huang, L. Zhang, P. Wu, and C. Zeng. ۲۰۱٦. Long-term and fine-scale satellite monitoring of th e urban heat island effect by the fusion of multi-temporal and multi- sensor remote sensed data: A ۲٦-year case study of the city of Wuhan in China. *Remote Sensing of Environment*, **۱۷۲**: ۱۰۹-۱۲٥.

Sobrino, J. A.; J. C. Jiménez-Muñoz, and L. Paolini. ۲۰۰٤. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM ٥. *Remote Sensing of environment*, **۹۰(٤)**: ٤۳٤-٤٤۰.

Sobrino, J. A.; J. C. Jiménez-Muñoz, G. Sòria, M. Romaguera, L. Guanter, and J. Moreno. ۲۰۰۸. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **٤٦(۲)**: ۳۱٦-۳۲۷.

Weng, Q.; P. Fu, and F. Gao. ۲۰۱٤. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote Sens of Environment*, **۱٤٥**: ٥٥_٦۷.

Yu, X.; X. Guo, and Z, Wu. ۲۰۱٤. Land surface temperature retrieval from Landsat ۸ TIRS- Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method, *Remote Sensing*, **٦(۱۰)**: ۹۸۲۹-۹۸٥۲.

Yuan, F., and M. E. Bauer. ۲۰۰٦. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment.*

Zhang, Y. ۲۰۰٤. Understanding Image Fusion, Photogramm. *Eng. Remote Sens*, **۷۰(٦)**: ٦٥۷- ٦٦۱.

Zhu, X. L.; J. Chen, F. Gao, X. Chen, and J.G. Masek. ۲۰۱۰. An Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model for Complex Heterogeneous Regions. *Remote Sensing of Environment*, **۱۱۴(۱۱)**: ۲٦۱۰-۲٦۲۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.1.149]