

Fusion of MODIS and Landsat-8 Land Surface Temperature Images Using Spatio-Temporal Image Fusion Model

MORTEZA KAFFASH¹, SEYED HOSSEIN SANAEI-NEJAD^{1*}

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(Received: Nov. 3, 2019- Revised: Dec. 13, 2019- Accepted: Dec. 28, 2019)

ABSTRACT

Achieving satellite images with high simultaneously spatial-temporal resolution has been one of the serious challenges faced by researchers in the field of remote sensing and its applications. In recent years, researchers have made serious efforts to solve the problem. In this study, producing Landsat like land surface temperature images with less than 16 day temporal resolution and over different land covers, using spatio-temporal image fusion algorithm (STI-FM) and MODIS Land surface temperature images, was investigated. The STI-FM technique consist of two main steps. First establishing a linear relationship between two consecutive MODIS LST images acquired at time 1 and time 2; then utilizing the above mentioned relationship as a function of a Landsat-8 LST image acquired at time 1 in order to predict a synthetic Landsat -8 LST image at time 2. The results showed strong linear relationship between the two consecutive MODIS images at times 1 and 2 (R_2 in the range 0.85-0.95). The synthetic LST images were evaluated qualitatively and quantitatively and it was found that there is a high visual and strong agreements with the actual Landsat-8 LST images over different land covers. For example R_2 and RMSE values were ranged 0.74-0.94 and 1.44-2.52, respectively.

Key words: spatio-temporal fusion, MODIS, Landsat, Land surface temperature, remote sensing

مختلف از جمله مناطق شهری و روستایی، کشاورزی، بخش‌های کوهستانی در قسمت‌های شمالی و مناطق بیابانی و کویری در جنوب آن می‌باشد.

ارتفاع منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه مدل رقومی ارتفاعی، بین ۷۹۷ تا ۲۰۶۲ متر متغیر می‌باشد (شکل ۱-ت). ارتفاع متوسط منطقه ۹۷۵ متر می‌باشد و منطقه مورد مطالعه مساحتی بالغ بر ۱۷۶۷/۵ کیلومتر را دارا می‌باشد.

در این مطالعه از تصاویر سنجنده‌های مودیس و لندست که به‌صورت رایگان از سایت سازمان ملی زمین‌شناسی آمریکا در دسترس است، استفاده شد. تصاویر لندست دارای طولانی‌ترین دوره پیوسته ثبت وضعیت سطح زمین می‌باشد و یک منبع منحصر به فرد برای تحقیقات کاربردی در کشاورزی، جغرافیا، زمین‌شناسی، جنگل‌بانی، برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و امنیت ملی می‌باشد. لندست دارای چرخه عبور حداقل ۱۶ روزه است که گاهی اوقات به دلیل ابرناکی این مدت افزایش پیدا می‌کند. باندهای مادون قرمز حرارتی لندست ۸ دارای رزولوشن مکانی حدود ۱۰۰ متر می‌باشند که پس از بازنمونه‌گیری به تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تبدیل می‌شوند. با توجه به پیشنهاد سال ۲۰۱۴ سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده مبنی بر عدم استفاده از باند ۱۱ لندست ۸ به دلیل عدم قطعیت بالای کالیبراسیون این باند، بازیابی LST لندست با استفاده از روش تک‌کاناله از باند ۱۰ حرارتی مادون قرمز (۱۰/۴-۱۱/۲ میکرومتر) بر اساس مطالعه آودان و یووانفسکا (Avdan & Jovanovska, 2016) صورت پذیرفت.

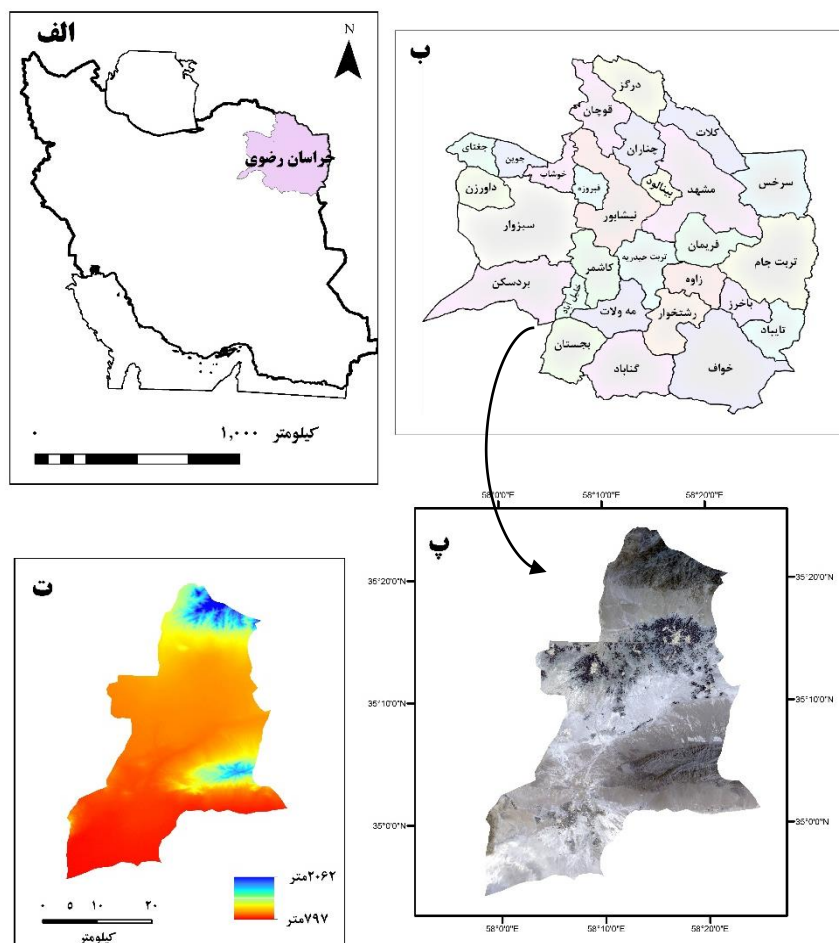
سنجنده‌های مودیس نصب‌شده بر روی ماهواره‌های ترا و آکوا دارای ۳۶ باند در محدوده مرئی تا مادون‌قرمز حرارتی می‌باشند. رزولوشن مکانی این سنجنده از ۲۵۰ متر (باندهای ۱ و ۲) تا ۵۰۰ متر (باندهای ۳ تا ۷) و ۱۰۰۰ متر (باندهای ۸ تا ۳۶) متغیر است. این سنجنده کل زمین را هر روز یا هر روز یک‌بار مشاهده و ثبت می‌کند. محصول LST مودیس به‌وسیله تیم علمی مودیس به‌عنوان محصول روزانه و شبانه ۱ کیلومتر جهانی پیشنهاد شده است. در محدوده ۱۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد، بر اساس مطالعات اعتبارسنجی مکانی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ دقت داده‌های دمای سطح روزانه مودیس بهتر از ۱ درجه سلسیوس می‌باشد (Z. Wan et al., 2004). در اینجا محصول دمای سطح روزانه سطح ۳ جهانی یک کیلومتر دارای شبکه‌بندی سینوسی با نام MOD11A1 استفاده شده است. محصول دمای سطح زمین یک کیلومتر مودیس توسط الگوریتم روزانه مجزای تعمیم‌یافته و با استفاده از تابش‌های باندهای ۳۱ و ۳۲ مودیس، تولید می‌شود.

به‌ترتیب مدل‌های STARFM و ESTARFM را برای پیش‌بینی داده‌های بازتاب سطحی شبه‌لندست روزانه در مقیاس مکانی لندست، پیشنهاد کرده‌اند. لئو و ونگ مدل STARFM را برای ترکیب LST مودیس و ASTER استفاده کردند. با این حال بیشتر روش‌های تلفیق مکانی-زمانی توسعه داده شده بر روی پیش‌بینی مقادیر بازتاب سطحی با رزولوشن مکانی و زمانی بالا تمرکز کرده‌اند و مطالعات کمتری برای پیش‌بینی پارامترهایی مانند دمای سطح زمین صورت گرفته است (Feng Gao et al., 2006; Fu et al., 2013b; Guan et al., 2017a; Roy et al., 2008; Shen et al., 2010; Zhang et al., 2013; Zhu et al., 2010).

هزیمه^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۵ روش جدید و ساده‌ای برای تلفیق مکانی زمانی تصاویر دمای سطح زمین سنجنده لندست ۸ و مودیس ارائه نمودند که نام آن را مدل تلفیق مکانی زمانی تصویر (STI-FM) گذاشتند (Hazaymeh et al., 2015). در این روش، تصاویر دمای سطح زمین درشت مقیاس سنجنده مودیس در زمان‌های ۱ و ۲ و تصویر ریزمقیاس لندست ۸ در زمان ۱ نیاز است تا بتوان با استفاده از مدل تلفیق مکانی زمانی، تصویر ریزمقیاس در زمان ۲ را پیش‌بینی کرد. اساس این روش بر ایجاد رابطه رگرسیون خطی بین داده‌های دمای سطح زمین تصویر درشت مقیاس در زمان‌های ۱ و ۲ و بسط آن به تصویر ریزمقیاس زمان ۱ برای پیش‌بینی تصویر ریزمقیاس در زمان ۲ بوده است. با توجه به اهمیت دستیابی به تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، هدف از این مطالعه، بررسی مدل تلفیق مکانی زمانی تصویر (STI-FM) بر روی منطقه خشک و نیمه‌خشک شهرستان خلیل‌آباد در استان خراسان رضوی می‌باشد. بر این اساس اهداف این مطالعه عبارتند از: الف) تعیین تصویر دمای سطح زمین شبه‌لندست در زمان ۲ با استفاده از ۲ تصویر دمای سطح زمین درشت مقیاس سنجنده مودیس در زمان‌های ۱ و ۲؛ ب) اعتبارسنجی نتایج خروجی (تصویر ریزمقیاس تولیدی در زمان ۲) با استفاده از تصویر دمای سطح زمین واقعی لندست و استفاده از روش‌های آماری.

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

شهرستان خلیل‌آباد از توابع استان خراسان رضوی از نظر مختصات جغرافیایی در ۵۸ درجه و ۱۷ دقیقه طولی شرقی از نصف‌النهار مبدأ و ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرضی شمالی از خط استوا و ارتفاع ۹۷۵ متری از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). خلیل‌آباد منطقه‌ای مهم به لحاظ کشاورزی می‌باشد چرا که محصولات استراتژیکی مانند انگور، انار، زعفران، پسته و گندم در این منطقه کشت می‌شوند. این منطقه دارای کاربری‌های اراضی



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه؛ الف) کشور ایران، ب) استان خراسان رضوی، پ) نقشه شهرستان خلیل آباد از توابع استان خراسان رضوی تهیه شده با ترکیب باندهای ۲، ۱ و ۳ لندست-۸، ت) نقشه وضعیت توپوگرافیک منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: موقعیت زمانی تصاویر مودیس و لندست استفاده شده

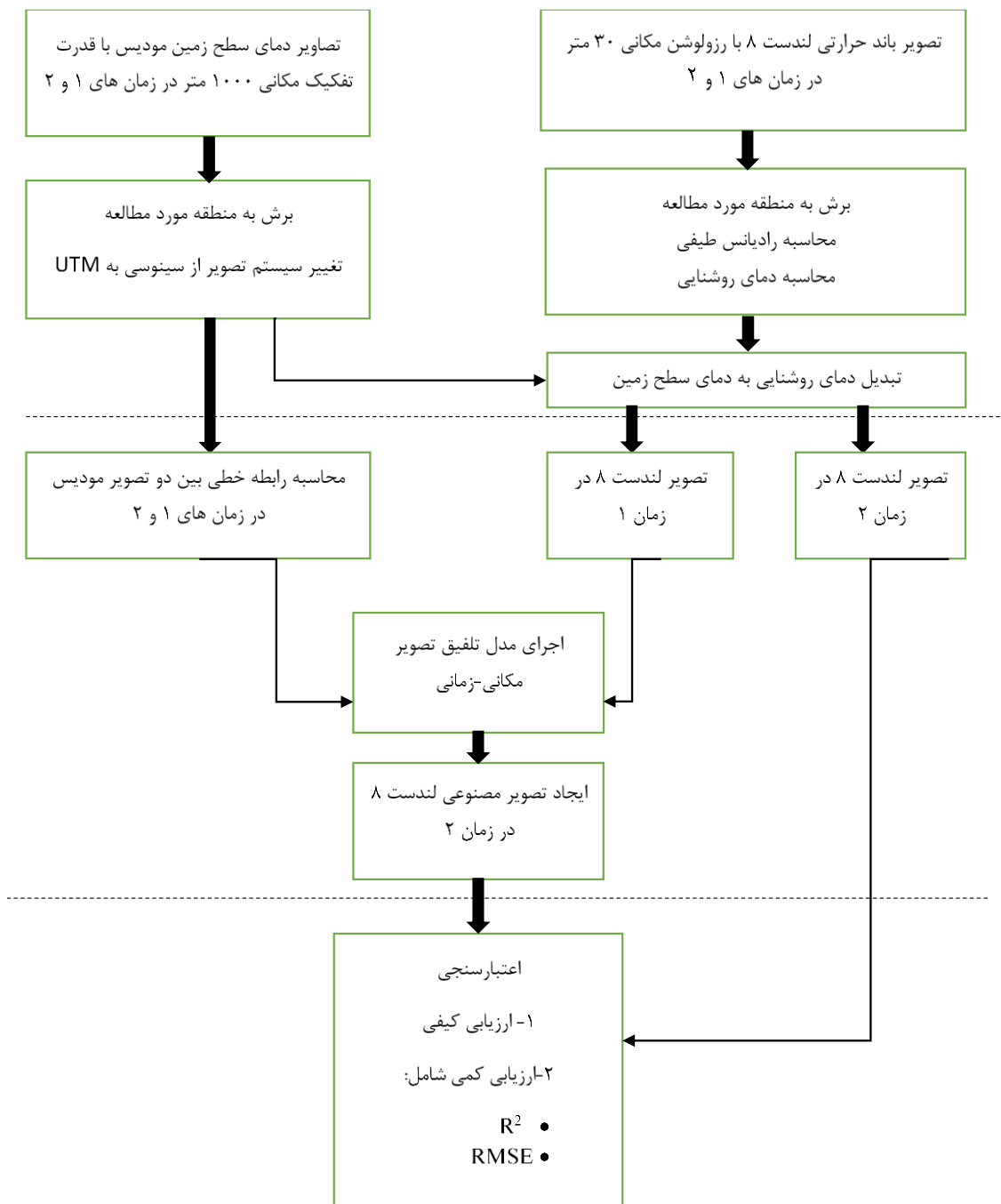
مودیس	لندست ۸
۸ جولای	۸ جولای
۲۴ جولای	۲۰۱۵
۱۰ جولای	۲۰۱۶
۲۶ جولای	

روش کار

روش کار در چهار گام اصلی در فلوچارت شکل (۲) نشان داده شده است. این قدمها شامل: (۱) پیش پردازش تصاویر LST مودیس؛ (۲) تولید تصاویر مبتنی بر دمای سطح زمین لندست ۸ با استفاده از روش پنجره مجزا؛ (۳) توسعه مدل ترکیبی زمانی- مکانی برای تولید تصاویر مصنوعی LST لندست ۸ در زمان ۲ و (۴) اعتبارسنجی تصاویر دمای سطح زمین لندست ۸ توسط مقایسه آن‌ها با تصویر واقعی LST لندست ۸ می‌باشد. این گام‌ها به صورت مختصر در قسمت‌های بعدی توضیح داده شده‌اند.

سنجندهای مودیس و لندست از لحاظ ویژگی‌های مدار (مانند ارتفاع از سطح زمین، خورشیدآهنگ بودن و مدار قطبی و زمان عبور بین ساعت ۱۰ تا ۱۰:۳۰ محلی) و ویژگی‌های طیفی (داشتن دو باند حرارتی در محدوده ۱۰ تا ۱۲/۵ میکرومتر) به هم شباهت زیادی دارند که قابلیت مقایسه ویژگی‌های حرارتی تصاویر این دو سنجنده را فراهم می‌کند (Feng et al., 2012, 2013; Oguro et al., 2011).

۴ تصویر روزانه دمای سطح زمین سنجنده مودیس از ماهواره ترا با رزولوشن مکانی ۱۰۰۰ متر (محصول MOD11A1) به همراه ۴ تصویر لندست ۸ در تابستان سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ که متناظر با ماه‌های تیر و مرداد بود، انتخاب شد که دو تصویر برای اعتبارسنجی تصاویر مصنوعی تولیدشده، استفاده شد. دلیل استفاده از تصاویر تابستان، عدم ابرناکی تصاویر در این فصل و اوج سبزی‌نگی اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۲: فلوچارت الگوریتم تلفیق مکانی زمانی تصاویر

پیش پردازش تصاویر LST مودیس

تصاویر LST مودیس را با سیستم تصویر سینوسی با پوشش منطقه‌ای حدود ۱۱۰۰×۱۱۰۰ کیلومتر تهیه شد. سپس این تصاویر به محدوده جغرافیایی مورد مطالعه برش خوردند و به سیستم تصویری لندست ۸ تصویر شدند (UTM ناحیه ۴۰ با مبنای مختصات WGS84). سپس این تصاویر و تصاویر لندست ۸ در یک دستگاه مختصات ثبت شدند تا به تصویری با مختصات جغرافیایی دقیق دست یافته و خطاهای هندسی به حداقل کاهش یابند.

تولید تصاویر LST لندست ۸

انتقال مقادیر عددی (DN) تصاویر لندست ۸ به مقادیر LST در سه مرحله به انجام رسیدند. در گام اول، باند ارزیابی کیفیت لندست ۸ (QA) برای تعیین پیکسل‌های ابری استفاده شد و با استفاده از عملیات ماسک کردن، پیکسل‌های ابری از تحلیل‌های بعدی حذف شد. در گام دوم، با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲)، مقادیر DN به دمای روشنایی تبدیل شدند:

$$r = M \times DN + A \quad (\text{رابطه ۱})$$

تعیین نموده و سپس ضرایب این رابطه را برای تولید تصویر LST مصنوعی لندست ۸ (synth L(t₂)) در زمان ۲ اعمال کرد (معادله-های ۳ و ۴).

$$M(t_2) = a * M(t_1) + c \quad (\text{رابطه ۳})$$

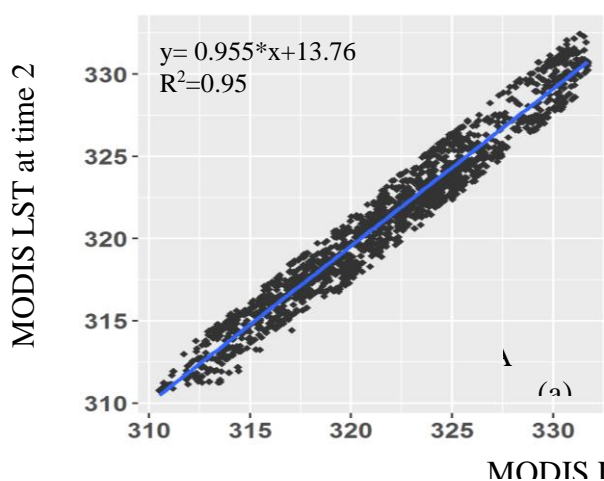
$$\text{synth } L(t_2) = a * L(t_1) + c \quad (\text{رابطه ۴})$$

اعتبارسنجی تصاویر مصنوعی دمای سطح زمین لندست ۸ به منظور اعتبارسنجی دقت تصاویر مصنوعی LST لندست ۸، این تصاویر با تصاویر واقعی لندست ۸ با دو روش مقایسه شدند. در روش اول ارزیابی کیفی توسط مقایسه قالب‌ها، بافت‌های عوارض و کاربری‌های مختلف در تصاویر مصنوعی و واقعی انجام شد. در روش دوم با استفاده از سنج‌های آماری مانند ضریب تعیین (R²) و مجذور مربعات میانگین خطا (RMSE) ارزیابی کمی صورت گرفت.

نتایج و بحث

رابطه بین دو تصویر مودیس

رابطه بین تصاویر دمای سطح زمین مودیس در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. چنانچه در این شکل دیده می‌شود، برازش خوبی بین دو تصویر مودیس در فاصله ۱۶ روزه وجود دارد. ضریب تعیین بالای ۸۵ درصد نشان دهنده همبستگی بالای بین دمای سطح زمین حاصل از سنجنده مودیس در زمان ۱ و ۲ می‌باشد.



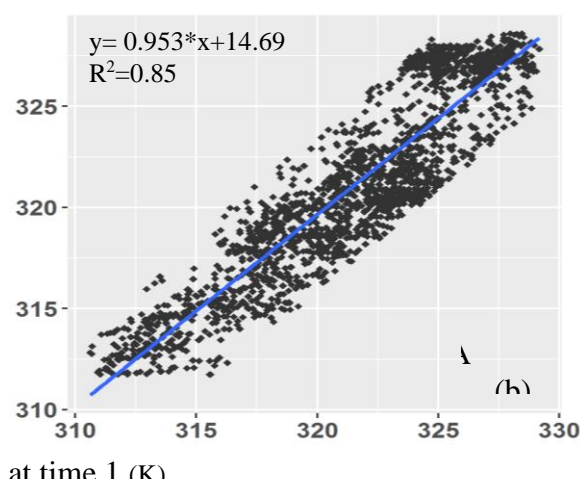
$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{T} + 1\right)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این معادلات، τ تابندگی طیفی در بالای جو زمین (TOA) بر حسب $w/m^2 \times sr \times \mu m$ ، M فاکتور ریزمقیاس کمکی باند-ویژه، A فاکتور ریزمقیاس افزایشی باند-ویژه، DN عدد پیکسل، T_b دمای روشنایی ماهواره (کلوین)، K_1 و K_2 ثابت‌های تبدیل باند ویژه حرارتی می‌باشند. مقادیر M ، A ، K_1 و K_2 در متادیتای هر تصویر لندست وجود دارند.

در گام سوم با استفاده از معادلات الگوریتم تک‌کاناله (Avdan & Jovanovska, 2016)، دمای روشنایی به دست آمده در گام قبل به محصول دمای سطح زمین تبدیل شد. باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ برای محاسبه دمای روشنایی و باندهای ۴ و ۵ برای محاسبه NDVI مورد استفاده قرار گرفت.

توسعه مدل ترکیب تصویر زمانی-مکانی (STI-FM)

برای توسعه تکنیک STI-FM، دو فرض اساسی را باید در نظر گرفت. اولاً اینکه بین دو تصویر LST مودیس متوالی رابطه خطی وجود دارد (یعنی $M(t_1)$ و $M(t_2)$). اگر نوع پوشش گیاهی تغییر نکند، رژیم‌های دما معمولاً از یک الگوی زمانی مجزا پیروی می‌کنند (۱۳). دوم اینکه، مقادیر LST استخراجی از تصاویر هر دو سنجنده مودیس (M) و لندست ۸ (L) در دوره زمانی خاصی شبیه یکدیگر هستند (یعنی $L(t_1) \approx M(t_1)$ و $L(t_2) \approx M(t_2)$ ؛ زیرا زمان تصویربرداری این تصاویر تحت شرایط اتمسفری مشابه اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، می‌توان یک رابطه خطی بین $M(t_1)$ و $M(t_2)$



شکل ۳: رابطه بین دو تصویر دمای سطح زمین ۱۶ روزه مودیس در تاریخ‌های برداشت تصویر

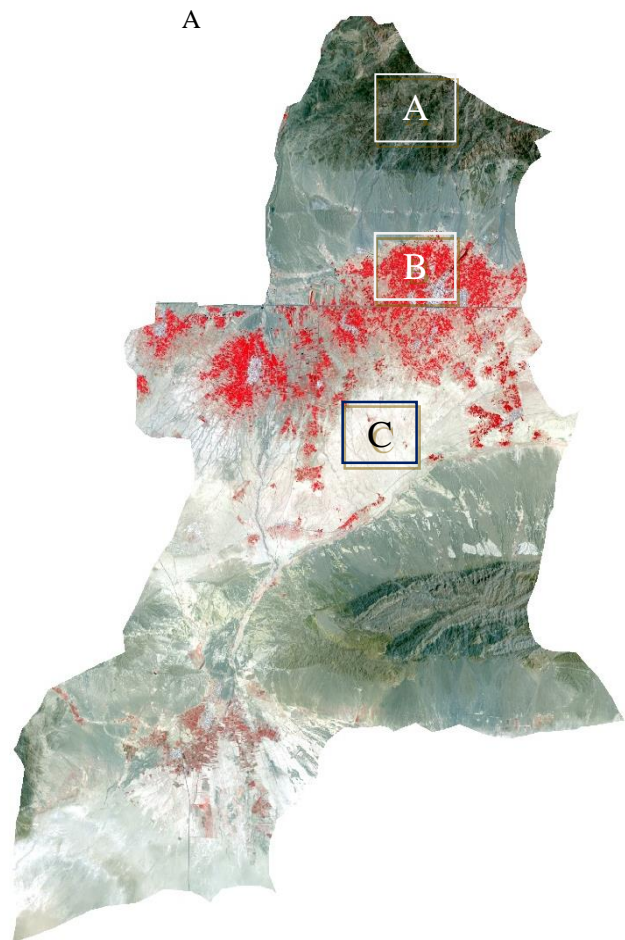
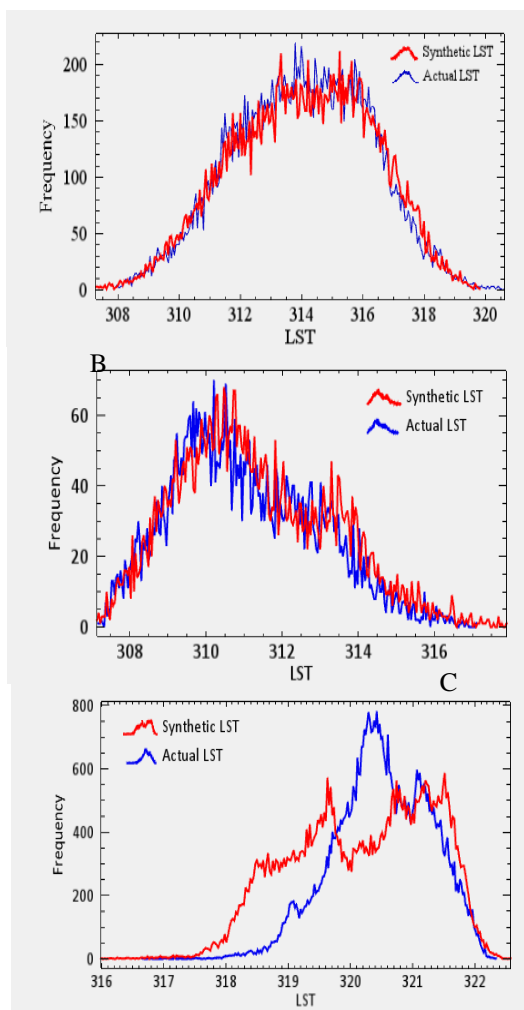
کاربری اراضی غالب در منطقه مورد مطالعه که شامل مناطق کوهستانی، اراضی کشاورزی و اراضی بایر می‌باشد در این مقایسه استفاده شده‌اند. مقایسه بین تصویر دمای سطح زمین مصنوعی و

ارزیابی تصاویر دمای سطح زمین مصنوعی لندست ۸ شکل (۴) نشان دهنده ارزیابی کیفی بین دمای سطح زمین واقعی و مصنوعی لندست ۸ برای تصویر سال ۲۰۱۶ می‌باشد. سه نوع

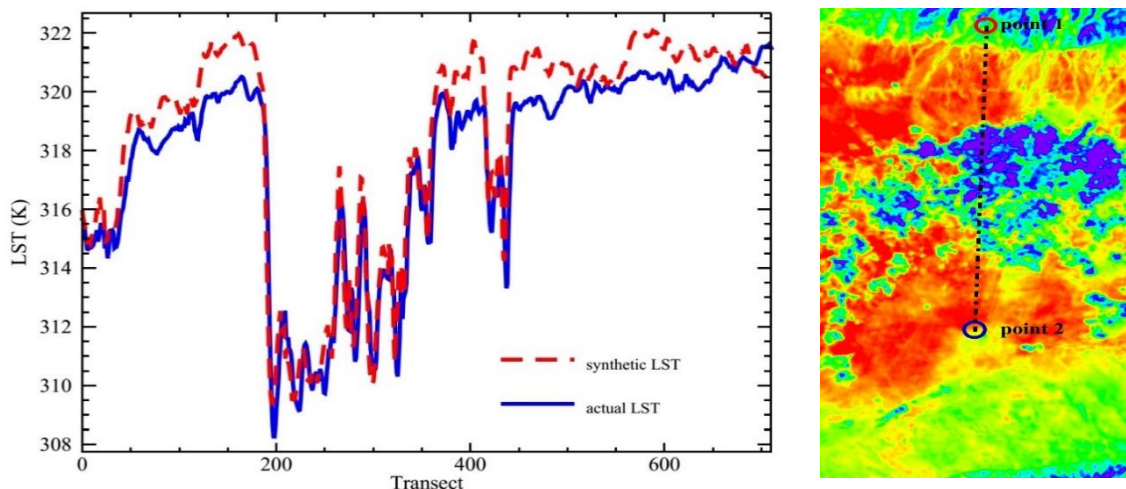
کاربری‌های اراضی مورد مطالعه عبور کرده است. شکل (۴) نشان می‌دهد دقت برآورد دما در مناطق کشاورزی و کوهستانی که دمای سطح زمین پایین‌تری دارند، بیشتر است. در مناطق کویری و بدون پوشش گیاهی تا ۲ درجه کلوین تفاوت مشاهده شد. در ارزیابی کمی، نتایج حاصل از تصاویر مصنوعی و واقعی دمای سطح زمین لندست ۸ به دست آمده در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ بر روی نمودار رسم شدند (شکل ۵). در هر دو مورد، یک رابطه قوی بین دمای سطح زمین پیش‌بینی‌شده و واقعی دیده شد. به عنوان مثال، ضرایب R^2 و RMSE برای سال‌های ۲۰۱۵ به ترتیب ۰/۹۵ و ۲/۵۲ و برای سال ۲۰۱۶ برابر با ۰/۷۴ و ۱/۴۴ بود. علاوه بر این، در هر دو مورد، خط رگرسیون حاصل از رابطه بین دمای سطح زمین واقعی و مصنوعی، به خط یک به یک نزدیک بود.

واقعی نشان‌دهنده دقت خوب تصویر مصنوعی در برآورد دمای سطح زمین واقعی در کاربری‌های مورد مطالعه بود. این برآورد در مناطق کوهستانی و کشاورزی نسبت به اراضی بایر بهتر بود. دلیل دقت کم برآورد دمای سطح زمین در اراضی بایر را می‌توان به متغیر بودن ضریب گسیل‌مندی سطحی در این مناطق در مقایسه با مناطق کوهستانی و اراضی کشاورزی، نسبت داد (Wang *et al.*, 2007). علاوه بر این، محصولات دمای سطح زمین مودیس در برآورد دمای سطح زمین مناطق خشک و بیابانی دقت کمی دارند (Bosilovich, 2006; Coll *et al.*, 2009; Hulley & Hook, 2009; Zhengming Wan, 2008).

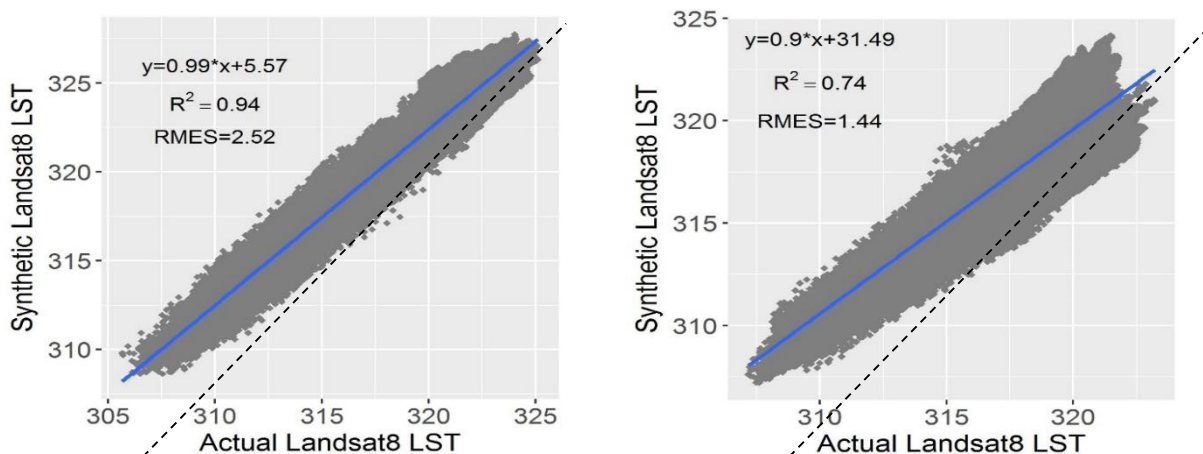
همچنین برش عرضی از نحوه تغییرات دمای سطح زمین از تصویر دمای سطح زمین مصنوعی و واقعی سال ۲۰۱۶، در فاصله طولی حدود ۲۰ کیلومتر از شمال تا جنوب منطقه مورد مطالعه در شکل (۴) رسم شد. این برش عرضی از تمامی



شکل ۴: مقایسه بین نتایج حاصل از دمای سطح زمین واقعی و مصنوعی لندست ۸ در سه نوع کاربری اراضی غالب منطقه شامل مناطق کوهستانی (A)، مناطق کشاورزی (B) و مناطق کویری (C) برای سال ۲۰۱۵. تصویر فوق حاصل ترکیب باندهای ۴، ۵ و ۳ لندست ۸ می‌باشد.



شکل ۵: وضعیت تغییرات دمای سطح زمین واقعی و مصنوعی حاصل از برش عرضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۵



شکل ۶: رابطه بین دمای سطح زمین واقعی و مصنوعی لندست ۸ برای سال ۲۰۱۵ (a) و ۲۰۱۶ (b). خط نقطه چین نشان دهنده خط ۱:۱ و خط ممتد نشان دهنده خط رگرسیون می باشد.

در این مطالعه توانایی پیش بینی تصاویر دمای سطح زمین شبه- لندست در بازه های زمانی کمتر از ۱۶ روز را دارا می باشد. نتایج حاصل از مطالعه هزیمه و حسن (۱۴) نیز نشان دهنده دقت مناسب الگوریتم STI-FM در برآورد تصاویر دمای سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا بود؛ میزان RMSE بین ۰/۰۶ الی ۰/۰۸ و ضریب تعیین بین ۰/۸۴ تا ۰/۹ نشان دهنده این دقت بالا بود.

مقادیر دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و انحراف از معیار تصاویر LST واقعی و مصنوعی متناظر با آن در جدول (۲) نشان داده شده اند. مقادیر نزدیک بین پارامترهای دمایی مورد مطالعه در تصاویر واقعی و مصنوعی لندست ۸، نشان دهنده همبستگی بالای بین آن ها می باشد. وجود همبستگی قوی نشان دهنده این است که مدل تلفیقی مکانی-زمانی مورد استفاده

جدول ۲: مقایسه آماری بین دمای سطح زمین واقعی و دمای سطح زمین مصنوعی لندست ۸ تولیدشده توسط الگوریتم STI-FM

تاریخ	تصویر دمای سطح زمین	دمای حداقل (درجه کلوین)	دمای حداکثر (درجه کلوین)	دمای میانگین (درجه کلوین)	انحراف معیار (درجه کلوین)
۲۰۱۵	واقعی	۳۰۴/۹۲	۳۲۶/۰۴	۳۱۸/۶۳	۳/۳۳
	مصنوعی	۳۰۷/۲۸	۳۲۸/۰۵	۳۲۰/۶۸	۳/۳۴
۲۰۱۶	واقعی	۳۰۶/۶۸	۳۲۳/۸۲	۳۱۸/۷۹	۲/۵۲
	مصنوعی	۳۰۵/۴۷	۳۲۵/۰۶	۳۱۸/۰۷	۲/۷۰

نتیجه‌گیری

گسیلمندی سطحی مناطق بیابانی نسبت به سایر مناطق و همچنین دقت پایین محصولات دمای سطح زمین مودیس در برآورد دمای سطح زمین مناطق بیابانی و خشک، قابل توجه است. با این وجود، تفاوت حداکثر دو درجه‌ای در برآورد دمای سطح زمین توسط الگوریتم تلفیق مکانی-زمانی تصویر، نشان-دهنده توانایی مناسب این الگوریتم در پیش‌بینی دمای سطح زمین شبه‌لندست در بازه‌های زمانی کمتر از ۱۶ روز بود و نشان داد که با استفاده از این الگوریتم ساده، می‌توان با دقت خوبی به تصاویر با قدرت تفکیک مکانی شبه‌لندست در بازه‌های زمانی کمتر از ۱۶ روز، دست یافت.

با توجه به جدید بودن مسئله تلفیق مکانی-زمانی داده‌های سنجش از دوری و توسعه الگوریتم‌های مختلف در این حوزه، مطالعات کمی بر روی تلفیق مکانی-زمانی دمای سطح زمین در سطح دنیا صورت گرفته است و بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی تلفیق پارامترهایی همچون بازتاب سطحی انجام شده است. اغلب مطالعات انجام شده نشان‌دهنده برتری و قدرت استفاده از الگوریتم‌های تلفیق مکانی-زمانی در پیش‌بینی و تعیین داده‌های مختلف سنجش از دوری با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا بوده‌اند (Emelyanova et al., 2013; Guan et al., 2017b; H. Liu, 2012; X. Liu et al., 2016; Meng et al., 2013; Moosavi et al., 2015; Singh, 2011; Zhu et al., 2016). الگوریتم‌های مختلفی در سال‌های اخیر توسعه پیدا کرده‌اند که لزوم بررسی بیشتر و دقیق‌تر این الگوریتم‌ها و مقایسه آن‌ها جهت انتخاب مناسب‌تر در مناطق مختلف احساس می‌شود.

در این مطالعه الگوریتم تلفیق مکانی-زمانی تصویر (STI-FM) به‌منظور دستیابی به تصاویر با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، به تصاویر دمای سطح زمین سنجنده‌های مودیس و لندست اعمال شد. جهت بررسی تاثیر الگوریتم بر روی پوشش‌های زمینی مختلف، منطقه مورد مطالعه به‌صورتی انتخاب شد که شامل کاربری‌های اصلی و مهم منطقه شامل اراضی کشاورزی، کوهستانی و کویری باشد. با توجه به اینکه فرض اصلی این الگوریتم وجود رابطه خطی بین داده‌های دمای سطح زمین دو تصویر متوالی مودیس می‌باشد، همبستگی بالای به‌دست آمده بین دو تصویر مودیس در بازه ۱۶ روزه، تایید کننده فرض اصلی این الگوریتم بود. با اعمال ضرایب روابط خطی به دست آمده به تصاویر دمای سطح زمین لندست در زمان ۱، تصاویر مصنوعی لندست در زمان پیش‌بینی، تولید شد. مقایسه این تصاویر مصنوعی با تصاویر واقعی دمای سطح زمین لندست در کاربری‌های مختلف انجام شد. مناطق کشاورزی بیشترین همبستگی را از لحاظ کمی با تصاویر مصنوعی پیش‌بینی‌شده توسط الگوریتم داشتند. از لحاظ مقایسه کیفی نیز، در مناطق کشاورزی، تصاویر پیش‌بینی‌شده و واقعی بیشترین شباهت را با یکدیگر داشتند. دلیل این امر را می‌توان در یکنواخت بودن ضریب گسیلمندی سطح در مناطق کشاورزی دانست؛ در مناطق بیابانی میزان همبستگی دمای سطح زمین واقعی و پیش‌بینی‌شده کمتر از مناطق دیگر بود. دلیل این مسئله در متغیر بودن ضریب

REFERENCES

- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016, 1–8.
- Bosilovich, M. G. (2006). A comparison of MODIS land surface temperature with in situ observations. *Geophysical Research Letters*, 33, L20112.
- Coll, C., Wan, Z., & Galve, J. M. (2009). Temperature-based and radiance-based validations of the V5 MODIS land surface temperature product. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114, D20102.
- Duan, S.-B., Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., & Tang, R. (2014). Generation of a time-consistent land surface temperature product from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 140, 339–349.
- 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.
- Feng Gao, 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, 2207–2218.
- Feng, M., Huang, C., Channan, S., Vermote, E. F., Masek, J. G., & Townshend, J. R. (2012). Quality assessment of Landsat surface reflectance products using MODIS data. *Computers & Geosciences*, 38, 9–22.
- Feng, M., Sexton, J. O., Huang, C., Masek, J. G., Vermote, E. F., Gao, F., ... Townshend, J. R. (2013). Global surface reflectance products from Landsat: Assessment using coincident MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 134, 276–293.
- Fu, D., Chen, B., Wang, J., Zhu, X., & Hilker, T. (2013a). An Improved Image Fusion Approach Based on Enhanced Spatial and Temporal the Adaptive Reflectance Fusion Model. *Remote Sensing*, 5, 6346–6360.
- Fu, D., Chen, B., Wang, J., Zhu, X., & Hilker, T. (2013b). An Improved Image Fusion Approach

- Based on Enhanced Spatial and Temporal the Adaptive Reflectance Fusion Model. *Remote Sensing*, 5, 6346–6360.
- Guan, X., Liu, G., Huang, C., Liu, Q., Wu, C., Jin, Y., & Li, Y. (2017a). An Object-Based Linear Weight Assignment Fusion Scheme to Improve Classification Accuracy Using Landsat and MODIS Data at the Decision Level. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55, 6989–7002.
- Guan, X., Liu, G., Huang, C., Liu, Q., Wu, C., Jin, Y., & Li, Y. (2017b). An Object-Based Linear Weight Assignment Fusion Scheme to Improve Classification Accuracy Using Landsat and MODIS Data at the Decision Level. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55, 6989–7002.
- Guillevic, P. C., Bork-Unkelbach, A., Gottsche, F. M., Hulley, G., Gastellu-Etchegorry, J.-P., Olesen, F. S., & Privette, J. L. (2013). Directional Viewing Effects on Satellite Land Surface Temperature Products Over Sparse Vegetation Canopies—A Multisensor Analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10, 1464–1468.
- Hazaymeh, K., Hassan, Q. K., Pinheiro, A., Xiong, Y., & Qiu, G. (2015). Fusion of MODIS and Landsat-8 Surface Temperature Images: A New Approach. *PLOS ONE*, 10, e0117755.
- Hilker, T., Wulder, M. A., Coops, N. C., Linke, J., McDermid, G., Masek, J. G., ... White, J. C. (2009). A new data fusion model for high spatial- and temporal-resolution mapping of forest disturbance based on Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1613–1627.
- Hulley, G. C., & Hook, S. J. (2009). Intercomparison of versions 4, 4.1 and 5 of the MODIS Land Surface Temperature and Emissivity products and validation with laboratory measurements of sand samples from the Namib desert, Namibia. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1313–1318.
- Inamdar, A. K., French, A., Hook, S., Vaughan, G., & Lockett, W. (2008). Land surface temperature retrieval at high spatial and temporal resolutions over the southwestern United States. *Journal of Geophysical Research*, 113, D07107.
- Kustas, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. C., & French, A. N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index–radiometric temperature relationship. *Remote Sensing of Environment*, 85, 429–440.
- Liu, H. (2012). Enhancing temporal resolution of satellite imagery for public health studies: A case study of West Nile Virus outbreak in Los Angeles in 2007. *Remote Sensing of Environment*, 117, 57–71.
- Liu, X., Deng, C., Wang, S., Huang, G.-B., Zhao, B., & Lauren, P. (2016). Fast and Accurate Spatiotemporal Fusion Based Upon Extreme Learning Machine. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13, 2039–2043.
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyip, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, Ü., ... Caetano, M. (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89, 59–66.
- Meng, J., Du, X., & Wu, B. (2013). Generation of high spatial and temporal resolution NDVI and its application in crop biomass estimation. *International Journal of Digital Earth*, 6, 203–218.
- Moosavi, V., Talebi, A., Mokhtari, M. H., Shamsi, S. R. F., & Niazi, Y. (2015). A wavelet-artificial intelligence fusion approach (WAIFA) for blending Landsat and MODIS surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 169, 243–254.
- Nichol, J. (2009). An Emissivity Modulation Method for Spatial Enhancement of Thermal Satellite Images in Urban Heat Island Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75, 547–556.
- Oguro, Y., Ito, S., & Tsuchiya, K. (2011). Comparisons of Brightness Temperatures of Landsat-7/ETM+ and Terra/MODIS around Hotien Oasis in the Taklimakan Desert. *Applied and Environmental Soil Science*, 2011, 1–11.
- Olivera-Guerra, L., Mattar, C., Merlin, O., Durán-Alarcón, C., Santamaría-Artigas, A., & Fuster, R. (2017). An operational method for the disaggregation of land surface temperature to estimate actual evapotranspiration in the arid region of Chile. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 170–181.
- Roy, D. P., Ju, J., Lewis, P., Schaaf, C., Gao, F., Hansen, M., & Lindquist, E. (2008). Multi-temporal MODIS–Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3112–3130.
- Shen, H., Wu, P., Liu, Y., Ai, T., Wang, Y., & Liu, X. (2013). A spatial and temporal reflectance fusion model considering sensor observation differences. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 4367–4383.
- Singh, D. (2011). Generation and evaluation of gross primary productivity using Landsat data through blending with MODIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 59–69.
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q. (2012). Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 417–427.
- Srivastava, P. K., Han, D., Ramirez, M. R., & Islam, T. (2013). Machine Learning Techniques for Downscaling SMOS Satellite Soil Moisture Using MODIS Land Surface Temperature for Hydrological Application. *Water Resources Management*, 27, 3127–3144.

- Volcani, A., Karnieli, A., & Svoray, T. (2005). The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. *Forest Ecology and Management*, 215, 239–250.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z.-L. (2004). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 261–274.
- Wan, Zhengming. (2008). New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature / Emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, 112, 59–74.
- Wan, Zhengming. (2014). New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote Sensing of Environment*, 140, 36–45.
- Wang, K., Wan, Z., Wang, P., Sparrow, M., Liu, J., & Haginoya, S. (2007). Evaluation and improvement of the MODIS land surface temperature/emissivity products using ground-based measurements at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2549–2565.
- Zakšek, K., & Oštir, K. (2012). Downscaling land surface temperature for urban heat island diurnal cycle analysis. *Remote Sensing of Environment*, 117, 114–124.
- Zhan, W., Chen, Y., Zhou, J., Wang, J., Liu, W., Voogt, J., ... Li, J. (2013). Disaggregation of remotely sensed land surface temperature: Literature survey, taxonomy, issues, and caveats. *Remote Sensing of Environment*, 131, 119–139.
- Zhang, W., Li, A., Jin, H., Bian, J., Zhang, Z., Lei, G., ... Huang, C. (2013). An Enhanced Spatial and Temporal Data Fusion Model for Fusing Landsat and MODIS Surface Reflectance to Generate High Temporal Landsat-Like Data. *Remote Sensing*, 5, 5346–5368.
- Zhu, X., Chen, J., Gao, F., Chen, X., & Masek, J. G. (2010). An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2610–2623.
- Zhu, X., Helmer, E. H., Gao, F., Liu, D., Chen, J., & Lefsky, M. A. (2016). A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions. *Remote Sensing of Environment*, 172, 165–177.