



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰

شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir

iauwsrj@gmail.com

سال یازدهم

شماره دو

زمستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۰/۰۹/۲۷

صفحات: ۱۳۳-۱۴۷

ارزیابی روش‌های ریزمقیاس‌سازی TsHARP و DisTRAD به‌منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس

زهره فرجی^۱، عباس کاویانی^{۲*} و پیمان دانش‌کار آراسته^۳

(۱) دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

(۲) دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

(۳) دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: abbasskaviani@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: دمای سطح زمین (LST) یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر محیط و سیستم‌های اکولوژیکی است و بر بسیاری از فرآیندهای سطح زمین تأثیرگذار است. LST به‌طور گسترده‌ای در مطالعات رطوبت خاک، گرمای سطح زمین شهری، نظارت بر محیط‌زیست، شبیه‌سازی فرآیند بیوژئوشیمیایی محیطی و ارزیابی تغییرات آب و هوا استفاده می‌شود. لذا توسعه روش‌هایی به‌منظور تخمین هرچه دقیق‌تر مکانی و زمانی این پارامتر کلیدی، کمک شایانی به توسعه بخش کشاورزی و حفظ منابع آبی می‌کند. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی نتایج روش‌های ریزمقیاس‌سازی TsHARP و DisTRAD به‌منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس حاصل از ماهواره‌های ترا و آکوا، از ۱۰۰۰ متر به ۲۵۰ متر است.

روش پژوهش: روش پژوهش در مقاله حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش انجام کار مبتنی بر روابط همبستگی است.

یافته‌ها: عملکرد روش‌های ریزمقیاس‌سازی حرارتی DisTRAD و TsHARP توسط شاخص میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) ارزیابی شدند. بررسی نتایج حاکی از آن است که بین داده‌های تصاویر ریزمقیاس‌شده دمای سطح زمین توسط روش‌های DisTRAD و TsHARP با داده‌های تصویر مادیس ۱۰۰۰ متری از سنجنده Terra، مقدار RMSE برای تاریخ ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۸ به ترتیب برابر با ۱/۷۷ و ۱/۷ درجه سانتی‌گراد و R2 حدود ۵۳ درصد و برای ۲۵ مهر ۱۳۹۸ به ترتیب برابر با ۲/۴۴ و ۲/۳۸ درجه سانتی‌گراد و R2 حدود ۸۵ درصد است.

نتایج: بررسی نتایج ماهواره‌های ترا و آکوا، به‌طور کلی نشان‌دهنده برتری نتایج ماهواره ترا نسبت به آکوا است. دلیل اصلی آن می‌تواند ساعت متفاوت گذر ماهواره‌ها از منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین با توجه به اینکه تغییرات رطوبتی خاک و پهنه‌های آبی نظیر رودخانه کارون از عوامل اصلی ایجاد خطاست، لذا استفاده از این روش‌های ریزمقیاس‌سازی تنها در مناطق فاقد تغییرات زیاد رطوبتی توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: LST؛ NDVI، رگرسیون خطی، کشت و صنعت امیرکبیر



(۱) پارامتر ورودی به اکثر مدل‌ها است، لذا هرچه دقت تخمین این پارامتر بالاتر باشد خروجی مدل‌ها دقت بالاتری خواهند داشت؛

(۲) پارامتر کلیدی در مطالعات تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی؛

(۳) تأثیر بر نرخ و زمان رشد گیاهان.

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 به‌دست آمده از داده‌های سنجش از دور در وضوح بالاتر مکانی است. 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 به‌دست آوردن تصاویر با وضوح مکانی و زمانی بالا بهره می‌برد. Essa و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه و تجزیه و تحلیل همبستگی بین دمای سطح زمین و ۱۵ شاخص طیفی مختلف و بررسی عملکرد روش DisTrad بر روی پوشش‌های مختلف زمین در مناطق شهری پرداختند. کلیه شاخص‌های طیفی و دمای سطح زمین از یک تصویر Landsat 7 ETM+ در سطح شهر دوبلین^۴ محاسبه شده است. نتایج نشان داد که برای اکثر شاخص‌ها، انتخاب ۲۵٪ پیکسل‌ها با کمترین ضریب واریانس، همبستگی بین شاخص‌های طیفی و دمای سطح زمین را افزایش داده است (Essa et al., 2012).

Mukherjee و همکاران (۲۰۱۵) الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی TsHARP.DisTrad و یک مدل محلی فصلی را در تاریخ‌های، ۲۵ فوریه ۲۰۱۰، ۱۴ آوریل ۲۰۱۰ و ۲۶ اکتبر ۲۰۱۱، مقایسه کردند. منطقه دارای محصولات مختلفی نظیر برنج، ذرت، گندم، سویا، دانه‌های روغنی و سایر محصولات است و از الگوی کشت متنوعی استفاده می‌شود. نتایج آنان نشان داد که تنوع فصلی رابطه LST-NDVI بر صحت مدل ریزمقیاس‌ساز اثر می‌گذارد. برای

دمای سطح زمین (LST^۱) نیروی محرکه اصلی مبادله بین شار گرمای آشفته^۲ و تابش مادون قرمز موج بلند (LWIR^۳) (۸-۱۵ میکرومتر) در سطح زمین و جو است. بنابراین، LST یک پارامتر کلیدی برای توصیف فیزیکی انرژی سطح و فرایندهای بیلان آب در مقیاس محلی تا جهانی است (Li et al., 2013; Sobrino et al., 2016). اهمیت 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., 2002)، «جزیره گرمای شهری و توسعه شهری» (Deilami et al., 2018; He et al., 2019; Li et al., 2013) تغییرات اقلیمی و شرایط آب و هوایی (Li et al., 2013) و کشاورزی (Raofi & Beighley., 2019; Sousa et al., 2017) نشان داده شده است.

مقادیر LST به‌طور قابل توجهی هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی (حدود ۱۰ درجه کلونین) تغییر می‌کند. در طول روز این تغییرات وابسته به شرایط آب و هوایی موجود و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین است (Agma et al., 2007). سطوحی با میزان انتشار طیفی زیاد، مانند سطوح بایر و سنگ‌ها (گرمایش ناهمگن) و مناطق بسته (جزایر حرارتی شهری) نوسان زیادی در دمای سطح زمین در طول روز نشان می‌دهند (Essa et al., 2019; Gerhards et al., 2012). پوشش گیاهی تحت تنش آبی نیز این پدیده را نشان می‌دهد، به دلیل نرخ تعرق که در طول روز به‌سرعت در حال تغییر است، درجه حرارت تاج پوشش گیاهی نیز بشدت دچار نوسان می‌شود (Gillespie et al., 1998). برخی از کاربردهای پارامتر دمای سطح زمین را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

¹ Land Surface Temperature

² turbulent heat flux

³ long-wave infrared

⁴ Dublin

رطوبت خاک رابطه غیرمستقیم دارد که نتایج ریزمقیاس‌سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا در این مقاله ریزمقیاس‌سازی پارامتر LST در منطقه فاریاب کشت و صنعت امیرکبیر انجام و نتایج بررسی می‌شود. همچنین به منظور بررسی ماهواره ترا و آکوا در زمینه ریزمقیاس‌سازی پارامتر LST، تصاویر سنجنده مادیس حاصل از هر دو ماهواره ریزمقیاس‌سازی شده و نتایج آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

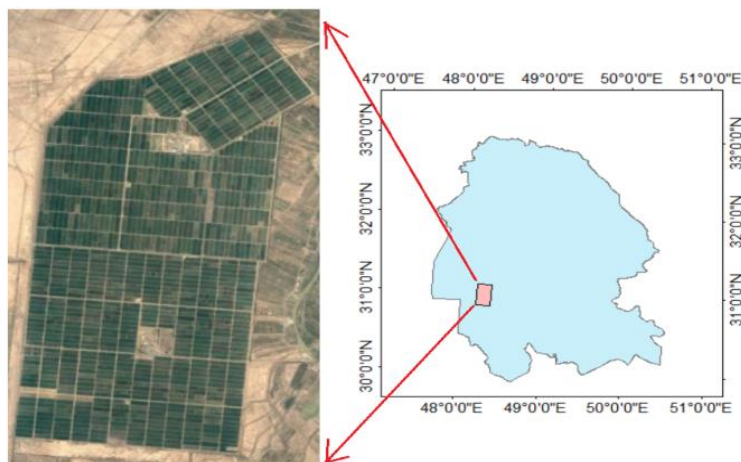
کشت و صنعت امیرکبیر با مساحتی بالغ بر ۱۴ هزار هکتار در جنوب استان خوزستان و در کیلومتر ۴۵ جاده خرمشهر قرار گرفته است. اراضی کشت و صنعت امیرکبیر در غرب رودخانه کارون و در جنوب شهرستان اهواز واقع شده‌اند. زمین‌های زراعی این شرکت در مختصات جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و ۳۰ 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 میانگین دما در شهر اهواز برای سال ۲۰۱۹ حدوداً برابر با ۲۲ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا ۲۲/۵ متر می‌باشد. تصویر ترکیب رنگی حقیقی مربوط به کشت و صنعت امیرکبیر و مکان قرارگیری آن در استان خوزستان در شکل ۱ نشان داده شده است.

سنجنده MODIS

سنجنده مادیس (جدول ۱) یکی از سنجنده‌های نصب شده بر ماهواره ترا است که می‌تواند تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر و یک کیلومتر از سطح زمین برداشت کند. ماهواره آکوا (Aqua) نیز همانند ماهواره ترا دارای سنجنده مادیس می‌باشد. سنجنده‌های مادیس بر روی دو ماهواره ترا و آکوا به اتفاق هم، سطح زمین را در

مثال، دقت مدل در ماه‌های رشد (اکتبر تا فوریه) بالاتر و برخلاف ماه برداشت محصول (آوریل) بود. میانگین مربع خطاهای دمای ریزمقیاس‌سازی شده برای کلیه فصول از قدرت تفکیک مکانی ۴۸۰ به ۱۲۰ متر افزایش پیدا کرد. این مدل‌ها در بسترهای آبی و بستر ماسه‌ای خشک رودخانه‌ها از حداقل دقت برخوردار بودند. به طور کلی، دقت الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی برای $NDVI > 0.3$ بیشتر بوده است (Mukherjee *et al.*, 2015). Sharma و همکاران (۲۰۲۰) الگوریتم‌های ریزمقیاس DisTrad، TsHARP و یک مدل محلی را در منطقه‌ای در هند با استفاده از تصویرهای حرارتی Landsat 8 و MODIS ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که عملکرد روش ریزمقیاس‌سازی LST وابسته به شرایط اقلیمی، ویژگی‌های سطح و مقدار رطوبت سطح زمین است. این مدل‌ها در سطوحی با شرایط حداکثر و حداقل مقدار آب، مانند مناطق شنی خشک یا پهنه‌های آبی، عملکرد خوبی نداشته‌اند. در این تحقیق، مقدار میانگین مربع خطای حاصل از ریزمقیاس‌سازی تصاویر، از پیکسل سایز ۴۰۰ متر تا ۱۰۰ متر روند افزایشی را نشان می‌دهد. اگرچه نتایج تنها تا سطح پیکسل سایز ۲۰۰ متر قابل قبول است (Sharma *et al.*, 2020).

با توجه به قدرت تفکیک مکانی کم و قدرت تفکیک زمانی زیاد سنجنده مادیس، هدف اصلی تحقیق پیش رو، افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس می‌باشد. در این پژوهش به بررسی و ارزیابی امکان افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس از ۱۰۰۰ متر به ۲۵۰ متر توسط دو روش DisTRAD و TsHARP به منظور کمک به بهبود مدیریت زراعی در کشت و صنعت امیرکبیر پرداخته شده است. با توجه به اینکه دقت پروسه ریزمقیاس‌سازی آماری دمای سطح زمین به نوع و درصد پوشش سطح زمین وابسته است لذا در این مقاله به بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از ریزمقیاس‌سازی پارامتر دمای سطح زمین در ۵ روز مختلف پرداخته می‌شود. از سوی دیگر پارامتر LST با



شکل ۱. محدوده قرارگیری منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان و تصویر هوایی از منطقه مورد مطالعه

داده‌ها

در این پژوهش از محصولات v6 MYD09GQ و MOD09GQ v6 MYD11A1 از ماهواره آکوا و MOD11A1 v6 از ماهواره ترا برای سنجنده مادیس و همچنین به منظور ارزیابی نتایج از تصاویر حرارتی سطح ۱ ماهواره لندست ۸ (OLI+TIRS) استفاده شد. به دلیل نیاز تصاویر به پیش پردازش از نرم افزار ENVI برای تصحیح رادیومتری و اتمسفری تصاویر ماهواره لندست ۸ و تغییر سیستم مختصات تصاویر سنجنده مادیس استفاده شد. تاریخ ۱۳ اردیبهشت و ۲۵ مهر سال ۱۳۹۸ که به ترتیب حداقل (۰/۱۵) و حداکثر (۰/۶۸) مقدار NDVI را در طول دوره مورد مطالعه دارا می‌باشند، برای دریافت تصاویر انتخاب و سپس به منظور افزایش دامنه بررسی‌ها، روزهای ۲۱ دی ۱۳۷۹، ۱۹ فروردین و ۱۵ تیر ۱۳۹۸ نیز به تاریخ‌های دریافت تصاویر افزوده شدند. برای روزهای ۱۵ تیر (روز ۱۸۷ از سال ژولیوسی) و ۲۵ مهر (روز ۲۹۰ از سال ژولیوسی) به دلیل عدم وجود تصاویر حرارتی مادیس (ترا) در روز دریافت تصاویر لندست ۸ تصاویر متعلق به یک روز قبل دریافت شد (Mukherjee et al., 2015). همچنین برای تاریخ ۱۳ اردیبهشت (روز ۱۲۳)، به دلیل عدم وجود تصاویر مادیس برای هر دو ماهواره آکوا و ترا، تصاویر مربوط به یک روز قبل از تاریخ تصویر لندست ۸ دریافت شد. تاریخ دریافت تصاویر بر اساس تاریخ ژولیوسی^۲ در جدول ۲ ارائه شده است.

مدت زمان دو روز تصویر برداری می‌کنند. ماهواره‌های ترا و آکوا هر دو خورشید آهنگ^۱ هستند و زمان تصویربرداری آن‌ها از یک نقطه یکسان در سطح زمین با یکدیگر حدود سه ساعت اختلاف دارد (Purbantoro et al., 2019).

ماهواره لندست

لندست ۸ جدیدترین نسل از مأموریت‌های ماهواره‌ای لندست است که تصاویر سنجنش از دور را برای رصد زمین فراهم می‌کند. لندست ۸ ماهواره دیده‌بانی زمین است که ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای دو سنسور OLI (مشاهده زمینی) و TIRS (حرارتی) است. مشخصات باندهای حرارتی ماهواره‌های ترا، آکوا و لندست ۸ در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های تکنیکی عملکرد سنجنده‌های ماهواره‌های مورد استفاده در باند حرارتی

سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (متر)		قدرت تفکیک طیفی (μm)		قدرت تفکیک زمانی (روز)
	MODIS (Terra-Aqua)	۱۰۰۰	۳۶-۳۱	۱۴/۳۹-۱۰/۷۸	۲-۱
OLI&TIRS-Landsat 8	۱۰۰	۱۱-۱۹	۱۰/۶:۱۰-۱۱/۵۰	۱۶	

²Julian day

¹sun-synchronous

جدول ۲. تاریخ دریافت تصاویر به تفکیک ماهواره‌ها

ماهواره	تاریخ دریافت تصاویر بر اساس تاریخ ژولیوسی					
	روز ۲۹۰	روز ۱۱	روز ۹۸	روز ۱۲۲	روز ۱۲۳	روز ۱۸۶
لندست	×	×	×		×	×
ترا			×	×		×
آکوا	×	×	×	×		×

روش DisTrad^۴

Kustas و همکاران (۲۰۰۳)، روش DisTrad را به منظور ریزمقیاس‌سازی تصاویر دمای رادیومتری سطح زمین معرفی کردند. 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 ۳ نشان داده شده است.

$$\hat{T}_{R1000}(NDVI_{1000}) = a + bNDVI_{1000} + cNDVI_{1000}^2 \quad (۳)$$

که در آن \hat{T}_{R1000} دمای رادیومتری محاسباتی ($^{\circ}C$) و NDVI1000 شاخص تفاضل نرمال شده تجمعی است. در این پژوهش به منظور کاهش خطا از رابطه رگرسیونی خطی ($c=0$) استفاده می‌شود. با جایگزینی NDVI₂₅₀ به جای NDVI₁₀₀₀ در معادله ۳، T_{R250} (دمای رادیومتری ریزمقیاس‌سازی شده) به دست می‌آید؛ ما 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، با استفاده از معادله ۴، انحراف معیار رگرسیون‌های مشاهده شده در مقیاس ۱۰۰۰ متر اصلاح می‌شود (Kustas et al., 2003):

$$\Delta \hat{T}_{R1000} = T_{R1000} - \hat{T}_{R1000} \quad (۴)$$

که در آن T_{R1000} ، دمای رادیومتری مشاهداتی ($^{\circ}C$) می‌باشد. سپس با استفاده از معادله ۴، دمای رادیومتری هر یک از پیکسل‌ها (شمارنده i) توسط معادله ۵ محاسبه می‌شود.

محاسبه NDVI

شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده، یک شاخص گرافیکی ساده است که برای تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری‌های سنجش از دور از نظر پوشش گیاهی استفاده می‌شود. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ است. روش محاسبه NDVI در فرمول زیر نشان داده شده است.

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (۱)$$

NIR بازتابش فرورسرخ نزدیک سطح و VIS بازتابش باندهای مرئی از سطح است.

محاسبه LST

با توجه به عدم دسترسی به داده‌های مشاهداتی دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه، به منظور ارزیابی نتایج از داده‌های دمای سطح حاصل از ماهواره لندست ۸ استفاده شد. به این منظور، ابتدا پیش پردازش‌های مورد نیاز برای تصاویر لندست ۸ انجام شد. سپس با استفاده از معادله ۲ مقدار دمای سطح برای تصاویر لندست ۸ محاسبه شد.

$$LST = \frac{TB}{1 + (Rad \times (\frac{TB}{14380}) \times Ln(e))} \quad (۲)$$

که TB، دمای روشنایی^۱ برحسب درجه کلونین، Rad: مقدار رادیانس^۲ باند حرارتی و ϵ : مقدار گسیلمندی^۳ سطح است.

^۱ Brightness Temperature

^۲ Radiance

^۳ Emissivity

^۴ Disaggregation Procedure for Downscaling Radiometric Surface Temperature

جدول ۳. خلاصه اطلاعات آماری NDVI و LST برای تاریخ تصاویر دریافتی بر اساس تصاویر ماهواره لندست ۸

LST(°C)				NDVI				تاریخ
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	
۰/۸	۱۳	۱۷	۹/۸	۰/۱۸	۰/۵۵	+۱	-۱	۲۱ دی ۱۳۹۷
۴	۳۳/۳	۴۵	۲۱	۰/۱	۰/۲	۰/۷۵	-۰/۵	۱۹ فروردین ۱۳۹۸
۴/۷۷	۳۸/۶	۵۲/۱۹	۲۴/۶	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۵۲	-۰/۴۴	۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۸
۶/۴۵	۴۴	۵۷/۸۵	۳۱/۹	۰/۲۵	۰/۵۸	+۱	-۱	۱۵ تیر ۱۳۹۸
۴/۸	۳۲	۴۴/۸	۲۵	۰/۲۳	۰/۶۸	+۱	-۱	۲۵ مهر ۱۳۹۸

وسیع‌تری از دمای سطح و کسر پوشش گیاهی در صحنه تصویر نیاز است.

نتایج و بحث

خلاصه اطلاعات آماری شاخص NDVI و دمای سطح زمین (LST) برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین شاخص NDVI برای تاریخ‌های ۱۳ اردیبهشت و ۲۵ مهر ۱۳۹۸ به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۶۸ می‌باشد که این دو تاریخ حداقل و حداکثر میانگین NDVI در طول دوره مطالعاتی را دارا می‌باشند. در نتیجه، منطقه مطالعاتی در تاریخ ۲۵ مهرماه ۱۳۹۸ دارای حداکثر تراکم پوشش گیاهی سبز و در ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۸ دارای حداقل تراکم پوشش گیاهی سبز، می‌باشد. به منظور داشتن دید کلی نسبت به دمای سطح خاک در روزهای مورد مطالعه حداکثر، حداقل و میانگین دمای حاصل از تصاویر حرارتی ماهواره لندست ۸ در جدول ۳ نشان داده شده است. گرم‌ترین روز در دوره مطالعاتی، روز ۱۵ تیر ۱۳۹۸ است و مقادیر انحراف معیار این عامل نشان می‌دهد که هرچه دما بیشتر باشد، انحراف معیار نیز بیشتر خواهد بود.

به منظور دستیابی به رابطه بین شاخص‌های مورد نظر (NDVI و FC) و دمای سطح زمین، از رابطه رگرسیونی خطی بین این شاخص‌ها و دمای سطحی سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر استفاده شد که نمودار و رابطه رگرسیونی آن‌ها برای تاریخ ۲۵ مهر ۱۳۹۸ در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب برای ماهواره‌های ترا و آکوا مشاهده می‌شود.

$$\check{T}_{R250}(i) = \check{T}_{R1000}(NDVI_{250}(i)) + \Delta\check{T}_{R1000} \quad (5)$$

جمله اول سمت راست معادله ۵ از معادله ۳ به دست می‌آید به طوری که به جای $NDVI_{1000}$ ، $NDVI_{250}$ جایگزین می‌شود.

روش TsHARP^۱

این روش توسط Agma و همکاران (۲۰۰۷) معرفی شده است. این الگوریتم بر پایه روش DisTRAD بنا شده است و روش به روزتری نسبت به روش DisTRAD محسوب می‌شود. در روش TsHARP پارامترهای مورد نیاز برای بهبود تصاویر از متن محدودده‌ای که به منظور ریزمقیاس‌سازی انتخاب شده است، استخراج می‌شود. لذا رابطه بین T_R و کسر پوشش گیاهی (FC^2) را به صورت محلی نشان می‌دهد (معادله ۶).

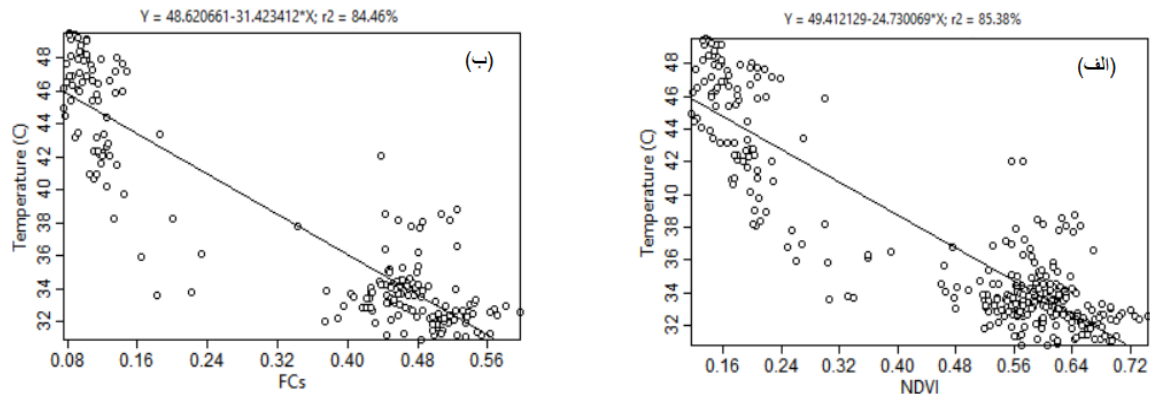
$$\check{T}_R(FC) = f(FC) \quad (6)$$

شاخص FC بر اساس شاخص NDVI توسط رابطه پیشنهادی Choudhury و همکاران (۱۹۹۴) محاسبه می‌شود (Choudhury et al., 1994):

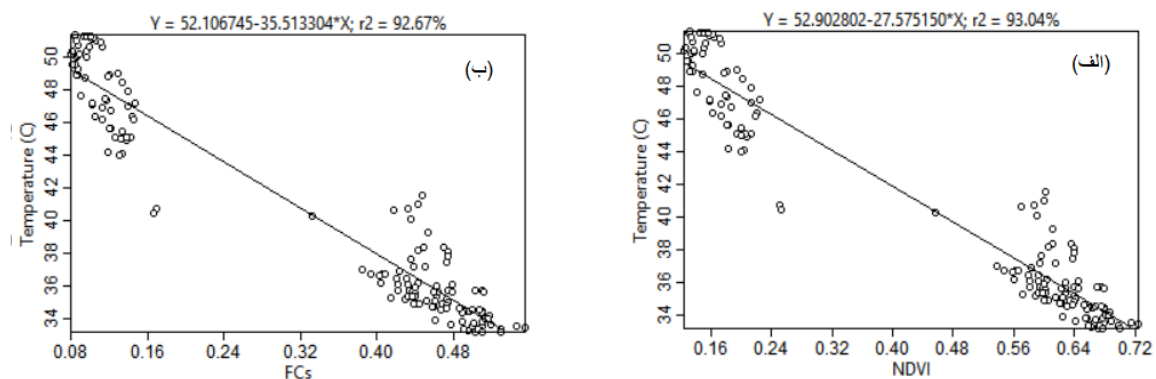
$$FC = 1 - \left(\frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^{0.625} \quad (7)$$

که در آن $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر NDVI را نشان می‌دهند. به منظور ایجاد یک رابطه رگرسیونی معنی‌دار در این روش، به طیف

¹An algorithm for sharpening thermal imagery
²fractional vegetation cover



شکل ۲. رگرسیون خطی بین شاخص الف (NDVI و ب) FCs با دمای سطح زمین (LST) سنجنده مادیس (ماهواره ترا) ۱۰۰۰ متر - ۲۵ مهر ۱۳۹۸



شکل ۳. رگرسیون خطی بین شاخص الف (NDVI و ب) FCs با دمای سطح زمین (LST) سنجنده مادیس (ماهواره آکوا) ۱۰۰۰ متر - ۲۵ مهر ۱۳۹۸

انتظار می‌رود که خطای کم‌تری نسبت به سایر روزها داشته باشند؛ اما نتایج خلاف آن را نشان می‌دهد. با توجه به تحقیقات Gao و همکاران (۲۰۱۲) آبیاری باعث ایجاد خطا در ریزمقیاس‌سازی تصاویر می‌شود. لذا با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه زراعی می‌باشد و در روزهای ۱۸۷ و ۲۹۰ حداکثر تراکم پوشش گیاهی سبز وجود دارد، امکان اینکه در این روزها آبیاری انجام شده باشد، بسیار زیاد است. در نتیجه به دلیل تغییرات رطوبتی زیاد در منطقه، مدل‌های ریزمقیاس‌سازی خطای بیشتری را نشان می‌دهند (Li et al., 2013). زمان عبور ماهواره ترا از منطقه مورد مطالعه بین ساعات ۱۰ الی ۱۱:۵۴ است در صورتی که ماهواره آکوا در حدود ساعت ۱۳:۱۲ الی ۱۳:۱۸ از این منطقه عبور می‌کند. با توجه به اینکه دمای هوا در ساعت ۱۳ تقریباً حداکثر مقدار دما در طول روز را شامل می‌شود لذا بیشتر بودن مقدار خطا در تصاویر ماهواره آکوا احتمالاً به این دلیل است. تنها در روز ۱۲۳

معادله خطی به دست آمده در روش‌های DisTRAD و TsHARP و همچنین، نتایج ارزیابی آماری شاخص خطای RMSE به تفکیک ماهواره‌های ترا و آکوا در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روز ۲۹۰ (ماهواره آکوا) با R^2 حدود ۹۳ و ۹۲/۶ درصد بیش‌ترین میزان همبستگی را به ترتیب بین شاخص NDVI و FC با LST دارا می‌باشد. کم‌ترین میزان R^2 نیز مربوط به روز ۱۲۳ (ماهواره آکوا) با مقدار حدود ۳۵ درصد برای هر دو روش است. همچنین در روز ۹۸ (ماهواره آکوا)، بیش‌ترین مقدار شاخص RMSE برای روش‌های DisTRAD و TsHARP به ترتیب برابر با ۲/۳۳ و ۲/۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. کم‌ترین مقدار شاخص RMSE نیز در روز ۱۱ (ماهواره ترا) مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه در روزهای ۱۸۷ و ۲۹۰ مقدار شاخص NDVI نسبت به سایر روزها بیشتر است لذا،

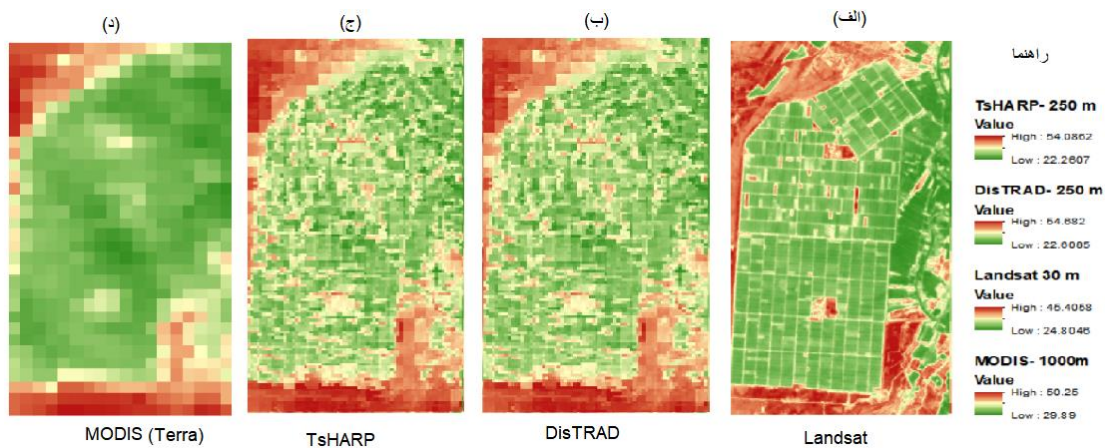
جدول ۴. ارزیابی آماری شاخص‌های سنجش خطای بین تصاویر ریزمقیاس‌شده مادیس با تصاویر اصلی مادیس (۱۰۰۰ متر)

روز (ژولوسی)	ماهواره	الگوریتم	معادله رگرسیونی خطی	R^2	RMSE (C°)	دمای حداقل (C°)	دمای حداکثر (C°)	دمای میانگین (C°)
۱۱	Terra	DisTRAD	$LST = 16.43 - 4.88 \times NDVI$	۶۲/۸۸	۰/۲۲	۱۲/۴۹	۱۹/۴۳	۱۴/۶۵
		TsHARP	$LST = 16.26 - 6.42 \times NDVI$	۶۰/۳۷	۰/۲۲	۱۲/۴۲	۱۹/۳۶	۱۴/۶۵
۹۸	Aqua	DisTRAD	$LST = 21.54 - 9.29 \times NDVI$	۷۳/۴۴	۰/۷۶	۱۲/۹۵	۲۳/۷۲	۱۷/۹۱
		TsHARP	$LST = 21.34 - 12.57 \times NDVI$	۷۲/۲۳	۰/۷۸	۱۲/۳۵	۲۳/۶۹	۱۷/۹۱
۱۲۳	Terra	DisTRAD	$LST = 30.9 - 31.43 \times NDVI$	۵۵/۰۸	۰/۶۷	۱۷/۴۳	۴۲/۴	۳۴/۳۱
		TsHARP	$LST = 30.9 - 31.43 \times NDVI$	۵۴/۴۹	۰/۶۵	۱۸/۶۳	۴۲/۴۲	۳۴/۳۱
۱۸۷	Aqua	DisTRAD	$LST = 51.49 - 41.11 \times NDVI$	۵۹/۰۶	۲/۷۳	۱/۶۹	۶۱/۷۷	۴۱/۳۵
		TsHARP	$LST = 50.91 - 57.87 \times NDVI$	۵۸/۰۱	۲/۶	۵/۷۳	۵۹/۶	۴۱/۳۵
۲۹۰	Terra	DisTRAD	$LST = 50.38 - 40.71 \times NDVI$	۵۳/۶۴	۱/۷۷	۱۳	۶۰/۷	۴۱/۲۷
		TsHARP	$LST = 50.04 - 59.67 \times NDVI$	۵۳/۶۵	۱/۷	۱۴/۳۱	۵۹/۳۵	۴۱/۲۷
۲۹۰	Aqua	DisTRAD	$LST = 46.25 - 35.59 \times NDVI$	۳۵/۸۲	۰/۷	۲۶	۴۸/۶۹	۳۷/۵۷
		TsHARP	$LST = 45.85 - 51.5 \times NDVI$	۳۵/۳۱	۰/۷	۲۶/۳۹	۴۸/۶۸	۳۷/۵۷
۲۹۰	Terra	DisTRAD	$LST = 55.36 - 25.94 \times NDVI$	۸۷/۵۳	۲/۴۷	۲۲/۹	۶۱/۸۸	۴۴/۲۱
		TsHARP	$LST = 53.89 - 31.26 \times NDVI$	۸۱/۱۳	۲/۴۴	۲۵/۸	۶۲/۲	۴۴/۲۱
۲۹۰	Aqua	DisTRAD	$LST = 62 - 30.45 \times NDVI$	۸۷/۰۹	۲/۶۴	۲۷/۹۱	۶۵	۴۹
		TsHARP	$LST = 61.27 - 40.31 \times NDVI$	۸۶/۳۳	۲/۵۹	۲۴/۹۱	۶۶/۵۷	۴۹
۲۹۰	Terra	DisTRAD	$LST = 49.41 - 24.73 \times NDVI$	۸۵/۳۸	۲/۴۴	۲۲/۶	۵۴/۶۸	۳۶/۶۵
		TsHARP	$LST = 48.62 - 31.42 \times NDVI$	۸۴/۴۶	۲/۳۸	۲۲/۲۶	۵۴/۰۸	۳۶/۶۵
۲۹۰	Aqua	DisTRAD	$LST = 52.9 - 27.57 \times NDVI$	۹۳/۰۴	۲/۵۷	۲۴/۶۶	۵۸/۰۷	۳۸/۸۷
		TsHARP	$LST = 52.1 - 35.51 \times NDVI$	۹۲/۶۷	۲/۵۲	۲۴/۱۴	۵۷/۹۷	۳۸/۸۷

مقدار RMSE ماهواره آکوا کم‌تر از مقدار RMSE ماهواره ترا است که با توجه به مقدار بسیار کم ضریب تعیین (۳۵/۸۲)، معادله رگرسیونی به‌دست آمده قابل استناد نمی‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در اکثر روزها مقدار RMSE در روش TsHARP کمتر از DisTRAD است که نشان دهنده برتری روش TsHARP نسبت به DisTRAD می‌باشد؛ اما مقدار این اختلاف زیاد نبوده و بهبود نسبی قابل توجهی در نتایج حاصل نشده است.

تصویر اصلی دمای سطح سنجنده مادیس (۱۰۰۰متر)، تصویر حاصل از روش‌های ریزمقیاس‌سازی DisTRAD و TsHARP (۲۵۰متر) و تصویر دمای سطح ماهواره لندست ۸ (۳۰ متر) برای تاریخ ۲۵ مهر ماه ۱۳۹۸ به ترتیب برای ماهواره ترا و آکوا در شکل‌های ۴ و ۵ نشان

داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود از لحاظ بصری، تصاویر حاصل از روش‌های DisTRAD و TsHARP نسبت به تصویر اصلی سنجنده مادیس قدرت تفکیک مکانی بالاتری دارند؛ اما در مقایسه با تصویر ۳۰ متری لندست ۸ از قدرت تفکیک مکانی پایین‌تری برخوردار است. همان‌طور که در شکل ۴، (ب) و (ج) مشاهده می‌شود، روش‌های DisTRAD و TsHARP با میانگین دمای به ترتیب در حدود ۳۸/۳ و ۳۸/۱ درجه سانتی‌گراد نتایج بسیار مشابه دارند و هر دو روش نسبت به تصویر ۱۰۰۰ متری مادیس (ترا) جزئیات بیشتری را نشان می‌دهند. میانگین دما در تصویر سنجنده مادیس و ماهواره لندست ۸ که در شکل‌های (د) و (الف) نشان داده شده‌اند به ترتیب حدود ۳۹/۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. لذا در تصاویر ریز مقیاس شده مادیس حدود ۱/۳



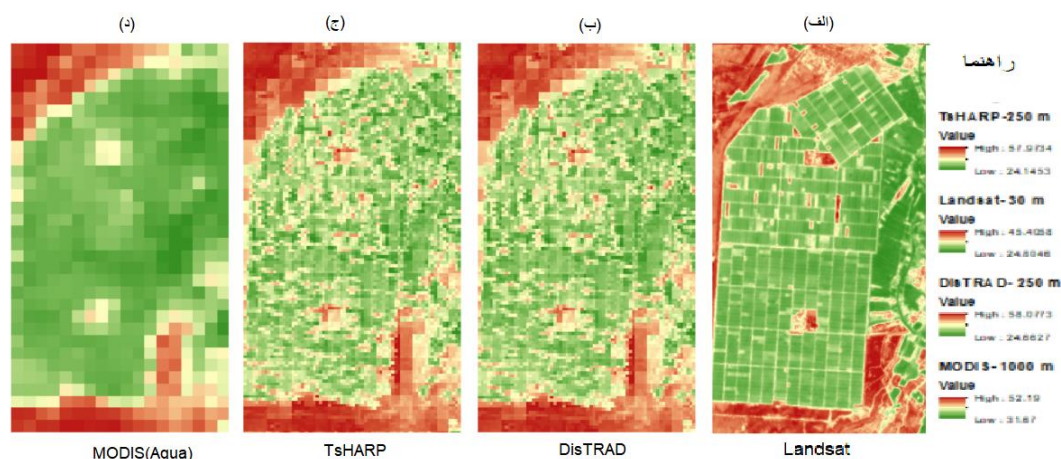
شکل ۴. عملکرد روش‌های ریزمقیاس‌سازی نسبت به تصویر مادیس اصلی و ماهواره لندست ۸ (الف) تصویر دمای سطح ماهواره لندست ۸-۳۰ متر، (ب) تصویر دمای سطح روش DisTRAD-250 متر، (ج) تصویر دمای سطح روش TsHARP-250 متر، (د) تصویر دمای سطح اصلی مادیس (۱۰۰۰ متر)، ماهواره ترا، ۲۵ مهر ۱۳۹۸

نسبت به مادیس (آکوا) به ترتیب با RMSE برابر با ۵/۹ و ۷/۷۴ درجه سانتی‌گراد نتایج بهتری را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، خطای ناشی از ماهواره ترا نسبت به ماهواره آکوا کمتر می‌باشد که با توجه به این که عمده‌ترین اختلاف بین ترا و آکوا در زمان تصویربرداری آن‌ها است و دمای سطح زمین به‌شدت به ساعت از روز وابسته است، لذا احتمالاً اختلاف ناشی از نتایج ترا و آکوا به دلیل اختلاف در ساعت تصویربرداری می‌باشد.

با توجه به عدم دسترسی به داده‌های مشاهداتی دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه، برای ارزیابی نتایج از داده‌های دمای سطح زمین ماهواره لندست ۸ به‌عنوان معیار، استفاده شد. در جدول ۵، نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های سنجش خطا برای روش‌های DisTRAD و TsHARP به تفکیک ماهواره ترا و آکوا و ارزیابی آن‌ها با داده‌های دمای سطح زمین حاصل از ماهواره لندست ۸ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵، کم‌ترین مقدار RMSE در روز ۱۱ (ماهواره ترا) با مقدار ۲ درجه سانتی‌گراد و MBE برابر با ۱/۶۲+ درجه سانتی‌گراد و بیشترین مقدار RMSE در روز ۹۸ (ماهواره آکوا) با مقدار ۹/۲۹ درجه سانتی‌گراد و MBE برابر با ۸+ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. زمان عبور ماهواره لندست ۸

درجه سانتی‌گراد کم برآورد نسبت به مادیس ۱۰۰۰ متری و حدود ۳/۲ درجه سانتی‌گراد بیش برآورد نسبت به تصویر لندست ۸، ۳۰ متری مشاهده می‌شود. با توجه به تصاویر (ب) و (ج) در مقایسه با تصویر (د)، ریز مقیاس‌سازی انجام شده نتایج بهتری را در مناطق با دمای پایین‌تر که دارای پوشش گیاهی است (مناطق سبز رنگ) نسبت به مناطق با دمای بالاتر که دارای پوشش گیاهی نیست (مناطق قرمز رنگ)، نشان می‌دهد که با تحقیقات قبلی مطابقت دارد (Yang et al., 2017; Sharma et al., 2020).

نتایج حاصل از ریزمقیاس‌سازی تصاویر مادیس (آکوا) در شکل ۵ (ب) و (ج) نشان داده شده است. میانگین دمای سطح زمین در روش DisTRAD و TsHARP به ترتیب در حدود ۴۱/۳ و ۴۱ درجه سانتی‌گراد است. در حالی که برای سنجنده مادیس و ماهواره لندست به ترتیب در حدود ۴۱/۹ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که روش‌های ریز مقیاس‌سازی مذکور حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به تصویر مادیس (آکوا) کم برآورد و حدود ۶/۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به تصویر لندست بیش برآورد دارند. در مقایسه بین مادیس ترا و آکوا، در تاریخ ۲۵ مهر ۱۳۹۸ در کشت و صنعت امیرکبیر، ریز مقیاس‌شده تصاویر مادیس (ترا)



شکل ۵. عملکرد روش‌های ریزمقیاس‌سازی نسبت به تصویر مادیس اصلی و ماهواره لندست ۸ (الف) تصویر دمای سطح ماهواره لندست ۸-۳۰ متر، (ب) تصویر دمای سطح روش DisTRAD-250 متر، (ج) تصویر دمای سطح روش TsHARP-250 متر، (د) تصویر دمای سطح اصلی مادیس (۱۰۰۰متر)، ماهواره آکوا، ۲۵ مهر ۱۳۹۸

جدول ۵. ارزیابی آماری شاخص‌های سنجش خطا بین تصاویر ریزمقیاس‌شده مادیس با تصاویر ماهواره لندست ۸ (۲۵۰ متر)

روز (ژولوسی)	ماهواره	الگوریتم	RMSE(C ^۰)	MBE(C ^۰)
۱۱	Terra	DisTRAD	۲	+۱/۶۲
		TsHARP	۲/۰۲	+۱/۶۲
	Aqua	DisTRAD	۵	+۴/۸۸
		TsHARP	۵	+۴/۸۸
۹۱	Terra	DisTRAD	۳/۵۳	+۰/۹۶
		TsHARP	۳/۵۲	+۰/۹۶
	Aqua	DisTRAD	۹/۲۹	+۸
		TsHARP	۹/۲۱	+۸
۱۲۳	Terra	DisTRAD	۵/۱۲	+۲/۶۳
		TsHARP	۵/۰۵	+۲/۶۳
	Aqua	DisTRAD	۴/۶۳	-۱
		TsHARP	۴/۶۲	-۱
۱۸۷	Terra	DisTRAD	۴/۵	+۰/۱۹
		TsHARP	۴	+۰/۱۹
	Aqua	DisTRAD	۶/۸۹	+۵
		TsHARP	۶/۸	+۵
۲۹۰	Terra	DisTRAD	۵/۴۱	+۳/۹
		TsHARP	۵/۴۲	+۳/۹
	Aqua	DisTRAD	۷/۴۴	+۶/۳
		TsHARP	۷/۴	+۶/۳

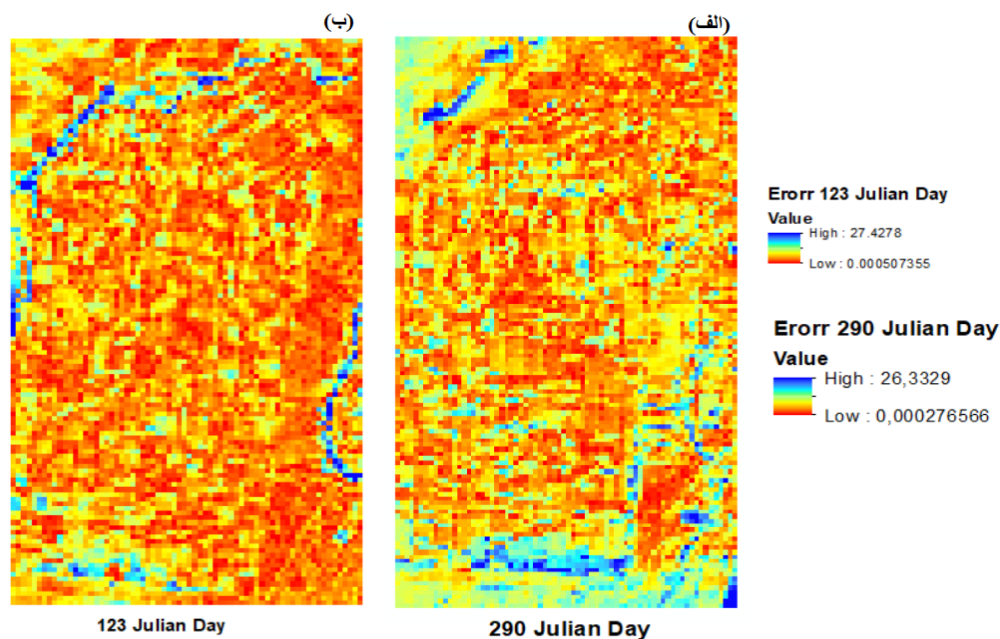
مقدار شاخص گیاهی (NDVI) در روز ۲۹۰ حداکثر و در روز ۱۲۳ حداقل مقدار را دارد. لذا بنا به اظهارات سایر محققین مقدار خطای کم‌تری برای روز ۲۹۰ انتظار می‌رود (Yang et al., 2017; Mukherjee et al., 2015)؛ اما با توجه به جدول ۴ و ۵ این انتظار برآورده نشده است. البته

از منطقه مورد مطالعه بین ساعت ۱۰:۴۵ الی ۱۰:۵۲ است. لذا با توجه به این که زمان عبور ماهواره لندست ۸ به زمان عبور ماهواره ترا (۱۰ الی ۱۱:۵۴) نزدیک‌تر می‌باشد، لذا مقدار خطای بین تصاویر ماهواره لندست و ماهواره ترا نسبت به ماهواره آکوا کمتر است.

سطح زمین در منطقه را نشان دهد. از این رو برای بهبود نتیجه ریزمقیاس نمودن تصویر به اطلاعات اضافی از منطقه نظیر پوشش گیاهی دقیق منطقه، کسر پوشش گیاهی، تابش و آلبیدو نیاز است (Inamdar et al., 2008; Dominguez et al., 2011). لذا در روز ۲۵ مهر که اختلاف دمای بین زمین با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی زیاد است، به دلیل عدم همگنی در تصویر، رابطه خطی به خوبی عمل نکرده و خطای (۲/۴۴ سانتی‌گراد) بیش‌تری را نسبت به روز ۱۳ اردیبهشت (۰/۶۷ سانتی‌گراد) که در پیکسل‌های انتخابی اختلاف دمای زیادی وجود ندارد، نشان می‌دهد. به منظور آزمون رگرسیون غیرخطی در منطقه برای روز ۲۵ مهر، تصویر LST توسط رابطه غیرخطی بین LST و NDVI ریز مقیاس شد که نتایج نشان دهنده افزایش مقدار خطا (حدود ۶/۷ سانتی‌گراد) برای هر دو روش ریزمقیاس‌سازی بود. با توجه به تحقیقات گائو و همکاران استفاده از روش‌های جایگزین نظیر رگرسیون درختی به جای رگرسیون ساده خطی و غیرخطی می‌تواند تا حدی این مشکل را مرتفع کند (Gao et al., 2012).

همان‌طور که انتظار می‌رفت مقدار همبستگی بین شاخص NDVI و دمای سطح زمین LST در روزهای ۱۸۷ و ۲۹۰ حداکثر مقدار است ولی تقریباً مقدار RMSE بالاتری نسبت به سایر روزها مشاهده می‌شود. از این رو به منظور تشخیص منابع خطا، نقشه مقدار خطا برای روزهای ۱۲۳ و ۲۹۰ رسم شد که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روز ۱۲۳ (شکل ۶ (ب))، بیشترین مقدار خطا در محدوده رودخانه کارون و در کانال اصلی بخش شمالی کشت و صنعت مشاهده می‌شود ولی در روز ۲۹۰ (شکل ۶ (الف))، علاوه بر مقدار خطای در محدوده رودخانه کارون و بخش شمالی کشت و صنعت، بخش شمال غربی (محدوده روستایی) و بخش جنوبی (زمین بایر) نیز درگیر خطا است و در بخش مرکزی که زمین‌های کشت شده قرار دارند نیز به‌طور پراکنده مقداری خطا مشاهده می‌شود.

در حالی که مزیت اصلی استفاده از رابطه رگرسیونی خطی بین LST و NDVI سادگی آن است، اما این رابطه خطی که بر اساس پیکسل‌های با حداقل مقدار CV به دست آمده است نمی‌تواند به خوبی شرایط انواع پوشش



شکل ۶. نقشه پراکنده‌گی خطای مطلق (الف) روز ۲۹۰ و (ب) روز ۱۲۳

جدول ۶. ارزیابی آماری شاخص‌های سنجش خطا بین تصاویر ریزمقیاس‌سازی شده سنجنده مادیس و تصاویر ماهواره لندست (۳۰۰ متر)

R ² (DisTRAD-Landsat)	RMSE (DisTRAD - Landsat) (C ^۹)	R ² (LST ^(MODIS) -NDVI ^(Landsat))	R ² (NDVI ^(MODIS) -NDVI ^(Landsat))	روز (ژولوسی)
-----	-----	۳۶/۰۹	۶۸/۴۶	۱۱
-----	-----	-----	۶۹/۱۵	۹۸
-----	-----	۴۶/۱۶	۸۴/۲۸	۱۲۳
۶۶/۵۳	۳/۶	۸۱/۴۹	۸۴/۲۸	۱۸۷
۶۴/۵	۵/۵	۸۳/۰۶	۷۴/۲۳	۲۹۰

مقدار میانگین NDVI را در میان روزهای انتخابی دارا می‌باشند، پروسه ریزمقیاس‌سازی انجام شد. نتایج حاکی از آن است که با کالیبراسیون سنسور ماهواره‌ها می‌توان با خطای ۳/۶ درجه سانتی‌گراد و ضریب تعیین ۶۶/۵۳ درصد برای روز ۱۸۷ و خطای ۵/۵ درجه سانتی‌گراد و ضریب تعیین ۶۴/۵ برای روز ۲۹۰، تصویر دمای سطح زمین سنجنده مادیس را از ۱۰۰۰ متر تا ۳۰۰ متر ریزمقیاس‌سازی کرد.

نتیجه‌گیری

داده‌های دمای سطح زمین یک پارامتر کلیدی برای محاسبه تبخیر-تعرق و بیلان انرژی محسوب می‌شود. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های مشاهداتی کافی به منظور بررسی تغییرات مکانی دما در مقیاس مزرعه، ریزمقیاس‌سازی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس (روزانه) کمک شایانی به مدیریت زراعی خواهد کرد. هدف اصلی از انجام این پژوهش ریزمقیاس‌سازی مکانی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس از ۱۰۰۰ متر به ۲۵۰ متر است. این پژوهش در محدوده کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر انجام و رابطه بین NDVI و LST بررسی شد که نتایج حاکی از همبستگی (معکوس) بین این دو پارامتر است. دو روش ریزمقیاس آماری DisTRAD و TsHARP با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس از ماهواره ترا و آکوا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که مقدار RMSE در روش TsHARP در اکثر روزها کمتر از روش DisTRAD است اما مقدار این اختلاف ناچیز است.

در ادامه به منظور بررسی نتایج ریزمقیاس‌سازی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس توسط ماهواره لندست، ابتدا تصاویر شاخص NDVI ماهواره لندست محاسبه شد، سپس با استفاده از رابطه بین NDVI ماهواره لندست و LST سنجنده مادیس پروسه ریزمقیاس‌سازی انجام شد. با توجه به اینکه زمان گذر ماهواره ترا و لندست نزدیک به هم می‌باشد لذا در این بخش تنها از تصاویر ماهواره ترا استفاده شده است. به منظور کالیبراسیون سنجنده ماهواره‌ها از رابطه بین شاخص NDVI در مقیاس بزرگ‌تر به منظور تولید شاخص NDVI معادل سنجنده مادیس در مقیاس کوچک‌تر استفاده شد (Steven *et al.*, 2003). جزئیات نتایج پروسه ریزمقیاس‌سازی تصویر LST سنجنده مادیس در جدول ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در روز ۹۸ کمترین مقدار همبستگی بین NDVI سنجنده مادیس و ماهواره لندست وجود دارد. لذا در صورت پذیرفتن مقدار همبستگی ۵۰ درصد به عنوان حداقل مقدار همبستگی قابل قبول به منظور ادامه پروسه ریزمقیاس‌سازی، از ادامه کار برای این روز به دلیل بالا بودن خطا صرف نظر شد. شایان ذکر است که در روز ۹۸ که برابر با ۱۹ فروردین می‌باشد، میانگین NDVI برابر با ۰/۲ است. برای روزهای ۱۱ و ۱۲۳ پروسه ریزمقیاس‌سازی انجام شد اما با توجه به اینکه همبستگی بین LST سنجنده مادیس و NDVI ماهواره لندست کمتر از ۵۰ درصد شد، از ادامه پروسه ریزمقیاس‌سازی برای این روزها به دلیل بالا بودن خطا صرف نظر شد؛ اما برای روزهای ۱۸۷ و ۲۹۰ که بالاترین

همچنین میانگین دمای سطح زمین تصاویر ریزمقیاس‌سازی شده توسط هر دو مدل مقدار کاملاً یکسانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، همبستگی بین شاخص NDVI و پارامتر LST در مناطق با پوشش گیاهی بیش‌تر، نتیجه بهتری را نشان می‌دهد. لذا پیرو ریزمقیاس‌سازی نیز با دقت بالاتری انجام می‌شود. بررسی نتایج حاکی از آن است که به‌طور کلی ماهواره ترا نتایج بهتری را نسبت به ماهواره آکوا برای ریزمقیاس‌سازی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ماهواره ترا بین ساعات ۱۰ الی ۱۱:۵۴ و ماهواره آکوا در حدود ساعت ۱۳:۱۲ الی ۱۳:۱۸ از این منطقه عبور می‌کند. لذا اختلاف نتایج بین این دو ماهواره احتمالاً به دلیل زمان تصویربرداری آن‌ها از منطقه مورد نظر می‌باشد.

تغییرات رطوبتی خاک و پهنه‌های آبی نظیر رودخانه کارون از عوامل اصلی ایجاد خطا در این روش‌ها هستند که متأسفانه با معادله رگرسیون خطی ساده نمی‌توان تغییرات آن‌ها را در فرآیند ریزمقیاس‌سازی اعمال کرد. لذا استفاده از معادلات رگرسیونی دیگر نظیر رگرسیون درختی به‌جای معادله ساده خطی به‌منظور بررسی سایر پارامترهای تأثیرگذار بر نتایج و همچنین استفاده از مدل‌های تخمین تغییرات رطوبت خاک ممکن است باعث بهبود نتایج شود.

با توجه به اینکه خطای بین تصویر ریزمقیاس‌سازی شده ۲۵۰ متری و تصویر اصلی ۱۰۰۰ متری در بدترین حالت برای ماهواره ترا کمتر از ۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد است، پس استفاده از روش DisTRAD و یا TsHARP در زمین‌های کشاورزی با پوشش یکنواخت گیاهی که رابطه معکوس بین شاخص NDVI و LST برقرار است، پیشنهاد می‌شود.

References:

- Agam, N., Kustas, WP., Anderson, MC. and Li, F. 2007. A vegetation index-based technique for spatial sharpening of thermal imagery. *Remote Sens Environ.* 107:545–558.
- Berni, J.A., Zarco-Tejada, P.J., Suárez, L. and Fereres, E. 2002. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47: 722–738.
- Choudhury, B. J., Ahmed, N. U., Idso, S. B., Reginato, R. J. and Daughtry, C. S. T. 1994. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. *Remote Sensing of Environment.* 50: 1–17.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M. and Liu, Y. 2018. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 67: 30–42.
- Dominguez, A., Kleissl, J., Luvall, J.C. and Douglas, L. 2011. High-Resolution Urban Thermal Sharpener (HUTS). *Remote Sensing of Environment.* 115 (7): 1772
- Essa, W., Verbeiren, B., van der Kwast, J., Voorde, T.V. and Batelaan, O. 2012. Evaluation of the DisTrad thermal sharpening methodology for urban areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 19: 163–17.
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J., Hook, S. and Kahle, A.A.B. 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 36: 1113–1126.
- Gao, F., Kustas, W.P. and Anderson, M.C. 2012. A Data Mining Approach for Sharpening Thermal Satellite Imagery over Land. *Remote Sens.* 4:3287-3319.
- 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 Sens.* 11:1240.
- 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. *Sustain. Cities Soc.* 44: 416–427.
- Inamdar, A.K., French, A., Hook, S., Vaughan, G. and Lockett, W. 2008. Land surface temperature retrieval at high spatial and temporal resolutions over the southwestern United States. *J. Geophys. Res.* 113:D07107.

- 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 Sens Environ.* 85:429–440.
- Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., Ren, H., Yan, G. and Wan, Z. 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sens. Environ.* 131: 14–37.
- Mukherjee, S., Joshi, P. K. and Garg, R. 2015. Evaluation of LST downscaling algorithms on seasonal thermal data in humid subtropical regions of India. *International Journal of Remote Sensing.* 36(10):2503-2523.
- Purbantoro, B., Aminuddi, J., Manago, N. and Toyoshima, K. 2019. Comparison of Aqua/Terra MODIS and Himawari-8 Satellite Data on Cloud Mask and Cloud Type Classification Using Split Window Algorithm. *Remote Sens.* 11(24): 2944.
- Raoufi, R. and Beighley, E. 2017. Estimating Daily Global Evapotranspiration Using Penman–Monteith Equation and Remotely Sensed Land Surface Temperature. *Remote Sens.* 9: 1138.
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 6:85–100.
- Sousa, D. and Small, C. 2019. Mapping and Monitoring Rice Agriculture with Multisensor Temporal Mixture Models. *Remote Sens.* 11:181.
- Sobrino, J.A., Del Frate, F., Drusch, M., Jiménez-Muñoz, J.C., Manunta, P. and Regan, A. 2016. Review of thermal infrared applications and requirements for future high-resolution sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 54:2963–2972.
- Sharma, K.V., Khandelwal, S. and Kaul, N. 2020. Downscaling of Coarse Resolution Land Surface Temperature Through Vegetation Indices Based Regression Models. *Applications of Geomatics in Civil Engineering.* 625-636.
- Yang, Y., Cao, C., Pan, X., Li, X. and Zhu, X. 2017. Downscaling Land Surface Temperature in an Arid Area by Using Multiple Remote Sensing Indices with Random Forest Regression. *Remote Sens.* 9: 789.



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 11
No. 2
Winter 2022

Received:
2021-10-22

Accepted:
2021-12-18

Pages: 133-147

Evaluation of DisTRAD and TsHARP Downscaling Methods to Increase the Spatial Resolution of MODIS Thermal Images

Zohreh Faraji¹, Abbas Kaviani^{2*} and Peyman DaneshkarArasteh³

- 1) Ph.D. candidate student, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
 - 2) Associated Professor, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
 - 3) Associated Professor, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
- *Corresponding author email: Kaviani@Eng.Ikiu.ac.ir

Abstract

Background and Aim: Land surface temperature (LST) is a key boundary condition in many ground-based modeling schemes based on remote sensing. Previous literature has shown that LST products from satellite imagery can be used to detect land surface changes, including urbanization, deforestation and desertification, which can improve our ability to monitor surface changes continuously. The objective of the present study was to evaluate the results of DisTRAD and TsHARP thermal sharpening methods to downscale the spatial resolution of MODIS LST from 1000 m to 250 m.

Method: The research method in the present article is applied in terms of purpose and based on correlation relations in terms of method of work.

Results: The performance of DisTRAD and TsHARP thermal downscaling methods were evaluated by the Root Mean Square Error (RMSE) and the Mean Bias Error (MBE) between the downscaled and original LSTs. Statistical analysis showed that the RMSE between the downscaled images of DisTRAD and TsHARP methods with the original LST (1000 m (terra)) for 3 May 2019 were found to be 1.77 ° C and 1.7 ° C, respectively, whereas the R² were found to be about 53% and for 17 October 2019, the RMSE were found to be 2.44 ° C and 2.38 ° C respectively, whereas the R² were found to be about 85%.

Conclusion: The study of the results of Terra and Aqua satellites generally shows the superiority of Terra satellite results over Aqua. The main reason could be the different passage times of the satellites from the study area. Since that changes in soil moisture and water body such as the Karun River are common sources of error, so the use of these methods is recommended only in areas without excessive changes in moisture.

Keywords: LST, NDVI, Linear regression, Amirkabir agro-industry

