



# سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷  
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.10, No.3, Autumn 2018

۱۴۰-۱۲۳

## ریزمقیاس نمایی تصویر مادیس به منظور تهیه نقشه تبخیر-تعرق روزانه با قدرت تفکیک تصویر لندست با استفاده از الگوریتم‌های STARFM و SADFDT

حمید صالحی<sup>۱</sup>، علی شمس‌الدینی<sup>۲\*</sup>، سید مجید میرلطیفی<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۹/۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۴/۵

### چکیده

داده‌های اخذ شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای، به طور معمول به سه دسته تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین، متوسط و بالا تقسیم می‌شوند. بسیاری از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین و متوسط و قدرت تفکیک زمانی بالا، به راحتی در دسترس کاربران هستند، در حالی که تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، در اکثر مواقع دارای قدرت تفکیک زمانی بالایی نیستند و یا به صورت تجاری و با هزینه بالا در دسترس هستند. علاوه بر این، تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا معمولاً فاقد باندهای حرارتی بوده و لذا در مدل کردن فرآیندهای طبیعی، مانند تبخیر-تعرق با محدودیت مواجه هستند. تولید نقشه‌های تبخیر-تعرق روزانه، با قدرت تفکیک مکانی بالا، همواره یکی از چالش‌های محققان سنجش از دور بوده است. هدف این مطالعه، امکان سنجی تولید نقشه‌های تبخیر-تعرق روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است. این تحقیق بر روی زمین‌های کشت و صنعت امیرکبیر اجرا شده است. برای این منظور ابتدا از بین باندهای ۳۶ گانه تصویر مادیس، باندهایی که از لحاظ طیفی، تقریباً معادل با تصویر لندست ۸ بودند، شناسایی شدند. سپس با استفاده از الگوریتم‌های STARFM و SADFDT و تصاویر لندست ۸ و مادیس، باندهای مرئی و مادون قرمز با قدرت تفکیک مکانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تولید شدند و در نهایت با استفاده از الگوریتم سبال، نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی از باندهای شبیه‌سازی شده تولید شدند. مقایسه تبخیر-تعرق‌های شبیه‌سازی شده با تبخیر-تعرق‌های به دست آمده با روش فائو-پنمن-مانتیت نشان دهنده  $RMSE = 2.53 \frac{mm}{day}$  و  $R^2 = 0.69$  است. همچنین مقایسه تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده با تبخیر-تعرق حاصل از تصویر لندست ۸، در همان روز نشان دهنده  $RMSE = 0.68 \frac{mm}{day}$  و  $R^2 = 0.94$  است که نشان دهنده عملکرد خوب چهارچوب پیشنهادی برای ریزمقیاس نمایی در این مطالعه است.

**کلید واژه‌ها:** ریزمقیاس نمایی، تبخیر-تعرق، مادیس، لندست ۸، الگوریتم سبال، STARFM، SADFDT

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. تلفن: ۰۹۱۵۵۰۳۴۵۲۲

## ۱- مقدمه

تبخیر-تعرق<sup>۱</sup> (ET)، بخش اصلی بیلان چرخه آب را تشکیل می‌دهد. تخمین دقیق تبخیر-تعرق واقعی<sup>۲</sup> ( $ET_a$ ) در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی برای کاربردهای مختلف از جمله کشاورزی و مدیریت منابع آب، اعم از برنامه‌ریزی آبیاری و مدل‌سازی رشد گیاه و یا پیش‌بینی محصول، مورد نیاز است (Steine et al., 1991). لذا تعیین دقیق تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، به دلیل اهمیت آن، همواره یکی از دغدغه‌های متخصصان است. با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و بالا بودن هزینه و زمان جمع‌آوری اطلاعات زمینی، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، در صورت برخورداری از دقت خروجی مناسب، می‌تواند ابزار مناسبی برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی باشد. یکی از متداول‌ترین روش‌های تعیین تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، روش سبال (Bastiaanssen et al., 2002) است. حفیظ و همکاران (۲۰۰۲)، نتایج تبخیر-تعرق واقعی روزانه محاسبه شده توسط الگوریتم سبال و سنجنده استر<sup>۳</sup> را با  $ET_o$  (ET) مرجع محاسبه شده با معادله فائو-پنمن-مانتیتش،  $ET_{pan}$  (ET) اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی،  $ET_c$  (ET) بدست آمده با  $K_c = 0/9$  محاسبه شده، توسط داده‌های هواشناسی، مقایسه نموده و نشان دادند که مدل سبال از دقت مناسبی برخوردار است. در تحقیقی دیگر، چندراپالا و ویمالاسوریا (۲۰۰۳)، تبخیر-تعرق واقعی بدست آمده از روش سبال را با  $ET_a$  اندازه‌گیری شده توسط دستگاه

سنٹیلومتر<sup>۵</sup> مقایسه کردند. نتایج نشان داد که اختلاف بین مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده در دوره ده روزه و ماهیانه به ترتیب ۱۷٪ و ۱٪ است. با توجه به تحقیقات ارائه شده، عملکرد مدل سبال به منظور تخمین تبخیر-تعرق واقعی خوب ارزیابی شده است. از طرفی، در طراحی ماهواره‌ها بین قدرت تفکیک‌های مکانی، زمانی و طیفی یک تعادل ایجاد می‌شود (Emelyanova et al., 2013). به دلیل محدودیت‌های فنی، بیشتر ماهواره‌ها نمی‌توانند به طور همزمان، تصاویر با قدرت تفکیک‌های مکانی، زمانی و طیفی بالا جمع‌آوری کنند (قاسمیان و الیاسی، ۱۳۸۷). بسیاری از ماهواره‌هایی که قدرت تفکیک مکانی بالایی دارند در مقایسه با ماهواره‌هایی که قدرت تفکیک مکانی متوسط دارند، دارای قدرت تفکیک زمانی و طیفی پایین‌تری هستند (Emelyanova et al., 2013). به طور مثال از تصاویر لندست، با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالا در بسیاری از کاربردهای محیطی از جمله تهیه نقشه‌های تبخیر-تعرق استفاده می‌شود. با توجه به قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه (Gao et al., 2006) و احتمال پوشش ابر در تصاویر لندست (Roy et al., 2008)، در استفاده از این تصاویر به منظور پایش تغییرات دینامیکی از سطح زمین محدودیت جدی وجود دارد. از سوی دیگر، تصاویر مادیس، دارای قدرت تفکیک زمانی روزانه است، اما قدرت تفکیک مکانی پایین آن باعث شده که کارایی آن برای کاربردهای محیطی محدود شود (Gevaert et al., 2015). بنابراین پایش فرآیندهای محیطی مانند تبخیر-تعرق واقعی با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا توسط سنجنده‌ای

<sup>۲</sup> Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

<sup>۴</sup> Crop coefficient

<sup>۵</sup> Scintillometer

<sup>۱</sup> Evapotranspiration

<sup>۲</sup> Actual evapotranspiration

استفاده نمودند. این محققان با مقایسه تصاویر ریزمقیاس شده با تصاویر به دست آمده از سنجنده ETM+ نتایج را خوب ارزیابی نمودند. با توجه به دقت بالای الگوریتم STARFM می توان از الگوریتم مذکور برای شبیه سازی باندهای بازتابندگی لندست، در جهت پایش فرآیندهای محیطی استفاده کرد. هرچند به منظور پایش برخی فرآیندهای محیطی، مانند تبخیر-تعرق با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا علاوه بر باندهای بازتابندگی، باندهای حرارتی نیز لازم است. لذا فقط با استفاده از الگوریتم STARFM نمی توان برخی از فرآیندهای محیطی مانند تبخیر-تعرق با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا را پایش نمود. برایندهو و همکاران (۲۰۱۳) نیز در جنوب تامیل نادو<sup>۳</sup> و بخشی از حوضه رودخانه تامیرا پارانی<sup>۴</sup> (هند) به مساحت ۵۶۶۵ کیلومتر مربع با روش ترکیبی غیرخطی NL-DisTrad<sup>۵</sup>، دمای سطح زمین (LST) بدست آمده از تصویر مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۹۶۰m را به مقیاس لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۶۰m ریز-مقیاس کردند. آنها LST ریزمقیاس شده با روش NL-DisTrad را با LST ریزمقیاس شده با روش TSHARP<sup>۶</sup> و LST بدست آمده از تصویر لندست ۷، مقایسه کردند. در این مطالعه RMSE برای روش NL-DisTrad برابر ۰/۹۶ درجه کلون و برای روش TSHARP برابر ۱/۹۱ درجه کلون گزارش شد. ایشان همچنین تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل SEBAL با استفاده از LST ریزمقیاس شده با روش NL-DisTrad را با تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل SEBAL با استفاده از LST ریزمقیاس شده با روش TSHARP و

واحد، ممکن نیست. برای آنکه بتوان فرآیندهای محیطی مانند تبخیر-تعرق واقعی را هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی با دقت بالا برآورد کرد، معمولا از روش های ترکیب تصاویر استفاده می شود (Ha et al., 2013). در ترکیب تصاویر از داده های دو یا چند سنجنده به عنوان ورودی استفاده می شود و یک خروجی که حاوی اطلاعات بیشتر نسبت به تصاویر ورودی است، حاصل می شود. در این میان، ریزمقیاس نمایی<sup>۱</sup> به افزایش قدرت تفکیک مکانی داده های سنجنش از دور با استفاده از ترکیب داده های جداگانه اطلاق می شود (Atkinson., 2013). به عنوان مثال ریزمقیاس نمایی تصاویر مادیس با استفاده از داده های لندست می تواند تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و قدرت تفکیک زمانی یک روز ایجاد کند.

روش های متعددی، برای ریزمقیاس کردن داده های سنجنش از دور، تاکنون ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته اند. در سال ۲۰۰۶ گااو و همکاران به منظور دستیابی به تصاویر با وضوح بهتر و قدرت تفکیک زمانی- مکانی بالاتر، الگوریتمی را برای ترکیب تصاویر سنجنده های ETM+ و مادیس ابداع کردند. این الگوریتم که به اختصار STARFM<sup>۲</sup> نام گرفت، برای پیش بینی باندهای بازتابندگی سنجنده ETM+ به کار گرفته شد. در این تحقیق، گااو و همکاران برای پیش بینی باندهای بازتابندگی ETM+ (یعنی باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷) در زمان ۲ (بیانگر روزی است که در آن تصویر لندست موجود نیست) از تصاویر مادیس، در زمان ۱ (بیانگر روزی است که در آن تصویر لندست موجود است) و زمان ۲ و تصویر ETM+ در زمان ۱

<sup>۴</sup> Thamiraparani

<sup>۵</sup> Nonlinear DisTrad method

<sup>۶</sup> Land Surface Temperature

<sup>۷</sup> Sharpening thermal imagery

<sup>۱</sup> Downscaling

<sup>۲</sup> Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Mode

<sup>۳</sup> Tamil Nadu

ریزمقیاس نمودند. آنها برای ارزیابی دقت روش‌ها از LST بدست آمده از داده‌های لندست ۸ استفاده کردند. نتایج نشان دهنده ۲/۷ درجه تفاوت بین LST حاصل از لندست ۸ و LST ریزمقیاس شده بود. همچنین تبخیر-تعرق بدست آمده با بکارگیری الگوریتم SEBS، با استفاده از داده‌های لندست ۸، به عنوان مرجع برابر ۵/۷۶ میلی‌متر در روز و مقدار تبخیر-تعرق ریزمقیاس شده برابر ۵/۵۷ میلی‌متر در روز گزارش شد. مجذور مربعات میانگین خطا (RMSE) بین تبخیر-تعرق واقعی مرجع و تبخیر-تعرق ریزمقیاس شده برابر ۱/۲۶ میلی‌متر در روز ( $r=0/49$ ) و RMSE بین LST مرجع و LST ریز-مقیاس شده برابر ۳/۶۷ درجه کلونین ( $r=0/48$ ) بدست آمد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که LST، اثر زیادی بر روی محاسبه تبخیر-تعرق واقعی از تصاویر سنجش از دور دارد. بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان می‌دهد که در تحقیقات گذشته به منظور پایش تبخیر-تعرق واقعی با قدرت تفکیک زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، تاکنون از روشهای STARFM و SADFAT در کنار هم به منظور ریزمقیاس نمایی داده‌های مورد نیاز به عنوان ورودی‌های روش سبال استفاده نشده است. لذا تحقیق حاضر در نظر دارد تا برای تولید نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی با قدرت تفکیک زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، ابتدا با استفاده از الگوریتم‌های STARFM و SADFAT، به ترتیب باندهای بازتابندگی و باندهای حرارتی لندست ۸ را به صورت روزانه شبیه‌سازی کرده و سپس با استفاده از الگوریتم سبال و باندهای شبیه‌سازی شده نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی را تولید کند تا بدین ترتیب

نیز تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل SEBAL با استفاده از LST بدست آمده از لندست ۷ را با هم مقایسه کردند. آن‌ها در این مرحله RMSE تبخیر-تعرق، با بکار بردن LST ریزمقیاس شده با روش NL-DisTrad را ۰/۱۶ میلی‌متر بر روز و با روش TSHARP را ۰/۵۵ میلی‌متر بر روز گزارش کردند. برای مانیتور کردن تبخیر-تعرق واقعی علاوه بر LST باندهای بازتابندگی نیز لازم است. ونگ و همکاران (۲۰۱۴)، به منظور در نظر گرفتن چرخه دمای سالانه (ACT)، مدل STARFM را اصلاح کردند. این مدل جدید که SADFAT نام گرفت، برای ریزمقیاس نمایی داده‌های حرارتی استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان دهنده ضریب تعیین ( $R^2$ ) بالای ۰/۸۷ بین داده‌های حرارتی ریزمقیاس شده و داده‌های حرارتی تصاویر لندست بود. در تحقیقی دیگر، ماهور و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر ریزمقیاس نمایی دمای سطح زمین (LST) به روش کوکریجینگ روی تخمین تبخیر-تعرق برای یک منطقه کشاورزی در شهر قزوین پرداختند. آنها در این تحقیق از دو رویکرد جهت ریزمقیاس نمایی داده‌ها استفاده نمودند. در رویکرد اول LST بدست آمده از داده‌های MODIS در قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر را با روش کوکریجینگ به قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر ریز-مقیاس نمودند و با استفاده از آن و بکارگیری الگوریتم SEBS تبخیر-تعرق روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر را برآورد کردند. در رویکرد دوم این محققان تبخیر-تعرق بدست آمده از داده‌های ۱۰۰۰ متری MODIS با بکارگیری الگوریتم SEBS را با استفاده از روش کوکریجینگ به قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر

<sup>۲</sup> Spatio-temporal Adaptive Data Fusion Algorithm for Temperature mapping

<sup>۱</sup> Annual temperature cycle

شده در این تحقیق به منظور ریزمقیاس نمایی، شامل باندهای لندست ۸ و باندهای متناظر آن در تصویر مادیس نشان داده شده است.

جدول ۱. باندهای لندست ۸ و باندهای معادل مادیس

لندست ۸		مادیس	
شماره باند	پهنای باند (نانومتر)	شماره باند	پهنای باند (نانومتر)
۲	۴۵۰-۵۱۰	۳	۴۵۹-۴۷۹
۳	۵۳۰-۵۹۰	۴	۵۴۵-۵۶۵
۴	۶۴۰-۶۷۰	۱	۶۲۰-۶۷۰
۵	۸۵۰-۸۸۰	۲	۸۴۱-۸۷۶
۶	۱۵۷۰-۱۶۵۰	۶	۱۶۲۸-۱۶۵۲
۷	۲۱۱۰-۲۲۹۰	۷	۲۱۰۵-۲۱۵۵
۱۰	۱۰۶۲۰-۱۱۱۹۰	۳۱	۱۰۷۸۰-۱۱۲۸۰
۱۱	۱۱۵۰۰-۱۲۵۱۰	۳۲	۱۱۷۷۰-۱۲۲۷۰

## ۲-۲- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

بازتابندگی پدیده‌های سطحی، قبل از ثبت توسط ماهواره، تحت تاثیر دو عامل جذب<sup>۱</sup> و پخش<sup>۲</sup> قرار می‌گیرد؛ این امر باعث بروز عدم قطعیت در برآورد مقدار بازتابندگی سطحی می‌شود (Kaufman et al., 1997; Gao et al., 2000). در این تحقیق، جهت تصحیح اثرات جوی بر روی تصاویر مادیس و لندست ۸ از روش تاسومی و همکاران (۲۰۰۸)، استفاده شد.

چارچوبی جدید به منظور ایجاد نقشه های تبخیر-تعرق واقعی روزانه با قدرت تفکیک مکانی بالا را تبیین نماید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، اراضی کشت و صنعت امیرکبیر است. کشت و صنعت امیرکبیر واقع در جنوب استان خوزستان، یکی از هفت شرکت توسعه کشت نیشکر و صنایع جانبی با طول جغرافیایی "۳۱۲'۲" شمالی و عرض جغرافیایی "۴۸'۱۶'۴۹" شرقی و مساحت ۴۵ کیلومتر جاده است. کشت و صنعت امیرکبیر در ۴۵ کیلومتر جنوب اهواز- خرمشهر واقع شده که از جنوب به کشت و صنعت میرزا کوچک خان محدود شده و در شرق آن، رودخانه بزرگ کارون واقع شده است. مساحت ناخالص اراضی این کشت و صنعت، ۱۵۰۰۰ هکتار و مساحت خالص آن ۱۲۰۰۰ هکتار بوده که به چندین قطعه ۲۵ هکتاری تقسیم‌بندی شده است (شکل ۱).

در تحقیق حاضر، داده‌های ماهواره‌ای شامل تصاویر مادیس در تاریخ‌های ۲۰۱۷/۰۶/۱۴ تا ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ و تصاویر لندست ۸ در تاریخ‌های ۲۰۱۷/۰۶/۱۴، ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ و ۲۰۱۷/۰۷/۱۶ استفاده شد. در جدول ۱، باندهای استفاده



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

<sup>۲</sup> Scattering

<sup>۱</sup> Absorption

## ۲-۳- ریزمقیاس نمایی باندهای بازتابندگی با

### استفاده از الگوریتم STARFM

به منظور دستیابی به تصاویر با قدرت تفکیک زمانی- مکانی بالاتر، محققان الگوریتم STARFM را برای ترکیب تصاویر سنجنده‌های ETM+ و مادیس ابداع کردند که یکی از الگوریتم‌های مبنایی و مرسوم در این زمینه می‌باشد (Gao et al., 2006). این الگوریتم، بر مبنای محاسبه وزن پیکسل‌های همسایه، مقدار هر پیکسل را در تصویر مطلوب (تصویر لندست زمان دوم) پیش‌بینی خواهد کرد. به عبارت دیگر، این الگوریتم به صورت یک پنجره متحرک بر روی تصویر طبقه بندی شده لندست در زمان اول، حرکت کرده و با توجه به تصاویر زمان اول و دوم مادیس و تصویر طبقه بندی شده لندست، مربوط به زمان اول، تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا در زمان دوم را ریزمقیاس می‌کند. برای یک پیکسل غیر همگن مادیس رابطه زیر برقرار است:

رابطه (۱)

$$L(x_i, y_j, t_0) = M(x_i, y_j, t_0) + L(x_i, y_j, t_k) - M(x_i, y_j, t_k)$$

که در آن  $(x_i, y_j)$  موقعیت پیکسل داده شده برای تصاویر لندست و مادیس،  $t_0$  و  $t_k$  تاریخ اخذ دو تصویر مادیس و لندست می‌باشند. رابطه (۱)، برای پیکسل‌های همگن در تصویر مادیس منطقی خواهد بود. اما باید توجه داشت که تمام پیکسل‌های مادیس همواره همگن و یکنواخت نیستند و ممکن است نوع پوشش زمین در طول دوره‌ی پیش‌بینی تغییر کند. بدین منظور، با استفاده از یک تابع وزن، از اطلاعات همسایگی برای اصلاح بازتابندگی سطح، کمک گرفته می‌شود. (رابطه ۲).

رابطه (۲)

$$L\left(x_{\frac{w}{2}}, y_{\frac{w}{2}}, t_0\right) = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w \sum_{k=1}^n W_{ijk} \\ \times (M(x_i, y_j, t_0) \\ + L(x_i, y_j, t_k) \\ - M(x_i, y_j, t_k))$$

در رابطه فوق،  $w$  اندازه پنجره جستجوگر است و  $(x_{\frac{w}{2}}, y_{\frac{w}{2}})$  پیکسل مرکزی این پنجره متحرک است. برای اطمینان از اینکه در رابطه (۲)، اطلاعات صحیحی قرار گرفته و پیکسل‌های همسایه همگن هستند، تنها از پیکسل‌های طیفی مشابه (که به یک کلاس طیفی تعلق دارند) استفاده می‌شود. برای این منظور یک تصویر لندست طبقه‌بندی شده مورد نیاز خواهد بود. وزن  $W_{ijk}$ ، میزان مشارکت پیکسل‌های همسایه مرکزی را در تخمین بازتابندگی بیان می‌کند.

## ۲-۴- ریزمقیاس نمایی باندهای حرارتی با

### استفاده از الگوریتم SADFAT

الگوریتم STARFM، برای پیش‌بینی باندهای بازتابندگی بر اساس این فرض که بازتاب سطحی در تصاویر مادیس و لندست مربوط به یک روز، به هم شباهت دارند، ارائه شده است (Masek et al., 2006; Gao et al., 2006). برای پیکسل‌های همگن، تا زمانی که این فرض یعنی تشابه باندی بین داده‌های لندست و مادیس همان روز، برای داده‌های حرارتی صادق باشد، روش STARFM می‌تواند برای ریزمقیاس نمایی تصاویر حرارتی و LST استفاده شود. اما تغییرات زمانی LST نشان می‌دهد که تغییرات روزانه (Sabins., 1997) و فصلی (Weng et al., 2008) در آن شدید است. در سال ۲۰۱۴ ونگ و همکاران مدل STARFM را با در نظر گرفتن چرخه دمای سالانه (ATC) و چشم انداز حرارتی

باعث افزایش وزن یک پیکسل در محاسبات می‌شود.

#### ۲-۵- الگوریتم محاسبه تبخیر- تعرق سبال

مبنای الگوریتم‌های سنجش از دور برای محاسبه تبخیر- تعرق، معادله بیلان انرژی است. معادله کامل بیلان انرژی به صورت ذیل بیان می‌شود (Bastiaanssen et al., 1998a):

$$R_n = G + H + \lambda ET + S + P + h \quad \text{رابطه (۴)}$$

$R_n$  تابش خالص،  $G$  شار گرمای خاک،  $H$  شار گرمای محسوس،  $\lambda ET$  شار گرمای نهان،  $S$  ذخیره گرما در زیست توده گیاه،  $P$  فتوسنتز و  $h$  جزء افقی گرمای آشکار و نهان هستند. در این معادله می‌توان از دو جزء فتوسنتز و ذخیره گرما در گیاه در معادله بیلان انرژی صرف نظر کرد، زیرا بیشتر گیاهان کمتر از یک درصد تشعشع خورشیدی رسیده را برای فتوسنتز استفاده می‌کنند. ذخیره حرارت در گیاهان در طول روز، قابل صرف نظر است و تنها در زمانی که تغییر درجه حرارت سریع بوده (بوژه هنگام طلوع و غروب خورشید) و مقادیر  $R_n$ ،  $H$  و  $\lambda ET$  کوچک هستند، نسبتاً حائز اهمیت است. همچنین جزء افقی گرمای آشکار و نهان، نشان دهنده میزان خالص انرژی است که گیاه در راستای افقی تبادل می‌کند. در آب و هوای خشک این جزء ممکن است مساوی با تابش خالص شود و به رغم اهمیتی که دارد، به علت عدم وجود راه ساده‌ای برای ارزیابی آن، معمولاً در نظر گرفته نمی‌شود. باستانسن و همکاران (۱۹۹۸) با توجه به این فرضیات در معادله بیلان و حذف این سه جزء از آن، الگوریتم انرژی سطح زمین با استفاده از محاسبات چند مرحله‌ای مبتنی بر روابط فیزیک را به نام سبال ارائه دادند. روابط موجود و روند محاسباتی برای هر کدام از پارامترهای  $R_n$ ،  $G$  و  $H$  در تحقیق باستانسن و همکاران (۲۰۰۲) بطور کامل تشریح شده‌اند. همانگونه که در بخش مقدمه عنوان شد به دلیل

ناهمگن شهری برای پیش بینی تابش حرارتی و داده- های LST اصلاح نمودند. آن‌ها این الگوریتم جدید را SADFAT نامیدند. در این الگوریتم از تجزیه و تحلیل مختلط طیفی خطی برای مرتبط ساختن تابش در تصاویر لندست و مادیس استفاده شده است، به طوری که تغییرات زمانی در تابش می‌تواند در مدل تلفیقی گنجانده شود. برای یک پیکسل همگن تصویر لندست، تابش زمان  $t_p$  برابر است با مجموع تابش تصویر لندست در زمان  $t_0$  و ضربی از تفاوت تابش تصاویر مادیس در زمان‌های  $t_0$  و  $t_p$ . ضریب لازم ( $a$ ) را می‌توان با یک رابطه رگرسیونی از باند حرارتی تصویر لندست با باند حرارتی تصویر مادیس بدست آورد. از آنجایی که بخش زیادی از پیکسل‌ها حاوی بیش از یک نوع پوشش هستند، تابش پیکسل مختلط لندست را می‌توان از رابطه (۳) پیش‌بینی نمود.

رابطه (۳)

$$R_L\left(\frac{x_w}{2}, \frac{y_w}{2}, t_p\right) = R_L\left(\frac{x_w}{2}, \frac{y_w}{2}, t_0\right) + \sum_{i=1}^N W_i * h_i * [R_M(x_i, y_i, t_p) - R_M(x_i, y_i, t_0)]$$

در فرمول فوق  $W_i$  وزن پیکسل مشابه همسایه،  $N$  تعداد پیکسل‌های مشابه و  $h$  پارامتری است که در آن چرخه دمای سالانه لحاظ شده است. تابش محاسبه شده را می‌توان با استفاده از قانون پلانک به LST تبدیل نمود. در معادله (۳)، وزن پیکسل‌های مشابه همسایه پیکسل مرکزی باید محاسبه شود. این وزن، سهم پیکسل‌های همسایه را در محاسبه یک پیکسل مرکزی تعیین می‌کند. شباهت بیشتر یک پیکسل از نظر بازتابندگی و حرارتی به پیکسل مرکزی و نیز فاصله کوتاه‌تر بین پیکسل مرکزی و پیکسل همسایه

جدول ۲. مقایسه باندهای شبیه سازی شده و باندهای اصلی  
لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰

شماره باند	۲	۳	۴	۵	۶	۷
RMSE	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۳۷	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱

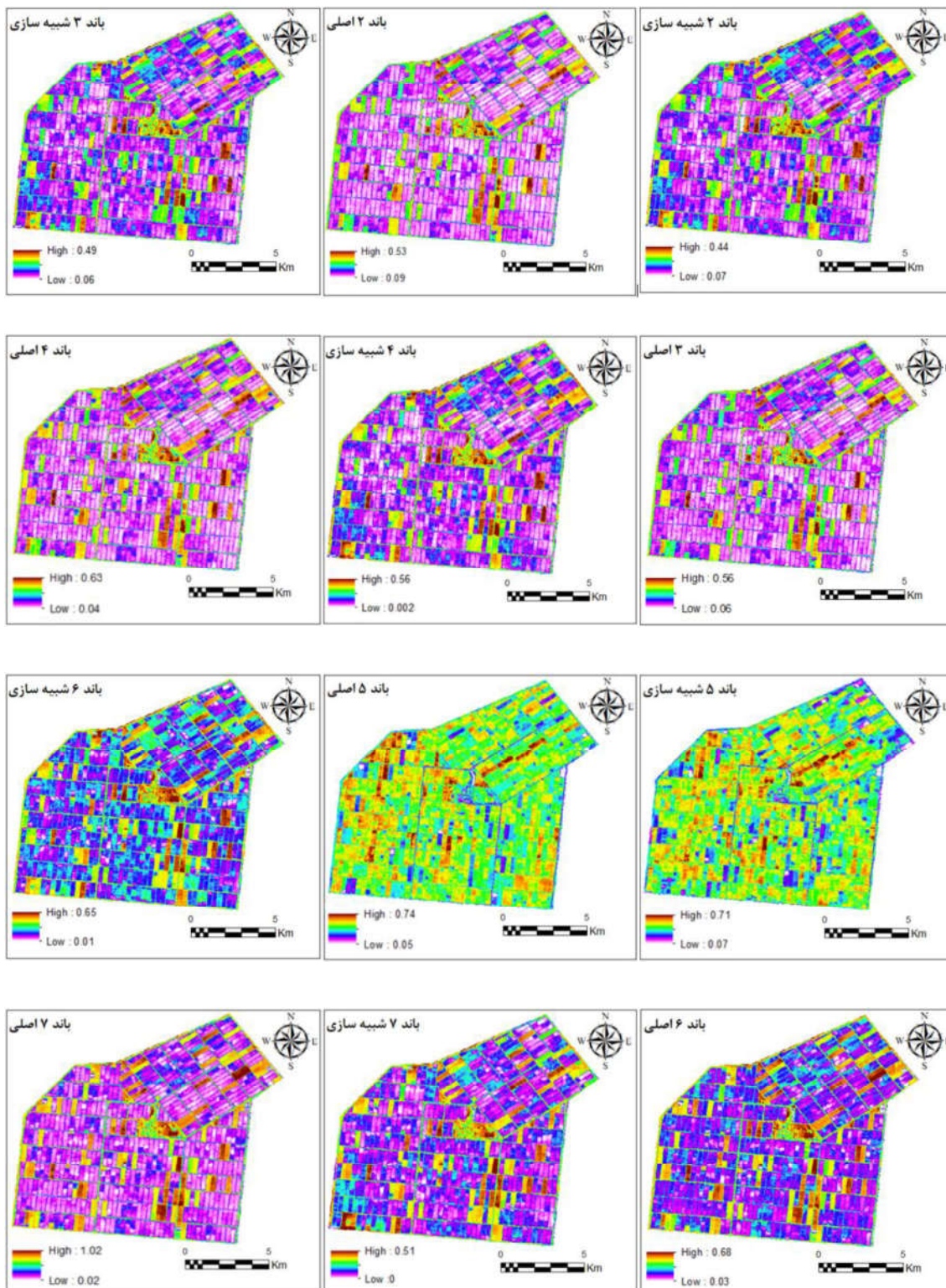
در این تحقیق برای شبیه سازی باندهای حرارتی از الگوریتم SADFAT استفاده شده است. مقایسه LST حاصل از باندهای شبیه سازی شده و LST حاصل از تصویر اصلی لندست ۸ و نقشه تفاضلی حاصل از این دو تصویر در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ (شکل ۴) نشان می دهد که الگوریتم SADFAT به خوبی توانسته توزیع دمای سطح زمین را شبیه سازی کند. وجود لکه سفید در مرز سمت راست و قسمت مرکزی تصویر شبیه سازی شده به دلیل وجود ابر در این نواحی است. مقدار RMSE برای LST شبیه سازی شده در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ برابر ۱/۹۵ درجه کلون برآورد شد. همچنین همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، رابطه همبستگی بین دو تصویر شبیه سازی شده و اصلی در باند حرارتی بالا است. همانگونه که در شکل ۶ نمایش داده شده است انطباق بصری مناسبی بین نقشه های تبخیر-تعرق حاصل از مدل سبال برای باندهای شبیه سازی شده و باندهای تصویر اصلی لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ وجود داشته و مقدار RMSE تبخیر-تعرق برای این تاریخ برابر ۰/۶۸ mm/day محاسبه شد. شکل ۷ نشان دهنده همبستگی بالای موجود، بین داده های تبخیر-تعرق حاصل از دو تصویر شبیه سازی شده و اصلی لندست برای تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ است. همچنین مقدار RMSE تبخیر-تعرق حاصل از باندهای شبیه سازی شده در مقایسه با تبخیر-تعرق حاصل از روش فائو-پنمن-مانتیت برابر ۲/۵۳ میلی متر بر روز محاسبه شد. بر اساس اشکال ۸ و ۹، مقایسه نتایج تبخیر-تعرق حاصل از باندهای شبیه سازی شده و تبخیر-تعرق حاصل از تصویر لندست ۸ برای ۱۶ روز مختلف نشان دهنده انطباق نسبتاً خوب بین مقادیر بدست آمده از تصاویر شبیه سازی شده و مقادیر حاصل از روش فائو-پنمن-مانتیت است.

کارایی روش سبال در محاسبه تبخیر-تعرق واقعی، از این روش به منظور بررسی کارایی روش های STARFM و SADFAT برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی روزانه با قدرت تفکیک بالا استفاده شد.

### ۳- نتایج

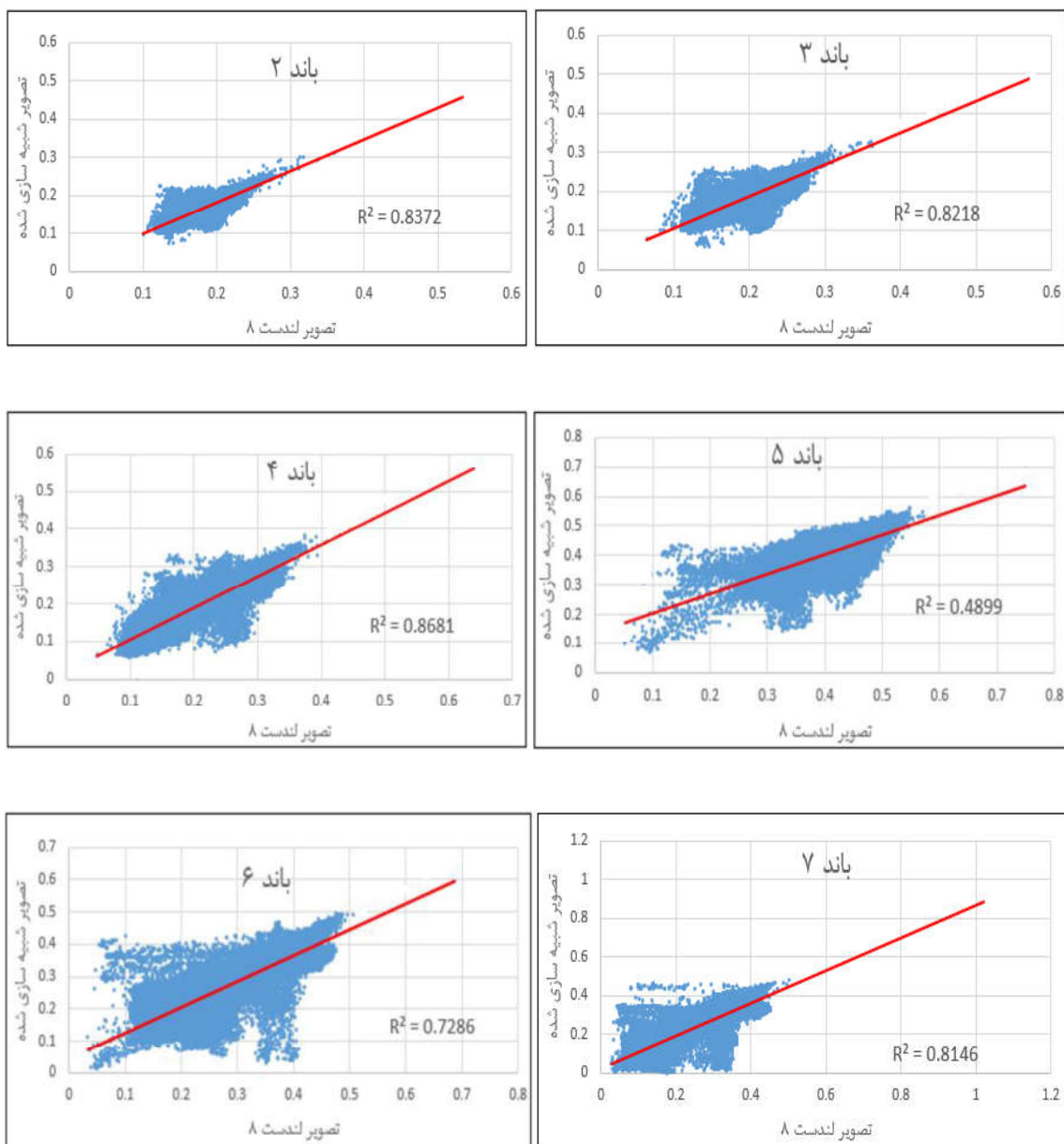
به منظور محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر لندست ۸، باندهای شماره ۲ تا ۷ و شماره ۱۰ مورد نیاز است. ابتدا برای روزهایی که تصاویر لندست موجود نیست، با استفاده از تصاویر مادیس همان روزها، باند-های مورد نیاز شبیه سازی شدند. با استفاده از باندهای شبیه سازی شده، تبخیر-تعرق سطح با الگوریتم SEBAL محاسبه شد. به منظور ایجاد امکان مقایسه بصری با توجه به این که تصویر لندست ۸، در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ موجود می باشد، در شکل ۲ باندهای شبیه سازی شده لندست ۸ و باندهای اصلی لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ آورده شده است. مقایسه بصری باندهای شبیه سازی شده و باندهای اصلی لندست ۸ نشان دهنده عملکرد قابل قبول الگوریتم STARFM است. از نمودار نقطه ای دو بعدی به منظور اعتبارسنجی کمی استفاده شده است. بدیهی است که هر چه پراکندگی مقادیر پیکسل ها در نمودار به شکل قطری نزدیکتر باشد، نشان دهنده دقت بالاتر الگوریتم بکار گرفته شده است. همانطور که در شکل ۳، مشاهده می شود به غیر از باند ۵ همبستگی بسیار خوبی بین باندهای شبیه سازی شده لندست ۸ و باندهای اصلی لندست ۸ برقرار است. همچنین از شاخص RMSE نیز برای ارزیابی الگوریتم STARFM استفاده شد که نتایج آن برای باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ لندست برای تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ در جدول ۲ نشان داده شده است.



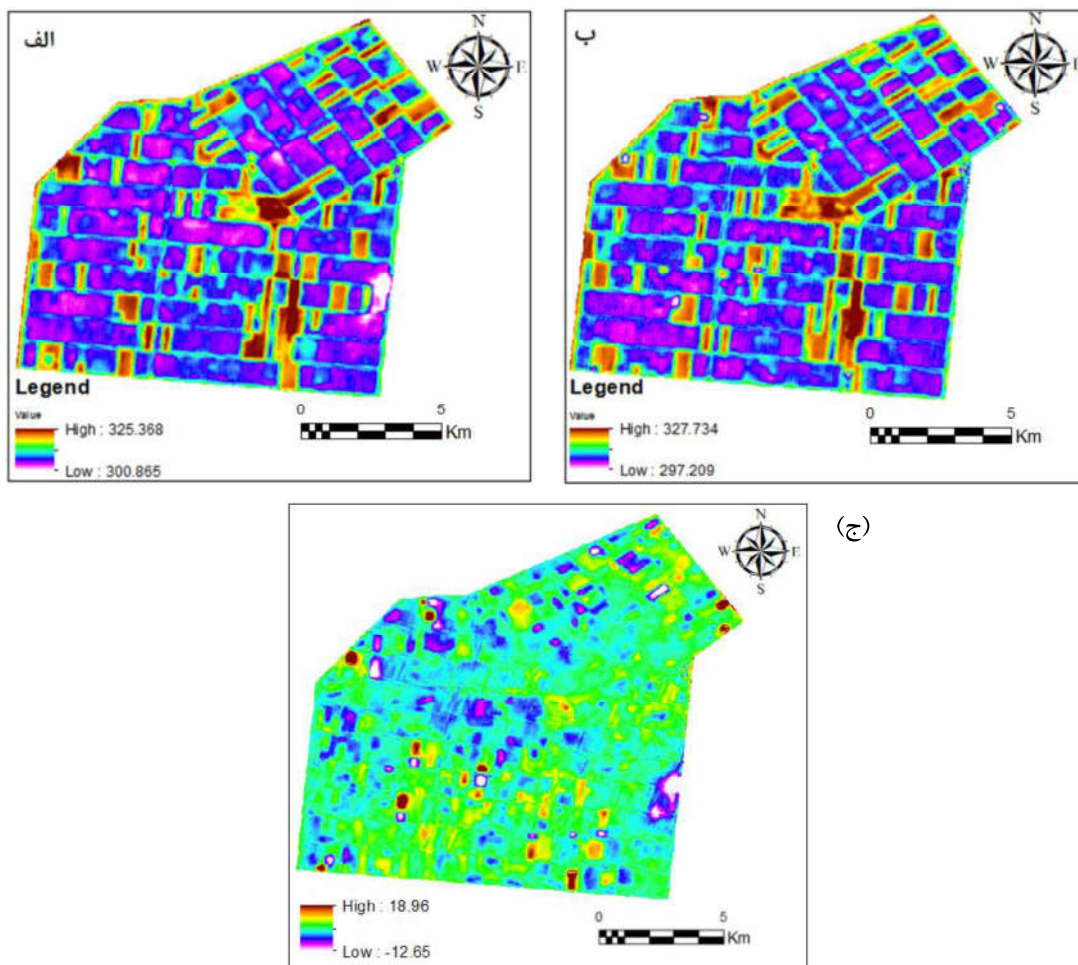


شکل ۲. مقایسه باندهای شبیه سازی شده و باندهای واقعی لندست در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰

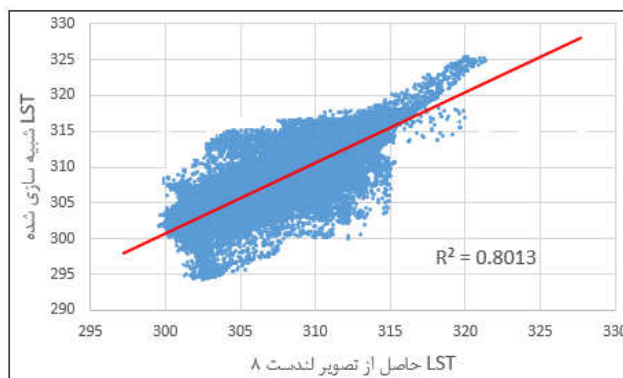
ریزمقیاس نمایی تصویر مادیس به منظور تهیه نقشه تبخیر-تعرق روزانه ...



شکل ۳. مقایسه باندهای شبیه سازی شده با باندهای تصویر واقعی لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ (سطح اطمینان: ۰/۰۱)

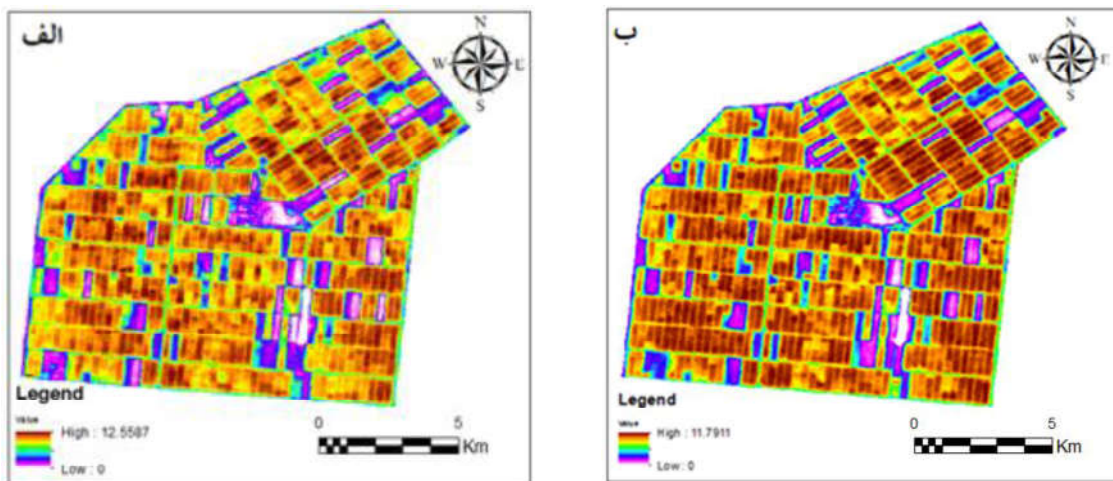


شکل ۴. میزان دمای سطح زمین در کشت و صنعت امیرکبیر برای تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ (الف) شبیه‌سازی شده با الگوریتم SADFAT، (ب) حاصل از تصویر لندست ۸، و (ج) نقشه تفاضلی حاصل از دو داده دمای سطح شبیه‌سازی شده و اصلی

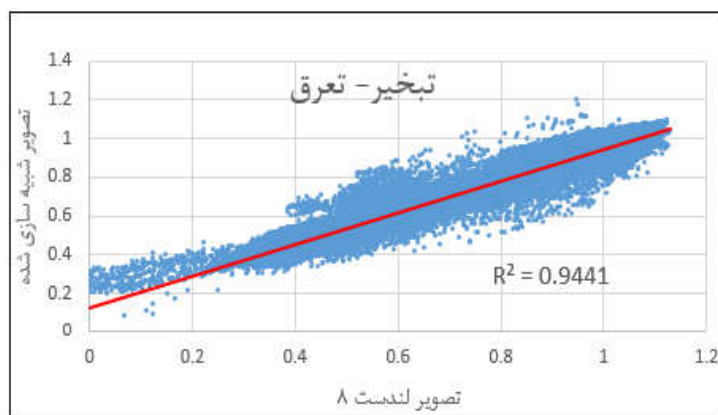


شکل ۵. مقایسه LST حاصل از شبیه‌سازی با LST حاصل از تصویر لندست تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ (سطح اطمینان: ۰/۰۱)

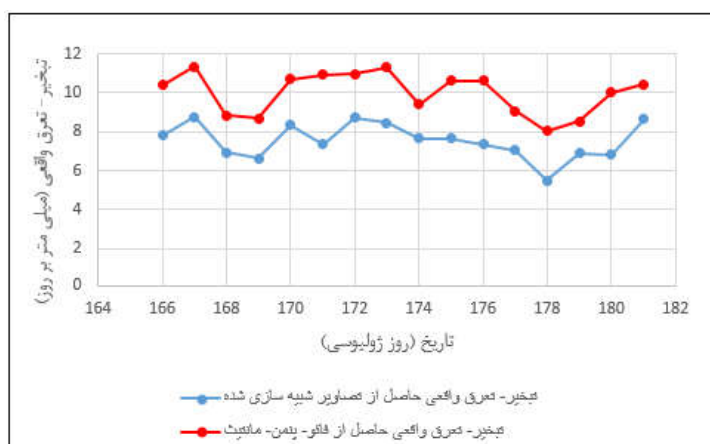
ریزمقیاس نمایی تصویر مادیس به منظور تهیه نقشه تبخیر-تعرق روزانه ...



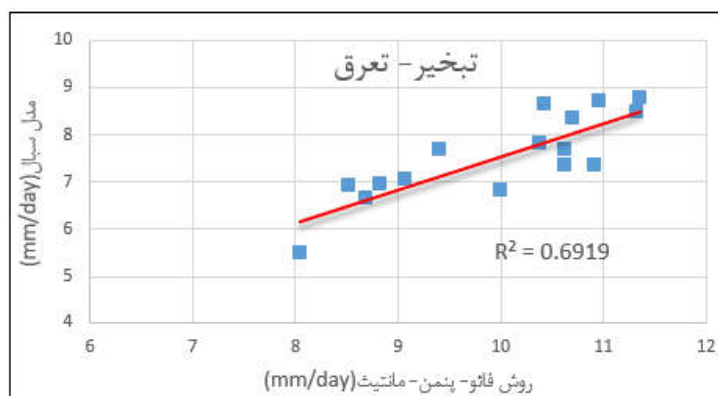
شکل ۶. توزیع مکانی تبخیر-تعرق روزانه حاصل از الف) باندهای شبیه سازی شده ب) تصویر لندست ۸ تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰



شکل ۷. رابطه تبخیر-تعرق حاصل از باندهای شبیه سازی شده و تصویر واقعی لندست تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ (سطح اطمینان: ۰/۰۱)



شکل ۸. مقایسه تبخیر-تعرق روزانه حاصل از روش سبال براساس تصاویر شبیه سازی شده (آبی) و تبخیر-تعرق روزانه حاصل از روش فائو-پنمن-مانتیت (قرمز)



شکل ۹. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق روزانه بدست آمده از روش سبال براساس تصاویر شبیه‌سازی شده و روش فائو- پنمن- ماتیت

#### ۴- بحث

گرفتن تصویر مادیس و تصویر لندست مربوطه می‌تواند یکی از دلایل تفاوت عملکرد STARFM در باندهای مختلف باشد (Bhandari و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین عدم هم‌پوشانی کامل باندهای متناظر لندست و مادیس از لحاظ طول موج، می‌تواند باعث تفاوت طیفی در باندهای متناظر شود و متعاقباً بر روی نتایج ریزمقیاس-نمایی تاثیرگذار باشد (Pohl and Van der Gerden, 1998).

با توجه به شکل (۳)، به جز باند شماره ۵، بین باندهای شبیه‌سازی شده لندست ۸ با استفاده از الگوریتم STARFM و باندهای اصلی لندست ۸ همبستگی بسیار خوبی برقرار است. یافتن علت اصلی کاهش ضریب تعیین در باند شماره ۵، به دلیل وجود عدم قطعیت‌های زیادی که در زمان اعمال ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد، مشکل است. بهاندری و همکاران (۲۰۱۲) نیز در استفاده از الگوریتم STARFM برای شبیه‌سازی تصاویر لندست به منظور نظارت بر تغییرات فنولوژیکی گیاهی در Queensland استرالیا با ضریب تعیین پایین (کمتر از ۰/۴۴) برای باند ۱ و ۲ شبیه‌سازی شده مواجه شدند. این محققان در تحقیق خود عنوان کردند که دلیل مشخصی برای پایین بودن ضریب تعیین در بعضی از باندهای شبیه‌سازی شده وجود ندارد.

با توجه به مقادیر RMSE ارائه شده در جدول (۲) می‌توان به این نتیجه رسید که الگوریتم STARFM برای شبیه‌سازی باندهای بازتابندگی در منطقه مورد مطالعه نتایج رضایت بخشی داشته است. کارایی خوب الگوریتم STARFM در شبیه‌سازی باندهای بازتابندگی لندست در تحقیقات قبلی نیز تایید شده است؛ که از آن جمله می‌توان به تحقیقات گاو و همکاران (۲۰۰۶)، هیلکر و همکاران (۲۰۰۹) و بهاندری و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد. الگوریتم STARFM، وابستگی بالایی به یکنواختی ناحیه مورد مطالعه دارد و عدم یکنواختی یا وجود تنوع زیاد پوشش در منطقه می‌تواند نتایج حاصل از اعمال الگوریتم را بسیار متاثر سازد (Gao و همکاران، ۲۰۰۶). لذا همبستگی بالا و RMSE پایین بدست آمده برای باندهای شبیه‌سازی شده در این تحقیق را می‌توان ناشی از یکنواختی منطقه مورد مطالعه دانست. همانطور که در جدول (۲)، مشاهده می‌شود دقت شبیه‌سازی در باندهای مختلف متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از دو دلیل عمده باشد. اول اینکه با توجه به اینکه اثر اتمسفر برای طول موج‌های مختلف متفاوت است و این اثر بر روی طول موج‌های کوتاه‌تر بیشتر است (Roy و همکاران، ۲۰۰۸). لذا تفاوت در شرایط جوی در زمان

آنست که روش فائو- پنمن- مانیتث تاثیر شرایط مختلف محیطی از قبیل تنش شوری، خشکی، امراض مختلف و شرایط مدیریتی آبیاری را در محاسبه تبخیر-تعرق در نظر نمی‌گیرد، در حالی که در واقعیت چنین نبوده و این عوامل در تبخیر-تعرق گیاهان موثر هستند. لذا انتظار می‌رود مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از روش سبال که شرایط واقعی حاکم بر منطقه مطالعاتی یعنی تنش‌های محیطی و شرایط مدیریتی آبیاری را در نظر گرفته به مراتب کمتر از مقدار به دست آمده از روش فائو- پنمن- مانیتث باشد. صافی و همکاران (۱۳۹۳)، طی پژوهشی که در کشت و صنعت امیر کبیر انجام دادند به این نتیجه رسیدند که الگوریتم سبال در بیشتر روزها مقداری کمتر از مقادیر فائو-پنمن- مانیتث را نتیجه داده است که نتایج ایشان نیز تایید کننده نتایج بدست آمده در این تحقیق است.

میزان دقت تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل سبال برای تصاویر شبیه‌سازی شده در روزهای مختلف متفاوت است. تفاوت در عملکرد مدل سبال برای روزهای مختلف می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد:

- خطای ناشی از عدم تطابق قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی و انعکاسی: در تصاویر ماهواره‌ای باندهای انعکاسی با قدرت تفکیک مکانی بهتر، نسبت به باندهای حرارتی ارائه می‌شوند که این باعث ایجاد خطا در برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از این تصاویر می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۸۷).
- عدم دسترسی به پارامترهای هواشناسی مورد نیاز در لحظه گذر ماهواره: بخشی از دقت نتایج بدست آمده از مدل سبال منوط به دقت اندازه‌گیری یا برآورد پارامترهای مورد نیاز هواشناسی در لحظه گذر ماهواره است. اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز در لحظه گذر ماهواره مطمئن‌ترین راه است.

با توجه به نمودار نقطه‌ای دو بعدی ارائه شده در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که ضریب تعیین بالایی بین LST شبیه سازی شده با استفاده از الگوریتم SADFAT و LST حاصل از تصویر اصلی لندست ۸ وجود دارد. در تحقیق حاضر، مقدار RMSE برای LST شبیه‌سازی شده در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ برابر ۱/۹۵ درجه کلونین برآورد شد. ونگ و همکاران (۲۰۱۴) طی تحقیقی از الگوریتم SADFAT برای شبیه سازی LST با قدرت تفکیک مکانی لندست ۸ استفاده کردند و نتایج را با تصاویر اخذ شده توسط لندست ۸ مقایسه و مقدار RMSE را برای مناطق مورد مطالعه بین ۱/۳ تا ۲ درجه کلونین به دست آوردند، که نتایج ایشان با نتایج بدست آمده در این تحقیق منطبق است.

ضریب تعیین و RMSE تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل سبال، برای تصویر شبیه سازی شده لندست ۸ و تصویر اخذ شده توسط لندست ۸، در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۳۰ برابر ۰/۹۴ و ۰/۶۸ mm/day محاسبه شد که می‌توان نتیجه گرفت، دقت بالای باندهای شبیه‌سازی شده خصوصاً باند حرارتی، منجر به صحت بالای نتایج تبخیر-تعرق حاصل از تصاویر شبیه سازی شده است. ماهور و همکاران (۲۰۱۷)، نیز در تحقیق خود به اهمیت دقت داده‌های حرارتی در تعیین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی اشاره کرده‌اند.

با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ ملاحظه می‌شود که مقادیر تبخیر-تعرق‌های روزانه محاسبه شده با استفاده از باند های شبیه سازی شده و مدل سبال با تبخیر-تعرق‌های حاصل از روش فائو- پنمن- مانیتث دارای انطباق بالایی هستند. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی به روش سبال از باندهای ریزمقیاس شده کمتر از مقادیر به دست آمده از روش فائو- پنمن- مانیتث است. یکی از دلایل دستیابی به این نتیجه

- بالای است.
- استفاده از الگوریتم‌های STARFM و SADFAT برای تولید تبخیر-تعرق‌های روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای مناطق همگن توصیه می‌شود.
- معمولاً مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از الگوریتم سبال با استفاده از تصاویر ریزمقیاس شده، کمتر از مقادیر تبخیر-تعرق محاسبه شده بوسیله روش فائو-پنمن-مانتیت است.
- عملکرد الگوریتم سبال برای روزهای مختلف در رابطه با محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از باندهای ریزمقیاس شده متفاوت است.
- در انتها توصیه می‌شود تا در تحقیقات آینده دقت الگوریتم‌های STARFM و SADFAT در مناطق غیر-همگن به منظور تولید نقشه‌های تبخیر-تعرق با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۶- منابع

- اکبری، م.، دهقانی سانج، ح.، حیدری، ن.، ۱۳۸۷، کاربرد سنجش از دور در برآورد سطح زیر کشت، تبخیر-تعرق و مدیریت شبکه‌های آبیاری، مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۲، شماره ۱.
- صافی، ر.، میرلطیفی، س.م.، اکبری، م.، ۱۳۹۵، ارزیابی بهره‌وری مصرف آب در مزارع کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با استفاده از اطلاعات ماهواره ای Landsat 8، مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۰، شماره ۱.
- قاسمیان یزدی، م.ح.، الیاسی، م.، ۱۳۸۷، ادغام اطلاعات مکانی تصویر آیکونوس و اطلاعات طیفی تصاویر اسپات ۴، فصل نامه مدرس علوم

- خطای مربوط به کالیبره نبودن پارامترهای سبال در منطقه مورد مطالعه: به علت نبود وسایل لازم جهت اندازه‌گیری‌های زمینی امکان کالیبره کردن پارامترهای موجود در سبال از قبیل شاخص سطح برگ، آلبیدوی سطحی، دمای سطحی و شار تابش خالص، گرمای خاک و گرمای محسوس در منطقه وجود نداشت.
- خطای مربوط به برآورد تبخیر-تعرق پیکسل سرد: به علت عدم آگاهی از زمان‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه، به منظور مشخص کردن پیکسل سرد از شرط پایین بودن دما استفاده شد. این شرط تنها این امر را بیان می‌کند که احتمالاً پیکسل مورد نظر نسبت به سایر پیکسل‌ها مرطوبتر است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۷).

#### ۵- نتیجه‌گیری

- در این تحقیق، چارچوبی جدید به منظور ریزمقیاس-نمایی تصاویر مادیس با استفاده از تصاویر لندست ۸ برای محاسبه تبخیر-تعرق تبیین شد. استفاده از الگوریتم‌های STARFM و SADFAT به منظور ریزمقیاس‌نمایی تصاویر بازتابندگی و حرارتی مادیس نشان داد که تصاویر ریزمقیاس شده می‌تواند نتایج قابل قبولی را برای محاسبه تبخیر-تعرق ایجاد نماید. نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:
- الگوریتم STARFM در شبیه‌سازی باندهای بازتابندگی لندست ۸ در مناطق همگن دارای دقت قابل قبولی است. هرچند عملکرد این روش برای باندهای مختلف تاحدودی متفاوت است.
- الگوریتم SADFAT در شبیه‌سازی باندهای حرارتی لندست ۸ در مناطق همگن دارای دقت

- انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱.
- Atkinson, P.M., 2013, **Downscaling in remote sensing**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 22, 106-114.
- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R. and Holtslag, A., 1998, **A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), Part 1, Formulation**. Journal of Hydrology, 212: 198-212.
- Bastiaanssen, W.G.M., Waters, R., Allen, R., Tasumi, M and Terzza, R., 2002, **Advanced Training and User's Manual of Surface Energy Balance Algorithms for Land**, Nasa EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through the Idaho Department of water Resources. 1:1-98.
- Bechtel, B., 2012, **Robustness of annual cycle parameters to characterize the urban thermal Landscapes**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 9(5), 876-880.
- Brindhu, V.M., Narasimhan, B., Sudheer, K.P., 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.
- Bhandari, S., Phinn, S., Gill, T., 2012, **Preparing**
- Landsat Image Time Series (LITS) for Monitoring Changes in Vegetation Phenology in Queensland, Australia**, Remote Sensing, 4(6), 1856-1886.
- Chandrapala, L. and Wimalasuriya, M., 2003, **Satellite measurements supplemented with meteorological data to operationally estimate evaporation in Sri Lanka**, Agricultural Water Management, 58: 89-107.
- Caroline, M., Gevaert, F., Garcia-Haro, J., 2015, **A comparison of STARFM and an unmixing based algorithm for Landsat and MODIS data fusion**, Remote Sensing of Environment 156, Pages 34-44.
- Gao, B.-C., Montes, M.J., Ahmad, Z., Davis, C.O., 2000, **Atmospheric correction algorithm for hyperspectral remote sensing of ocean color from space**, Applied Optics, 39(6): p. 887-896.
- Gao, F., Masek, J., Schwaller, M. & Hall, F., 2006, **On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44(8), 2207-2218.
- Hafeez, M., Chemin, Y., Van De Giesen, N. and Bouman, B., 2002, **Field Evapotranspiration Estimation in Central Luzon, Philippines using different sensors: Landsat 7 ETM+,**



- aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 102(D14): p. 16815-16830.
- Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N.E., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, K.F., et al., 2006, **A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990–2000**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 3(1), 68–72.
- Mahour, M., Tolpekin, V., Stein, A., Sharifi, A., 2017, **A comparison of two downscaling procedures to increase the spatial resolution of mapping actual evapotranspiration**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 126. 56–67.
- Pohl, C. and Van Genderen, J.L., 1998, **Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications (Review Article)**, International Journal of Remote Sensing, 19, 823-854.
- Roy, D.P., Ju, J., Lewis, P., Schaaf, C., Gao, F., Hansen, M., et al., 2008, **Multi-temporal MODIS–Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data**, Remote Sensing of Environment, 112(6), 3112–3130.
- Schaaf, C.B., Gao, F., Strahler, A.H., Lucht, W., Terra MODIS and ASTER, ISPRS/CIG conference July, P. 2002.
- Ha, W., Gowda, P.H. and Howell, T.A., 2013, **A review of downscaling methods for remote sensing-based irrigation management**, Journal of Irrigation Science. 31: 831-850.
- Ha, W., Gowda, P.H. and Howell, T.A., 2013, **A review of potential image fusion methods for remote sensing-based irrigation management**, Journal of Irrigation Science, 31: 851-869.
- Hilker, T., Wulder, M.A., Coops, N.C., Seitz, N., White, J.C., Feng, G., Masek, J.G., Stenhouse, G., 2009, **Generation of dense time series synthetic Landsat data through data blending with MODIS using a spatial and temporal adaptive reflectance fusion model**, Remote Sensing Environment, volume113, 1988–1999.
- Emelyanova, I.V., McVicar, T. R., Van Niel, T.G., Li, L.T., Van Dijk, A.I.J.M. 2013, **Assessing the accuracy of blending Landsat–MODIS surface reflectances in two landscapes with contrasting spatial and temporal dynamics: A framework for algorithm selection**, Remote Sensing of Environment 133, 193–209.
- Kaufman, Y.J., Tanre, D., Gordon, H.R., Nakajima, T., Lenoble, J., Frouin, R., 1997, **Passive remote sensing of tropospheric**

- MODIS data**, Remote Sensing of Environment 145, 55–67.
- Weng, Q., Liu, H., Liang, B.Q. & Lu, D.S., 2008, **The spatial variations of urban land surface temperatures: Pertinent factors, zoning effect, and seasonal variability**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 1(2), 154–166.
- Zhu, X.L., Chen, J., Gao, F., Chen, X.H. & Masek, J.G., 2010, **An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions**, Remote Sensing of Environment, 114(11), 2610–2623.
- Li, X., Tsang, T., Strugnell, N.C., Zhang, X., Jin, Y., Muller, J.P., Lewis, P., Barnsley, M., Hobson, P., Disney, M., Roberts, G., Dunderdale, M., Doll, C., R.d'Entremont, Hu, B., Liang, S. and Privette, J.L., 2002, **First operational BRDF, Albedo and Nadirreflectance products from MODIS**, Remote Sens. Environ., vol. 83, no. 1/2, pp. 135–148.
- Sabins, F.F., 1997, **Remote sensing, Principles and interpretation (3rd ed.)**, New York: W.H.Freeman & Co.
- Hong, S., Hendrickx, J.M.H., Borchers, B., 2011, **Down-Scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250m) to LANDSAT (30m) scale**, International Journal of Remote Sensing, 32(21), 6457-6477.
- Steiner, J.L., Howell, T.A. & Schneider, A.D., 1991, **Lysimetric evaluation of daily potential evapotranspiration models for grain sorghum**, Agronomy Journal, 83, 240-247.
- Tasumi, M., Allen, R.G., Trezza, R., 2008, **At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance**, Journal of hydrologic engineering, 13(2): p. 51-63.
- Weng. Q., Fu, P., Gao. F., 2014, **Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and**



## MODIS image downscaling using STARFM and SADFAT algorithms for daily Landsat-like spatial resolution evapotranspiration mapping

Salehi H.<sup>1</sup>, Shamsoddini A.<sup>2\*</sup>, Mirlatifi SM.<sup>3</sup>

1. Master of Agricultural Engineering (Irrigation), Tarbiat Modares University
2. Assistant professor, Department of Remote Sensing and GIS, Tarbiat Modares University
3. Associate professor, Department of Irrigation and Drainage, Tarbiat Modares University

### Abstract

Satellites acquire data in low, medium, and high spatial resolutions. Freely-available high temporal resolution images are often acquired in medium (or low) spatial resolution and high spatial resolution images usually suffer from a low temporal resolution or from high costs. Moreover, high spatial resolution images are prevented to use in modeling of processes such as evapotranspiration due to the lack of thermal bands. Evapotranspiration mapping with a high spatial and temporal resolutions have been always one of the main subjects in the field of remote sensing. Daily evapotranspiration mapping with a 30 meter spatial resolution is the aim of current study. The case study of the research is Amir-Kabir agro-industrial farms. For this purpose, among 36 bands of MODIS image, those being more spectrally similar to Landsat bands were selected. Then, SADFAT and STARFM algorithms were applied on Landsat 8 and MODIS images to simulate visible and infrared bands with daily temporal resolution and 30-m spatial resolution. Afterward, the simulated bands were used as input for SEBAL algorithm to calculate actual evapotranspiration. Comparing the results with the actual evapotranspiration derived from FAO-Penman-Monteith equation indicated a RMSE of 2.53 mm/day and  $R^2$  of 0.69. Also, an RMSE of 0.68 mm/day and  $R^2$  of 0.94 were derived when the actual evapotranspiration derived from the downscaled bands were compared with that derived from the Landsat-8 bands. Accordingly, these results showed the efficient performance of the downscaling framework proposed in this study.

**Keywords:** Downscaling, Evapotranspiration, MODIS, Landsat-8, SEBAL, SADFAT, STARFM