



مقایسه برآورد دمای سطح زمین در روش‌های تک بانندی و چند بانندی با استفاده از تصویر

لندست ۸

پروانه عسگرزاده^{۱*}، علی درویشی بلورانی^۲، حسینعلی بهرامی^۳، سعید حمزه^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران

۲. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۷ بهمن ۱۳۹۴

پذیرش: ۵ شهریور ۱۳۹۵

دسترسی اینترنتی: ۵ آذر ۱۳۹۵

واژه‌های کلیدی:

لندست ۸

دمای سطح زمین

سنجش از دور حرارتی

باند حرارتی

توان تشعشی

چکیده

دمای سطح زمین (LST)، پارامتری کلیدی در مطالعات محیطی، بخصوص پایش خشکسالی است. با توجه به محدودیت‌های زمینی تخمین LST در مقیاس‌های بزرگ، سنجش از دور حرارتی روشی مناسب است. هدف از این تحقیق، تخمین و مقایسه دمای سطح زمین، در روش‌های تک بانندی و چند بانندی با استفاده از لندست ۸ است. داده‌های زمینی لازم از ایستگاه‌های هواشناسی فارابی (خوزستان) و کرج (البرز) هم‌زمان با عبور ماهواره در تاریخ‌های مورد نظر، اخذ گردید. توان تشعشی و آب بخار موجود در اتمسفر، ورودی‌های روش‌های تک و چند بانندی این پژوهش می‌باشند. پس از تصحیحات، پردازش و محاسبات لازم، LST برآورد گردید. از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات (RMSE)، متوسط خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) جهت ارزیابی صحت نتایج استفاده شد. نتیجه این تحقیق نشان دهنده R^2 بالای ۰/۹ در مقایسه با مشاهدات زمینی است. بالاترین دقت در روش تک بانندی (باند ۱۰) با بررسی MAE به میزان ۱/۰۴ و ۰/۹۸ درجه در ایستگاه‌های کرج و سپس فارابی، همچنین کمترین و بیشترین RMSE در روش‌های تک بانندی (باند ۱۰) و سپس چند بانندی (ترکیب دو باند ۱۰ و ۱۱) مشاهده گردید. شرایط منطقه مطالعاتی از نظر دما، پوشش منطقه و آب بخار موجود در اتمسفر در نتایج و انتخاب باند حرارتی مناسب اثرگذار است که توجه به این شرایط در تخمین LST به ویژه در روش‌های چند بانندی پیشنهاد می‌گردد.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: parvanagarzade@alumni.ut.ac.ir

تعمیم روش تک باندی به ماهواره‌های لندست ۴ و لندست ۷، در کنار لندست ۵، نیاز به حداقل داده‌های ورودی مورد نیاز برای استخراج دمای سطحی در ماهواره‌های لندست با معادلات و ضرایب مشابه فراهم گردید (۷). با پرتاب موفقیت‌آمیز ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳، جهت بهبود عملکرد باندهای انعکاسی و حرارتی و در اختیار داشتن دو باند حرارتی بر خلاف نسل‌های قبلی ماهواره لندست، بستری جدید جهت مطالعات و تحقیق در حوزه‌های مختلف ایجاد شده است (۲، ۳، ۹، ۱۰، ۱۷، ۲۰ و ۲۷).

جیمز مونز و همکاران (۱۳) توسط باند های حرارتی لندست ۸ و با شبیه‌سازی داده‌ها توسط پروفایل‌های اتمسفری و استفاده از کتابخانه‌های طیفی به این نتیجه رسیدند که تخمین دما در روش‌های تک باندی یک روش وابسته به آب موجود در اتمسفر است و میزان خطا در برآورد این متغیر بر نتیجه‌ی نهایی اثر می‌گذارد. در مقابل روش‌های تک باندی روش‌های چند باندی منحصر به سنجنده‌هایی *ASTER*، *MODIS*، *AVHRR* که دارای بیش از یک باند حرارتی هستند نیز، توسعه داده شده‌اند (۲۵ و ۲۷).

جیمز مونز و همکاران (۱۳) با پیاده‌سازی روش چند باندی و تک باندی بر باندهای حرارتی لندست ۸ به متوسط خطای ۱/۵ درجه رسیدند که در روش چند باندی دقتی به مراتب بهتر نسبت به روش تک باندی به هنگام افزایش میزان آب موجود در اتمسفر برآورد شد.

روزنستین و همکاران (۲۱) نیز با استفاده از لندست ۸ به ارزیابی دمای تخمینی توسط باندهای حرارتی لندست ۸ پرداختند و به دقتی حدود ۰/۹۳ درجه رسیدند. یو و همکاران (۲۸) در روش‌های تک باندی دقتی کمتر نسبت به روش‌های چند باندی با استفاده از لندست ۸ را نتیجه گرفتند.

هدف از این پژوهش برآورد دمای سطح زمین *LST* با استفاده از باندهای حرارتی لندست ۸ (باند ۱۰ و ۱۱) با روش‌هایی مبتنی بر ویژگی‌های تصاویر لندست ۸ و مقایسه نتایج با اندازه‌گیری‌های زمینی است. با توجه به مشکلات تصاویر لندست ۷ از سال ۲۰۰۳ و قدیمی بودن سیستم طراحی

دمای سطح زمین (*Land surface Temperature; LST*) به طور گسترده در بسیاری از مطالعات، شامل تبخیر و تعرق، مدیریت منابع آب، چرخه‌های هیدرولوژیکی، پایش وضعیت سلامت گیاه در مطالعات خشکسالی، آب و هوای شهری و مطالعات زیست‌محیطی استفاده می‌شود (۱، ۵، ۶، ۱۹، ۲۲، ۲۴ و ۲۶). با توجه به محدودیت دستگاه‌های زمینی جهت اندازه‌گیری *LST* در سطح وسیع، سنجنش از دور حرارتی، تنها روش برآورد دمای سطح زمین با قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب است (۱۴ و ۱۵). انتخاب روش مناسب در سنجنش از دور حرارتی با توجه به ویژگی‌های سنجنده‌های مختلف حوزه حرارتی بسیار اهمیت دارد.

لی و همکاران (۱۵) با مطالعه‌ای جامع، روش‌های برآورد دمای سطح زمین در سنجنش از دور را به سه گروه کلی روش‌های تک باندی، روش‌های چند باندی و روش‌های چند زاویه‌ای با فرض در اختیار داشتن توان تشعشعی تقسیم کردند. روش‌های چند زاویه‌ای، بر اساس تفاوت در جذب اتمسفری ناشی از مسیرهای متفاوتی است که در یک پدیده مشاهده می‌شود که تنها در شرایط اتمسفری ایده‌آل و در مناطق یکدست و همگن مانند سطح دریا و یا جنگل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

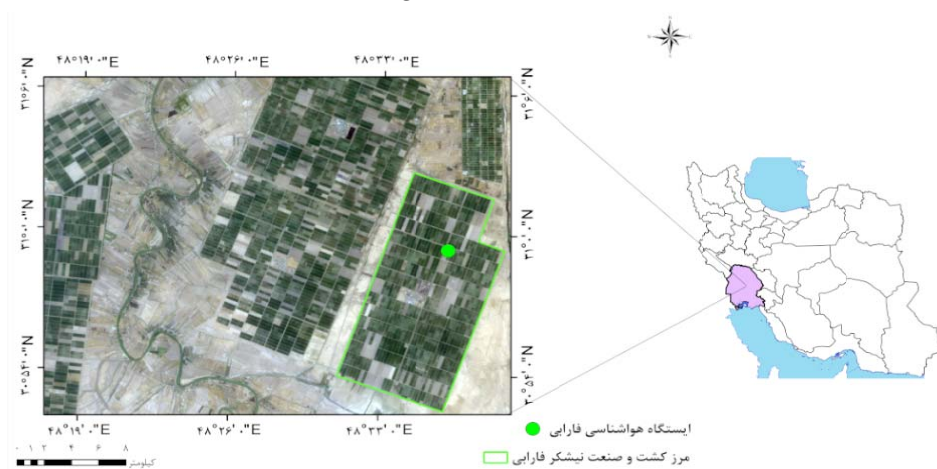
در روش‌های تک باندی، هدف رسیدن به الگوهایی برای استخراج دمای سطح زمین با استفاده از یک باند حرارتی در سنجنده‌ها است. کین و همکاران (۱۸) با استفاده از باند حرارتی سنجنده *TM5*، روش *Mono-Window* را معرفی کردند که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، نیاز به پروفایل‌های اتمسفری برای تصحیح اتمسفری را کاهش دادند. اعتبار سنجنی این روش میزان اختلافی کمتر از ۰/۴ درجه سانتی‌گراد، بین شرایط شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده را نشان داد.

جیمز مونز و همکاران (۱۱) در مقابل به ارائه روشی پرداختند که جهت حصول پارامترهای اتمسفری تنها به میزان کل آب موجود در اتمسفر و طول موج مؤثر نیاز است. با

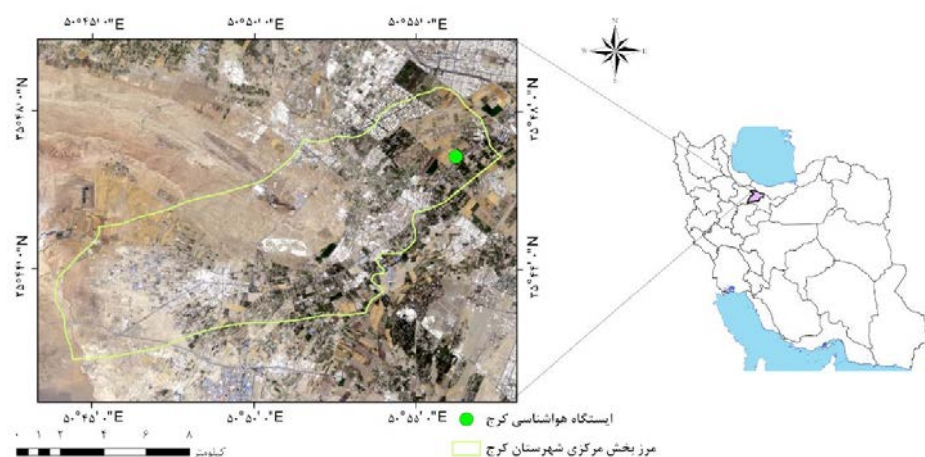
منطقه مورد مطالعه

دو ایستگاه هواشناسی (تحقیقات هواشناسی کرج در استان البرز و ایستگاه فارابی واقع در کشت و صنعت نیشکر فارابی) در استان خوزستان است (شکل های ۱ و ۲). علت این انتخاب، دسترسی به داده های ثبت شده مورد نیاز جهت برآورد دمای سطح زمین در ساعات گذر ماهواره و همگن بودن پوشش زمین در اطراف این دو ایستگاه است. غالب پوشش کشاورزی مورد مطالعه در ایستگاه کرج گندم، جو و ذرت و در ایستگاه فارابی نیشکر است.

لندست ۵، استفاده از نسل جدید ماهواره های لندست که با افزودن باندهایی در طول موج آبی جهت تشخیص ابرهای سیروس، افزایش باندهای حرارتی جهت محاسبه دمای سطح و متغیرهای مهمی مانند تبخیر و تعرق، حذف اثر ارتفاع در محصولات سطح یک این ماهواره فرصت مناسبی در جهت توسعه مطالعات مختلف به ویژه در کشاورزی است (۲۰). در آخرین کالیبراسیون دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸، اشاره به عدم قطعیت در باند ۱۱ جهت استفاده در روش های چند باندهای یا روزنه های مجزا شده است (۱۶).



شکل ۱. نقشه موقعیت ایستگاه هواشناسی فارابی در استان خوزستان



شکل ۲. نقشه موقعیت ایستگاه هواشناسی کرج در استان البرز

نسبی، فشار هوا، دمای هوا برای برآورد آب موجود در اتمسفر استفاده گردید. تصاویر سطح یک ماهواره لندست ۸ تحت نام IT است که شامل تصحیحات ارتفاعی نیز می باشد. لندست ۸

داده های مورد استفاده داده های مورد نیاز این مطالعه به دو بخش زمینی و ماهواره ای تقسیم می شوند. از داده های زمینی شامل رطوبت

شامل ۹ باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای ۱ تا ۷ و ۹ و دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و باند ۸، باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک ۱۵ متر است. ۹ تصویر از ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرج و ۹ تصویر از ایستگاه فارابی با فرمت خروجی

شامل ۹ باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای ۱ تا ۷ و ۹ و دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و باند ۸، باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک ۱۵ متر است. ۹ تصویر از ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرج و ۹ تصویر از ایستگاه فارابی با فرمت خروجی

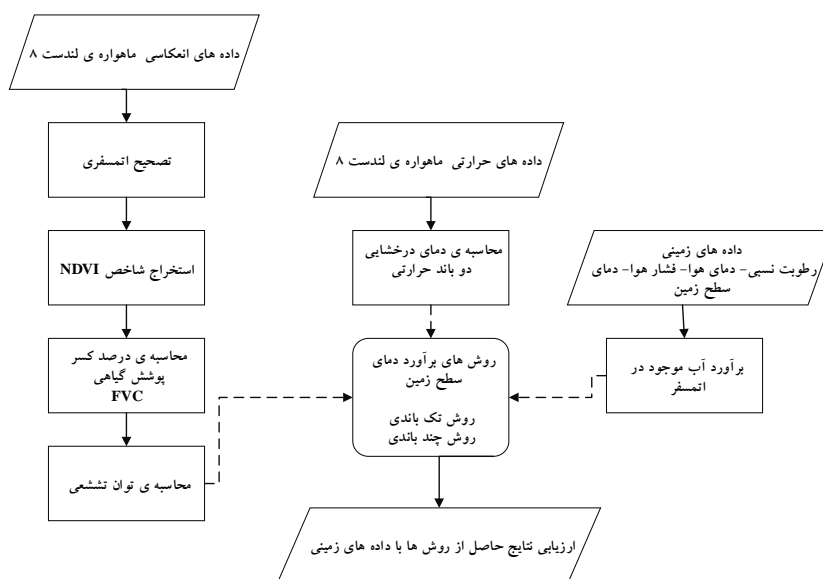
جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی و تاریخ اخذ تصاویر ماهواره‌ای

نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	تاریخ اخذ تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۸)	
			سال (میلادی)	روز از سال
تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج (البرز)	۵۰°۵۶'E ۳۵°۴۶'N	۱۲۶۱/۱	۲۰۱۳	۱۰۶، ۱۳۱، ۱۳۸، ۱۵۴، ۱۷۰، ۱۸۶، ۱۹۲، ۲۵۰، ۲۵۹
فارابی (خوزستان)	۴۸°۳۶'E ۳۰°۵۹'N	۱۱	۲۰۱۴	۱۳۸، ۱۵۴، ۱۷۰، ۱۸۶، ۲۰۲، ۲۱۸، ۲۳۴، ۲۵۰، ۲۳۴، ۲۵۰، ۲۶۶

روش تحقیق

نیز با استفاده از باندهای حرارتی بدست آمد. از روش تصحیح اتمسفری Quack برای اعمال بر باندهای انعکاسی تصویر استفاده گردید (۶). سه ورودی اصلی محاسبه شده وارد دو روش کلی تک باندی و چند باندی شدند و با استفاده از دمای سطح اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی هم‌زمان نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۳).

از محیط نرم‌افزار ENVI®5.1 جهت پیش‌پردازش تصاویر و محاسبات مورد نیاز استفاده شد. توان تشعشعی از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (Normalized Difference Fraction) و کسر پوشش گیاهی (Vegetation Index; NDVI) و دمای درخشایی (Vegetation Cover; FVC) محاسبه گردید. دمای درخشایی



شکل ۳. مراحل انجام تحقیق

باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه گردید (۱۳).

$$\varepsilon_{10} = 0.971(1-FVC) + 0.98 FVC \quad [6]$$

$$\varepsilon_{11} = 0.977(1-FVC) + 0.989 \quad [7]$$

میزان آب موجود در اتمسفر (میلی‌متر) نیز توسط مشاهدات دریافتی از ایستگاه هواشناسی از رابطه ۸ محاسبه گردید (۴).

$$w = 0.14e_0 P_{air} + 2.1 e_0 \quad [8]$$

e_0 فشار بخار نزدیک سطح زمین (کیلو پاسکال) و P_{air} فشار اتمسفر (کیلو پاسکال) است که از رابطه ۹ بدست آمد.

$$P_{air} = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad [9]$$

Z ارتفاع ایستگاه هواشناسی از سطح دریا در واحد متر می‌باشد. روش تک باندی یا تک کاناله که توسط جیمز مونز و همکاران (۱۳) بر باندهای سنجنده حرارتی لندست ۸ اعمال گردیده، مطابق با رابطه‌های ۱۰ تا ۱۷ تعریف می‌شود. در این تحقیق از روش تک باندی اعمال شده بر باند ۱۰ و ۱۱ به ترتیب تحت نام‌های SC10 و SC11 استفاده گردید.

$$T_s = \lambda * \left[\frac{1}{\varepsilon} \right] (\omega_1 L_{sen} + \omega_2) + \omega_3 + \delta \quad [10]$$

که ε توان تشعشعی سطح زمین، λ و δ ، دو پارامتر وابسته به تابع پلانک که در رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ با توجه به دمای درخشایی T_{sen} ، تابش حرارتی L_{sen} و ضریب ثابتی که مقدار ۱۳۲۴ و ۱۱۹۹ به ترتیب برای باندهای ۱۰ و ۱۱ تعیین شده، محاسبه گردید.

$$\delta \approx \frac{T_{sen}^2}{b_y L_{sen}} \quad [11]$$

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{b_y L} \quad [12]$$

با استفاده از داده‌های موجود در فراداده همراه با تصاویر باندهای حرارتی سنجنده حرارتی ماهواره لندست ۸ از رابطه ۱۳ به تابش طیفی L_{λ} تبدیل گردید.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad [13]$$

M_L و A_L ضرایب تبدیلی معرفی شده در فراداده همراه تصویر و Q_{cal} ارزش رقومی تصویر می‌باشد. توابع اسمی اتمسفری ω_1 ، ω_2 و ω_3 از رابطه‌های ۱۴ تا ۱۶ محاسبه شد.

$$\omega_1 = \frac{1}{\tau} \quad [14]$$

$$\omega_2 = -L_d - \frac{L_u}{\tau} \quad [15]$$

ابتدا از روش تصحیح اتمسفری Quack برای اعمال بر باندهای انعکاسی تصویر استفاده گردید، این روش بر باندهایی با طول موج بین ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر اعمال می‌شود بر خلاف روش‌های فیزیکی، یک روش بر پایه تصویر است و سرعت پردازش بالایی دارد و تنها پارامترهای مورد نیاز میزان طول موج مرکزی باندها و کالیبراسیون رادیومتریکی است (۶). بعد از اعمال تصحیح اتمسفری با استفاده از مقادیر انعکاسی در دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست ۸ شاخص NDVI و FVC مطابق رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad [1]$$

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad [2]$$

ρ_{RED} و ρ_{NIR} مقدار بازتاب انعکاسی در دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک در رابطه ۱ می‌باشند. $NDVI_s$ و $NDVI_v$ در رابطه ۲ نیز به ترتیب مقدار شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده پیکسل‌های خاک لخت و کاملاً پوشیده از گیاه است. با توجه به نمودار فراوانی NDVI منطقه مورد نظر، دو آستانه مورد نظر برای خاک لخت و پوشش کامل گیاه قابل تعیین است (۱۲).

جهت محاسبه توان تشعشعی در لندست ۸ از رابطه‌های ۳ تا ۷ استفاده گردید. چنانچه مقدار FVC برابر صفر باشد رابطه‌های ۳ و ۴ با توجه به میزان انعکاس در باند چهار (P₄) لندست ۸ محاسبه می‌شود (۱۳).

$$\varepsilon_{10} = 0.979 - 0.046 P_4 \quad [3]$$

$$\varepsilon_{11} = 0.982 - 0.027 P_4 \quad [4]$$

با استفاده از رابطه ۵ و استفاده از داده‌های موجود در فراداده همراه با تصاویر، باندهای انعکاسی ماهواره لندست ۸ به انعکاس طیفی P_{λ} تبدیل گردید.

$$P_{\lambda} = M_p Q_{cal} + A_p \quad [5]$$

M_p ، A_p ضرایب تبدیلی هستند که از فراداده تصویر استخراج می‌شوند و Q_{cal} ارزش رقومی تصویر خام است. اگر مقدار FVC برابر و کمتر از یک باشد، توان تشعشعی برای دو

فرودی، $L_{atm,\lambda}^{\uparrow}$ تابش خروجی اتمسفری، τ_{λ} ضریب عبور اتمسفری (بدون بعد) می‌باشند. واحد تمامی تابش‌های اشاره شده $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ است. در روش SW2 با خطی‌سازی رابطه ۱۹ ارتباطی مستقیم بین تابش و دما در باند مورد نظر ایجاد گردید (۲۱).

$$T_s = A_0 + A_1 T_{10} - A_2 T_{11} \quad [20]$$

$$A_0 = [a_{10} D_{11} (1 - C_{10} - \quad [21]$$

$$D_{10} - a_{11} D_{10} - C_{11} - D_{11}] / (D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11}) \quad [22]$$

$$A_1 = 1 + [D_{10} + b_{10} D_{11} (1 - C_{10} - D_{10})] / (D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11}) \quad [23]$$

$$A_2 = D_{10} + [1 + b_{11} (1 - C_{11} - D_{11})] / (D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11})$$

$$C_i = \varepsilon_i \tau_i(\theta) \quad [24]$$

$$D_i = [1 - \tau_i(\theta)] [1 + (1 - \varepsilon_i) \tau_i(\theta)] \quad [25]$$

ε توان تشعشعی، ضریب a برای دو باند ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ (در بازه تغییراتی بین ۰ تا ۶۰ درجه) به ترتیب ۶۴/۴۶۶۱- و ۶۸/۸۶۷۸- و ضریب b برای دو باند ۱۰ و ۱۱ به ترتیب ۰/۴۳۹۸ و ۰/۴۷۵۵ تعیین، و τ عبور اتمسفری با استفاده از رابطه ۸ و معادلات ارائه شده در جدول ۲ برآورد گردید. معادلات تخمینی حاصل بررسی شبیه‌سازی عبور اتمسفری و آب موجود در اتمسفر در پروفایل‌های اتمسفری استاندارد در MODTRAN 4.0 است (۲۱). در این پژوهش از پروفایل Mid-Latitude summer برای تخمین عبور اتمسفری استفاده شد.

جدول ۲. ارتباط بین عبور اتمسفری و آب موجود در اتمسفر

پروفایل	معادلات تخمینی
	$\tau_{10} = -0.1134w + 1.0335$
Mid-Latitude summer	$\tau_{11} = -0.1546w + 1.0078$

$$\omega_3 = L_d \quad [16]$$

در این رابطه‌ها؛ τ ، L_d و L_u پارامترهای مورد نیاز برای تصحیح اتمسفری هستند که به ترتیب عبور اتمسفری، تابش اتمسفری (شامل پراکنش و گسیل اتمسفری) که پس از برخورد با زمین و عبور از اتمسفر غیرمستقیم به سنجنده می‌رسد، تابش اتمسفری (پراکنش و گسیل) که بدون برخورد به زمین مستقیم به سنجنده می‌رسد. ارتباط بین توابع اسمی اتمسفری و میزان رطوبت موجود در اتمسفر به صورت ماتریس رابطه ۱۷ بیان گردید.

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.04019 & 0.02916 & 1.01523 \\ -0.38333 & -1.50204 & 0.20324 \\ 0.00928 & 1.36072 & -0.27514 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^2 \\ w \\ 1 \end{bmatrix} \quad [17]$$

در روش چند بانندی SW1 از روش محاسباتی چند بانندی یا پنجره‌های مجزا استفاده شد (۱۳). این روش از رابطه ۱۸ تعیین گردید.

$$[18]$$

$$T_s = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4 w)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6 w)\Delta\varepsilon$$

در این رابطه؛ T_i و T_j دمای درخشانی در دو باند حرارتی i و j ؛ ε توان تشعشعی متوسط دو باند حرارتی i و j و $\Delta\varepsilon$ تفاوت توان تشعشعی دو باند حرارتی i و j می‌باشند. ضرایب C_0 تا C_6 نیز به ترتیب ۰/۲۶۸-، ۱/۳۷۸، ۲/۲۳۸، ۰/۳۰، ۵۷/۳۰، ۱۲۹/۲-، ۱۶/۴۰ که از داده‌های شبیه‌سازی شده ۴۷۱۷ پروفایل اتمسفری پایگاه داده MAPRI₄₇₁₇ برای لندست ۸ تعیین شده است (۱۳). در روش چند بانندی SW2 بر اساس معادله انتقال تابشی، تابش حرارتی دریافتی توسط سنجنده مطابق با رابطه ۱۹ محاسبه گردید (۲۳).

$$[19]$$

$$L_{sensor,\lambda} = [\varepsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{atm,\lambda}^{\downarrow}] \tau_{\lambda} + L_{atm,\lambda}^{\uparrow}$$

در این رابطه؛ ε_{λ} توان تشعشعی (بدون بعد)، $B_{\lambda}(T_s)$ تابش گسیل شده از یک جسم سیاه در دمای T_s ، $L_{atm,\lambda}^{\downarrow}$ تابش

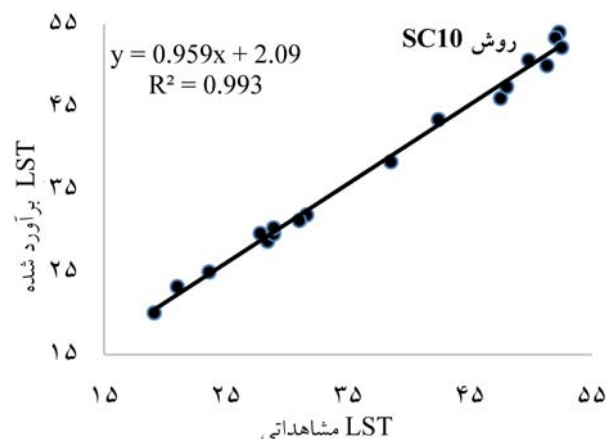
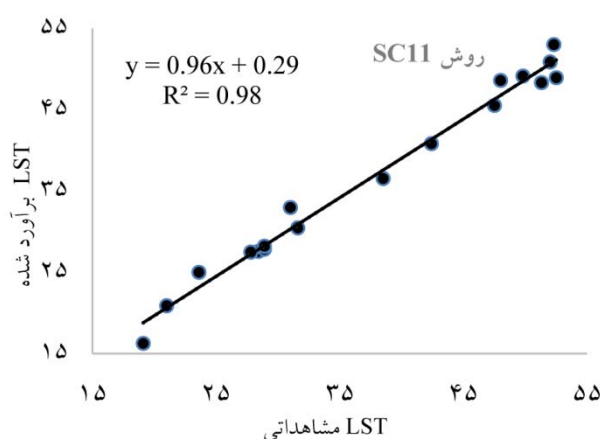
نتایج

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad [26]$$

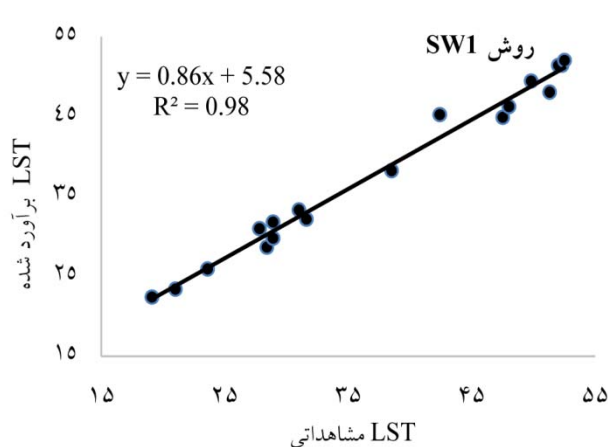
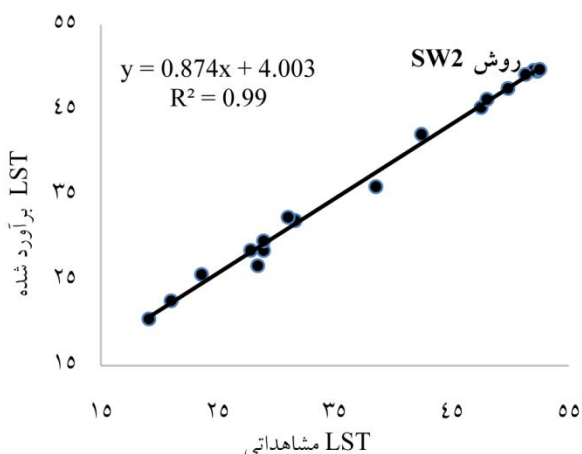
$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{n} \quad [27]$$

در این رابطه‌ها؛ x_i و y_i به ترتیب مقادیر برآورد شده LST (درجه) و مقادیر مشاهده شده LST (درجه) در ایستگاه‌های زمینی و n تعداد نقاط است. شکل‌های ۴ و ۵ میزان R^2 در بررسی اندازه‌گیری‌های تخمینی و مشاهداتی را نمایش می‌دهد.

برای بررسی صحت روش‌های استفاده شده در این پژوهش (تک بانندی SC10 و SC11 و چند بانندی SW1، SW2)، از شاخص‌های آماری شامل جذر میانگین مربعات (Root-Mean-Square Error; RMSE) جهت میزان خطای برآورد و متوسط خطای مطلق (Mean Absolute Error; MAE) رابطه‌های ۲۶ و ۲۷ استفاده گردید. برای بررسی همبستگی بین نتایج با واقعیات زمینی نیز از ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید.



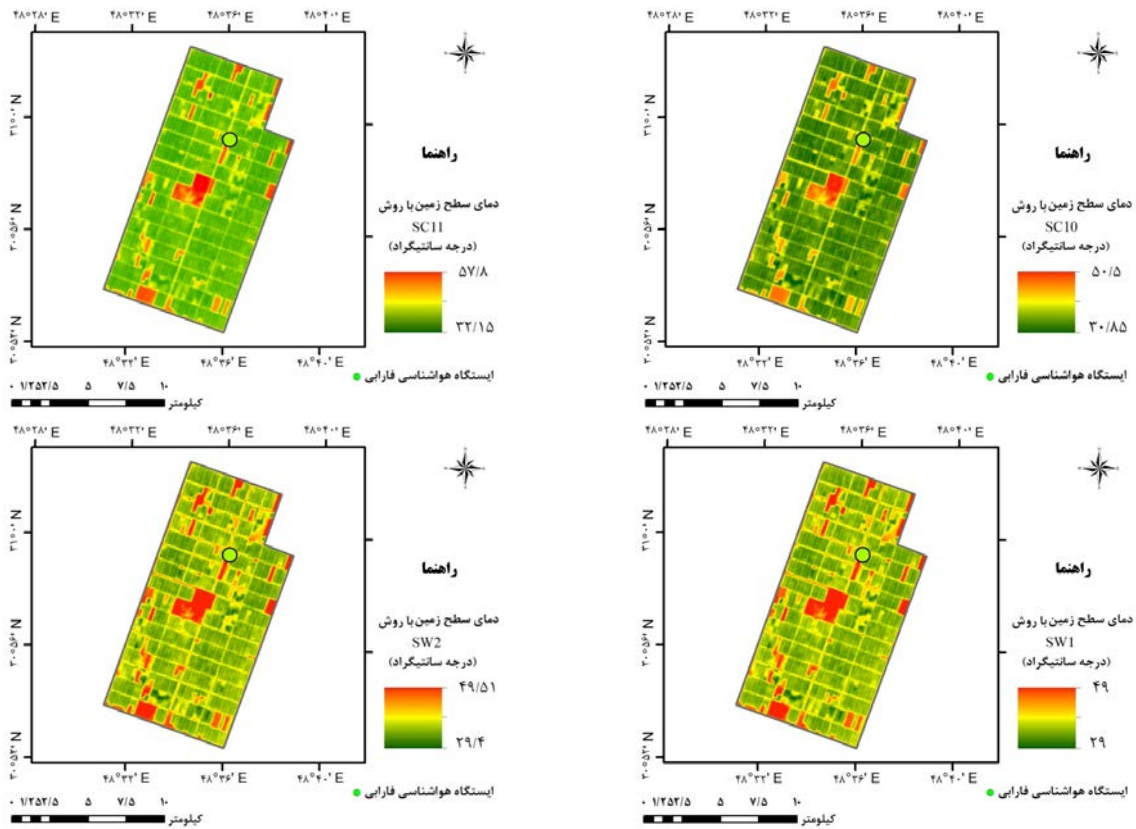
شکل ۴. ضرایب تبیین دمای سطح مشاهداتی و اندازه‌گیری شده در روش‌های تک بانندی



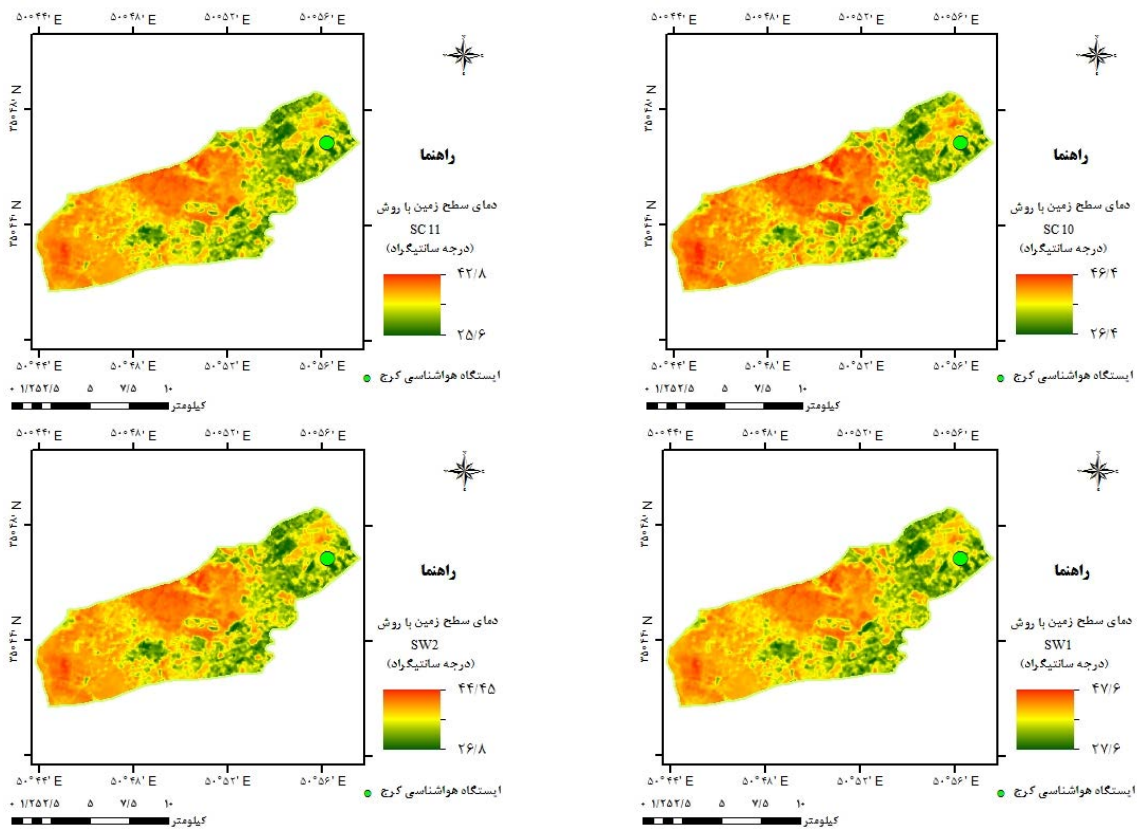
شکل ۵. ضرایب تبیین دمای سطح مشاهداتی و اندازه‌گیری شده در روش‌های چند بانندی

مقادیر LST برآوردی و نتایج حاصل از ارزیابی با مشاهدات ایستگاهی در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

نقشه توزیع مکانی دمای سطح زمین در محدوده ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.



شکل ۶. نقشه‌های دمای سطح زمین در محدوده ایستگاه هواشناسی فارابی



شکل ۷. نقشه‌های دمای سطح زمین در محدوده ایستگاه هواشناسی کرج

جدول ۳. دمای سطح زمین با استفاده از روش های SC10، SC11، SW1، SW2 در ایستگاه هواشناسی کرج

تاریخ	SC10	SC11	SW1	SW2	دمای مشاهداتی (درجه سانتی گراد)
۱۳۹۳/۰۱/۲۷	۲۰/۰۴	۱۶/۲۵	۲۲/۴۱	۲۰/۴۸	۱۹/۱
۱۳۹۳/۰۲/۲۱	۲۵	۲۵	۲۵/۹۲	۲۵/۷	۲۳/۶
۱۳۹۳/۰۲/۲۸	۲۳/۲	۲۰/۸۸	۲۳/۴	۲۲/۶۱	۲۱
۱۳۹۳/۰۳/۱۳	۲۸/۷۱	۲۷/۵۷	۲۸/۶۶	۲۶/۷۳	۲۸/۴
۱۳۹۳/۰۳/۲۹	۲۹/۶	۲۷/۸۵	۲۹/۷۷	۲۸/۵۲	۲۸/۹
۱۳۹۳/۰۴/۱۴	۳۰/۳۳	۲۸/۲۱	۳۱/۸	۲۹/۶۴	۲۸/۹
۱۳۹۳/۰۴/۲۰	۲۹/۶۷	۲۷/۴۸	۳۰/۹۷	۲۸/۵۴	۲۷/۸
۱۳۹۳/۰۶/۱۶	۳۱/۹	۳۰/۴۶	۳۲/۱۶	۳۲/۰۳	۳۱/۶
۱۳۹۳/۰۶/۲۵	۳۱/۲۳	۳۲/۹۷	۳۳/۳۱	۳۲/۴۲	۳۱
متوسط خطای مطلق	۱/۰۴	۱/۱۵	۲/۰۱	۱/۱۶	-
خطای ریشه میانگین مربعات	۱/۲۴	۱/۴	۲/۲۸	۱/۲۹	-

جدول ۴. دمای سطح زمین با استفاده از روش های SC10، SC11، SW1، SW2 در ایستگاه هواشناسی فارابی

تاریخ	SC10	SC11	SW1	SW2	دمای مشاهداتی (درجه سانتی گراد)
۱۳۹۲/۰۲/۲۸	۴۳/۴۵	۴۰/۸۲	۴۵/۲۵	۴۲/۱۴	۴۲/۴
۱۳۹۲/۰۳/۱۳	۴۶/۰۳	۴۵/۵۲	۴۴/۹۱	۴۵/۳	۴۷/۵
۱۳۹۲/۰۳/۲۹	۵۰/۶۵	۴۹/۱۳	۴۹/۴۶	۴۷/۵۳	۴۹/۸
۱۳۹۲/۰۴/۱۴	۵۴/۰۳	۵۳	۵۱/۴۳	۴۹/۵۳	۵۲/۳
۱۳۹۲/۰۴/۳۰	۵۳/۳۷	۵۰/۸۷	۵۱/۴۲	۴۹/۶۵	۵۲
۱۳۹۲/۰۵/۱۵	۵۰	۴۸/۳۲	۴۸/۰۶	۴۹/۱۷	۵۱/۳
۱۳۹۲/۰۵/۳۱	۵۲/۱۹	۴۸/۹۳	۵۲/۰۳	۴۹/۷۶	۵۲/۵
۱۳۹۲/۰۶/۱۶	۴۷/۴۱	۴۸/۶	۴۶/۲۶	۴۶/۲۶	۴۸
۱۳۹۲/۰۷/۰۱	۳۸/۳۴	۳۶/۵۳	۳۸/۲۳	۳۶	۳۸/۵
متوسط خطای مطلق	۰/۹۸	۱/۶۸	۱/۴۳	۲/۱	-
خطای ریشه میانگین مربعات	۱/۱	۱/۹۵	۱/۸۲	۲/۲۲	-

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ جهت تخمین دمای سطح زمین استفاده گردید. پس از تصحیحات و پردازش‌های مورد نیاز اقدام به محاسبه ورودی‌های روش‌های برآورد LST در روش‌های تک بانندی و چند بانندی گردید. مزیت این روش‌ها تنها استفاده از توان تشعشعی و آب موجود در اتمسفر به عنوان دو ورودی اصلی است (۱۳). نتایج، حاکی از همبستگی بالا در تمامی روش‌های برآورد LST است. با

بررسی متوسط خطای مطلق در ایستگاه فارابی، روش SC10، کمترین خطا به میزان ۰/۹۸ درجه را به خود اختصاص داد و در روش SW2 بیشترین خطا به میزان ۲/۱ درجه مشاهده گردید. در ایستگاه کرج نیز روش SC10 کمترین خطا در حدود ۱/۰۴ درجه را به خود اختصاص داد و بیشترین خطا نیز در روش SW1 به اندازه ۲/۰۱ درجه بدست آمد. با بررسی RMSE در ایستگاه فارابی روش SC10 کمترین و روش SW2 بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. با بررسی این

هواشناسی البرز و فارابی بین ۰/۵ تا ۱/۵ گرم در سانتی‌متر مربع در نوسان است در حالیکه در مطالعه یو و همکاران (۲۸) آب موجود در اتمسفر در دو بازه ۳/۰-۶/۰ و ۰/۲-۳/۰ گرم در سانتی‌متر مربع در ایستگاه‌های مطالعاتی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین شرایط متفاوت مناطق از نظر دما، پوشش منطقه و آب موجود در اتمسفر در نتایج روش‌های تک باندی و چند باندی اثرگذار است. استفاده از ایستگاه‌های بیشتر جهت ارزیابی نتایج، پیاده‌سازی روش‌های تک باندی و چند باندی در شرایط مختلف آب و هوایی و کاربری‌های مختلف مناطق مطالعاتی در تخمین LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ به ویژه در روش‌های چند باندی پیشنهاد می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی هروی، ب.، ک. رنگزن، ح. ر. ریاحی بختیاری و ا. تقی‌زاده. ۱۳۹۴. تعیین درجه حرارت سطح اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست (مطالعه‌ی موردی: کرج). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۴): ۱۹-۳۲.
۲. اسلمی، ف.، ا. قربانی، ب. سبحانی و م. پناهنده. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و شیء‌گرا در استخراج کاربری و پوشش اراضی از تصاویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۱-۱۴.
۳. میرزایی‌زاده، و.، م. نیک‌نژاد و ج. اولادی قادیکلایی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۲۹-۴۴.
4. Allen RG, Tasumi M, Trezza R. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4): 380-394.
5. Anderson MC, Allen RG, Morse A, Kustas WP. 2012. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*, 122: 50-65.
6. Bernstein LS, Jin X, Gregor B, Adler-Golden SM. 2012. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. *Optical*

شاخص آماری در ایستگاه کرج نیز به ترتیب کمترین و بیشترین RMSE در دو روش SC10 و SW1 مشاهده گردید. جیمنز مونز و همکاران (۱۳) متوسط خطای حاصل از روش‌های SC10، SC11 و SW1 را حدود ۱/۵ درجه گزارش نمودند که در نگاهی کلی با نتایج حاصل در این پژوهش همخوانی دارد. مونتارو و همکاران (۱۶) به علت ورود تابش‌هایی خارج از میدان دید سنجنده که باعث افزایش سیگنال‌های غیریکنواخت و یا به عبارتی نویز و خطا در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی به میزان ۸ درصد در باند ۱۰ و دو برابر این میزان در باند ۱۱ شده بود، سعی در کاهش این انحراف با کسر میزان ۲/۱ سلسیوس از باند ۱۰ و حدود ۴/۴ سلسیوس از باند ۱۱، نمودند لازم به ذکر است که این تصحیح برای افزایش دقت در مناطق همگن در طی فصل رشد گیاه در محدوده دمایی بین ۱۰ تا ۳۰ درجه مناسب است تا نتایج به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر گردد و عدم قطعیت همچنان در باند ۱۱ حرارتی وجود دارد. یو و همکاران (۲۸) برآورد بهتر باند ۱۰ حرارتی نسبت به باند ۱۱ حرارتی در روش‌های تک باندی را نتیجه گرفتند. با بررسی این مطلب در نتایج هر دو ایستگاه فارابی و البرز نیز شاهد دقت بالاتر SC10 نسبت به SC11 هستیم. مقایسه نتایج در روش‌های تک باندی و چند باندی هر دو ایستگاه فارابی و کرج حاکی از دقت بالاتر روش SC10 نسبت به روش‌های چند باندی SW1 و SW1 است، این در حالی است که یو و همکاران (۲۸) دقت بالاتر روش‌های چند باندی نسبت به تک باندی را نتیجه گرفتند. علت این تناقض در نتایج را می‌توان در شرایط منطقه مطالعاتی یافت. فرضیات مطالعه یو و همکاران (۲۸) محدود به بازه دمایی کمتر از ۳۰ درجه و در نظر گرفتن فصل رشد گیاه است. در تمامی تاریخ‌های مورد بررسی در ایستگاه فارابی شاهد دمای بالاتر از ۳۰ درجه هستیم و این مسئله در ایستگاه کرج در شهریور ماه نیز مشاهده می‌گردد. جیمنز مونز و همکاران (۱۳) به این نتیجه رسیدند که با افزایش آب موجود در اتمسفر دقت روش‌های چند باندی نسبت به تک باندی افزایش می‌یابد. میزان تغییر آب موجود در اتمسفر برای هر دو ایستگاه

19. Quintano C, Fernández-Manso A, Calvo L, Marcos E, Valbuena L. 2015. Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 36:1-12.
20. Roy DP, Wulder M, Loveland T, Woodcock C, Allen R, Anderson M, Helder D, Irons J, Johnson D, Kennedy R. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145: 154-172.
21. Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y, Karnieli A. 2014. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4): 5768-5780.
22. Senay GB, Bohms S, Singh RK, Gowda PH, Velpuri NM, Alemu H, Verdin JP. 2013. Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: A new parameterization for the SSEB approach. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(3): 577-591.
23. Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC, Sòria G, Romaguera M, Guanter L, Moreno J, Plaza A, Martínez P. 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2): 316-327.
24. Wang L, Koike T, Yang K, Yeh PJ-F. 2009. Assessment of a distributed biosphere hydrological model against streamflow and MODIS land surface temperature in the upper Tone River Basin. *Journal of Hydrology*, 377(1): 21-34.
25. Wu M, Li H, Huang W, Niu Z, Wang C. 2015. Generating daily high spatial land surface temperatures by combining ASTER and MODIS land surface temperature products for environmental process monitoring. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(8): 1396-1404.
26. Yang J, Wong MS, Menenti M, Nichol J. 2015. Study of the geometry effect on land surface temperature retrieval in urban environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 109: 77-87.
27. Yıldız BY, Şahin M, Şenkal O, Peştimalci V, Tepecik K. 2014. Determination of land surface temperature using precipitable water based Split-Window and Artificial Neural Network in Turkey. *Advances in Space Research*, 54(8): 1544-1551.
28. Yu X, Guo X, Wu Z. 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS-Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing*, 6(10): 9829-9852.
7. Cristóbal J, Jiménez-Muñoz J, Sobrino J, Ninyerola M, Pons X. 2009. Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(8): 1-16.
8. Cunha A, Alvalá R, Nobre C, Carvalho M. 2015. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian Semiarid Region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214: 494-505.
9. Dube T, Mutanga O. 2015. Investigating the robustness of the new Landsat-8 Operational Land Imager derived texture metrics in estimating plantation forest aboveground biomass in resource constrained areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 108: 12-32.
10. Jeong S, Howat IM. 2015. Performance of Landsat 8 Operational Land Imager for mapping ice sheet velocity. *Remote Sensing of Environment*, 170: 90-101.
11. Jiménez-Muñoz JC, Cristóbal J, Sobrino JA, Sòria G, Ninyerola M, Pons X. 2009. Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(1): 339-349.
12. Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA, Gillespie A, Sabol D, Gustafson WT. 2006. Improved land surface emissivities over agricultural areas using ASTER NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 103(4): 474-487.
13. Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA, Skoković D, Mattar C, Cristóbal J. 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10): 1840-1843.
14. Ke Y, Im J, Lee J, Gong H, Ryu Y. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment*, 164: 298-313.
15. Li Z-L, Tang B-H, Wu H, Ren H, Yan G, Wan Z, Trigo IF, Sobrino JA. 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131: 14-37.
16. Montanaro M, Gerace A, Lunsford A, Reuter D. 2014. Stray light artifacts in imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor. *Remote Sensing*, 6(11): 10435-10456.
17. Peña M, Brenning A. 2015. Assessing fruit-tree crop classification from Landsat-8 time series for the Maipo Valley, Chile. *Remote Sensing of Environment*, 171: 234-244.
18. Qin Z, Karnieli A, Berliner P. 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18): 3719-3746.



Comparison between land surface temperature estimation in single and multi-channel method using Landsat images 8

P. Asgarzadeh ^{1*}, A. Darvishi Boloorani ², H. A. Bahrami ³, S. Hamzeh ²

1. MSc. Graduated of Remote Sensing and GIS, University of Tehran

2. Assis. Prof. College of Geography, University of Tehran

3. Prof. College of Agriculture, Tarbiat Modares University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 February 2016

Accepted 26 August 2016

Available online 25 November 2016

Keywords:

LandSat8

Land surface temperature

Thermal remote sensing

Thermal bands

Emissivity

ABSTRACT

Land surface temperature (LST) is a key parameter in environmental studies particularly for drought monitoring. Due to the ground limitations to measure the LST on a large scale, thermal remote sensing is a unique method for estimating LST. The aim of this article is comparing between LST estimation in single and multi-channel method using Landsat 8 thermal and reflective bands. Necessary ground data from meteorological stations Farabi (Khuzestan) and Karaj (Alborz) were taken to coincide with the dates and times of Landsat 8 overpasses. In this article Land surface emissivity and atmospheric water vapor content are major inputs for single and multi-channel LST estimation. After correction, processing and calculation of interest, LST were estimated. For result evaluation, statistical indices such as Root-Mean-Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and coefficient of determination (R^2) were used. Results show the high value of R^2 in all LST estimation method in comparison with ground measurement. In single channel using band 10 highest accuracy with MAE about 1.04 and 0.98 degrees in Karaj and Farabi station was seen respectively. The lowest and highest value of RMSE is in the single channel method (band 10) and multi-channel method (band 10 and 11) respectively. Study area conditions in terms of temperature; land cover and water vapor content affect the results and appropriate thermal band selection. Take-in consideration, especially using multi-band LST estimation method is suggested.

* Corresponding author e-mail address: parvanasgarzade@alumni.ut.ac.ir