



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

اعتبارسنجی دمای سطح حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و لندست-۵ (مطالعه موردی: مزارع گندم دشت مرو دشت)

*علی اکبر سبزی‌پور^۱، الهام فخاری‌زاده شیرازی^۲، محمدجعفر ناظم‌السادات^۳ و یوسف رضایی^۴

^۱استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، ^۲دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا،

^۳استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه شیراز، ^۴استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بوعلی‌سینا

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: دمای سطح زمین یک متغیر کلیدی در برآورد بیلان انرژی می‌باشد که در بررسی تغییر اقلیم نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. به همین دلیل، پایش منطقه‌ای دمای سطح زمین در دهه‌های اخیر مورد مطالعه و پژوهش بسیاری از دانشمندان علوم مختلف قرار گرفته است. در حال حاضر دمای سطح زمین به وسیله ابزار سنسور دما، به شیوه زمینی اندازه‌گیری می‌شود که در سطح وسیع منطقه‌ای مقرون به صرفه نمی‌باشد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین دمای سطح، دسترسی به دما در حوضه و منطقه وسیع را آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر نموده است. در این پژوهش محصول دمای سنجنده مودیس (MOD11) مورد ارزیابی قرار گرفت. اما به دلیل به کار بردن ضرایب تصحیحی که ممکن است در ایران پاسخگو نباشد، افزون بر تصاویر سنجنده فوق، تخمین دما با استفاده از تصاویر لندست (TM5) که قدرت مکانی آن از تصاویر مودیس بسیار بالاتر است، نیز مورد آزمون و مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش از دو دسته داده‌های زمینی و ماهواره‌ای استفاده شد. داده‌های دما در ۲۶۱ نقطه زمینی با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز برداشت گردید. اندازه‌گیری‌های زمینی در ۴ سطح گیاه شامل، تاج‌پوشش، میانه، ۱۰ سانتی‌متری از کف و سطح خاک انجام پذیرفت و پس از پردازش‌های لازم داده‌های مناسب انتخاب گردید. داده‌های ماهواره‌ای، دربرگیرنده ۲۶ تصویر سنجنده مودیس (MOD11 و MOD02) و ۲ تصویر Level-1G لندست-۵ می‌باشد. منطقه مورد مطالعه مزارع گندم شهرستان مرو دشت واقع در استان فارس است. پس از انجام تصحیح‌های لازم، دمای سطح با استفاده از باند حرارتی تصویر لندست-۵ محاسبه شد. بعد از تخمین دما از تصاویر لندست-۵ و سنجنده مودیس، در نقاط برداشت زمینی اقدام به استخراج دما از تصاویر دمای سطح ماهواره لندست-۵ و سنجنده مودیس گردید و سپس رابطه بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمین زده شده دمای سطح از تصاویر لندست-۵ و سنجنده مودیس استخراج شد. رابطه داده‌های تخمینی با داده‌های برداشت زمینی دما در ۴ سطح گیاه مورد آزمون قرار گرفت. همچنین، با استفاده از ۳ الگوریتم پنجره مجزا، بکر و لی، پرایس و یولیوری دمای سطح در منطقه مورد مطالعه تخمین زده شد و ضرایب الگوریتم‌های پنجره مجزا برای منطقه مورد مطالعه واسنجی گردید. با استفاده از

* مسئول مکاتبه: swsabzi@basu.ac.ir

داده‌های اندازه‌گیری شده تخمین‌های ماهواره‌ای اعتبارسنجی گردید. در این پژوهش برای تعیین معنی‌داری تفاوت بین جفت داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی از آزمون فیشر استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که دمای سطح تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره بیش‌ترین همبستگی را با دمای تاج‌پوشش گیاهی دارد. بنابراین همه محاسبات آماری بر روی دمای تاج‌پوشش گیاه انجام پذیرفت. دمای تخمین‌زده شده به‌وسیله ماهواره لندست و سنجنده مودیس بیانگر بیش برآورد دما با خطای RMSE به‌ترتیب ۴/۴ و ۷/۱ درجه سلسیوس بود. خطای دمای سطح تخمین زده شده با استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا بین ۳/۵ تا ۳/۹ درجه سلسیوس برآورد گردید که بهترین پاسخ را الگوریتم بکر و لی داشت. برای تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های زمینی و داده‌های تخمین زده شده و به‌دست آمده از الگوریتم‌های محاسبه دما، از آزمون فیشر استفاده گردید که اختلاف معنی‌داری در هیچ‌یک از جفت داده‌ها مشاهده نگردید.

نتیجه‌گیری: استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعاتی که دما به‌صورت نسبی در یک منطقه وسیع مقایسه می‌گردد، بسیار کارآمد و مقرون به‌صرفه است ولی برای مطالعات دقیق نقطه‌ای و خرداقلیم در حال حاضر توصیه نمی‌گردد. انتخاب نوع تصاویر ماهواره (لندست یا مودیس) به دقت مورد نیاز برای برآورد پهنه‌ای یا نقطه‌ای دما بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، ماهواره، پنجره مجزا، فارس، گندم

مقدمه

دمای سطح زمین یک متغیر کلیدی در آنالیز و مدل‌سازی بیلان انرژی سطح (۱، ۲۸)، رطوبت سطحی و تبخیر و تعرق (۳، ۸، ۱۸) و مطالعات تغییر اقلیم در مقیاس‌های گوناگون (۱۱، ۴۱) است. به‌علاوه دمای سطح زمین برای بررسی بهداشت محیط، آسیب‌پذیری انسان به تنش‌های گرمایی (۹، ۱۴) و شیوع و انتشار بیماری‌ها (۱۷، ۲۳، ۲۵) به‌کار می‌رود. بنابراین تخمین دمای سطح زمین نه تنها برای درک فرایندهای محیط زیستی نیاز است بلکه در ارتباط با سلامت انسان نیز می‌باشد (۴۱). اندازه‌گیری و تخمین دمای پوشش سبز در کشاورزی بسیار دارای اهمیت است چرا که دمای سطح برگ به‌عنوان شاخصی در سنجش تنش آبی گیاه، نیاز آبی و برآورد تبخیر و تعرق به‌کار می‌رود.

پایش دمای سطح به‌خصوص در دهه‌های اخیر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. اندازه‌گیری دمای سطح به شیوه زمینی از نظر زمانی و اقتصادی

در مقیاس وسیع مقرون به‌صرفه نمی‌باشد. از طرفی ماهواره‌های سنجش از دور در بازه‌های زمانی کوتاه نمایشی سینوپتیکی از سطح زمین را ارائه می‌دهند (۲۴). بنابراین استخراج دما از تصاویر ماهواره‌ای در اولویت قرار دارد و از داده‌های ماهواره‌ای برای واسنجی و تصحیح داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود. سنجنده‌های پیش‌کننده دمای سطح عموماً برای طول موج‌های TIR^۱ طراحی شده‌اند (۴۱) که مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوتی دارند. به‌عنوان مثال تصاویر سنجنده مودیس (MODIS)^۲ با استفاده از دو باند طول موج بلند مادون‌قرمز (LWIR)^۳ برای هر روز ۲ تصویر تولید می‌کند و ماهواره لندست^۴ (TM5)^۵ و ماهواره لندست^۶ (ETM7⁺)^۶ داده‌های حرارتی در محدوده طول موج بلند مادون‌قرمز و با

- 1- Thermal Infrared
- 2- Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
- 3- Low wave Infrared
- 4- Landsat
- 5- Thematic Mapper 5
- 6- Enhanced Thematic Mapper Plus

خطای ۱۷/۴-۱۰/۲ و رحیمی خوب (۲۰۰۵) به خطای ۴/۱-۱۴/۳ درجه سلسیوس دست یافتند (۲۲، ۱۹).
 دمای سطح سنجنده مودیس با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا ون و لی (۱۹۹۷) و ون و دایزر (۱۹۹۶)، توسط تیم مربوطه تولید شده است (۳۰، ۳۱). داده‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای توسط پژوهش‌گران زیادی واسنجی و اعتبارسنجی شده است. به‌عنوان مثال در سال‌های اخیر محصولات دمای مودیس با داده‌های اندازه‌گیری شده در بیش از ۵۰ شرایط آسمان صاف در دامنه دمایی ۱۰- الی ۵۸ درجه سلسیوس و محتوای بخار آب ۴-۰/۴ سانتی‌متر اعتبارسنجی شده است (۵، ۳۸، ۳۷، ۳۶، ۳۵، ۶، ۳۴، ۳۳). در این بین به‌عنوان مثال، لی (۲۰۰۴) در استخراج دما از ماهواره لندست-۵ و ۷ در ایالت آیوا آمریکا به‌ترتیب به خطای ۰/۹۷ و ۱/۴ درجه سلسیوس دست یافت (۱۶). ون و همکاران (۲۰۰۲) در اعتبارسنجی دمای سطح تصاویر ماهواره Terra سنجنده مودیس در کشور بولیوی و ایالت کالیفرنیا آمریکا به دقت ± 1 درجه سلسیوس و سوپرینو و همکاران (۲۰۰۴) با به‌کارگیری تصاویر لندست-۵ به خطای کم‌تر از ± 1 درجه کلین در زمین‌های کشاورزی کشور اسپانیا رسید (۲۶، ۳۲). فخاری‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که برآورد دمای تاج پوشش محصولات کشاورزی با به‌کارگیری فنون سنجنش از دور امکان‌پذیر است (۷). هاشمی و همکاران (۲۰۱۳) توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با استفاده از سنجنش از دور حرارتی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش که در مناطق شهری تهران انجام شد از تصاویر لندست-۷ استفاده گردید. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بر خلاف انتظار، حداکثر دماهای سطحی در پهنه‌های مترکم شهری حضور گسترده‌ای ندارند و در پهنه‌های کوهستانی، ارتباط بین LST و NDVI پایین است و به‌طورکلی

قدرت تفکیک مکانی ۱۲۰-۶۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه فراهم می‌کند (۲۴). قدرت تفکیک مکانی ماهواره GOES در محدوده طول موج‌های مادون‌قرمز حرارتی ۴ کیلومتر، سنجنده AVHRR^۱، ماهواره‌های Terra و Aqua یک کیلومتر و سنجنده Aster^۲ ۹۰ متر است (۱۶). در این پژوهش از داده‌های حرارتی سنجنده مودیس و ماهواره لندست-۵ (TM5) استفاده شده است. در ۲۰ سال اخیر الگوریتم‌های زیادی برای استخراج دما از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است (۳۲، ۳۰، ۲۹، ۳۹، ۱۳). در این میان پرستفاده‌ترین آن، الگوریتم پنجره مجزا^۳ است و دلیل آن دقت و سادگی آن است. الگوریتم پنجره مجزا بر دو فرض استوار است: اولاً این‌که میزان اثرات اتمسفر در پنجره اتمسفری ۱۲/۵-۱۰ میکرومتری حداقل است و دیگر این‌که ضریب گسیلندگی در طول موج باندهای حرارتی در سطح زمین قابل دسترس است (۲۷). الگوریتم پنجره مجزا توسط پژوهش‌گران زیادی و برای ماهواره‌های گوناگون ارائه و تصحیح شده است (۳۰، ۲۹، ۲، ۲۰). کوان (۲۰۱۲) ضرایب بکر را در الگوریتم پنجره مجزا برای استخراج دما از تصاویر AVHR و VIRR^۴ اصلاح نمود (۲۱). سی‌یو و همکاران (۲۰۰۸) به مقایسه الگوریتم‌های پنجره مجزا ارائه شده برای استخراج دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای پرداخت (۲۷). نوری (۲۰۱۰) و چایچی (۲۰۰۸) الگوریتم کول و کاسلیس (۱۹۹۷) و رحیمی خوب و همکاران (۲۰۰۵) الگوریتم پرایس را بهترین الگوریتم برای تخمین دمای به‌ترتیب مشهد، تهران و دریاچه ارومیه از تصاویر AVHRR معرفی کردند (۲۲، ۴، ۶، ۱۹). نوری (۲۰۱۰) در کاربرد الگوریتم‌های پنجره مجزا جهت استخراج دما از تصاویر AVHRR به

- 1- Advanced Very High Resolution Radiometer
- 2- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
- 3- Spilt Window
- 4- Visible and Infrared Radiometer

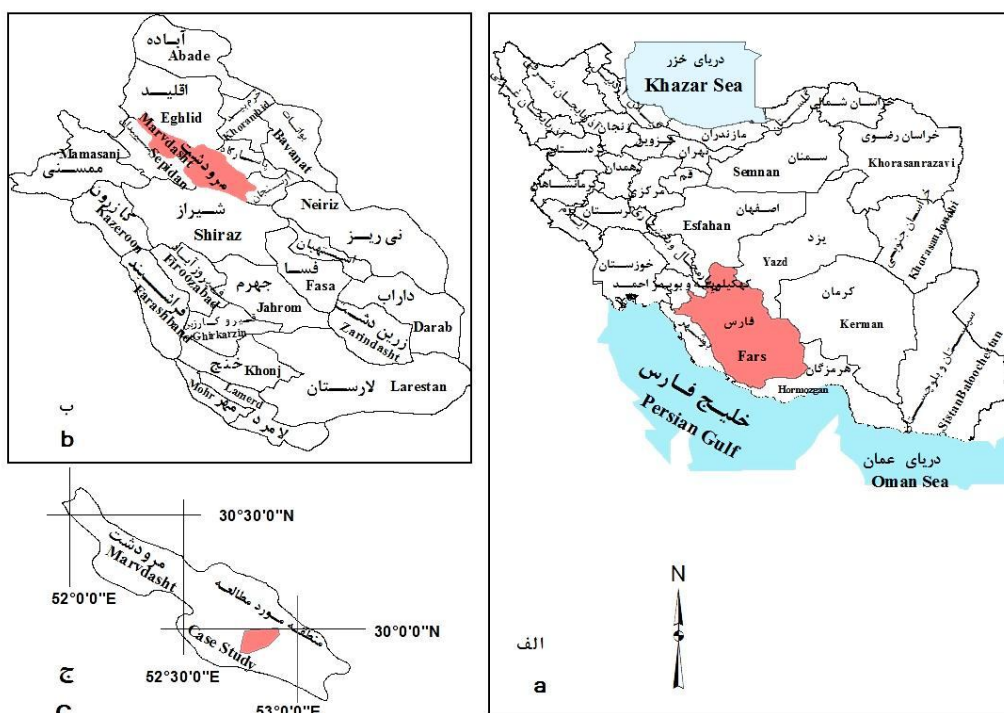
با استفاده از داده‌های زمینی دما و ۳- کالیبره کردن ضرایب در الگوریتم‌های مختلف استخراج دما از تصاویر ماهواره‌ای.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در شهرستان مرودشت می‌باشد که در استان فارس و در ارتفاع ۱۵۹۵ متری از گستره دریا قرار دارد. مهم‌ترین رودخانه‌های آن رودخانه کر و رودخانه سیوند هستند که بسیار مهم و حیاتی محسوب می‌شوند. این شهرستان دارای ۱۷۰ هزار هکتار زمین‌های کشاورزی می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

گرایان توزیع دمایی در منطقه شهری تهران از شمال‌شرق به جنوب‌غرب کاهش می‌یابد. همچنین، حداکثر دماهای LST، بیش‌تر در پهنه‌های کوهستانی شرق (بی‌بی شهربانو) و پهنه صنعتی غرب مشاهده گردید (۱۰).

در پژوهش حاضر محصول دمای سنجنده مودیس (MOD11) مورد ارزیابی قرار گرفت. اما از آن‌جا که به دلیل به‌کار بردن ضرایب تصحیحی که ممکن است در ایران پاسخگو نباشد، تخمین دما با استفاده از تصاویر لندست-۵ که قدرت مکانی آن از تصاویر مودیس بسیار بالاتر است، نیز مورد آزمون و مطالعه قرار گرفت. به‌طور کلی در این پژوهش اهداف زیر دنبال شده است: ۱- استخراج دما از تصاویر لندست-۵ و مقایسه آن با اندازه‌گیری‌های زمینی، ۲- اعتبارسنجی محصول MOD11 سنجنده مودیس



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور (الف)، در استان (ب)، در شهرستان (ج).

Figure 1. Geographical location of the study area in the country (a); in province (b); in city (c).

آهنگ^۲ در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری قرار دارد، دوره گردش این ماهواره ۹۹ دقیقه و دوره تناوب آن ۱۶ روزه است. در این پژوهش از تصاویر Level-1 G سنجنده TM استفاده گردید. این محصول دارای تصحیحات رادیومتری و هندسی است. سنجنده TM دارای ۷ باند است که به جز باند ۶ که قدرت تفکیک مکانی آن ۱۲۰ متر است بقیه باندها دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌باشند. با توجه به تاریخ برداشت‌های زمینی امکان استفاده از تصاویر لندست-۷ نیز وجود داشت اما به دلیل از کار افتادن دستگاه اسکن اصلاح خطوط در تصاویر لندست-۷ در سال ۲۰۰۳ (خطای SLC-off^۳)، از این تصاویر استفاده نگردید. تصاویر مورد استفاده مربوط به گذر^۴ ۱۶۲ و ۱۶۳ و ردیف^۵ ۳۹ می‌باشد. دلیل انتخاب دو گذر این است که منطقه مرودشت در دو گذر قرار دارد.

تصاویر سنجنده مودیس: سنجنده مودیس بر روی ماهواره Terra قرار دارد و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی در ناحیه ۰/۴-۱۴/۴ میکرون از طیف الکترومغناطیسی از سطح زمین برداشت می‌کند. در این پژوهش از محصول MOD02 و MOD11 تصاویر ماهواره Terra سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده شده است. MOD02 از دسته تصاویر Level-1B است که دربرگیرنده تصاویر رادیانس^۶ می‌باشد. تصاویر Level-1B دارای سطح تسطیح MOD3 می‌باشند که تصحیحات، زاویه اوج خورشیدی^۷، خطای نوارشدگی^۸ و پردازش‌های هندسی^۹ را در بر می‌گیرد. MOD11 در برگیرنده دمای سطح و ضریب گسیلندگی در باندهای ۳۱ و ۳۲ می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش از دو سری داده مستقل استفاده شده است: الف) داده‌های زمینی؛ ب) داده‌های ماهواره‌ای

الف) داده‌های زمینی: از آنجایی که کشت غالب در دشت مرودشت، محصولات گندم و ذرت می‌باشد و گندم یک محصول استراتژیک است و نقش مهمی را در اقتصاد منطقه و مملکت ایفا می‌کند، بنابراین محصول گندم برای بررسی و پژوهش انتخاب گردید. همچنین برای این که مطالعه در یک محیط همگن انجام شود تمام داده‌ها فقط از مزارع گندم برداشت گردید. اندازه‌گیری در ۴ سطح گیاه شامل، تاج‌پوشش، میانه، ۱۰ سانتی‌متری از کف و سطح خاک انجام پذیرفت. ارتفاع برداشت داده‌ها از کف تا ارتفاع ۲-۱/۵ متر از سطح زمین می‌باشد. برداشت داده‌ها در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۸۸ که کم و بیش هنگام خوشه‌زنی گندم بود آغاز شد. دما در بازه زمانی نیم ساعت پیش از گذر ماهواره شروع و تا نیم‌ساعت پس از گذر ماهواره و در شرایط آسمان صاف اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری دمای پوشش سبز از دماسنج فرو سرخ KYORLTSU مدل ۵۵۰۰ با فیلتر عبوری برای پرتوهایی با طول موج‌های ۷/۵ تا ۱۴ میکرون گردید. در مجموع ۲۶۱ نمونه زمینی برداشت گردید در جدول ۱ تاریخ نمونه‌برداری به‌همراه تعداد نمونه‌ها ارائه شده است.

ب) تصاویر ماهواره‌ای: تصاویر به‌کار رفته برای انجام پژوهش، تصاویر سنجنده مودیس ماهواره Terra و TM5 ماهواره لندست می‌باشد. در مجموع از ۲۶ تصویر مودیس و ۲ تصویر ماهواره لندست استفاده گردید. زمان برداشت داده‌های زمینی با زمان گذر ماهواره مطابقت داشت. در جدول ۱ تصاویر مورد استفاده به‌همراه زمان گذر ماهواره ارائه گردیده است.

تصاویر لندست-۵: ماهواره لندست-۵ دارای دو سنجنده MSS^۱ و TM می‌باشد. این ماهواره خورشید

- 2- Sun synchronous
- 3- Scan Line Corrector
- 4- Path
- 5- Row
- 6- Radiance
- 7- SolarZenith
- 8- De-Striping
- 9- Geo Processing

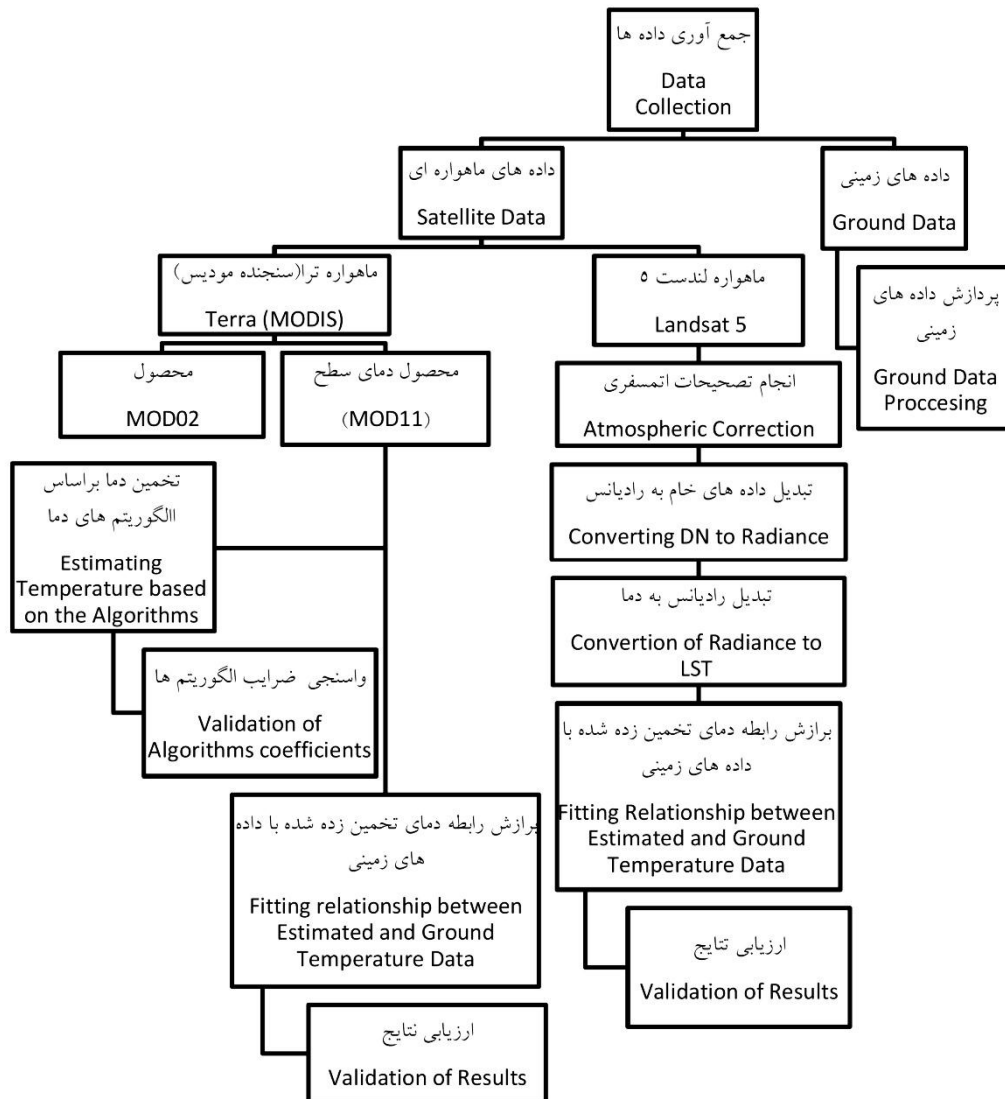
- 1- Multispectral Scanner

جدول ۱- تاریخ برداشت دمای سطح و تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در هر روز.
 Table 1. Date and time of ground measurements and satellite pass.

| تصاویر استفاده شده لندست | | تصاویر مودیس استفاده شده | | تعداد نقاط | تاریخ اندازه‌گیری | ردیف |
|--|------------------------|--|------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|
| زمان گذر Pass times (Local time) | محصول Landsat Image | زمان گذر Pass times (Local time) | MODIS Images | Number of Measurement point | Measurement date | Number |
| - | - | 11:45 | MOD11_L2.A2009130.0715 | 16 | 5-may-009 | 1 |
| - | - | 12:25 | MOD11_L2.A2009131.0755 | 19 | 6-may-009 | 2 |
| - | - | 11:00 | MOD11_L2.A2009132.0700 | 15 | 7-may-009 | 3 |
| - | - | 11:55 | MOD11_L2.A2009144.0725 | 19 | 24-may-009 | 4 |
| 11:20 | LT51630392009145 | 11:00 | MOD11_L2.A2009145.0630 | 19 | 25-may-009 | 5 |
| - | - | 11:45 | MOD11_L2.A2009146.0715 | 19 | 26-may-009 | 6 |
| 11:15 | LT51620392009154 | 12:30 | MOD11_L2.A2009154.0800 | 22 | 03-JUN-009 | 7 |
| - | - | 11:35 | MOD11_L2.A2009155.0705 | 23 | 04-JUN-009 | 8 |
| - | - | 12:20 | MOD11_L2.A2009172.0750 | 25 | 21-JUN-009 | 9 |
| - | - | 11:25 | MOD11_L2.A2009173.0655 | 21 | 22-JUN-010 | 10 |
| - | - | 12:05 | MOD11_L2.A2009174.0735 | 22 | 23-JUN-011 | 11 |
| - | - | 11:10 | MOD11_L2.A2009175.0640 | 19 | 24-JUN-012 | 12 |
| - | - | 11:55 | MOD11_L2.A2009176.0725 | 22 | 25-JUN-013 | 13 |
| - | 2 | - | 13 | 261 | جمع کل | - |

مختلف انجام پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است که در ادامه به شرح هر مرحله پرداخته می شود.

روش کار: برای انجام این پژوهش ابتدا اقدام به جمع آوری داده گردید سپس قبل از استفاده از داده ها پردازش های لازم بر روی آن ها انجام پذیرفت. مراحل



شکل ۲- نمایش مراحل مختلف روش پژوهش.

Figure 2. Schematic flowchart of the research method.

آزمون داده های پرت بر اساس مقادیر میانگین و انحراف معیار انجام شد و داده هایی که در محدوده اطمینان $(\mu - Z_{\alpha/2} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + Z_{\alpha/2} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$ $Z_{\alpha/2} = 1.645$, $\alpha/2 = 0.05$, $\mu =$ میانگین،

پردازش داده های زمینی: به منظور صحت سنجی تخمین های ماهواره ای، دمای سطح توسط دماسنج مادون قرمز در ۲۶۱ نقطه اندازه گیری گردید. داده های اندازه گیری شده زمین، طی دو مرحله غربال گردید و داده های نامطمئن حذف شد. به این منظور، ابتدا

1- Confidence Interval

ب) انجام تصحیحات اتمسفری: انجام تصحیحات اتمسفری بر روی طول موج‌های باندهای حرارتی تصاویر لندست، باید پس از تبدیل آن به رادیانس صورت گیرد. محاسبه دما از تصاویر لندست-۵ با استفاده از باندهای حرارتی آن که باندهای ۶ می‌باشد صورت می‌گیرد. از آن‌جا که طول موج باندهای ۶، ۱۲/۵ - ۱۰/۴ میکرومتر و در محدوده پنجره اتمسفری (۱۲-۸) میکرومتر است، عدم انجام تصحیحات اتمسفری، خطای معنی‌داری را موجب نمی‌شود، اما با این حال جهت افزایش دقت، در این پژوهش، تصحیحات اتمسفری با استفاده از الگوریتم ISAC^۱ انجام پذیرفت (۱۲).

ج) تبدیل تصاویر رادیانس به دمای درخشایی: تبدیل تصاویر رادیانس به دمای درخشایی با استفاده از رابطه ۲ انجام شده است (۱۵).

$$T = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

که در آن، K_1 برابر با $667.09 \text{ (W.m}^{-2}.\text{str}^{-1}.\mu\text{m}^{-1})$ ، K_2 برابر با 1282.71 کلوین و L_λ مقدار رادیانس $(\text{W.m}^{-2}.\text{str}^{-1}.\mu\text{m}^{-1})$ می‌باشد.

د) تبدیل دمای درخشایی به دمای سطح (LST): در این پژوهش برای تبدیل دمای درخشایی به دمای سطح از رابطه ۳ استفاده شده است (۱۵).

$$LST = \frac{T}{1 + (\lambda \times \frac{T}{\rho}) \times L_n \varepsilon} \quad (3)$$

که در آن، LST دمای سطح (k°)، λ طول موج باندهای حرارتی (۱۱/۴۵ میکرومتر)، ρ برابر با 1.438×10^{-2} و ε توان تشعشعی است. توان تشعشعی از رابطه ۴ (۲۶) محاسبه گردید.

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} P_v + \varepsilon_{soil} (1 - p_v) \quad (4)$$

σ = انحراف معیار) قرار نمی‌گرفتند حذف گردید. سپس با تطابق نقاط برداشت شده و سری داده‌های زمینی برای ارزیابی و سنجش برای هر دو تصویر لندست و مودیس انتخاب گردید. به این صورت که، در تصاویر مودیس به دلیل قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر، از میانگین نقاط اندازه‌گیری شده که در یک پیکسل قرار می‌گرفت استفاده شد و در تصاویر لندست نیز با توجه قدرت تفکیک مکانی ۱۶ روزه آن، فقط از نقاطی که هم‌زمان با گذر ماهواره برداشت شده بودند استفاده گردید.

تخمین دما با استفاده از تصاویر لندست-۵: برآورد دما با استفاده از تصاویر لندست-۵ طی ۳ مرحله انجام شد.

الف) تبدیل داده‌های خام (درجات خاکستری) به تصاویر رادیانس: تبدیل درجات خاکستری به رادیانس در واقع کالیبراسیون داخلی سنجنده می‌باشد. داده‌های خام که توسط آشکارسازها ثبت می‌شوند، یک پاسخ خطی با درخشندگی زمین دارند، این پاسخ به صورت داده‌های ۸ بیتی کمی (عددی) تبدیل شده است که بین ۰ تا ۲۵۵ درجه خاکستری متغیر است. مقدار درخشایی، میزان انرژی رسیده از هدف به سنجنده است. با استفاده از رابطه ۱ (۱۵) و اطلاعات موجود در متادیتا که به همراه داندلود تصاویر قابل دریافت است، تصاویر خام، به تصاویر رادیانس تبدیل گردید.

$$L_\lambda = \text{gain} \times \text{QCAL} + \text{offset} \quad (1)$$

که در آن، L_λ مقدار رادیانس بر حسب وات بر مترمربع بر استرادیان بر میکرومتر $(\text{W.m}^{-2}.\text{str}^{-1}.\mu\text{m}^{-1})$ و QCAL درجه خاکستری در پیکسل مورد نظر می‌باشد. مقادیر gain و offset نیز به ترتیب شیب و عرض از مبدأ می‌باشد که از اطلاعات متادیتا قابل استخراج است.

که در آن، ϵ_{veg} برابر با ۰/۹۹، ϵ_{soil} برابر با ۰/۹۷ می‌باشد و p_v از رابطه ۵ قابل محاسبه است.

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (5)$$

که در آن، $NDVI$ شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی است و از رابطه ۶ (۱۲) محاسبه می‌گردد. $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار $NDVI$ مشاهده شده است.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (6)$$

که در آن، R_{NIR} بازتابندگی یا درخشایی در باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴ لندست-۵) و R_{RED} بازتابندگی یا درخشایی در باند قرمز (باند ۳ لندست-۵) می‌باشد.

استخراج دما با استفاده از تصاویر ماهواره Terra:

محصول MOD 11 از ماهواره Terra و Aqua در برگیرنده دمای سطح و ضریب گسیلندگی است، که در سطح ۲ و ۳ با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر و ۵ کیلومتر، تحت شرایط آسمان صاف تولید می‌گردد. در این پژوهش از تصاویر level2 - MOD 11 ماهواره Terra استفاده شده است. در محصول MOD11 برای محاسبه دمای سطح از الگوریتم پنجره مجزا ون و دایزر (۱۹۹۶) و الگوریتم شب و روز دمای سطح استفاده شده است (۳۰). در این مرحله تصاویر استخراج شده با به‌کارگیری ضرایب، تبدیل به دو محصول دمای سطح و ضریب گسیلندگی شده و پس از انجام تصحیحات هندسی مورد استفاده قرار گرفتند.

تعیین همبستگی دمای تخمینی از تصاویر لندست-۵ و استخراج شده از محصول MOD11 مودیس با داده‌های زمینی: برای مقایسه دماهای به‌دست آمده، ابتدا لازم است که دما در نقاط نمونه‌برداری از تصاویر دمای لندست-۵ و مودیس استخراج گردد. پس از استخراج دما از تصاویر ماهواره لندست-۵ و مودیس در نقاط نمونه‌برداری شده رابطه بین دماهای تخمین زده شده و مشاهده شده تعیین گردید.

۲ **ضرایب الگوریتم‌های پنجره مجزا:** یکی از روش‌های محاسبه دمای سطح بر اساس تصاویر ماهواره، استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا می‌باشد. اصل استوار بر الگوریتم پنجره مجزا این است که گازهای موجود در اتمسفر در طول موج‌های متفاوت عکس‌العمل‌های گوناگونی دارد. در این الگوریتم‌ها از تفاوت تابش سنجیده شده در دو ناحیه طیفی مادون قرمز که در مجاور هم قرار می‌گیرند برای برآورد دمای سطح زمین استفاده می‌شود که ناشی از تاثیرات جذب توسط گازهای اتمسفری می‌باشد (۲۲).

برای معرفی الگوریتم مناسب جهت تخمین دمای سطح، ۳ الگوریتم پنجره مجزا با استفاده از رابطه‌های ۷ تا ۱۰ مورد ارزیابی قرار گرفت (۲۷).

$$T_s = [T_{31} + A(T_{31} + T_{32})] \left(\frac{B - \epsilon_{31}}{C} \right) + DT_{32}(\epsilon_{31} - \epsilon_{32}) \quad (7)$$

$$T = C + \left(A_1 + A_2 \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} - A_3 \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left(B_1 + B_2 \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} + B_3 \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} \quad (8)$$

$$T_s = T_{31} + A(T_{31} - T_{32}) + B(1 - \epsilon) - C\Delta \epsilon \quad (9)$$

$$\epsilon = \frac{(\epsilon_{31} + \epsilon_{32})}{2} \Delta \epsilon = \epsilon_{31} - \epsilon_{32} \quad (10)$$

در این پژوهش از جذر میانگین مربعات خطا یا $RMSE^2$ به صورت رابطه ۱۲ مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n-1}} \quad (12)$$

که در آن، O_i مقادیر مشاهده شده، P_i مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌های مورد مطالعه می‌باشند.

برای تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های زمینی و داده‌های به‌دست آمده از الگوریتم‌های محاسبه دما، از آزمون فیشر^۳ استفاده گردید. این آزمون تعمیم‌یافته آزمون t است و برای ارزیابی یکسان بودن یا یکسان نبودن دو جامعه و یا چند جامعه به‌کار برده می‌شود. در آزمون فیشر واریانس کل جامعه به عوامل اولیه آن تجزیه می‌شود. به‌همین دلیل به آن آزمون آنالیز واریانس^۴ نیز می‌گویند.

نتایج و بحث

پس از تخمین دما از تصاویر لندست-۵ و سنجنده مودیس براساس روش‌های شرح داده شده، در نقاط برداشت زمینی اقدام به استخراج دما از تصاویر دمای سطح ماهواره لندست-۵ و سنجنده مودیس گردید و سپس اقدام به برآزش رابطه بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمین زده شده دمای سطح از تصاویر لندست-۵ و سنجنده مودیس گردید. رابطه داده‌های تخمینی با داده‌های برداشت زمینی دما در ۴ سطح گیاه مورد آزمون قرار گرفت. بهترین پاسخ را داده‌های دمای تاج‌پوشش گیاه داشتند. بنابراین همه محاسبات آماری بر روی دمای تاج‌پوشش گیاه انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که در این مرحله از ۷۰ درصد داده‌های

که در آن‌ها، T_s دمای سطح، $\varepsilon_{31,32}$ ضریب گسیلندگی در باندهای ۳۱ و ۳۲، $T_{31,32}$ دمای درخشایی^۱ باند ۳۱ و ۳۲ و A ، A_{1-3} ، B ، B_{1-3} ، C ، D ضرایب ثابت می‌باشند.

لازم به ذکر است که روابط فوق توسط پرایس (۱۹۸۴)، بکر و لی (۱۹۹۰) و یولیوری (۱۹۹۴) ارائه گردیده است (۲۰، ۲، ۲۹).

برای استخراج ضریب انتشار از محصول MOD11 و برای استخراج دمای درخشایی از محصول MOD02 سنجنده مودیس استفاده گردید. پس از استخراج متغیرهای لازم در نقاط نمونه‌برداری شده، دمای سطح در تاریخ‌های نمونه‌برداری با استفاده از ۳ الگوریتم ذکر شده محاسبه گردید و سپس با توجه به داده‌های زمینی ضرایب الگوریتم‌ها برای منطقه مورد مطالعه بهینه گردید. حدود ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی و حدود ۳۰ درصد آن‌ها برای ارزیابی استفاده گردید. واسنجی ضرایب با روش آزمون و خطا انجام پذیرفت. به این ترتیب که بر اساس الگوریتم‌های موجود دما تخمین زده شد و به‌عنوان برآورد اولیه در نظر گرفته شد. سپس مدل اجرا و خروجی آن با خروجی مشاهده شده در نمونه اصلی مقایسه گردید. این کار تا بهترین تطبیق و به‌دست آمدن کم‌ترین خطا ادامه یافت.

ارزیابی نتایج: از روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون (r_{xy}) مطابق رابطه ۱۱ برای مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی استفاده گردید.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (11)$$

که در آن، S_x ، S_y و S_{xy} به ترتیب کوواریانس بین x و y ، انحراف معیار x و انحراف معیار y می‌باشند.

2- Root Mean Square Error
3- Fisher Test
4- ANOVA

1- Brightness Temperature

موجود برای تعیین رابطه بین دمای تخمین زده شده و مشاهده‌ای و از ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی داده‌ها و تعیین ضریب RMSE استفاده گردید. در جدول ۲ رابطه‌های به‌دست آمده و نتایج ارزیابی آن‌ها ارائه شده است. شکل‌های ۳ و ۴ خط برازش رابطه دمای مشاهده‌ای و تخمینی را نمایش می‌دهد.

جدول ۲- خلاصه نتایج آماری حاصل از دمای سطح تخمین زده شده و مشاهده‌ای.

Table 2. Statistical summary as obtained from the estimated and observed land surface.

| مجموعه مربعات میانگین خطا RMSE (C°) | ضریب تبیین R ² | معادله Equation |
|--|------------------------------|---|
| 4.4 | 0.63 | LST (Observed) = 0.972 LST(Landsat) + 1.734 |
| 7.1 | 0.69 | LST (Observed) = 0.55 LST(MODIS) + 20.36 |

LST (Observed) = دمای مشاهده‌ای (درجه سلسیوس)، LST (MODIS) = دمای تخمینی سنجنده مودیس (درجه سلسیوس)، LST (Landsat) = دمای تخمینی ماهواره لندست-۵ (درجه سلسیوس)، R² = ضریب تبیین و RMSE = میانگین ریشه دوم مربعات خطا.

خروجی آزمون فیشر در جدول ۳ ارائه شده است. سهولت استفاده از محصول دمای سنجنده مودیس در مقایسه با محاسبه دما به‌کمک تصاویر ماهواره لندست بیش‌تر است، بنابراین با توجه به دقت مورد نیاز در صورتی که خطای تصاویر مودیس مشکلی در نتایج مطالعه ایجاد نکند استفاده از آن بر تصاویر لندست ارجح است. اما در کارهای دقیق‌تر با توجه به این‌که خطای محاسبه دما با تصاویر لندست کم‌تر است، بهتر است تصاویر لندست مورد استفاده قرار گیرد. در نقشه دمای سطح تخمین زده شده با ماهواره لندست و ماهواره ترا سنجنده مودیس (شکل‌های ۵ و ۶)، مشاهده می‌گردد که در محدوده نقاط نمونه‌برداری مقدار دما کم‌تر است که دلیل آن تراکم پوشش گیاهی بیش‌تر در این محدوده می‌باشد.

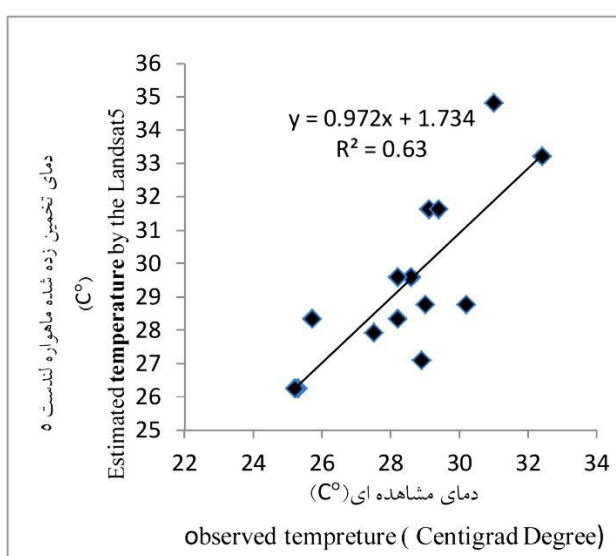
روابط ارائه شده در جدول ۲ در محدوده دمایی ۲۵ الی ۵۰ درجه سلسیوس با اطمینان بیش‌تری قابل استفاده است.

برای ارزیابی نتایج از دو پارامتر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا استفاده شده است. ضرایب همبستگی به‌دست آمده در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. معادله‌های به‌دست آمده بیانگر آن است که دماهای تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره لندست-۵ و سنجنده مودیس بیش‌تر از مقدار واقعی دما است. همچنین با توجه به مقدار RMSE به‌دست آمده، مقدار خطای سنجنده مودیس حدود ۳۸ درصد بیش‌تر از ماهواره لندست-۵ است. بررسی معنی‌دار بودن تفاوت بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمین زده شده به‌وسیله تصاویر مودیس و لندست با آزمون فیشر نشان از عدم وجود تفاوت معنی‌دار بود. نتایج

جدول ۳- نتایج آزمون فیشر داده‌های دماهای تخمین زده شده سنجنده مودیس و ماهواره لندست-۵ با دماهای مشاهده‌ای.

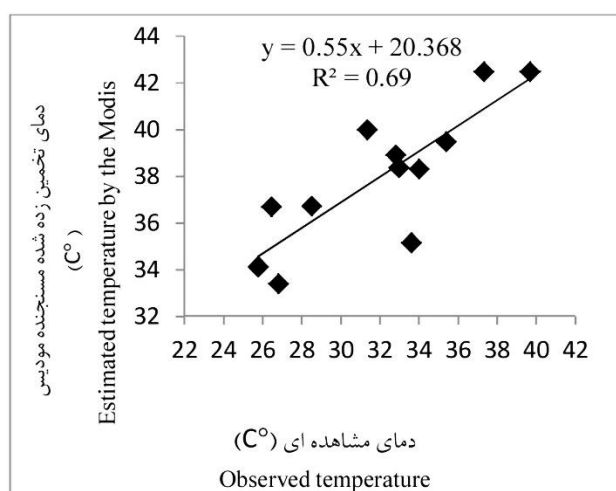
Table 3. Results of the Fisher Test for the estimated Landsat-5 and observed land surface temperatures.

| لندست-۵ Landsat-5 | سنجنده مودیس MODIS sensor | پارامترهای آزمون فیشر Fisher test result parameters |
|--|--|--|
| 2.03 | 1.02 | ضریب فیشر F |
| 2.33 | 2.58 | ضریب بحرانی یک‌طرفه F F Critical one – tail |
| تفاوت معنی دار وجود ندارد No significant difference | تفاوت معنی دار وجود ندارد No significant difference | نتیجه Result |



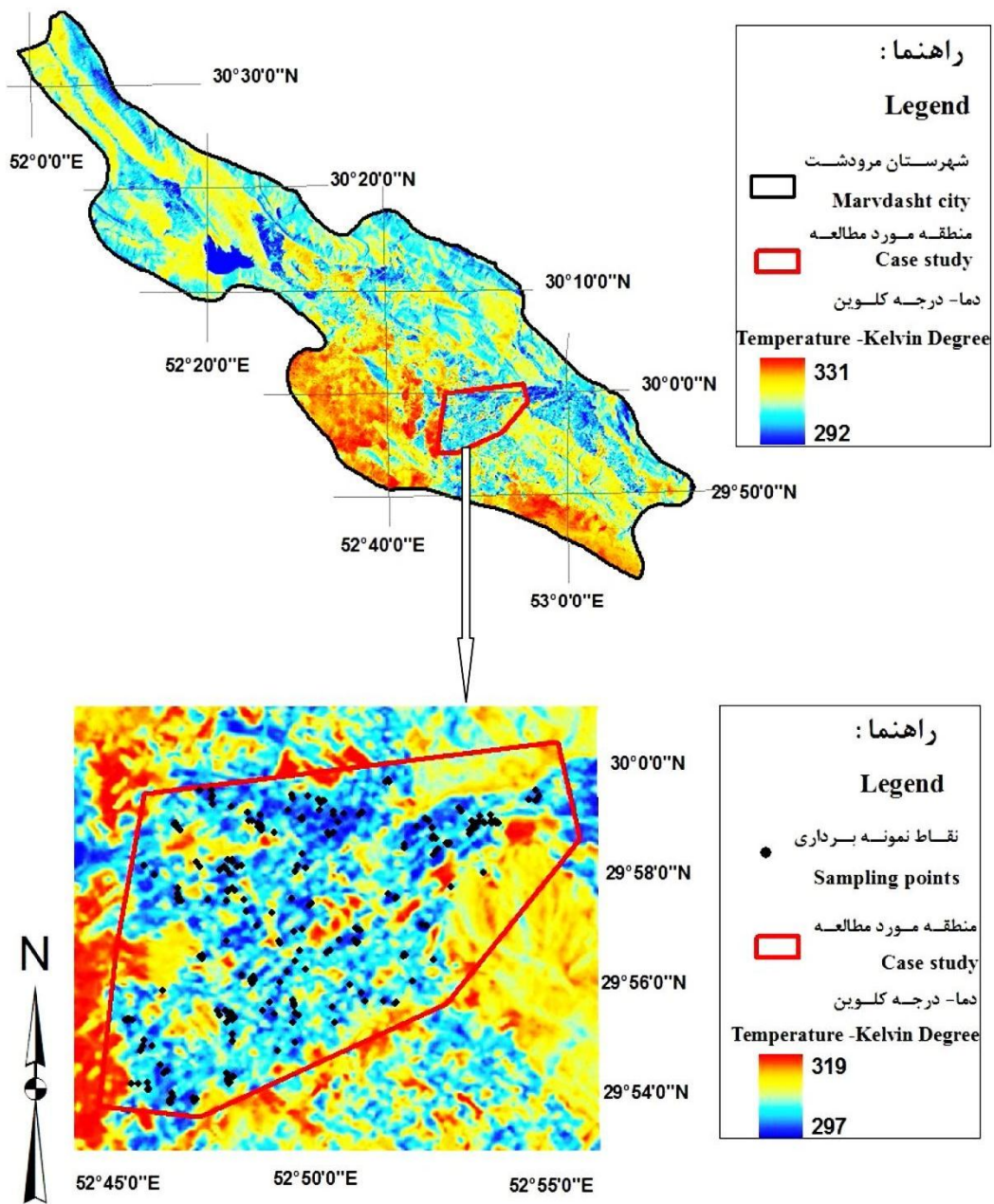
شکل ۳- خط برازش بین دمای مشاهده‌ای و دمای تخمین زده شده به وسیله ماهواره لندست-۵.

Figure 3. Best fitted line between the observed and Landsat-5 satellite estimated temperatures.

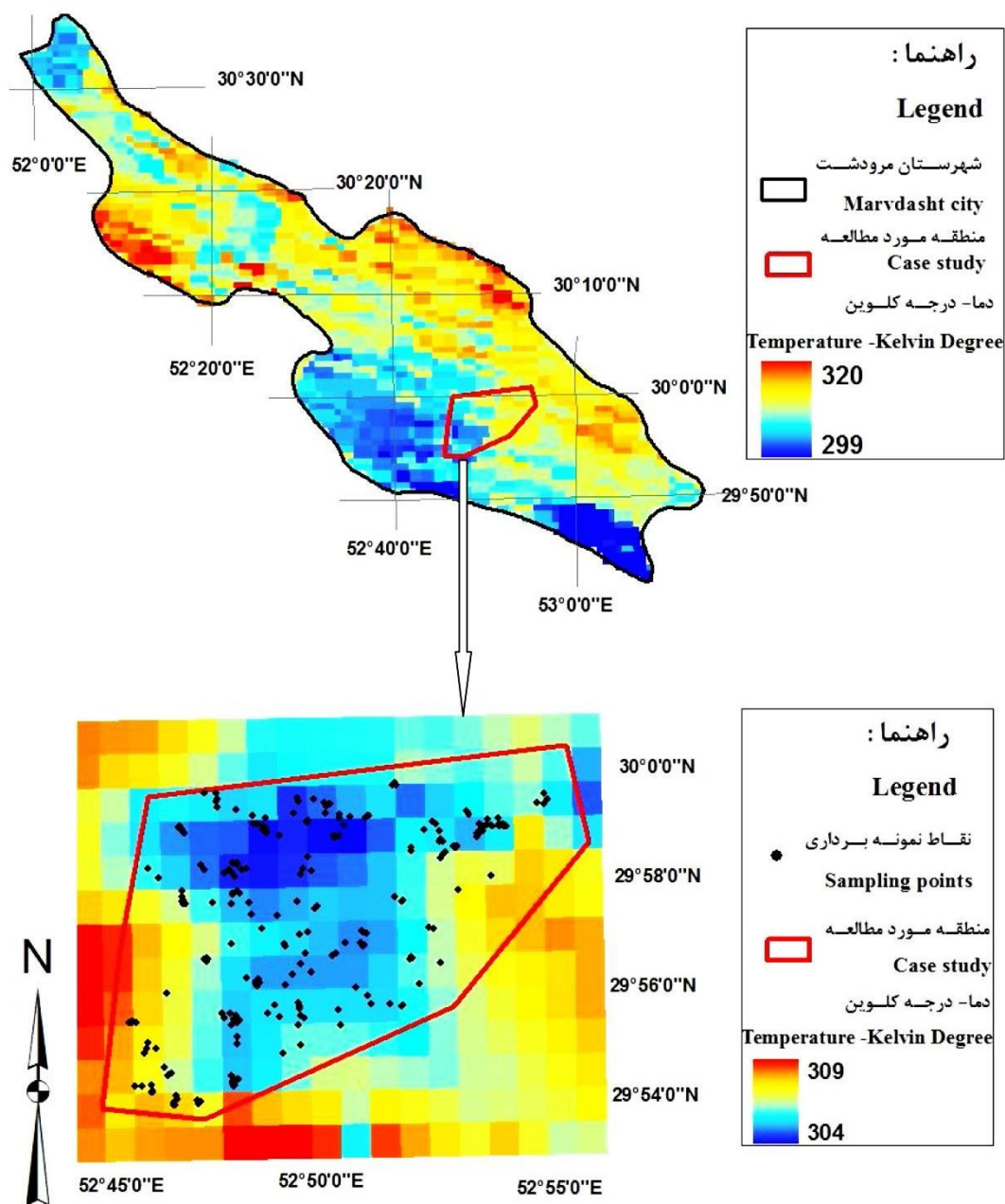


شکل ۴- خط برازش بین دمای مشاهده‌ای و دمای تخمین زده شده به وسیله ماهواره مودیس.

Figure 4. Best fitted line between the observed and MODIS satellite estimated temperatures.



شکل ۵- نقشه دمای سطح تخمین زده شده به وسیله ماهواره لندست-۵ در روز چهارم خرداد ۱۳۸۸ در منطقه مورد مطالعه.
 Figure 5. Land surface temperature estimated by the Landsat-5 satellite on May 25, 2009 in the study area.



شکل ۶- نقشه دمای سطح تخمین زده شده به وسیله ماهواره ترا سنجنده مودیس ۵ در روز چهارم خرداد ۱۳۸۸ در منطقه مورد مطالعه.

Figure 6. Land surface temperature estimated by the MODIS Terra satellite on May 25, 2009 in the study area.

مودیس ضرایب ۳ الگوریتم برای منطقه مورد مطالعه دشت مرودشت واسنجی گردید. نتایج واسنجی ضرایب در جدول ۴ ارائه شده است.

واسنجی ضرایب الگوریتم‌های پنجره مجزا: یکی از روش‌های استخراج دما از تصاویر، استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا می‌باشد که کاربرد زیادی دارد. در این پژوهش برای استخراج دما از تصاویر

جدول ۴- نتایج واسنجی ضرایب الگوریتم‌های که در محاسبه دمای سطح با تصاویر سنجنده مودیس استفاده گردید.

Table 4. The calibration coefficients of various algorithms which used for calculation of the surface temperature by MODIS images.

| ریشه مربعات میانگین خطا RMSE (C°) | D | C | B ₃ | B ₂ | B ₁ | B | A ₃ | A ₂ | A ₁ | A | الگوریتم Algorithm |
|---|-------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|------|---|
| 3.5 | - | 1.274 | 38.432 | 3.815 | 2.336 | - | 0.198 | 0.225 | 0.997 | - | بکر و لی (۱۹۹۰) (Becker & Li, 1990) |
| 3.9 | - | 35.0 | - | - | - | 10.0 | - | - | - | 0.8 | پرایس (۱۹۸۴) (Price, 1984) |
| 3.7 | 0.247 | 4.364 | - | - | - | 5.332 | - | - | - | 0.75 | یولیوری و همکاران (۱۹۹۴) (Ulivieri et al., 1994) |

تخمین دمای سطح با الگوریتم‌های مختلف از آزمون فیشر استفاده گردید. نتایج آزمون فیشر در جدول ۵ ارائه شده است.

با توجه به نتایج از بین الگوریتم‌های مورد استفاده، الگوریتم بکر و لی بهترین پاسخ را داشته است و ضرایب آن هم پس از واسنجی به ضرایب اصلی نزدیک است. برای تعیین معنی‌داری تفاوت

جدول ۵- نتایج آزمون فیشر داده‌های دمای تخمین زده شده با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و دمای مشاهده‌ای.

Table 5. Results of Fisher Test for the estimated land surface temperature by various algorithms and the observed land surface temperature.

| داده‌های الگوریتم بکر و لی و مشاهده‌ای | داده‌های الگوریتم پرایس و مشاهده‌ای | داده‌های الگوریتم یولیوری و مشاهده‌ای | داده‌های الگوریتم بکر و لی و پرایس | داده‌های الگوریتم بکر و لی و یولیوری | داده‌های الگوریتم پرایس و یولیوری | پارامترهای آزمون فیشر |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Becker & li algorithm & observed data | Price algorithm & observed data | Ulivieri algorithm & observed data | Becker & li & Price algorithm | Becker & li & Ulivieri algorithm | Price & Ulivieri algorithm | Fisher test result parameters |
| 1.85 | 1.64 | 1.68 | 1.12 | 1.1 | 1.02 | ضریب فیشر (F) |
| 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | ضریب بحرانی یک طرفه F F Critical one-tail |
| تفاوت معنی‌دار وجود ندارد | تفاوت معنی‌دار وجود ندارد | تفاوت معنی‌دار وجود ندارد | تفاوت معنی‌دار وجود ندارد | تفاوت معنی‌دار وجود ندارد | تفاوت معنی‌دار وجود ندارد | نتیجه Result |
| No significant difference | No significant difference | No significant difference | No significant difference | No significant difference | No significant difference | |

دیگر اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌ای و الگوریتم‌های مورد استفاده و همچنین بین سه الگوریتم‌های مورد استفاده وجود ندارد.

نتایج آزمون فیشر نشان می‌دهد که در همه موارد $F < F_{critical}$ است. بنابراین فرض صفر که برابری واریانس‌های دو نمونه است، تأیید می‌گردد. به بیان

نتیجه‌گیری

از آنجایی که دمای سطح برگ به‌عنوان شاخصی برای تعیین نیاز آبی، تنش آبی و برآورد تبخیر و تعرق به‌کار می‌رود، تعیین دمای پوشش گیاه در کشاورزی دارای اهمیت است. در این مطالعه دمای تخمین زده شده با دو ماهواره لندست-۵ و Terra (سنجنده مودیس) با داده‌های برداشت شده زمینی مورد مقایسه قرار گرفت. به این منظور در ۲۶۱ نقطه زمینی در ساعات گذر ماهواره، به‌صورت هم‌زمان برداشت زمینی دما در ارتفاعات مختلف گیاه انجام گردید. در بیش‌تر مطالعاتی که در ایران بر روی استخراج دما از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است، برای واسنجی از داده‌های دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی و یا داده‌های دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری استفاده شده است. در این مطالعه برای افزایش دقت، دمای سطح تاج‌پوشش مزرعه گندم با دماسنج مادون‌قرمز در ارتفاعات مختلف گیاه اندازه‌گیری شد. همچنین ضرایب ۳ الگوریتم معروف پنجره مجزا که دمای سطح (LST) از تصاویر ماهواره را تخمین می‌زند، مورد واسنجی قرار گرفت. مقایسه دمای تخمین زده شده با دماهای برداشت شده در سطوح مختلف گیاه نشان داد که مقدار دمای سطح تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره‌های لندست و Terra در مزرعه گندم با پوشش متراکم، معرف دمای تاج پوشش گیاه مورد نظر است. مقدار خطای RMSE تخمین دما به‌وسیله

ماهواره لندست-۵ و سنجنده مودیس به‌ترتیب ۴/۴ و ۷/۱ درجه سلسیوس به‌دست آمد. تخمین دمای سطح به‌وسیله ماهواره لندست-۵ و Terra در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی بیانگر بیش برآورد دما است که در این مطالعه به‌ترتیب برابر با ۱۵ و ۱۹ درصد می‌باشد. برای استخراج دمای سطح از تصاویر مودیس، الگوریتم پنجره مجزا با روش بکر و لی (۱۹۹۰) بهترین تخمین را ارائه کرد. خطای برآورد دما برای استخراج دمای سطح از الگوریتم‌های پنجره مجزا توسط ماهواره Terra، بین ۳/۵ تا ۳/۹ درجه سلسیوس بود که در مقایسه با استفاده مستقیم از تصاویر دمای سطح سنجنده مودیس تا ۵۸ درصد کاهش خطا نشان می‌دهد.

از آنجایی که محاسبه دما با استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا دقیق‌تر و با خطای کم‌تری همراه است، استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا در محاسبه دما توصیه می‌گردد. برای مطالعاتی که دما به‌صورت نسبی در یک منطقه وسیع مقایسه می‌گردد، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بسیار کارآمد و مقرون به‌صرفه می‌باشد ولی برای مطالعات دقیق نقطه‌ای و خرداقلیم در حال حاضر توصیه نمی‌گردد. لازم به ذکر است که انتخاب نوع تصاویر ماهواره (لندست یا مودیس) به دقت مورد نیاز در برآورد پهنه‌ای یا نقطه‌ای دما بستگی دارد.

منابع

1. Anderson, M.C., Kustas, W.P., Norman, J.M., Hain, C.R., Mecikalski, J.R., Schultz, L., González-Dugo, M.P., Cammalleri, C., d'Urso, G., Pimstein, A., and Gao, F. 2011. Mapping daily evapotranspiration at field to continental scales using geostationary and polar orbiting satellite imagery. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15: 1. 223-239.
2. Becker, F., and Li, Z.L. 1990. Towards a local split window method over land surfaces. *Remote Sensing*. 11: 3. 369-393.
3. Carlson, T. 2007. An overview of the "triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. *Sensors*. 7: 8. 1612-1629.

4. Chaichi, M. 2008. Estimating regional reference evapotranspiration by use of earth statistics and remote sensing techniques, case study: Tehran. Master of Science thesis, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
5. Cheng, J., Liang, S., Dong, L., Ren, B., and Shi, L. 2014. Validation of the moderate-resolution imaging spectroradiometer land surface emissivity products over the Taklimakan Desert. *J. Appl. Rem. Sens.* 8: 1. 083675-083675.
6. Coll, C., Caselles, V., Galve, J.M., Valor, E., Niclos, R., Sánchez, J.M., and Rivas, R. 2005. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment.* 97: 3. 288-300.
7. Fakharizadeshirazi, E., Nazemosadat, M.J., Fallahshamsi, S.R., and KamgarHaghighi, A.A. 2014. Possibility of estimating wheat canopy temperature by using remote sensing technique, *J. Irrig. Engin. Sci.* 36: 4. 101-111. (In Persian)
8. Gillies, R.R., Carlson, T.N., Cui, J., Kustas, W.P., and Humes, K.S. 1997. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature. *Inter. J. Rem. Sens.* 18: 15. 3145-3166.
9. Harlan, S.L., Brazel, A.J., Prashad, L., Stefanov, W.L., and Larsen, L. 2006. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science and Medicine.* 63: 11. 2847-2863.
10. Hashemi, S.M., Alavipana, S.K., and Dinarvandi, M. 2013. Evaluate the spatial distribution of land surface temperature in using thermal remote sensing in urban environment, *J. Environ. Stud.* 39: 1. 81-92. (In Persian)
11. Jin, M.L., Dickinson, R.E., and Zhang, D.L. 2005. The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *J. Clim.* 18: 10. 1551-1565.
12. Johnson, B.R. 1998. In scene atmospheric compensation: Application to SEBASS data collected at the ARM site, Part I. Aerospace Report ATR-99 (8407).
13. Kerr, Y.H., Lagouarde, J.P., and Imbernon, J. 1992. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. *Remote Sensing of Environment.* 41: 2. 197-209.
14. Laforteza, R., Carrus, G., Sanesi, G., and Davies, C. 2009. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry and Urban Greening.* 8: 2. 97-108.
15. Landsat Project Science Office. 2002. Landsat 7 Science Data User's Handbook. Available online from following website: http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html, Goddard Space Flight Center, NASA, Washington, DC.
16. Li, F., Jackson, T.J., Kustas, W.P., Schmugge, T.J., French, A.N., Cosh, M.H., and Bindlish, R. 2004. Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. *Remote sensing of environment.* 92: 4. 521-534.
17. Liu, H., and Weng, Q. 2009. An examination of the effect of landscape pattern, land surface temperature, and socioeconomic conditions on WNV dissemination in Chicago. *Environmental Monitoring and Assessment.* 159: 1-4. 143-161.
18. Moran, M.S. 2004. Thermal infrared measurement as an indicator of plant ecosystem health. *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes.* Pp: 257-282.
19. Noori, S., Sanaeenezad, H., and Hasheini, M. 2010. Estimation of land surface temperature using MODIS images over Mashhad sub basin. The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling International Center for Science, High Technology and Environmental Sciences. Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
20. Price, J.C. 1984. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer. *J. Geophysic. Res. Atm.* (1984-2012). 89: 5. 7231-7237.
21. Quan, W., Chen, H., Han, X., Liu, Y., and Ye, C. 2012. A modified Becker's split-window approach for retrieving land surface temperature from AVHRR and VIRR. *Acta Meteorologica Sinica.* 26: 229-240.

22. Rahimikhoob, A., Koochakzade, M., Sharifi, F., Valisamani, J., and Behbahani, M.R. 2005. Estimating maximum daily temperature using NOAA satellite images: case study in Oroomieh lake basin, *J. Res. Dev.* 68: 84-90. (In Persian)
23. Reisen, W., Lothrop, H., Chiles, R., Madon, M., Cossen, C., Woods, L., Husted, S., Kramer, V., and Edman, J. 2004. West Nile virus in California. *Emerging Infectious Diseases.* 10: 8. 1369-1378.
24. Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., and Karnieli, A. 2014. Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm. *Sensors.* 14: 4. 5768-5780.
25. Ruiz, M.O., Chaves, L.F., Hamer, G.L., Sun, T., Brown, W.M., Walker, E.D., Haramis, L., Goldberg, T.L., and Kitron, U.D. 2010. Local impact of temperature and precipitation on West Nile virus infection in *Culex* species mosquitoes in northeast Illinois, USA. *Parasites and Vectors.* 3: 19.
26. Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., and Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment,* 90: 4. 434-440.
27. Suh, M.S., Kim, S.H., and Kang, J.H. 2008. A comparative study of algorithms for estimating land surface temperature from MODIS data. *대한원격탐사학회지,* 24: 1. 65-78.
28. Trenberth, K.E. 1992. *Climate system modeling.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
29. Ulivieri, C., Castronuovo, M.M., Francioni, R., and Cardillo, A. 1994. A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellites. *Advances in Space Research.* 14: 3. 59-65.
30. Wan, Z., and Dozier, J. 1996. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on.* 34: 4. 892-905.
31. Wan, Z., and Li, Z.L. 1997. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on.* 35: 4. 980-996.
32. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., and Li, Z.L. 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment.* 83: 1. 163-180.
33. Wan, Z., Zhang, Y., Li, Z.L., Wang, R., Salomonson, V.V., Yves, A., Bosseno, R., and Hanocq, J.F. 2002. Preliminary estimate of calibration of the moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared data using Lake Titicaca. *Remote Sensing of Environment.* 80: 3. 97-515.
34. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., and Li, Z.L. 2004. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *Inter. J. Rem. Sens.* 25: 1. 261-274.
35. Wan, Z. 2008. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment.* 112: 1. 59-74.
36. Wan, Z., and Li, Z.L. 2008. Radiance-based validation of the V5 MODIS land-surface temperature product. *Inter. J. Rem. Sens.* 29: 17-18. 5373-5395.
37. Wan, Z. 2014. New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote Sensing of Environment.* 140: 36-45.
38. Wang, W., Liang, S., and Meyers, T. 2008. Validating MODIS land surface temperature products using long-term night time ground measurements. *Remote Sensing of Environment.* 112: 3. 623-635.
39. Watson, K. 1992. Two-temperature method for measuring emissivity. *Remote Sensing of Environment.* 42: 2. 117-121.
40. Weng, Q. 2009. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* 64: 4. 335-344.
41. Weng, Q., Fu, P., and Gao, F. 2014. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment.* 145: 55-67.



Validation of land surface temperature (LST) from Landsat-5 and MODIS Images (Case study: Wheat fields of Marvdasht Plain)

***A.A. Sabziparvar¹, E. Fakharizadeh Shirazi², M.J. Nazemosadat³ and Y. Rezaei⁴**

¹Professor, Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, ²Ph.D. Student of Agrometeorology,
Bu-Ali Sina University, ³Professor, Dept. of Water Engineering, Shiraz University,

⁴Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Bu-Ali Sina University

Received: 03/15/2015; Accepted: 01/19/2016

Abstract

Background and Objectives: Land surface temperature (LST) is a key parameter in estimating energy balance that has determining role in climate change studies. Various scientists have studied monitoring of LST in recent decades. The land surface temperature, which is measured by means of thermometers for certain points, for large scale basin is not cost effective. Using satellite images for estimating LST make the estimates easier and more economical than ground measurement. In this study, MODIS land surface temperature (LST) was evaluated. In addition, due to use of correction factors which may not always be available for Iran, land surface temperature estimated by Landsat 5 image, which its spatial resolution is much higher than MODIS, was also evaluated.

Materials and Methods: For this study, two groups of data were used: satellite data and in-situ data. Ground measurements were collected from 261 points of a wheat farm in Marvdasht plain located in Fars province. Temperature was measured in four height of wheat including: canopy cover, middle, 10 centimeters from floor and soil surface. After statistical tests, acceptable data were selected for the comparison. In this study, twenty-eight satellite images were implemented; including 26 MODIS images (MOD02 & MOD11 product) and 2 level-1G Landsat 5 images. Land surface temperature was estimated from thermal band's of Landsat 5 images by applying the necessary corrections. After providing land surface temperature (LST) maps, land surface temperature was extracted from LST map (Landsat5 & MODIS) based on the measurement points. Afterward, the equation between the observed data and estimated surface temperatures from Landsat 5 (MODIS images) were obtained. Relationship between estimated and in-situ data was analyzed for four different heights of the wheat. Land surface temperatures were also estimated by three different split-window algorithms from Becker and Li, Price and Ulterior and the coefficients were calibrated. Finally, Fisher test was used to determine significant differences between the observed and the estimated data.

Results: It was found that the estimated temperature by satellite has the best correlations with the plant canopy temperature. Estimated data were evaluated against the in-situ data. Results showed that Landsat and MODIS images overestimated the LST by RMSE of 4.4 °C and 7.1 °C respectively. Error of Estimating LST with split-window algorithms was within the range of 3.5–3.7 degree centigrade. Among the three studied algorithms, Becker and Li approach showed the best performance (the least error). The significant differences between in-situ data and the satellite estimates were examined by Fisher Test. No significant differences were observed in any of the pairs of data.

Conclusion: For meso-scale and large-scale studies, using satellite images is more efficient and economic than the point surface measurements. The choice of satellite images (Landsat or MODIS) is depend on the accuracy which is expected from the study.

Keywords: Land surface temperature, Satellite, Split-window, Fars, Wheat

* Corresponding Author; Email: swsabzi@basu.ac.ir

