

مقاله علمی-پژوهشی

ریزمقیاس سازی مکانی تصاویر دمای سطح زمین (LST) سنجنده مادیس در مناطق فاریاب توسط مدل‌های تخمین رطوبت خاک TOTRAM و OPTRAM

زهرة فرجی^۱، عباس کاویانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱

چکیده

محدودیت‌های موجود در سنسورهای ماهواره‌ها باعث می‌شود تا امکان دسترسی هم‌زمان به باندهای حرارتی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا فراهم نباشد. لذا روش‌های ریزمقیاس‌سازی از آن جهت حائز اهمیت هستند که امکان دسترسی هم‌زمان به داده‌های حرارتی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا را فراهم می‌کنند. پارامتر LST در حوزه کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا یکی از پارامترهای بسیار مهم در تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه است. لذا این پژوهش با هدف ریزمقیاس‌سازی LST سنجنده مادیس از ۱۰۰۰ متر به قدرت تفکیک مکانی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (۳۰ متر) در مناطق فاریاب انجام شده است. در مرحله نخست مدل DisTRAD برای ریزمقیاس‌سازی LST سنجنده مادیس در کشت و صنعت‌های امیرکبیر و میرزا کوچک خان اجرا شد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل DisTRAD در ریزمقیاس‌سازی LST از ۱۰۰۰ متر به ۳۰ متر می‌باشد. در ادامه به منظور بررسی نتایج حاصل از ریزمقیاس‌سازی LST سنجنده مادیس توسط مدل‌های تخمین رطوبت خاک TOTRAM و OPTRAM از آماره جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که مقدار میانگین RMSE در تصاویر ریزمقیاس‌سازی شده توسط مدل OPTRAM-DisTRAD، در حدود ۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد کاهش نسبت به مدل DisTRAD را نشان می‌دهد. همچنین مقدار میانگین RMSE در ۶ ماهه اول سال که آبیاری انجام شده است، نسبت به مدل DisTRAD، کاهش حدود ۴/۱۱ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. در نتیجه استفاده از مدل OPTRAM-TOTRAM عملکرد بسیار بهتری را نسبت به مدل DisTRAD در ریزمقیاس‌سازی LST سنجنده مادیس در مناطق فاریاب نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مدل DisTRAD، ماهواره لندست، STR، NDVI

مقدمه

LST نقش موثری بر میزان محتوای آب خاک سطحی دارد که تبادل گرمای نهان و محسوس بین جو و سطح زمین از طریق فرآیندهای تعرق و تبخیر به آن وابسته است. همچنین به صورت غیرمستقیم نقش مهمی در فرآیندهای کلیدی فیزیولوژیکی موثر بر

رشد گیاهان دارد. با توجه به تأثیر زیاد کمبود آب بر عملکرد گیاهان و همچنین تأثیر کشت آبی بر میزان برداشت کلی از منابع آب شیرین، تعریف مدل‌هایی که به بهبود مدیریت منابع آب برای اهداف کشاورزی و بهینه‌سازی عملکرد محصول کمک می‌کنند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی LST پارامتری کلیدی در اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی به ویژه برآورد تبخیر تعرق می‌باشد. لذا توسعه روش‌هایی به منظور تخمین هرچه دقیق‌تر مکانی و زمانی این پارامتر کلیدی، کمک شایانی به توسعه بخش کشاورزی و حفظ منابع آبی می‌کند. پتانسیل این پارامتر مهم مکرراً در مطالعات و کاربردهای مختلف مبتنی بر مادون قرمز حرارتی، مانند تبخیر و تعرق (Raofi & Beighley., 2017; Gerhards et al., 2019) مدل‌سازی هیدرولوژیکی (Su., 2002)، نظارت بر پوشش گیاهی (Berni et al.,

۱ - دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

۲ - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: Abbasskaviani@Gmail.com)

DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.3.14.2

خطا در ریزمقیاس تصاویر حرارتی می‌شود. همچنین بررسی آماری تصاویر ریزمقیاس‌سازی شده حاکی از برتری روش DMS نسبت به روش TsHARP است (Gao et al., 2012). کیو و همکاران به منظور اصلاح روش DisTRAD در مناطق با پوشش گیاهی مترکم از شاخص پوشش گیاهی پیشرفته EVI¹ استفاده کرده و تصویر LST حاصل از سنجنده مادیس را از ۱۰۰۰ متر به ۲۵۰ متر ریزمقیاس کردند. به منظور ارزیابی نتایج از تصاویر حرارتی سنجنده ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر و دوره بازگشت ۱۶ روز استفاده شده است. نتایج بررسی‌ها در منطقه‌ای جنگلی در کشور چین حاکی از برتری شاخص EVI با مقدار خطای ۱/۵۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به شاخص NDVI با خطای ۱/۵۸ می‌باشد (Qiu et al., 2018). بررسی تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که ریزمقیاس‌سازی LST در مناطق با تغییرات رطوبتی زیاد نظیر مناطق فاریاب نسبت به سایر مناطق از خطای بیشتری برخوردار است. لذا ممکن است که استفاده از مدل‌های تخمین رطوبت خاک در مناطق فاریاب بتواند با لحاظ نمودن تغییرات رطوبتی در محاسبات، باعث کاهش خطای ناشی از این تغییرات شود. سندهلت و همکاران با معرفی شاخص مبتنی بر سنجش از دور خشکی دما/گیاه (TVDI²) که برپایه رابطه فیزیکی بین LST و NDVI بنا شده است، گام بزرگی به سمت بررسی وضعیت رطوبت خاک سطح زمین بدون استفاده از داده‌های مشاهداتی برداشتند. بررسی تغییرات مکانی شاخص TVDI حاکی از آن است که ضریب تعیین بین داده‌های مدل و شاخص TVDI، ۷۰ درصد می‌باشد. در حالی که این شاخص می‌تواند تغییرات رطوبت خاک را با مقیاس کوچکتی نسبت به مدل‌های هیدرولوژیکی، ارائه دهد (Sandholt et al., 2002). شایان ذکر است که مدل TOTRAM بر اساس شاخص TVDI توسعه یافته است. صادقی و همکاران، برای رفع دو محدودیت ذاتی مدل TOTRAM، مدل OPTRAM را که مبتنی بر رابطه فیزیکی خطی بین رطوبت خاک و بازتابش مادون قرمز موج کوتاه (STR) است و براساس توزیع پیکسل در داخل فضای STR-VI پارامترسازی می‌شود، پیشنهاد کرد (Sadeghi et al., 2017). امبرسون و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel 2 به ارزیابی رطوبت خاک بر اساس مدل (OPTRAM) پرداختند. نتایج آزمون پیرسون حاکی از همبستگی آماری معنی داری بین مقادیر رطوبت خاک مشاهده شده و برآورد شده است. همچنین مدل OPTRAM مقادیر رطوبت خاک را نزدیک به داده‌های مشاهداتی برآورد می‌کند در صورتی که در رطوبت خاک حاصل از (SSM 1km) در طول فصل رشد کم برآورد مشاهده

Deilami et al., 2009)، "جزیره گرمای شهری و توسعه شهری" (Li et al., 2013; He et al., 2019; Raofi & Li et al., 2013) و کشاورزی (Beighley., 2017; Sousa et al., 2019) نشان داده شده است. ریزمقیاس‌سازی حرارتی تکنیکی برای بازیابی یک مجموعه جدید از داده‌های LST با وضوح مکانی دقیق‌تر نسبت به تصویر اصلی بر اساس متغیرهای مستقل است، که نمایانگر خصوصیات بیوفیزیکی به دست آمده از داده‌های سنجش از دور در وضوح بالاتر مکانی می‌باشد. این تکنیک از همبستگی بین تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (FR) ولی قدرت تفکیک زمانی پایین و تصویر دیگری با قدرت تفکیک مکانی پایین (CR) ولی قدرت تفکیک زمانی بالا برای بدست آوردن تصاویر با وضوح مکانی و زمانی بالا بهره می‌برد. برای توصیف بهتر تغییرات حرارتی در سطح زمین، استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا، مانند استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز، شاخص‌های طیفی و مدل‌های رقومی ارتفاع یا استفاده از اطلاعات کاربری اراضی نیاز است (Maeda., 2014; Bindhu et al., 2013; Bisquert et al., 2013; Essa et al., 2017; Lillo-Saavedra et al., 2018) کاستاس و همکاران به بررسی روش DisTRAD به منظور ریزمقیاس‌سازی باند حرارتی تصاویر هواپیمایی (۹VSGP) از ۹۶ متر به ۲۴ متر در یک منطقه ناهمگن در اکلاهامای ایالات متحده آمریکا پرداختند. مقدار RMSE برای دمای سطح زمین در حدود ۱/۳۵ الی ۲/۰۶ درجه سانتی‌گراد و ضریب تعیین در حدود ۶۳ الی ۷۴ درصد محاسبه شده است. در این مقاله به استفاده از روش DisTARD برای ماهواره‌های لندست، GOES، سنجنده مادیس و استر نیز اشاره شده است (Kustas et al., 2003). در روش DisTARD از رگرسیون ساده خطی بین NDVI و LST استفاده می‌شود، که مزیت اصلی این روش می‌باشد. اما مشکل اصلی این روش نادیده گرفته شدن سایر متغیرها از جمله تغییرات رطوبتی خاک است. آگما و همکاران مدلی را با عنوان TsHARP معرفی کردند. این مدل بر پایه روش DisTRAD بنا شده است. با این تفاوت که به جای NDVI از رابطه رگرسیونی بین Ts و Fc استفاده می‌شود (Agma et al., 2007). اگرچه روش TsHARP تا حد بسیار کمی نسبت به DisTRAD بهتر عمل می‌کند اما همچنان نتوانسته است معایب روش DisTRAD را برطرف کند. گا و همکاران به منظور گسترش کاربرد روش‌های ریزمقیاس‌سازی تصاویر حرارتی در شرایط پیچیده‌تر، روش جدید داده کاوی (DMS) را معرفی کردند. این روش از یک رگرسیون درختی بین دمای روشنایی باند TIR و بازتابش طیفی موج کوتاه استفاده می‌کند. ارزیابی روش DMS و TsHARP در زمین‌های با کشت دیم و فاریاب توسط تصاویر ماهواره لندست حاکی از آن است که تغییرات رطوبتی ناشی از آبیاری باعث افزایش مقدار

1-enhanced vegetation index

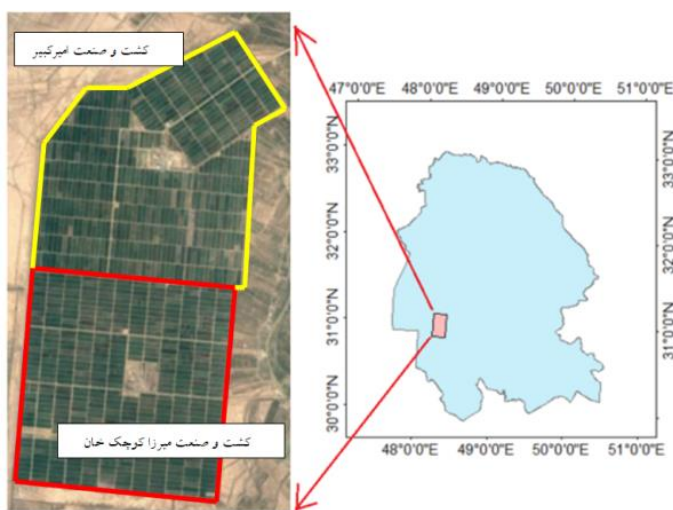
2-Temperature-Vegetation Dryness Index

منطقه مورد مطالعه

کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با مساحتی بالغ بر ۱۴ هزار هکتار در جنوب استان خوزستان و در کیلومتر ۴۵ جاده اهواز-خرمشهر قرار گرفته است. اراضی کشت و صنعت امیرکبیر در غرب رودخانه کارون و در جنوب شهرستان اهواز واقع شده‌اند. زمین‌های زراعی این شرکت در فاصله طول جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵ دقیقه شمالی به صورت قطعات حدوداً ۲۵ هکتاری قرار دارند. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن، خشک گرم است. حداقل و حداکثر دما بترتیب ۱- و ۴۸/۴ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۴۰۰ و ارتفاع از سطح دریا ۲۲/۵ متر می‌باشد. کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر کوچک خان با مساحتی بالغ بر ۱۴ هزار هکتار در بخش جنوبی کشت و صنعت امیرکبیر و در کیلومتر ۷۵ جاده اهواز-خرمشهر واقع شده است. حدود ۱۲ هزار هکتار آن به مزارع ۲۵ هکتاری قطعه بندی شده است. تصویر هوایی مربوط به کشت و صنعت امیر کبیر و میرزا کوچک خان و مکان قرارگیری آن‌ها در استان خوزستان در شکل ۱ نشان داده شده است.

می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیقات که به منظور بررسی قابلیت مدل OPTRAM در پیش بینی رطوبت خاک در مناطق فاریاب و دیم انجام شده است، مدل OPTRAM می‌تواند با $R^2=0/8$ و $RMSE=0/06\text{cm}^3/\text{cm}^3$ رطوبت خاک را در مناطق فاریاب پیش بینی کند. همچنین مدل TOTRAM در مناطق دیم و مدل OPTRAM در مناطق فاریاب عملکرد بهتری را نشان می‌دهد (Ambrosone et al., 2020). پارامتر LST یکی از مهمترین مولفه‌ها در معادلات بیلان آب و انرژی است (Kalma et al., 2008). لذا افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر LST به عنوان پارامتر ورودی در این معادلات، باعث افزایش قدرت تفکیک مکانی در تصاویر تبخیر و تعرق و در نتیجه مدیریت بهتر منابع آب در مزارع خواهد شد (Ibrahim et al., 2022). لذا بررسی امکان استفاده از مدل‌های تخمین رطوبت خاک مبتنی بر سنجش از دور TOTRAM و OPTRAM، به منظور کاهش خطای ناشی از تغییرات رطوبتی زیاد در پروسه ریزمقیاس سازی LST در مناطق فاریاب هدف اصلی این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها



شکل ۱- تصویر هوایی از منطقه مورد مطالعه و محل قرارگیری آن در استان خوزستان

می‌شوند (EROS., 2018). لذا در این پژوهش از باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و داده‌های دمای سطح زمین ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی امیرکبیر و میرزا کوچک خان به منظور ارزیابی نتایج استفاده شده است.

جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش از MOD09Q1، MOD09GA و MOD11A1 حاصل از سنجنده مادیس و باندهای OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. جزئیات تصاویر در جدول ۱ نشان داده شده است. باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متری دارند اما با قدرت تفکیک مکانی (۳۰ متر) برابر با باندهای OLI ثبت

جدول ۱- مشخصات تصاویر سنجنده مادیس و ماهواره لندست

قدرت تفکیک مکانی (متر)	قدرت تفکیک زمانی	
۲۵۰	روزانه	MOD09Q1
۵۰۰	روزانه	MOD09GA سنجنده مادیس
۱۰۰۰	روزانه	MOD11A1
۳۰	۱۶ روز	OLI ماهواره لندست ۸
۱۰۰	۱۶ روز	TIRS

زمان انجام پژوهش

شش ماهه اول سال ۱۴۰۰ (۲۶ خرداد، ۲۷ تیر، ۲۱ مرداد، ۶ شهریور، ۲۲ شهریور، ۲۹ شهریور) و ۳ تصویر از شش ماهه دوم سال ۱۴۰۰ (۷ مهر، ۲۳ مهر، ۳۰ مهر) دریافت شد. تصاویر سنجنده مادیس در ساعت ۱۰:۵۴ و تصاویر ماهواره لندست در ساعت ۱۰:۴۵ ثبت شده است. فاصله بین آبیاری ها در شش ماهه اول سال در جدول ۲ مشاهده می شود.

با توجه به اینکه در این پژوهش از تصاویر سنجنده مادیس و ماهواره لندست استفاده شده است. لذا زمان انجام این پژوهش بر اساس تاریخ‌هایی که تصاویر سنجنده مادیس و ماهواره لندست به طور هم زمان برای منطقه مورد مطالعه موجود و تصاویر فاقد ابر باشد، انتخاب شده است. همچنین با علم به اینکه در منطقه مورد مطالعه آبیاری در شش ماهه اول سال انجام می‌شود، لذا ۶ تصویر از

جدول ۲- فاصله آبیاری‌ها در ۶ ماهه اول سال

ماه	فاصله آبیاری (روز)
فروردین	۱۴
اردیبهشت	۹
خرداد	۸
تیر	۸
مرداد	۸
شهریور	۱۵

پیش پردازش تصاویر

تصاویر ماهواره‌ای قبل از استفاده نیاز به یک سری پیش پردازش ها دارند که در ماهواره لندست شامل تصحیحات رادیومتری و اتمسفری می‌باشد، در این پژوهش برای انجام این پیش پردازش‌ها از نرم افزار ENVI و به منظور تخمین مقدار LST در ماهواره لندست از رابطه معکوس تابع پلانک استفاده شده است. به منظور تبدیل سیستم مختصات تصاویر سنجنده مادیس به UTM نیز از ابزار Toolkit نرم افزار ENVI بهره گرفته شده است. مراحل انجام پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

روش DisTrad^۱

کاستاس و همکاران، روش DisTrad را به منظور ریزمقیاس سازی تصاویر دمای رادیومتری سطح زمین معرفی کردند

1 -Disaggregation Procedure for Downscaling Radiometric Surface Temperature

(Kustas et al., 2003). در این روش از یک رابطه تجربی بین شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI، متغیر مستقل) و دمای رادیومتری سطح (T_R، متغیر وابسته) استفاده می‌شود. رابطه بین NDVI و LST در معادله ۱ نشان داده شده است.

$$\check{T}_{R1000}(NDVI_{1000}) = a + bNDVI_{1000} + cNDVI_{1000}^2 \quad (1)$$

که در آن \check{T}_{R1000} دمای رادیومتری محاسباتی (°C) و NDVI₁₀₀₀ شاخص تفاضل نرمال شده تجمیعی است. در این پژوهش به منظور کاهش خطا از رابطه رگرسیونی خطی (c=0) استفاده می‌شود. با جایگزینی NDVI₂₅₀ به جای NDVI₁₀₀₀ در معادله ۱، T_{R250} (دمای رادیومتری ریزمقیاس سازی شده) بدست می‌آید. اما نکته قابل توجه این است که در این روش تغییرات دمای ناشی از تغییرات رطوبت خاک نادیده گرفته شده است. زیرا روش رگرسیون حداقل مربعات تنها شرایط متوسط را در نظر می‌گیرد. به منظور مرتفع کردن این مشکل، انحراف معیار رگرسیون‌های مشاهده

مدل TOTRAM

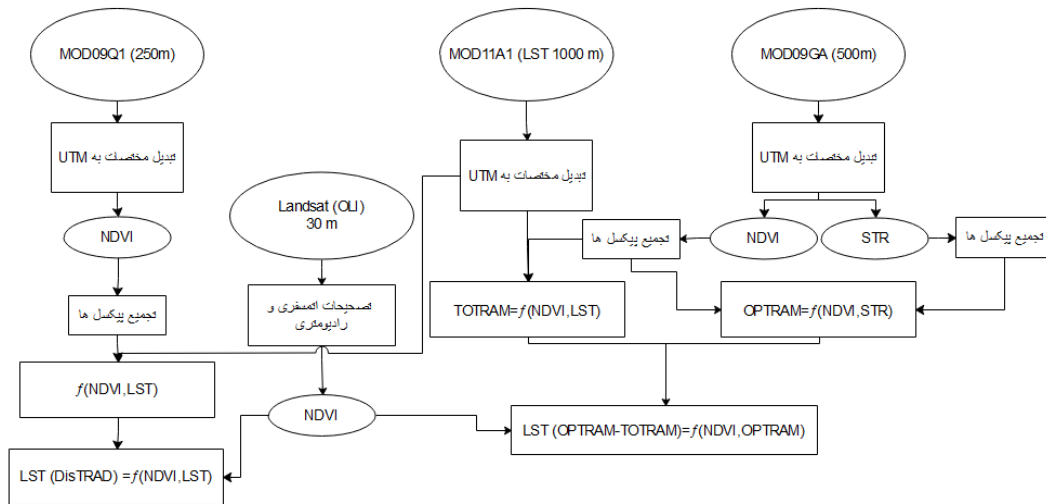
مدل TOTRAM، بر اساس توزیع پیکسل در فضای LST-VI نوشته شده است. اگر تعداد کافی پیکسل وجود داشته باشد و پیکسل‌های حاوی ابر و پهنه‌های آبی از توزیع پیکسل‌ها حذف شوند، شکل پراکندگی پیکسل‌ها شبیه یک مثلث یا دوزنقه می‌شود (Carlson., 2013).

شده در مقیاس ۱۰۰۰ متر اصلاح می‌شود (معادله ۲):

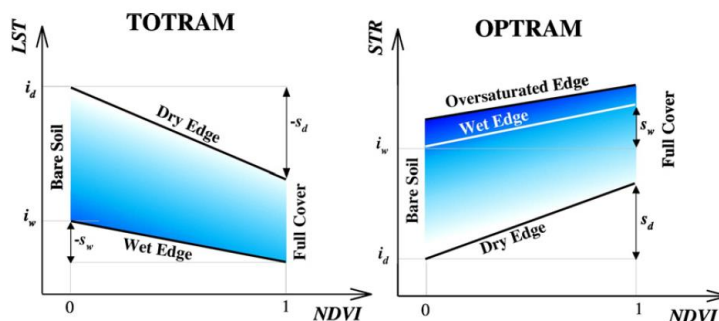
$$\Delta \check{T}_{R1000} = T_{R1000} - \check{T}_{R1000} \quad (2)$$

که در آن T_{R1000} ، دمای رادیومتری مشاهداتی (°C) می‌باشد. سپس با استفاده از معادله ۱، دمای رادیومتری هر یک از پیکسل‌ها (شمارنده i) توسط معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$\check{T}_{R250}(i) = \check{T}_{R1000}(NDVI_{250}(i)) + \Delta \check{T}_{R1000} \quad (3)$$



شکل ۲- فلوچارت مراحل انجام پژوهش



شکل ۳- پارامترهای مدل های TOTRAM و OPTRAM (Sadeghi et al., 2017)

که: W ، مقدار رطوبت خاک نرمال شده، θ_d ، حداقل مقدار رطوبت خاک خشک در شرایط محلی، θ_w ، حداکثر مقدار رطوبت خاک مرطوب در شرایط محلی، LST_d و LST_w به ترتیب دمای سطح زمین در لبه‌های خشک و تر هستند. که در شکل ۳ نشان داده شده است. اضلاع بالا (خشک) و پایین (مرطوب) دوزنقه برای تخمین LST_w و LST_d

متداول‌ترین شاخص پوشش گیاهی مورد استفاده در TOTRAM، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) است، که توسط معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}} \quad (4)$$

که R_{nir} بازتابش باند مادون قرمز نزدیک و R_{red} بازتابش باند قرمز است. رابطه خطی معکوس بین رطوبت خاک (θ) و دمای سطح زمین (LST) در معادله ۵ نشان داده شده است.

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{LST_d - LST}{LST_d - LST_w} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Pi-P)(Oi-O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Pi-P)^2 (Oi-O)^2}} \quad (14)$$

که در آن r ضریب همبستگی، Pi مقدار پیش‌بینی شده برای سال i ام، P متوسط مقادیر پیش‌بینی شده در دوره n ساله، Oi مقدار مشاهده شده برای سال i ام و O متوسط مقادیر مشاهده شده در دوره n ساله می‌باشد. شاخص کمی دیگری که به منظور ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$) است که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Ci - Mi)^2}{n}} \quad (15)$$

که در آن‌ها: Ci مقدار محاسبه شده، Mi مقدار مشاهده شده و n ، تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

روش DisTRAD یکی از روش‌های ریزمقیاس‌سازی آماری پارامتر LST می‌باشد، که به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (Bala et al., 2020). لذا در گام اول روش DisTRAD برای منطقه مورد مطالعه اجرا و تصاویر سنجنده مادیس از ۱۰۰۰ متر به ۳۰ متر ریزمقیاس‌سازی شدند. قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به دلیل همخوانی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری سنجنده OLI ماهواره لندست انتخاب شده است. تصویر حاصل از ریزمقیاس‌سازی LST توسط مدل DisTRAD (۳۰ متر)، تصویر LST حاصل از ماهواره لندست (۳۰ متر) و سنجنده مادیس (۱۰۰۰ متر) برای تاریخ ۲۷ تیر ماه در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمای بصری تصویر ریزمقیاس‌سازی شده بهبود قابل توجهی را نسبت به تصویر اصلی سنجنده مادیس نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی آماری نتایج حاصل از روش ریزمقیاس‌سازی DisTRAD با تصاویر ماهواره لندست از ضریب تعیین R^2 و شاخص RMSE استفاده شده است، که نتایج برای کل پیکسل‌های منطقه در جدول ۳ مشاهده می‌شود. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شد، در منطقه مورد مطالعه تنها در ۶ ماهه اول سال آبیاری انجام می‌شود و فاصله بین آبیاری‌ها در شهریور ماه بیشتر از سایر ماه‌ها است. بررسی مقدار RMSE حاکی از آن است که مقدار خطا در ماه‌هایی که آبیاری انجام شده است، بیشتر از ماه‌هایی که آبیاری انجام نشده است، می‌باشد. همچنین مقدار خطا در شهریور ماه که فاصله آبیاری‌ها بیشتر است از سایر ماه‌های نیمه اول سال کمتر می‌باشد. با توجه به اینکه در این پروسه ریزمقیاس‌سازی، تصاویر سنجنده مادیس ریزمقیاس‌سازی می‌شوند، لذا همبستگی داده‌های LST حاصل از

به ازای هر NDVI، استفاده می‌شود. LSTd و LSTw توسط معادلات ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند.

$$LSTd = id + sdNDVI \quad (6)$$

$$LSTw = iw + swNDVI \quad (7)$$

با ترکیب معادلات ۵ تا ۷، مقدار رطوبت خاک به ازای هر پیکسل به عنوان تابعی از NDVI و LST تخمین زده می‌شود:

$$TOTRAM = \frac{id + sdNDVI - LST}{id - iw + (sd - sw)NDVI} \quad (8)$$

مدل OPTRAM

این مدل برای اولین بار توسط کوبلکا و مونک تحت عنوان مدل انتقال تابشی دوگانه پایه‌گذاری شد (Kubelka & Munk, 1931). سپس توسط صادقی و همکاران به عنوان مدل فیزیکی نمایش ارتباط خطی بین رطوبت خاک و بازتابش مادون قرمز کوتاه توسعه داده شد، که تئوری آن در معادلات ۹ تا ۱۳ نشان داده شده است (Sadeghi et al., 2015).

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{STR - STR_d}{STR_w - STR_d} \quad (9)$$

که: STR ، بازتاب بازگشتی مادون قرمز کوتاه، STR_d و STR_w ، به ترتیب بازتاب بازگشتی مادون قرمز کوتاه در لبه‌های خشک و تر است. STR توسط معادله ۱۰ محاسبه می‌شود که RSWIR بازتاب باند مادون قرمز کوتاه است.

$$STR = \frac{(1 - R_{SWIR})^2}{2R_{SWIR}} \quad (10)$$

پارامترهای رابطه‌ی ۹ را می‌توان برای لبه‌های تر و خشک محدوده‌ی مورد نظر، از تصاویر ماهواره‌ای استخراج کرد، لبه‌ها می‌توانند به بهترین وجه توسط بازرسی بصری توزیع پیکسل‌ها تعریف شوند (Carlson., 2013).

$$STRd = id + sdNDVI \quad (11)$$

$$STRw = iw + swNDVI \quad (12)$$

که: id ، کمترین STR ؛ sd ، کمترین تراکم پوشش گیاهی؛ iw ، بیشترین STR ؛ sw ، بیشترین تراکم پوشش گیاهی است. مدل OPTRAM توسط معادله ۱۳ بدست می‌آید، که می‌تواند رطوبت خاک را در محدوده طول موج مرئی تخمین بزند:

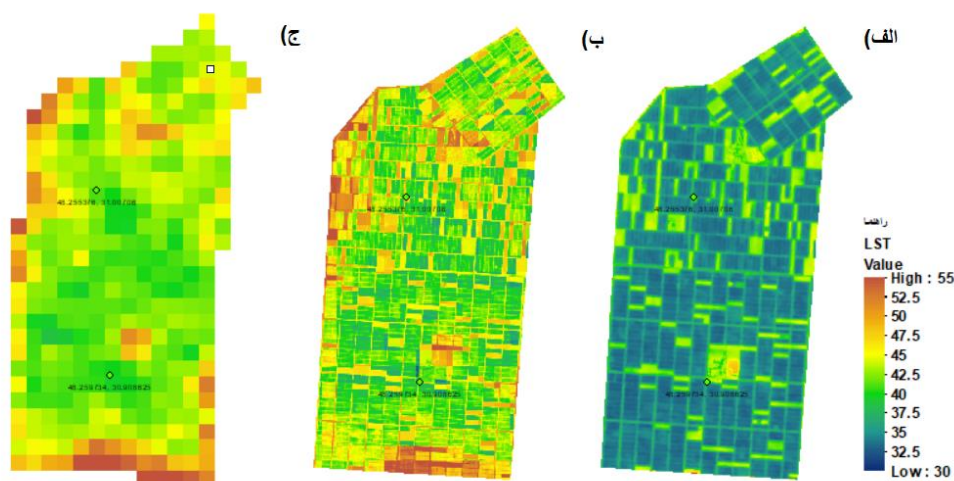
$$OPTRAM = \frac{id + sdNDVI - STR}{id - iw + (sd - sw)NDVI} \quad (13)$$

شاخص‌های سنجنش خطا

یکی از شاخص‌های آماری که برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از آن استفاده می‌شود، ضریب همبستگی است که توسط رابطه (۱۴) تعریف می‌شود:

شده است که خطای قابل توجهی است. چو و یوم ریزمقیاس سازی تصویر LST سنجنده مادیس را تا سطح ۳۰ متری انجام دادند. بر اساس نتایج ارائه شده، مقدار RMSE برای پنجم اکتبر ۱۱/۵۳ درجه سانتی گراد و برای نوزدهم می ۶/۲۵ درجه سانتی گراد گزارش شده است (Choe & Yom, 2017).

سنجنده مادیس با ماهواره لندست بر مقدار همبستگی بین داده‌های LST ریزمقیاس سازی شده با ماهواره لندست تاثیر گذار است. مقدار ضریب تعیین بین مدل DisTRAD و ماهواره لندست (۳۰ متر) کمتر از ضریب تعیین بین سنجنده مادیس و ماهواره لندست (۱۰۰۰ متر) می‌باشد، زیرا در قدرت تفکیک مکانی متفاوتی محاسبه شده‌اند. در ماه‌هایی که فاصله بین آبیاری‌ها کمتر بوده است مقدار RMSE در سطح ریزمقیاس سازی ۳۰ متری، تا حدود ۷ درجه سانتی گراد گزارش



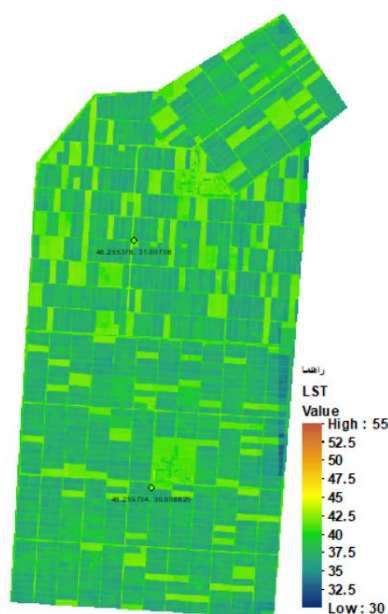
شکل ۴- دمای سطح زمین (درجه سانتی‌گراد)، (الف) ماهواره لندست، (ب) مدل DisTRAD، (ج) سنجنده مادیس - ۲۷ تیرماه ۱۴۰۰

جدول ۳- آنالیز آماری نتایج ریزمقیاس سازی حاصل از مدل DisTRAD

	۲۶ خرداد	۲۷ تیر	۲۱ مرداد	۶ شهریور	۲۲ شهریور	۲۹ شهریور	۷ مهر	۲۳ مهر	۳۰ مهر
R ² (DisTRAD) (%)	۶۹/۹۶	۶۳/۷۸	۷۳/۶۷	۶۰/۴۵	۵۴/۹	۷۵/۷۴	۷۲/۹۳	۶۷/۷۷	۴۹/۸۱
(C°) RMSE(DisTRAD)	۷/۴۴	۷/۹۱	۶/۳۲	۴/۹۶	۳/۳۶	۶/۴۵	۴/۰۶	۳/۱۲	۲/۲۲
R ² (MODIS-LANDSAT) (%)	۷۹/۴۱	۷۷/۰۳	۹۲/۴۲	۸۸/۸۶	۷۶/۶۸	۸۱/۸۲	۸۲/۴۷	۸۶/۶۲	۵۹/۹۹

و کانال‌های آب به وضوح رویت می‌شود و مرز پیکسل‌های ۱۰۰۰ متری سنجنده مادیس مشاهده نمی‌شود. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴ مقدار میانگین RMSE در تصاویر ریزمقیاس سازی شده توسط مدل OPTRAM-TOTRAM، در حدود ۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد کاهش نسبت به مدل اولیه DisTRAD را نشان می‌دهد. همچنین مقدار میانگین RMSE در ۶ ماهه اول سال که آبیاری انجام شده است، نسبت به مدل اولیه DisTRAD، کاهش حدود ۴/۱۱ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد که حاکی از عملکرد بهتر مدل OPTRAM-TOTRAM در شرایطی که در منطقه مورد مطالعه آبیاری انجام شده است، می‌باشد.

به منظور بررسی امکان استفاده از مدل OPTRAM ریزمقیاس سازی LST در مناطق فاریاب، پارامتر STR از MOD09GA حاصل از سنجنده مادیس استخراج شد. با توجه به اینکه در معادله OPTRAM پارامتر LST وجود ندارد، لذا درصد رطوبت اشباع حاصل از رابطه OPTRAM در معادله TOTRAM جایگذاری شده و پارامتر LST استخراج شد، تا از این طریق مقدار رطوبت حاصل از آبیاری‌های انجام شده در نتایج لحاظ شود. تصویر حاصل از ریزمقیاس سازی LST سنجنده مادیس توسط مدل OPTRAM-TOTRAM برای تاریخ ۲۷ تیر ماه در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمای بصری تصویر استخراج شده از مدل OPTRAM-TOTRAM بسیار بهتر از تصویر استخراج شده از مدل DisTRAD می‌باشد، به صورتی که مرز مزارع



شکل ۵- تصویر دمای سطح زمین (درجه سانتی‌گراد) ریزمقیاس‌سازی شده حاصل از مدل OPTRAM-TOTRAM- ۲۷ تیر ۱۴۰۰

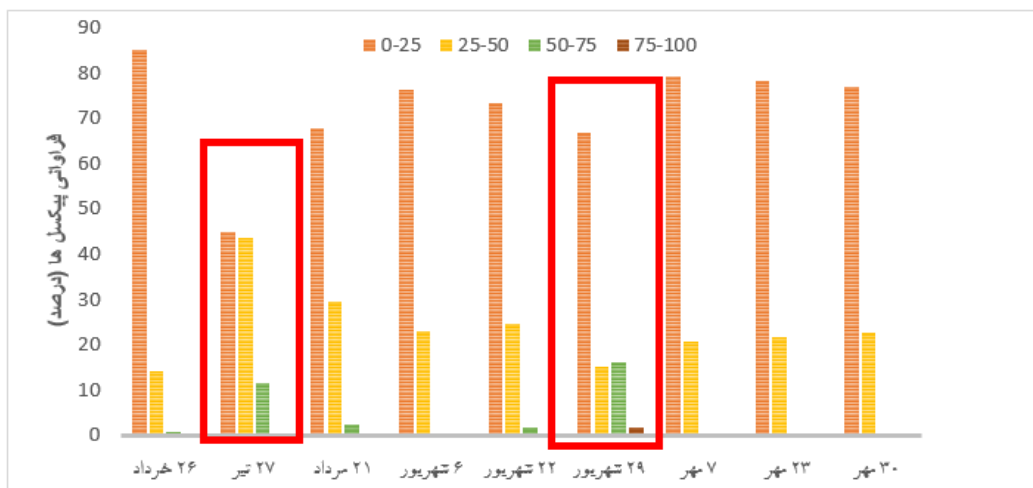
جدول ۴- آنالیز آماری نتایج ریزمقیاس‌سازی LST توسط مدل OPTRAM-TOTRAM

	۲۶	۲۷	۲۱	۶	۲۲	۲۹	۷	۲۳	۳۰
	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	شهریور	شهریور	مهر	مهر	مهر
R^2 (%)	۷۰/۵۲	۶۲/۹۳	۷۵/۰۲	۷۰/۴	۶۸/۳۴	۶۲/۶۲	۶۶/۶	۷۱/۸۸	۶۳/۷۵
RMSE(OPTRAM-TOTRAM) (C°)	۲/۲	۲/۶	۳/۵	۲/۸	۲/۲	۲/۸	۳/۳	۱/۷	۱/۶

بررسی تغییرات رطوبتی خاک در منطقه مورد مطالعه با توجه به اینکه مقدار خطا در ۶ ماهه اول سال در مدل OPTRAM-TOTRAM نسبت به مدل DisTRAD کاهش محسوسی داشته است، لذا مشخص شد که مدل OPTRAM-TOTRAM می‌تواند خطای ناشی از آبیاری‌ها را در منطقه مورد مطالعه کاهش دهد. اما به منظور تحلیل دقیق نتایج، نیاز است روزهایی که بارش باران رخ داده و یا آبیاری انجام شده است، مشخص شوند. بنا به گزارش ایستگاه‌های هواشناسی در هیچ یک از ۹ روز مورد مطالعه بارش رخ نداده است. به دلیل وسعت منطقه، کشت و صنعت‌ها به مزارع حدود ۲۵ هکتاری قطعه‌بندی شده‌اند، که هر مزرعه برنامه کشت و آبیاری متفاوتی دارد. لذا آمار آبیاری‌های انجام شده نیز موجود نمی‌باشد. بنا بر تحقیقات صادقی و همکاران و امبرسون و همکاران، مدل OPTRAM می‌تواند درصد اشباع رطوبت خاک را توسط تکنیک سنجش از دور برآورد کند (Sadeghi et al., 2017; Ambrosone et al., 2017). لذا با توجه به عدم دسترسی به داده‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه، از مدل OPTRAM به منظور تعیین روزهایی که احتمال آبیاری وجود دارد، استفاده شد. پیکسل‌های تصاویر حاصل از مدل OPTRAM در ۴ سطح ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ درصد رطوبت اشباع خاک طبقه‌بندی شدند. به منظور بررسی نتایج، مقدار درصد رطوبت اشباع در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در تاریخ ۲۷ تیر و ۲۹ شهریور ماه به ترتیب بیش از ۱۵ و ۲۰ درصد از پیکسل‌ها دارای درصد اشباع رطوبت خاک بالاتر از ۵۰ درصد می‌باشند، حتی در تاریخ ۲۹ شهریور ماه حدود ۳ درصد از پیکسل‌ها، درصد رطوبت اشباع بیش از ۷۰ درصد دارند. لازم به ذکر است که کل منطقه از حدود ۳۱۴ هزار پیکسل ۳۰ متر × ۳۰ متر تشکیل شده است.

بررسی تغییرات رطوبتی خاک در منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه مقدار خطا در ۶ ماهه اول سال در مدل OPTRAM-TOTRAM نسبت به مدل DisTRAD کاهش محسوسی داشته است، لذا مشخص شد که مدل OPTRAM-TOTRAM می‌تواند خطای ناشی از آبیاری‌ها را در منطقه مورد مطالعه کاهش دهد. اما به منظور تحلیل دقیق نتایج، نیاز است روزهایی که بارش باران رخ داده و یا آبیاری انجام شده است، مشخص شوند. بنا به گزارش ایستگاه‌های هواشناسی در هیچ یک از ۹ روز مورد مطالعه بارش رخ نداده است. به دلیل وسعت منطقه، کشت و صنعت‌ها به مزارع حدود ۲۵ هکتاری قطعه‌بندی شده‌اند، که هر مزرعه برنامه کشت و آبیاری متفاوتی دارد. لذا آمار آبیاری‌های انجام شده نیز موجود نمی‌باشد. بنا بر تحقیقات صادقی و همکاران و امبرسون و همکاران، مدل OPTRAM می‌تواند درصد اشباع رطوبت خاک را توسط تکنیک سنجش از دور برآورد کند (Sadeghi et al., 2017; Ambrosone et al., 2017).



شکل ۶- درصد فراوانی پیکسل‌ها به ازای درصد رطوبت اشباع خاک حاصل از مدل OPTRAM، طبقه بندی شده در ۴ گروه به تفکیک هر تاریخ

کالیبراسیون داده‌ها

در بخش‌های قبلی ارزیابی دقت تصاویر ریزمقیاس سازی شده دمای سطح زمین سنجنده مادیس (۳۰ متر) توسط تصاویر دمای سطح زمین ماهواره لندست (۳۰ متر) انجام شده است. اما در این بخش ارزیابی تصاویر ریزمقیاس سازی شده توسط داده‌های مشاهداتی انجام می‌شود. در منطقه مورد مطالعه دو ایستگاه هواشناسی وجود دارد که داده‌های دمای سطح زمین را ثبت می‌کنند. لذا به منظور ارزیابی دقت تصاویر ریزمقیاس سازی شده دمای سطح زمین حاصل از سنجنده مادیس از این داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. به منظور کالیبراسیون مدل‌ها توسط داده‌های مشاهداتی از ۷۰ درصد داده‌ها به منظور تولید معادله و از ۳۰ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی استفاده شد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی داده‌ها حاکی از آن است که قبل از کالیبراسیون مقدار آماره‌های RMSE، MBE و MAE به ترتیب برابر با ۴/۴۷، ۳/۱۷، ۴/۱۲ درجه سانتی‌گراد و بعد از کالیبراسیون به ترتیب برابر با ۳/۹، ۰/۴۷، ۳/۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین مقدار R2 در قبل و بعد از کالیبراسیون به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۷۱ است.

یکی از عوامل اصلی بالاتر بودن مقدار خطا در ارزیابی تصاویر ریزمقیاس سازی شده با داده‌های مشاهداتی نسبت به تصاویر LST ماهواره لندست (جدول ۴) استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری دما در ایستگاه‌های مشاهداتی است. زیرا در ماهواره‌ها مقدار LST توسط معادلاتی نظیر تابع معکوس پلانک و با استفاده از تابش الکترومغناطیسی و مقدار گسیلمندی سطحی تخمین زده می‌شود. در صورتی که از دستگاه‌های اندازه‌گیری تابش و گسیلمندی به منظور محاسبه LST در سطح زمین استفاده شود، مقادیر مشاهداتی و ماهواره‌ای انطباق بیشتری خواهند داشت (Li et al., 2021).

نتیجه‌گیری

با توجه به بحران روز افزون آب و مواد غذایی و اهمیت غیرقابل انکار بخش کشاورزی در مصرف آب و تولید مواد غذایی، لذا این پژوهش با هدف ریزمقیاس سازی LST سنجنده مادیس در مناطق فاریاب انجام شد. پارامتر LST در حوزه کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا یکی از پارامترهای بسیار مهم در تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه است. همانطور که مشاهده شد کمتر بودن مقدار خطا در مهر ماه که آبیاری انجام نشده است نسبت به ۶ ماهه اول سال که آبیاری انجام شده است کاملاً محسوس می‌باشد. در نتیجه مدل Distrad در مناطق با تغییرات رطوبتی زیاد خطای بیشتری دارد. لذا از مدل OPTRAM-TOTRAM به منظور کاهش خطا در ۶ ماهه اول سال استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که ریزمقیاس سازی پارامتر LST سنجنده مادیس توسط مدل‌های تخمین رطوبت خاک OPTRAM-TOTRAM باعث کاهش مقدار RMSE به خصوص در ۶ ماهه اول سال که تغییرات رطوبتی زیادی به دلیل آبیاری‌ها رخ داده است، می‌شود. یکی از مهمترین مزایای این روش کاهش مقدار خطای پروسه ریزمقیاس سازی LST نسبت به روش DisTRAD است. لذا دسترسی رایگان به نقشه LST در سطح ۳۰ متری در مناطق فاریاب فراهم می‌شود. اما نتایج حاکی از آن است که بین ۱/۶ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد خطا نسبت به ماهواره لندست و حدود ۳/۹ درجه سانتی‌گراد خطا نسبت به داده‌های مشاهداتی وجود دارد. با توجه به اینکه حداکثر خطا در روزهایی مشاهده می‌شود که آبیاری انجام شده است؛ لذا پیشنهاد می‌شود که در این روزها دقت پروسه ریزمقیاس سازی در سطوح پایین‌تری بررسی شود. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از این روش در مناطق دیگر با انجام عملیات کالیبراسیون و ارزیابی نتایج توصیه می‌شود.

منابع

- Agam, N., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Li, F. and Neale, C. M. 2007. A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. *Remote sensing of Environment*. 107(4): 545-558.
- Ambrosone, M., Matese, A., Di Gennaro, S. F., Gioli, B., Tudoroiu, M., Genesio, L. and Ungaro, F. 2020. Retrieving soil moisture in rainfed and irrigated fields using Sentinel-2 observations and a modified OPTRAM approach. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 89: 102-113.
- Bala, R., Prasad, R. and Yadav, V. P. 2020. Thermal sharpening of MODIS land surface temperature using statistical downscaling technique in urban areas. *Theoretical and Applied Climatology*. 141(3): 935-946.
- Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L. and Fereres, E. 2009. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47(3): 722-738.
- Bindhu, V., Narasimhan, B. and Sudheer, K. 2013. Development and verification of a non-linear disaggregation method (NL-DisTrad) to downscale MODIS land surface temperature to the spatial scale of Landsat thermal data to estimate evapotranspiration. *Remote sensing of Environment*. 135: 118-129.
- Bisquert, M., Sánchez, J. M. and Caselles, V. 2016. Evaluation of disaggregation methods for downscaling MODIS land surface temperature to Landsat spatial resolution in Barrax test site. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 9(4): 1430-1438.
- Carlson, T. N. 2013. Triangle models and misconceptions. *Int. J. Remote Sens. Appl.* 3(3): 155-158.
- Choe, Y. J., and Yom, J. H. 2017. Downscaling of MODIS land surface temperature to LANDSAT scale using multi-layer perceptron. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 35(4): 313-318.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M. and Liu, Y. 2018. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 67: 30-42.
- EROS, U. 2014. USGS EROS Archive-Landsat Archives-Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) Level-1 Data Products. In: Usgs.
- Essa, W., Verbeiren, B., Van der Kwast, J. and Batelaan, O. 2017. Improved DisTrad for downscaling thermal MODIS imagery over urban areas. *Remote Sensing*. 9(12): 1243.
- Gao, F., Kustas, W. P. and Anderson, M. C. 2012. A data mining approach for sharpening thermal satellite imagery over land. *Remote Sensing*. 4(11): 3287-3319.
- Gerhards, M., Schlerf, M., Mallick, K. and Udelhoven, T. 2019. Challenges and future perspectives of multi-/Hyperspectral thermal infrared remote sensing for crop water-stress detection: A review. *Remote Sensing*. 11(10): 1240.
- He, B.-J., Zhao, Z.-Q., Shen, L.-D., Wang, H.-B. and Li, L.-G. 2019. An approach to examining performances of cool/hot sources in mitigating/enhancing land surface temperature under different temperature backgrounds based on landsat 8 image. *Sustainable Cities and Society*. 44: 416-427.
- Ibrahim, T. I., Al-Maliki, S., Salameh, O., Waltner, I. and Vekerdy, Z. 2022. Improving LST Downscaling Quality on Regional and Field-Scale by Parameterizing the DisTrad Method. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 11(6): 327.
- Kalma, J. D., McVicar, T. R. and McCabe, M. F. 2008. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*. 29(4): 421-469.
- Kubelka, P., Munk, F. 1931. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. *Zeitschrift für Technische Physik*. 12: 593-601.
- Kustas, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. C. and French, A. N. 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote sensing of Environment*. 85(4): 429-440.
- Li, S., Wang, J., Li, D., Ran, Z. and Yang, B. 2021. Evaluation of Landsat 8-like Land Surface Temperature by Fusing Landsat 8 and MODIS Land Surface Temperature Product. *Processes*. 9(12): 2262.
- Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z. and Sobrino, J. A. 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote sensing of Environment*. 131: 14-37.
- Lillo-Saavedra, M., García-Pedrero, A., Merino, G. and Gonzalo-Martín, C. 2018. Ts2urf: A new method for sharpening thermal infrared satellite imagery. *Remote Sensing*. 10(2): 249.
- Maeda, E. E. 2014. Downscaling MODIS LST in the East African mountains using elevation gradient and land-cover information. *International Journal of Remote Sensing*. 35(9): 3094-3108.
- Moran, M., Clarke, T., Inoue, Y. and Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote sensing of Environment*. 49(3): 246-263.

- Qiu, J., Yang, J., Wang, Y. and Su, H. 2018. A comparison of NDVI and EVI in the DisTrad model for thermal sub-pixel mapping in densely vegetated areas: A case study in Southern China. *International Journal of Remote Sensing*. 39(8): 2105-2118.
- Raoufi, R. and Beighley, E. 2017. Estimating daily global evapotranspiration using penman–monteith equation and remotely sensed land surface temperature. *Remote Sensing*. 9(11): 1138.
- Sadeghi, M., Jones, S.B., Philpot, W.D. 2015. A linear physically-based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sens. Environ.* 164: 66–76
- Sadeghi, M., Babaeian, E., Tuller, M. and Jones, S. B. 2017. The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations. *Remote sensing of Environment*. 198: 52-68.
- Sandholt, I., Rasmussen, K. and Andersen, J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote sensing of Environment*. 79(2-3): 213-224.
- Sousa, D. and Small, C. 2019. Mapping and monitoring rice agriculture with multisensor temporal mixture models. *Remote Sensing*. 11(2): 181.
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and earth system sciences*. 6(1): 85-100.

Spatial Downscaling of Land Surface Temperature (LST) of MODIS in Irrigated Areas by TOTRAM and OPTRAM Soil Moisture Estimation Models

Z. Faraji¹, A. Kaviani^{2*}

Received: Jan.19, 2023

Accepted: Apr.21, 2023

Abstract

The limitations of satellite sensors make it impossible to access thermal bands with high spatial and temporal resolution simultaneously. Therefore, downscaling methods are essential because they provide simultaneous access to thermal data with high spatial and temporal resolution. The LST parameter is critical in agriculture because it is one of the most important parameters in estimating the amount of plant evaporation and transpiration. Therefore, this research was carried out with the aim of downscaling the LST of the MODIS sensor from 1000 meters to the spatial resolution of the OLI sensor of the Landsat 8 satellite (30 meters) in irrigated regions. In the first stage, the DisTRAD model was implemented for the downscaling of the LST of MODIS in Amirkabir and Mirzakoochak Khan Farms. The results show the poor performance of the DisTRAD model in the downscaling of LST from 1000 meters to 30 meters. Next, to check the results of LST downscaling of the MODIS by TOTRAM and OPTRAM soil moisture estimation models, the root mean square error (RMSE) statistic was used. The results indicate that the average value of RMSE in the downscaled images by the OPTRAM-TOTRAM model shows a decrease of about 2.53°C compared to the DisTRAD model. Also, the average value of RMSE in the first six months of the year when irrigation has been done, compared to the DisTRAD model, shows a decrease of about 4.11 °C. As a result, the use of the OPTRAM-TOTRAM model offers much better performance than the DisTRAD model in downscaling the LST of the MODIS in irrigated regions.

Keyword: DisTRAD model, Landsat, NDVI, STR

1 - PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, IRAN

2 - Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, IRAN

*- (Corresponding Author Email:Abbaskaviani@Gmail.com)