

امکان سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال^۱ مطالعه موردی: شهرستان الشتر^۲

صیاد اصغری سراسکانرود^۳

ایمانعلی بلواسی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۱/۱۷

چکیده

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این پژوهش مقدار انرژی تابش خورشیدی رسیده به زمین با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره لندست و با بکارگیری الگوریتم سبال در شهرستان الشتر، در ماه‌های ژانویه تا نوامبر محاسبه شد. میانگین بیش‌ترین تابش موج کوتاه ورودی به مقدار ۹۹۶ وات بر متر مربع در ماه ژوئن و کم‌ترین مقدار در ژانویه به میزان ۴۶۰ وات بر متر مربع محاسبه شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین در ماه سپتامبر به اندازه ۶۰۲ وات بر متر مربع و کم‌ترین مقدار مربوط به ژانویه با ۲۶۱ وات بر متر مربع بوده است. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که بیش‌ترین درصد تابش خالص در سپتامبر در دسته ۸۰۰-۶۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۶۹/۸۶ درصد و در ژانویه در دسته ۶۰۰-۴۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۶۰/۱۲ درصد بوده است. با توجه به دامنه حساسیت سلول‌های فتوولتائیک به تابش و مقدار تابش خالص محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در این منطقه، پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تابشی خورشید، الگوریتم سبال، سنجش از دور، شهرستان الشتر.

1- Surface Energy Balance Algorithms for Land

۲- این مقاله مستخرج از یک طرح پژوهشی به همین عنوان با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد.

۳- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول) sayyad.sasghari21@gmail.com

۴- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات، دانشگاه محقق اردبیلی belvasi4@yahoo.com

۱- مقدمه

تابش خالص و تابش فرودی خورشید در دو ایستگاه زمینی و تابش حرارتی خروجی با استفاده از دو تصویر بدون ابر و به کارگیری آلبدوی سطحی، گسیل مندی سطحی و دمای سطح به دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل سبال، علاوه بر اینکه کمترین وابستگی را به داده‌های زمینی دارد، در صورتی که از ماهواره با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا استفاده شود در مقایسه با دو روش دیگر بهترین جواب را برای محاسبه تابش ارائه خواهد داد. Jahanbakhsh و همکاران (۱۳۸۸) به طور همزمان اقدام به پایش دمای سطح زمین در تعداد محدودی از ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای و محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم سبال نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که اختلافی در حدود ۵/۵۷ درجه سانتی‌گراد بین دمای سطح برآورد شده از طریق سنجش از دور و آمار ۱۲ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۳) ایستگاه هواشناسی مراغه وجود دارد. Mousavi Bighi و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک پرداختند. این محققین با بررسی هفت مدل برآورد تابش خورشیدی، مدل آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو را به عنوان مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک معرفی نمودند. Wali Zadeh Kamran (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای جهت محاسبه تبخیر و تعرق به روش استفنز در منطقه آذربایجان شرقی، اقدام به محاسبه تابش رسیده به سطح زمین با استفاده از تصاویر SRTM و با کمک تابع Solar Analyst در محیط نرم‌افزار Arc GIS در روز ۱۱ خردادماه مابین ساعات ۱۰ الی ۱۱ قبل از ظهر نمود. Rezaei Moghaddam و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از الگوریتم سبال، تابش خالص خورشیدی جهت تأمین روشنایی بزرگراه زنجان - تبریز را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که منطقه مورد مطالعه به دلیل تنوع توپوگرافی از تابش خالص سطحی متنوع برخوردار است و امکان به کارگیری سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی جهت

خورشید به عنوان منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشاء تمام انرژی‌های دیگر شناخته شده است. تابش جهانی خورشید یکی از سازه‌های بنیادی هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. از این رو، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه‌های اساسی، تأثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد (Kamali & Moradi, 2005, p.285). در بسیاری از مناطق کوهستانی که برق‌رسانی آسان نیست، انرژی حاصل از تابش خورشیدی می‌تواند جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی باشد. به ویژه این‌که کاربرد این سرچشمه انرژی، عاری از آلودگی‌های زیست محیطی است (Bosch et al., 2008, p.1623). یکی از روش‌های دسترسی به اطلاعات انرژی خورشیدی اندازه‌گیری مستقیم انرژی خورشید توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند پیرانومتر و پیرهیلومتر می‌باشد. متأسفانه در بسیاری از نقاط اندازه‌گیری تابش خورشیدی به لحاظ هزینه زیاد، نگهداری و نیاز به واسنجی (کالیبراسیون) تجهیزات همیشه صورت نمی‌گیرد (Bakirci, 2009, p.493). تاکنون رویکردهای گوناگونی برای فراگیر ساختن نقشه‌های تابشی به انجام رسیده است، تا از این راه بتوان به برآوردی از تابش خورشیدی در پهنه‌هایی که داده‌های دیدبانی در دسترس نیست، دست یافت (Winslow et al., 2001, p.235). تکنیک‌های سنجش از دور به دلیل دقت و سرعت بالا در برآورد مقادیر تابش خالص می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و قدیمی در این زمینه باشند (Moini, 2010, p.79).

با توجه به اهمیت استفاده از انرژی تابشی خورشید مطالعات فراوانی در جهان و ایران انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود. Mobashiri و همکاران (۲۰۰۴) مطالعه‌ای با عنوان تجزیه و تحلیل روش‌های استفاده از ماهواره برای تعیین میزان تابش جهت برآورد تبخیر- تعرق انجام دادند. در این مطالعه از سه روش مکانیزم بازخور داده‌های ماهواره‌ای، تکنیک استفاده از فرآیندهای بیوفیزیکی و سبال بهره‌برداری شده است. در روش سبال مقادیر لحظه‌ای تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری‌های

آلبدو و دمای سطحی پایین، پوشش گیاهی زیاد و تبخیر - تعرق بالایی دارند.

tabic و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با در نظر گرفتن عوامل ارتفاع، شیب و جهت شیب، الگوریتمی سریع و دقیق جهت تعیین نقشه حداکثر انرژی تابش فرودی و زوایای بهینه آن از روی مدل رقومی ارتفاع با تفکیک بالا ارائه کردند.

Muzathik (۲۰۱۴) به ارزیابی مدل‌های متعددی برای تخمین میانگین ماهانه تابش خورشیدی روزانه در یک سطح افقی بر اساس ساعات آفتابی و انتخاب مدلی مناسب برای ایالت گرنگانو مالزی پرداخت. Hong و همکاران (۲۰۱۵) تابش خالص و تبخیر - تعرق با مقیاس کوچک را به روش سبال از ترکیب تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر با سنجنده لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت در نقشه‌های تبخیر - تعرق هم به صورت ورودی با مقیاس کوچک و هم خروجی مقیاس کوچک معنی‌دار نیست. نتایج تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که به طور کلی مدل‌های سنجش از دور عملکرد بهتری در تخمین تابش خورشیدی دارند و می‌توان از آن‌ها به عنوان یکی از ابزارهای مناسب و کم هزینه برای تخمین تابش خورشیدی استفاده نمود.

با توجه به اهمیت تابش خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک، در دسترس و عاری از هرگونه آلودگی‌های مخرب زیست محیطی، شناسایی نواحی پرتابش جهت معرفی به مراجع ذیربط، امری ضروری و لازم بوده و هدف این تحقیق می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از الگوریتم سبال و تکنولوژی سنجش از دور امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در منطقه شهرستان الشتر سلسله مورد مطالعه قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش برای بررسی و امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در

تأمین روشنایی بزرگراه زنجان - تبریز را تأیید می‌کند.

Pinker و همکاران (۱۹۸۵) مدل فیزیکی را برای تخمین تابش خورشیدی در سطح زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بدست آوردند. در این مدل فیزیکی تأثیرات جذب بخار آب، پراکنش معمول تابش‌ها، پراکنش و جذب گرد و غبار، جذب و پراکنندگی ابرها بررسی شد. Laine و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقی مدل فیزیکی برای تخمین تابش خورشیدی لحظه‌ای و روزانه در فنلاند بر پایه داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره نوا و داده‌های ۶ ایستگاه اندازه‌گیری زمینی تابش خورشیدی در ماه جولای ارائه دادند. مقایسه لحظه‌ای تخمین‌های ماهواره‌ای با داده‌های اندازه‌گیری میانگین ۱۵ دقیقه‌ای تابش خورشیدی در شرایط صاف، ضریب همبستگی ۰/۹۷ و خطای استاندارد ۰/۸ و تحت شرایط آسمان ابری، ضریب همبستگی ۰/۸۳-۰/۷۹ و خطای استاندارد ۲۷-۳۹ درصد بدست آمد. Trnka و همکاران (۲۰۰۵) از روش سبال برای محاسبه تابش، دمای سطح و در نهایت تبخیر - تعرق در غرب ایالات متحده استفاده کردند. نتایج اعتبارسنجی این مطالعه نشان داد که در نواحی کشاورزی تطابق خوبی بین تبخیر - تعرق به دست آمده از سبال وجود دارد.

Janjai و همکاران (۲۰۰۵) مدل فیزیکی را بر اساس رابطه بین آلبدوی اتمسفر - زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ضرایب جذب و پراکنندگی اتمسفر ارائه دادند. این مدل برای محاسبه میانگین ماهانه تابش در مناطق گرمسیری با گرد و غبار زیاد طراحی شده است. در این مدل تابش خورشیدی ورودی به سطح زمین بر حسب تابش جذب شده بوسیله شرایط مختلف اتمسفر و تابش بازتابی به فضا محاسبه می‌شود.

Almhah و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش سبال و به‌کارگیری تصاویر سنجنده لندست TM و NOAA به برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی و تخمین تابش خالص، شار گرمای خاک و شار گرمای محسوس در حوضه سنا یمن پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد، مناطق دارای

در نرم‌افزار ENVI تا حد امکان اثرات اتمسفری برطرف و در نهایت جهت از بین بردن هرگونه گپ و استریپ تصحیحات رادیومتریکی نیز بر روی تصاویر اعمال گردید.

۲-۱- الگوریتم سبال

در الگوریتم سبال از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مرئی، فروسرخ نزدیک و حرارتی برای برآورد انرژی تابشی خالص، شار حرارتی خاک، شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان تبخیر برای هر پیکسل در یک تصویر استفاده می‌شود (Allen et al., 2002). در این روش مقادیر لحظه‌ای تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری تابش فرودی خورشید از تصاویر بدون ابر و به کارگیری آلبدوی سطحی، گسیلمندی سطحی و دمای سطح، به دست می‌آید. برای محاسبه میزان تابش خالص انرژی خورشیدی از رابطه (۱) استفاده می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲).

$$R_n = (1-\alpha) R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1-\epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad [1]$$

در رابطه (۱)، R_n میزان تابش خالص انرژی خورشیدی، α آلبدوی سطحی، ϵ گسیلمندی، $R_{S\downarrow}$ طول موج کوتاه فرودی، $R_{L\downarrow}$ طول موج بلند فرودی، $R_{L\uparrow}$ طول موج بلند خروجی برحسب وات بر مترمربع را نشان می‌دهند. بنابراین تابش خالص عبارت از اختلاف بین جریان تابش خروجی و فرودی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می‌رود. در ادامه به روش محاسبه اجزای رابطه (۱) و در نهایت محاسبه R_n پرداخته می‌شود.

آلبدو (α): نسبت انرژی رسیده به سطح به انرژی بازتابش شده را آلبدو گویند. جهت محاسبه آلبدو از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad [2]$$

در رابطه (۲)، α_{toa} آلبدوی بالای اتمسفر، $\alpha_{path_radiance}$ آلبدوی معادل تابش مسیر و τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری را نشان می‌دهد.

یک دوره زمانی ۱۲ ماهه، مربوط به سال ۲۰۱۷، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جهت تعیین موقعیت و حدود منطقه مورد مطالعه و داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دما، بارش، سرعت باد، تعداد روزهای آفتابی استفاده شده است. از نرم افزار ENVI جهت تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای و هم چنین اجرای محاسبات مربوط به مدل سبال و از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی، عملیات کارتوگرافیکی و در نهایت پیاده کردن مدل استفاده گردید. در ادامه، محاسبات مربوط به مدل سبال در محیط نرم افزار ENVI و ArcGIS انجام و مقدار تابش خالص در منطقه مورد مطالعه محاسبه شده و مورد تحلیل قرار گرفت. لازم به توضیح است که تصاویر در دسترس ماه‌های فوریه، مارس و دسامبر کاملاً ابری بوده و با توجه به این‌که در الگوریتم سبال، مقادیر تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری تابش فرودی خورشید از تصاویر بدون ابر به دست می‌آید امکان استفاده از تصاویر ماه‌های فوق‌الذکر مقدور نگردید.

محققان، روش‌های مختلفی برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین، برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد کرده اند. هر یک از این روش‌ها بر اساس ضریب صافی هوا، کسر ساعات آفتابی، میزان بارندگی، دما، رطوبت نسبی، فشار، ارتفاع از سطح دریا و پارامترهای دیگر می‌باشند. در این پژوهش از الگوریتم سبال و تکنولوژی سنجنش از دور، امکان سنجنی استفاده از انرژی خورشیدی در شهرستان الشتر مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور انجام عملیات پردازش و به دست آوردن نتایج دقیق، عملیات پیش‌پردازش و تصحیحات لازم بر روی تمام باندهای تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. باندهای حرارتی و غیرحرارتی باید عاری از اثرات اتمسفری باشند، در روش سبال بسیار مهم است که تصویر مورد استفاده برای انجام عملیات متعلق به آسمان پاک باشد. در این پژوهش با استفاده از تابع تصحیح اتمسفری مربوط به ماهواره لندست

[۷]

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} * \cos\theta * d_r}$$

ρ_{λ} مقدار بازتاب برای هر باند، L_{λ} رادیانس طیفی برای هر باند بر حسب $(W/m^2/sr/\mu m)$ ، $ESUN_{\lambda}$ میانگین تابش خروجی از اتمسفر برای هر باند بر حسب $(W/m^2/sr/\mu m)$ ، $\cos\theta$ زاویه فرودی خورشید (از نقطه نادیر)، d_r مجذور معکوس فاصله نسبی زمین تا خورشید بر حسب واحد نجومی را نشان می‌دهند. $\cos\theta$ با استفاده از داده‌های هدر فایل یعنی زاویه ارتفاع خورشیدی (β) که در آن $(-90^{\circ}$ تا 90°) برابر θ است به دست می‌آید. d_r با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

[۸]

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{DOY - 2}{365}\right)$$

DOY تعداد روز سال بین (۱ ژانویه) و ۳۶۵ یا ۳۶۶ (۳۱ دسامبر) است.

تابش فرودی موج کوتاه، شار تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده است که واقعاً به زمین می‌رسد. با فرض شرایط آسمان صاف، می‌توان آن را از رابطه (۹) برای زمان تصویر محاسبه کرد. مقادیر R_s بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع بسته به محل و زمان تصویر متفاوت است (Allen et al., 2002).

[۹]

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} * \cos\theta * d_r * \tau_{sw}$$

G_{sc} ثابت خورشیدی $1367 W/m^2$ است. برای محاسبه

دمای سطح زمین T_s از رابطه (۱۰) استفاده شده است.

[۱۰]

$$T_s = \frac{T_{bb}}{\epsilon_0^{0.25}}$$

[۱۱]

$$T_{bb} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_6} + 1\right)}$$

در روابط فوق K_1 و K_2 ثابت تصحیح، L_6 رادیانس باند حرارتی در ماهواره لندست، T_{bb} دمای جسم سیاه زمین را نشان می‌دهد. گسیلمندی سطحی (ϵ_0) بصورت نسبت

برای محاسبه α_{toa} از رابطه (۳) و (۴) استفاده می‌شود

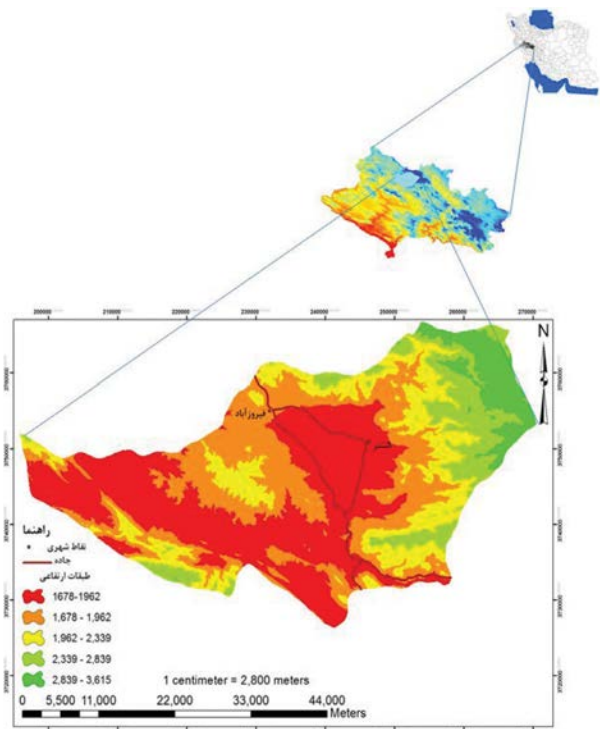
(آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega_{\lambda} * \rho_{\lambda}) \quad [۳]$$

$$\omega_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum ESUN_{\lambda}} \quad [۴]$$

$$\alpha_{path_radiance} \approx 0.03 \quad [۵]$$

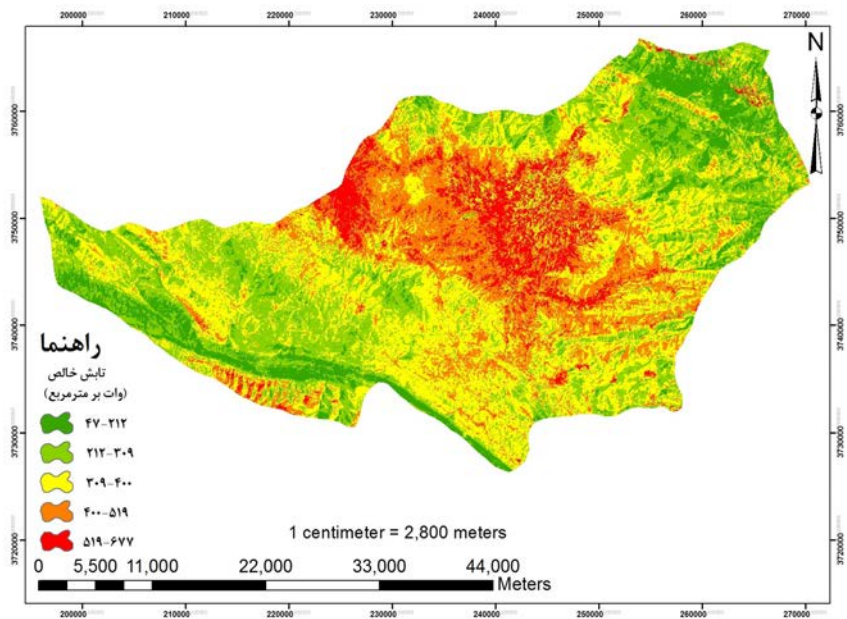
$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 * 10^{-5} * z \quad [۶]$$



نگاره ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه در ایران و در استان لرستان

در روابط فوق، $ESUN_{\lambda}$ میانگین تابش ورودی خورشید در هر باند، ω_{λ} ضریب وزنی و Z ارتفاع محل بر حسب متر را نشان می‌دهد.

انعکاس یک سطح نسبت شار تابشی منعکس شده به شار تابشی برخوردی با سطح است. برای محاسبه ρ_{λ} (رادیانس به بازتاب) تصاویر ماهواره لندست از رابطه (۷) استفاده شده است.



نگاره ۲: توزیع تابش خالص ماه ژانویه با روش سبال در منطقه مورد مطالعه

$R_{L\downarrow}$ طول موج بلند ورودی بر حسب وات بر مترمربع که مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر مترمربع متغیر می‌باشد، ϵ_a گسیلمندی اتمسفر (بدون بعد)، σ ثابت استفان بولتزمن و برابر $5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ ، T_a دمای هوای نزدیک سطح بر حسب کلوین می‌باشد برای محاسبه ϵ_a می‌توان از معادله تجربی (رابطه ۱۶) که توسط باستیانسن به دست آمده استفاده کرد (allen et al., 2002).

$$\epsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw})^{0.09} \quad [16]$$

که در آن τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری موج کوتاه می‌باشد. T_{cold} نیز معادل دمای سطحی پیکسل سرد می‌باشد. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل (معمولاً یونجه) و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می‌شوند در نتیجه معادله نهایی برای محاسبه $R_{L\downarrow}$ را می‌توان به صورت زیر نوشت (allen et al., 2002).

$$R_{L\downarrow} = 0.85 * (-\ln \tau_{sw})^{0.09} * \sigma * T_{cold}^4 \quad [17]$$

پس از محاسبه پارامترهای الگوریتم سبال که در بالا شرح داده شد، شار تابش خالص سطحی (R_n) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

انرژی گرمایی تابش شده بوسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده بوسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود.

$$\epsilon_0 = 1.009 + 0.047 \times \ln(\text{NDVI}) \quad [12]$$

شاخص پوشش گیاهی شاخصی است که به وضعیت و تراکم پوشش گیاهی حساسیت دارد و از رابطه (۱۳) به دست می‌آید.

$$\text{NDVI} = \frac{IR - R}{IR + R} \quad [13]$$

R انعکاس در باند قرمز و IR انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک می‌باشند. برای محاسبه تابش موج بلند خروجی یا $R_{L\uparrow}$ از رابطه (۱۴) استفاده شده است. مقادیر R_L بسته به محل و زمان تصویر از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع تغییر می‌کنند (آلن و همکاران، ۲۰۰۲).

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \sigma T_s^4 \quad [14]$$

در رابطه (۱۴) ϵ_0 گسیلمندی اتمسفری، σ ثابت استفان بولتزمن و برابر $5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ ، T_s دمای سطح زمین بر حسب k نشان می‌دهد. تابش موج بلند فرودی، شار تابش حرارتی از آسمان به سمت پایین است که با استفاده از رابطه استفان - بولتزمن محاسبه می‌شود (allen et al., 2002).

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad [15]$$

۳- محدوده مورد مطالعه

دارد. جهت وزش بادهای غالب منطقه عموماً جنوبی و جنوب غربی است. متوسط مجموع ساعات آفتابی سالانه این ایستگاه ۳۱۲۸/۸ ساعت محاسبه شده است. به عبارتی متوسط ساعات آفتابی ماهیانه این ایستگاه ۲۶۰/۷۳ ساعت و متوسط ساعات آفتابی روزانه این ایستگاه معادل ۸/۶ ساعت می باشد. بیش‌ترین ساعات آفتابی ماهانه به ژوئن (خرداد ماه) با متوسط ۳۶۶/۷ ساعت و کم‌ترین ساعات آفتابی نیز به دسامبر (آذر ماه) با متوسط ۱۵۶/۵ ساعت اختصاص دارد. میانگین حداقل رطوبت سالانه ۲۶/۴ درصد و میانگین حداکثر رطوبت سالانه ۷۹/۷ درصد می باشد. تعداد روزهای یخبندان سالانه ۱۰۷/۶ روز و بیش‌ترین آن برای دی ماه ثبت شده است.

۴- بحث و نتایج

در این پژوهش پس از تهیه تصاویر منطقه مورد مطالعه، عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. سپس جهت محاسبه توزیع تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین (Rn)، ابتدا میانگین بازتاب (ρλ) باندهای ۲ تا ۷ با اصلاح زاویه تابشی خورشید، برای تصاویر ۹ ماهه، ژانویه تا نوامبر سال ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۱).

شهرستان الشتر با مساحت ۱۲۱۲ کیلومتر مربع، بین محدوده ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این منطقه یکی از شهرستان‌های استان لرستان است که مرکز آن شهر الشتر و از شمال به شهرستان دلفان، از جنوب به شهرستان خرم‌آباد و از شرق به شهرستان بروجرود محدود می‌باشد.

طبق تجزیه و تحلیل عناصر اقلیمی ایستگاه هواشناسی الشتر در دوره (۱۳۹۶-۱۳۷۶) میانگین دمای هوای ماهیانه این منطقه در این سال ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد بوده، کم‌ترین دما در دی و بهمن با ۲/۱ و بیش‌ترین دما با ۳۳/۷ درجه به ثبت رسیده است. متوسط حداقل دمای ماهانه ۳/۵ درجه و متوسط حداکثر دمای ماهانه ۲۷/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین بارش به طور سالانه ۴۴۰/۳ میلی‌متر و میانگین ماهانه ۳۷ میلی‌متر و بیش‌ترین بارش در ماه بهمن ثبت شده است. متوسط سرعت باد در ایستگاه الشتر در همین دوره (۱۳۹۶-۱۳۷۶) معادل ۸/۵۶ کیلومتر در ساعت ثبت شده است. بالاترین سرعت ماهیانه به فروردین ماه با سرعت ۱۱/۴۸ کیلومتر در ساعت و کم‌ترین سرعت ماهیانه به دی ماه با سرعت متوسط ۶/۱۱ کیلومتر در ساعت اختصاص

جدول ۱: میانگین مقادیر بازتاب (ρλ) برای باندهای ۲ تا ۷ تصاویر منطقه مورد مطالعه

باند ۷	باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند تصویر / ماه
۰/۱۶۱	۰/۲۱۹	۰/۲۲۳	۰/۱۵۸	۰/۱۴۲	۰/۱۲۷	ژانویه
۰/۱۹۷	۰/۲۴۷	۰/۲۵۲	۰/۱۸۸	۰/۱۶۱	۰/۱۴۲	آوریل
۰/۲۱۲	۰/۲۶۳	۰/۲۶۷	۰/۱۹۱	۰/۱۶۵	۰/۱۴۹	می
۰/۲۶۳	۰/۲۹۱	۰/۲۸۹	۰/۱۹۹	۰/۱۷۹	۰/۱۶۱	ژوئن
۰/۲۶۵	۰/۳۰۵	۰/۳۱۲	۰/۲۲۱	۰/۱۹۳	۰/۱۸۱	جولای
۰/۲۶۱	۰/۳۰۹	۰/۳۰۸	۰/۲۲۸	۰/۱۸۸	۰/۱۷۵	اگوست
۰/۲۷۸	۰/۳۱۷	۰/۳۲۲	۰/۲۲۹	۰/۱۹۳	۰/۱۸۹	سپتامبر
۰/۲۵۶	۰/۲۹۴	۰/۲۹۱	۰/۲۰۱	۰/۱۷۱	۰/۱۶۵	اکتبر
۰/۲۲۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۸	۰/۱۷۷	۰/۱۵۹	۰/۱۵۱	نوامبر

جدول ۲: مقادیر پارامترهای الگوریتم سبال جهت محاسبه تابش خالص در منطقه مورد مطالعه

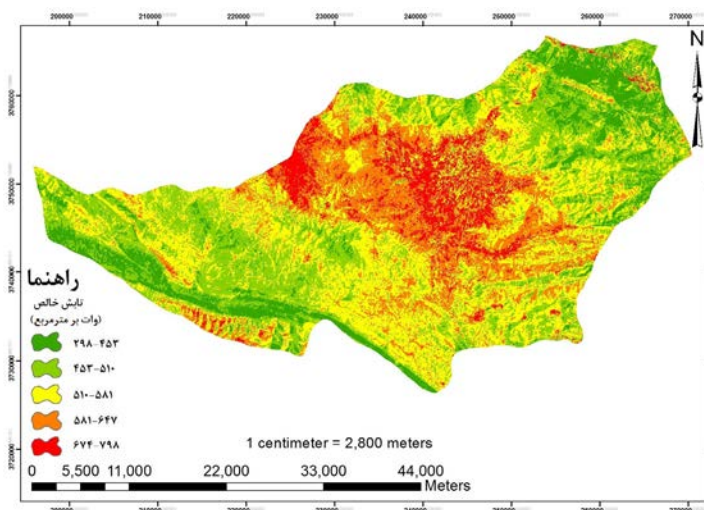
پارامتر	ماه	ژانویه	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر
Q_{toa}		۰/۱۶۷۸	۰/۱۷۲۵	۰/۱۷۱۵	۰/۱۸۸۹	۰/۲۱۵۶	۰/۲۰۹۳	۰/۲۱۵۸	۰/۱۹۲۷	۰/۱۸۱۱
A		۰/۲۰۱۵	۰/۲۱۱۴	۰/۲۳۵۷	۰/۲۷۱۳	۰/۳۱۱۱	۰/۲۹۸۵	۰/۲۹۶۹	۰/۲۴۵۶	۰/۲۲۱۶
DOY		۱۱۲	۱۱۸	۱۱۹	۱۴۹	۱۹۱	۲۲۵	۲۴۱	۲۸۷	۱۲۸
Dr		۱/۲۱۳۲	۱/۰۱۱۱	۰/۹۸۵۴	۰/۹۷۹۹	۰/۹۷۱۲	۰/۹۶۸۹	۰/۹۹۵۸	۱/۰۱۲۳	۱/۰۳۵۶
$\cos(\theta)$		۰/۶۲۱۳	۰/۷۳۲۳	۰/۸۷۲۳	۰/۹۱۳۷	۰/۹۱۱۲	۰/۸۹۵۶	۰/۸۲۲۷	۰/۶۳۲۵	۰/۶۱۱۲
$RS_{\downarrow}(w/m^2)$		۴۶۰	۸۸۵	۹۵۹	۹۹۶	۹۹۲	۹۰۲	۸۲۳	۷۵۴	۵۶۰
$T_s(K)$		۲۶۸-۳۱۸	۲۸۱-۳۷۸	۲۸۵-۵۷۸	۲۸۱-۵۸۱	۲۶۸-۳۲۵	۲۸۷-۳۷۸	۲۸۱-۳۲۵	۳۷۸-۵۰۴	۲۷۸-۳۷۸
NDVI		(۳۵۸/۰) - (۷۸۸/۰)	(۶۷۸/۰) - (۵۵۱/۰)	(۵۸۱/۰) - (۸۵۱/۰)	(۸۵۱/۰) - (۷۳۱/۰)	(۵۷۸/۰) - (۶۸۱/۰)	(۷۷۵/۰) - (۵۳۵/۰)	(۸۵۵/۰) - (۷۵۵/۰)	(۸۸۳/۰) - (۸۸۱/۰)	(۶۷۸/۰) - (۵۸۸/۰)
ϵ_n		۰/۹۴۱۳	۰/۹۴۵۸	۰/۹۴۸۸	۰/۹۴۱۸	۰/۹۴۹۹	۰/۹۴۶۱	۰/۹۴۲۳	۰/۹۴۱۹	۰/۹۴۱۱
$RL_{\uparrow}(w/m^2)$		۳۹۱	۴۴۹	۴۴۶	۴۵۸	۵۳۹	۴۴۵	۴۹۱	۳۹۷	۳۷۴
$RL_{\downarrow}(w/m^2)$		۲۷۱	۳۳۵	۳۱۷	۳۳۴	۳۴۴	۳۳۴	۴۵۰	۳۴۷	۲۹۷
$R_n(w/m^2)$		۲۶۱	۵۷۹	۵۹۰	۵۸۸	۵۸۲	۵۵۳	۶۰۲	۵۶۰	۲۸۶

جدول ۳: درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، ژانویه ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

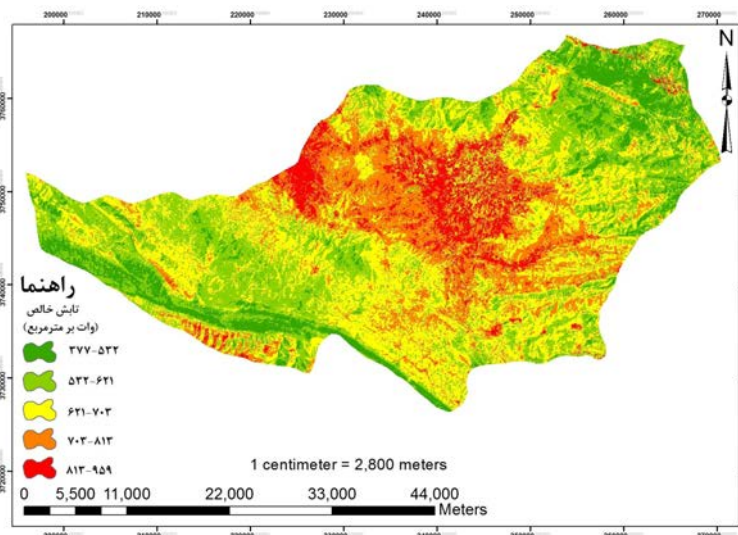
کلاس تابش	ماه	ژانویه	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
	ژانویه	۰/۴۲	۳۹/۳۳	۶۰/۱۲	۰/۱۳	۰	

در ادامه پارامترهای الگوریتم سبال در ماه‌های ژانویه تا نوامبر سال ۲۰۱۷ جهت محاسبه ی تابش خالص رسیده به سطح زمین (R_n) محاسبه شد (جدول ۲).
 نتایج حاصل از جدول (۲) نشان می دهد که میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۹۶ وات بر متر مربع در ژوئن و کمترین مقدار در ژانویه به میزان

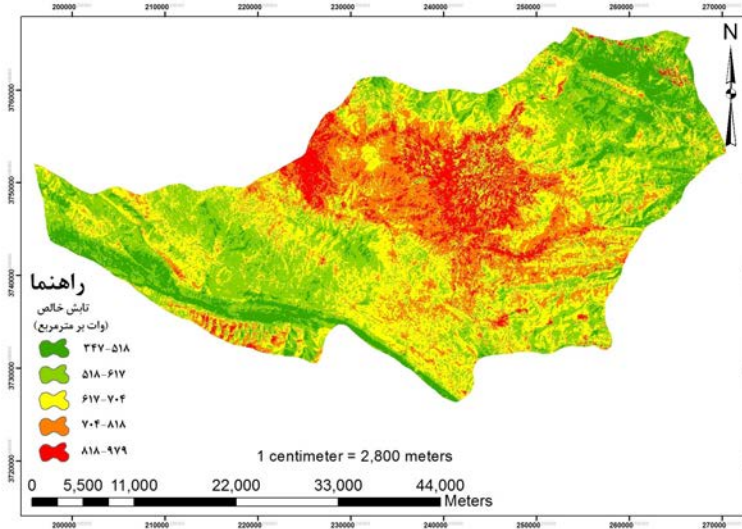
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشیدی... / ۱۷۷



نگاره ۳: توزیع تابش خالص ماه آوریل با روش
 سبال در منطقه مورد مطالعه



نگاره ۴: توزیع تابش خالص ماه می با روش
 سبال در منطقه مورد مطالعه



نگاره ۵: توزیع تابش خالص ماه ژوئن با روش
 سبال در منطقه مورد مطالعه

جدول ۴: درصد توزیع تابش خالص با روش سیبال، آوریل ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

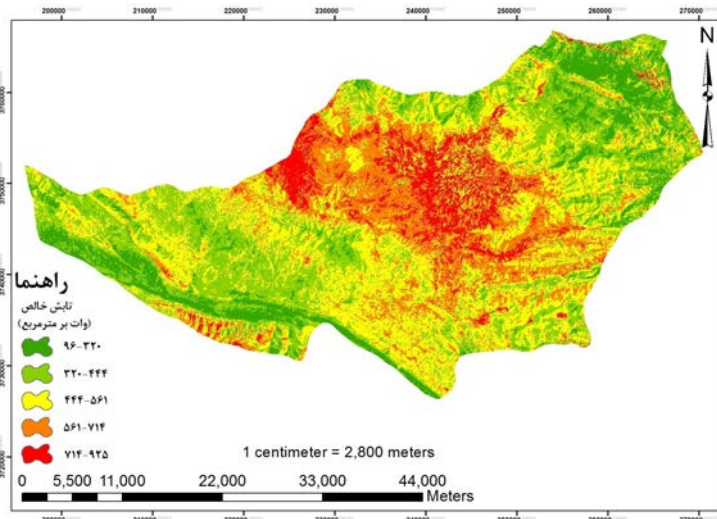
کلاس تابش ماه	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
آوریل	۰	۰/۰۴۰	۶۵/۲۲	۳۴/۷۴	۰

جدول ۵: درصد توزیع تابش خالص با روش سیبال، می ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

کلاس تابش ماه	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
می	۰	۰/۰۱	۳۹/۶۳	۵۶/۳۲	۴/۰۴

جدول ۶: درصد توزیع تابش خالص با روش سیبال، ژوئن ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

کلاس تابش ماه	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
ژوئن	۰	۰/۰۲	۲۹/۳۱	۶۳/۰۹	۷/۵۸



نگاره ۶: توزیع تابش خالص ماه جولای با روش سیبال در منطقه مورد مطالعه

تابش به پنج کلاس ۰-۲۰۰، ۲۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۶۰۰، ۶۰۰-۸۰۰ و ۸۰۰-۱۰۰۰ وات بر مترمربع طبقه بندی شده است (جدول‌های ۳ تا ۱۱).

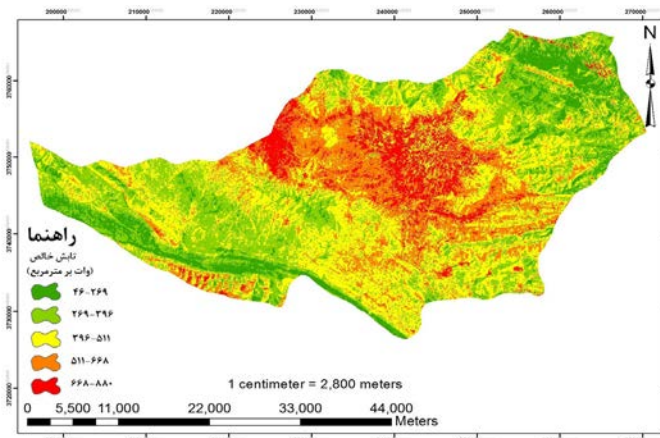
اطلاعات جدول (۳) نشان می‌دهد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ژانویه ۲۰۱۷ در محدوده ۴۰۰-۶۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۶۹/۸۶ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۸۰۰-۱۰۰۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالص دریافت نشده است.

بیشترین درصد توزیع تابش خالص در آوریل ۲۰۱۷ در محدوده ۴۰۰-۶۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۶۵/۱۲

۴۶۰ وات بر متر مربع بوده است. این در حالی است که بیشترین مقدار تابش خالص در سپتامبر به میزان ۶۰۲ وات بر مترمربع و کمترین مقدار در ژانویه به میزان ۲۶۱ وات بر متر مربع محاسبه شده است.

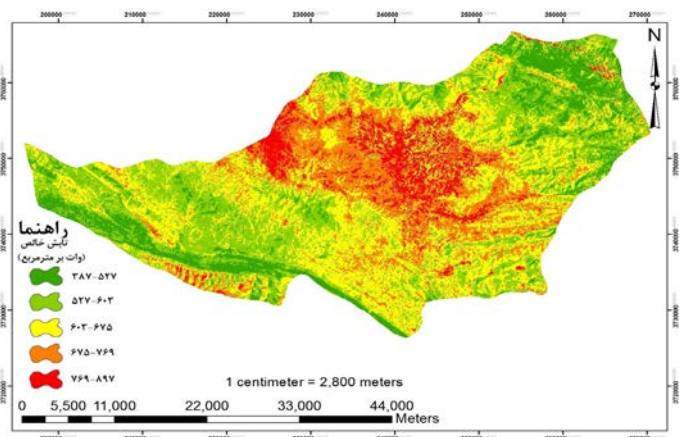
تابش خالص محاسبه شده در ماه‌های ژانویه تا نوامبر سال ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از الگوریتم سیبال بر روی تصاویر منطقه مورد مطالعه به صورت نقشه، در نگاره‌های ۲ تا ۱۰ نشان داده شده است. همچنین محدوده توزیع پراکنش مقادیر



نگاره ۷: توزیع تابش خالص ماه آگوست با روش
 سبال در منطقه مورد مطالعه

نگاره ۸: توزیع تابش خالص ماه سپتامبر با روش
 سبال در منطقه مورد مطالعه



جدول ۷: درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، جولای ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

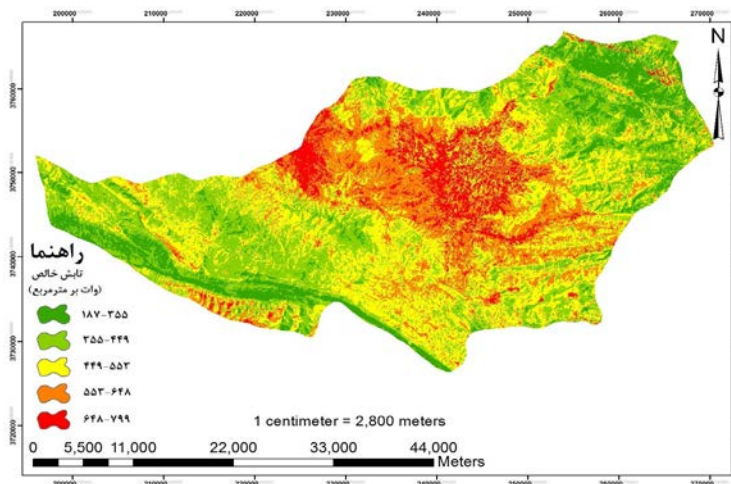
کلاس تابش	۰-۲۰۰ (w/m ²)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m ²)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m ²)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m ²)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m ²)	
ماه	جولای	۰/۰۱	۰/۱۷	۶۰/۲۶	۳۷/۳۴	۲/۲۲

جدول ۸: درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، آگوست ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

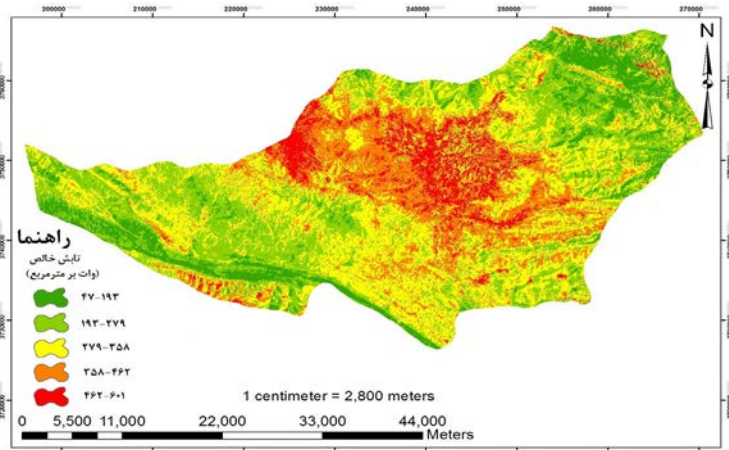
کلاس تابش	۰-۲۰۰ (w/m ²)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m ²)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m ²)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m ²)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m ²)	
ماه	آگوست	۵/۶۶	۷/۳۸	۵۵/۵۳	۳۸/۵۷	۰/۲۱

در ژوئن ۲۰۱۷ بیشترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۶۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۶۳/۰۹ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۰-۲۰۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالصی دریافت نشده است (جدول ۶). بنابر نتایج حاصل از جدول (۷) بیشترین درصد توزیع تابش خالص در جولای ۲۰۱۷ در محدوده ۴۰۰-۶۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۶۰/۲۶ درصد کل

درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده های ۰-۲۰۰ و ۸۰۰-۱۰۰۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالصی دریافت نشده است (جدول ۷). در می ۲۰۱۷ بیشترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۶۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۵۶/۳۲ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۰-۲۰۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالصی دریافت نشده است (جدول ۵).



نگاره ۹: توزیع تابش خالص ماه اکتبر با روش سبال در منطقه مورد مطالعه



نگاره ۱۰: توزیع تابش خالص ماه نوامبر با روش سبال در منطقه مورد مطالعه

جدول ۹: درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، سپتامبر ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

ماه	کلاس تابش	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
سپتامبر		۰	۰/۰۱	۲۹/۲۴	۶۹/۸۶	۰/۸۹

جدول ۱۰: درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، اکتبر ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

ماه	کلاس تابش	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
اکتبر		۰/۲۱	۵/۹	۵۶/۶۵	۳۷/۲۵	۰

تابش خالص در این ماه در محدوده های ۸۰۰-۱۰۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۰/۲۱ درصد کل تابش خالص بوده است (جدول ۸).

در سپتامبر ۲۰۱۷ بیشترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۶۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۶۹/۸۶ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه

تابش خالص بوده است. همچنین کمترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه در محدوده های ۰-۲۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۰/۱۰ درصد کل تابش خالص بوده است.

در آگوست ۲۰۱۷ بیشترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۴۰۰-۶۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۵۳/۵۵ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین کمترین درصد توزیع

۲۰۱۷ ماهواره لندست ۸ سنجنده ETM تهیه شد. اما چون تصاویر ماه‌های فوریه، مارس و دسامبر کاملاً ابری بود، از تصاویر ماه‌های فوق‌الذکر استفاده نشد. سپس عملیات پیش‌پردازش در نرم‌افزار ENVI بر روی تمام باندهای تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه با استفاده از تصاویر تهیه شده، در محیط نرم افزار ENVI و بکارگیری الگوریتم سبال مقدار تابش خالص در منطقه مورد مطالعه، بر حسب وات بر متر مربع در ماه‌های ژانویه تا نوامبر محاسبه شد (جدول ۲). نتایج حاصل از اطلاعات جدول (۲) نشان می‌دهد که میانگین بیش‌ترین تابش موج کوتاه ورودی به مقدار ۹۹۶ وات بر متر مربع در ماه ژوئن، کم‌ترین مقدار در ژانویه به میزان ۴۶۰ وات بر متر مربع و بیش‌ترین تابش موج بلند خروجی به مقدار ۵۳۹ وات بر متر مربع در جولای، کم‌ترین مقدار در ژانویه به میزان ۳۹۱ وات بر متر مربع محاسبه شده است. در نهایت بیش‌ترین مقدار تابش خالص رسیده به سطح زمین در ماه سپتامبر به اندازه ۶۰۲ وات بر متر مربع، کم‌ترین مقدار مربوط به ژانویه با ۲۶۱ وات بر متر مربع بوده است. بیش‌ترین درصد تابش خالص در سپتامبر ۲۰۱۷ در دسته ۸۰۰-۶۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۶۹/۸۶ درصد و بیش‌ترین درصد تابش خالص در ژانویه ۲۰۱۷ در دسته ۶۰۰-۴۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۶۰/۱۲ درصد بوده است. تفاوت در مقدار تابش خالص رسیده به زمین در منطقه مورد مطالعه، ناشی از تفاوت زاویه تابش خورشید و تعداد ساعات آفتابی، در ماه‌های مختلف سال است. نتایج حاصل از اطلاعات جدول‌های ۲ تا ۱۱ درستی این مطلب را ثابت می‌کند. میانگین دامنه مقادیر تابش خالص، در محدوده ۲۶۱ تا ۶۰۲ وات بر متر مربع محاسبه شده است (جدول ۲). هم‌چنین با توجه به حساسیت سلول‌های فتوولتائیک که به تابش خورشیدی از آستانه‌ی تابش تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع

در محدوده ۲۰۰-۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالصی دریافت نشده است (جدول ۹).

بنابر نتایج حاصل از جدول (۱۰) در اکتبر ۲۰۱۷ بیش‌ترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۶۰۰-۴۰۰، وات بر مترمربع با مقدار ۵۶/۶۵ درصد کل تابش خالص بوده است. هم‌چنین در این ماه در محدوده ۸۰۰-۱۰۰۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالصی دریافت نشده است.

بیش‌ترین درصد توزیع تابش خالص در نوامبر ۲۰۱۷ در محدوده ۴۰۰-۲۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۷۲/۱۴ درصد کل تابش خالص بوده است. هم‌چنین در این ماه در محدوده های ۸۰۰-۶۰۰ و ۱۰۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع هیچ تابش خالصی دریافت نشده است (جدول ۱۱).

اطلاعات بدست آمده از جدول‌های ۳ تا ۱۱ نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده‌های ۲۰۰-۰، ۴۰۰-۲۰۰، ۶۰۰-۴۰۰، ۸۰۰-۶۰۰ و ۱۰۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع به ترتیب مربوط به ماه‌های آگوست، نوامبر، آوریل، سپتامبر و ژوئن بوده است. هم‌چنین کم‌ترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده‌های ۲۰۰-۰، ۴۰۰-۲۰۰، ۶۰۰-۴۰۰، ۸۰۰-۶۰۰ و ۱۰۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع به ترتیب مربوط به ماه‌های آگوست، نوامبر، آوریل، سپتامبر و ژوئن بوده است. بیش‌ترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۸۰۰-۶۰۰ وات بر مترمربع با میزان ۶۹/۸۶ درصد کل تابش خالص به سپتامبر اختصاص دارد. هم‌چنین ژانویه کم‌ترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۱۰۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع را به خود اختصاص داده است.

۵- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این مطالعه امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید در منطقه مورد مطالعه است. بدین منظور جهت انجام این پژوهش ابتدا تصاویر مربوط به ۱۲ ماه سال

جدول ۱۱: درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، نوامبر ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه

کلاس تابش	۰-۲۰۰ (w/m2)	۲۰۰-۴۰۰ (w/m2)	۴۰۰-۶۰۰ (w/m2)	۶۰۰-۸۰۰ (w/m2)	۸۰۰-۱۰۰۰ (w/m2)
ماه					
نوامبر	۲/۳۹	۷۲/۱۴	۲۴/۳۷	۰	۰

۴. بینش، ع. ۱۳۶۶. انرژی خورشیدی و مناطق جنوب خراسان و سیستان و بلوچستان، مجله تحقیقات جغرافیایی. ۲: ۳۵-۱۵.

۵. پورسلطانی، ع.، مصطفوی، م.، محمدنژاد سیگارودی، ج. و منشی پور، س. ۱۳۹۰. بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر سیستم‌های فتوولتائیک، دومین همایش ملی انرژی.

۶. جمشیدی، م. ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی در جنوب شرقی تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، ۶۳ صفحه.

۷. جهانبخش، س.، زاهدی، م. و ولیزاده کامران، خ. ۱۳۸۹. محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط GIS و RS در بخش مرکزی منطقه مراغه، نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، ۴۲-۱۹.

۸. حاج سقطی، ا. ۱۳۹۰. اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

۹. حیدری بنی، م. ۱۳۸۶. برآورد تابش روزانه خورشید با استفاده از متغیرهای هواشناسی (مقایسه یافته‌های شبکه عصبی مصنوعی با سایر مدل‌ها). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ۹۰ صفحه.

۱۰. رضایی مقدم، م. ح. هاتفی اردکانی، م. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و GIS در امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید جهت تأمین روشنایی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ششم، شماره بیستم و یکم، پاییز ۱۳۹۴، صص ۱۲۴-۱۰۵.

۱۱. رسولی، ع. الف. ۱۳۸۷. مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول.

۱۲. زبیری، م. و مجد، ع. ۱۳۸۴. پروژه مدل‌سازی و تهیه اطلس متوسط تابش ماهانه کشور، سازمان هواشناسی کشور.

۱۳. سیدان، س. ج. ۱۳۸۲. بررسی امکان برآورد رطوبت لایه سطحی خاک به کمک داده‌های سنجنده NOAA / AVHRR Landsat / TM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زیستی.

۱۴. صمیمی، ج. ۱۳۷۳. برآورد تابش خورشیدی بر اساس ارتفاع

حساسیت دارند و آن را دریافت می‌کنند، در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در شهرستان سلسله، در ۹ ماه ژانویه تا نوامبر پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد. از آن جایی که برق مصرفی منطقه مورد مطالعه بیشتر برق آبی است و با توجه به خشکسالی‌های متعدد، در فصل تابستان در بیشتر روزها قطعی برق وجود دارد. هم‌چنین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر مبنی بر امکان استفاده از انرژی تابشی خورشید در این منطقه، ضرورت مطالعه و اجرای این طرح می‌تواند از قطع برق در فصول گرم جلوگیری نماید. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج پژوهش‌های محققان بسیاری از جمله (Kreith (1960)، gordan Muzathik (2014)، Wali (۲۰۰۸)، Almhab (1962)، و همکاران (۲۰۰۸)، (Zadeh Kamran (1389 و Rezaei Moghaddam (1394) که از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم سبال در مطالعات تابش خورشیدی بهره گرفته‌اند، مطابقت دارد.

۶- پیشنهادات

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، از عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی برخوردار است. بنابراین پیشنهاد می‌شود، محققین جهت مطالعات تابش خورشیدی از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور به جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی استفاده نمایند.

منابع و مأخذ

۱. ابراهیمی، ا. ۱۳۸۹، انرژی خورشیدی و کاربرد آن، انتشارات فراگیران سینا همدان.

۲. اداره هواشناسی شهرستان سلسله (۱۳۹۶)، ایستگاه سینوپتیک الشتر.

۳. بهادری‌نژاد، م. و میرحسینی، س. ع. ۱۳۸۴. ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران. سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.

رطوبت خاک با استفاده از NDVI تصاویر سنجنده MODIS در مواقع خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، ۱۴۰ صفحه.

۲۷. ولی‌زاده کامران، خ. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به روش استفتز و محاسبه مقدار تابش رسیده به سطح زمین با استفاده از تصاویر DEM SRTM و با کمک تابع Solar Analyst در محیط GIS، نشریه علمی و پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز.

28. Ahmad, M. D., Biggs, T., Tarral, H. and Scott., C. A. 2006. Application of SEBAL approach and MODIS time series to map vegetation water use patterns in the data scarce krishna river basin of India, Water Science and Technology, 83-90.

29. Allen, R., Tasumi. M., Trezza. R. and Wim B. 2002. SEBAL: surface energy balance algorithms for land, Version 1.0, Funded by a NASA EOSDIS/Synergy grant from the raytheon company through the Idaho department of water resources.

30. Almhab, A. and Busu, I. 2008. Estimation of evapotranspiration using fused remote sensing image data and M-SEBAL model for improving water management area, The 3rd international conference water resources and arid environments.

31. Almorox, J., and Hontoria, C. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in spain, Energy Conversion and Management, 45: 1529-1535.

32. Bakirci, K. 2009. Correlation for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey: Energy, 34: 485-501.

33. Black, J. N. 1956. The distribution of solar radiation over the earth's surface. Arch Met Geoph Biokl, 7: 1865-1889.

34. Bosch, J. L., Lopez, G., and Batlles, F. J. 2008. Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks: Renewable Energy, 33, 1622-1628.

35. Bristow, K. L. and Campbell, G. S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and forest meteorology, 31: 159-166.

36. Bulut, H. and Buyukalaca, O. 2007. 10-6-Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey. Applied Energy, 84: 477-491.

37. Chen, R., Kang, E., Yang, Ji. X. and Wang, J. 2007. An hourly solar radiation model under actual weather

و کاربرد آن در اقلیم خورشیدی ایران. مجله فیزیک، ۱۲: ۲۶-۱۸. ۱۵. صمیمی، ج. ۱۳۶۴. انرژی خورشیدی برای ایران، مجله فیزیک، شماره ۲، ۸۵-۷۴.

۱۶. علوی‌پناه، س. ک. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زیستی (علوم خاک). مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. ۱۷. علیجانی، ب.، کاویانی، م. ر. ۱۳۸۲. مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ نهم.

۱۸. علیزاده، الف. و خلیلی، ن. ۱۳۸۸. تعیین ضرایب مدل آنگستروم و توسعه یک مدل رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه موردی: منطقه مشهد). مجله علوم و صنایع کشاورزی (آب و خاک). ۲۳ (۱): ۲۳۸-۲۲۹.

۱۹. علی محمدی، ع. ۱۳۷۸. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در منابع آب و خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲۰. کریمیان، آ. و افخمی، م. ۱۳۸۵. کشاورزی صحیح با بهره‌گیری از تکنولوژی GIS و RS گامی در جهت توسعه پایدار زیست محیطی، مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، جلد اول، ۳۶۶-۳۶۱.

۲۱. کمالی، غ. و مرادی، الف. ۱۳۸۴. تابش خورشیدی، اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۳۰۰ صفحه.

۲۲. مباشری، م. و خاوریان، ح. ۱۳۸۳. تجزیه و تحلیل روش‌های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۹۸-۸۳.

۲۳. مصلحی فرد، م. و شیرین‌پور، م. ۱۳۶۷. انرژی. دانشگاه تبریز، انتشارات نیما.

۲۴. معینی، س.، جوادی، ش.، کویکی، ح.، دهقان منشادی، م. و اسماعیلی، ر. ۱۳۸۹. برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در شهر یزد، نشریه انرژی ایران.

۲۵. موسوی بایگی، م.، اشرف، ب. و میان‌آبادی، آ. ۱۳۸۹. بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک، مجله آب و خاک، شماره ۴، ۸۴۴-۸۳۶.

۲۶. نوروزی اقدم، الف. ۱۳۸۶. امکان‌سنجی پیش‌بینی

50. Muzathik, A. M., Nik, W. B. W., Ibrahim, M. Z., Samo, K. B., Sopian, K. and Alghoul, M. A. 2014. Daily global solar radiation estimate based on sunshine hourse, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*, 6: 75-80.
51. Nunez, M. 1983. Use of Satellite Data in. Regional mapping of solar radiation. In. Szokology, S.V., *Solar World Congress*, 4: 2142-2147.
52. Nunez, M. and Michael, K. 1989. Satellite Derivation of Ocean-Atmosphere Heat Fluxes in a Tropical Environment. Proceeding of the Western pacific international meeting and workshop on Toga Coare. Noumea, New Caledonia, May 24-30.
53. Pinker, R. T., Ewing, J. A. 1985. Modeling surface solar radiation: model formulation and validation. *J. Climate Appl. Meteor.*, 24: 389-401.
54. Rehman, SH. 1998. Solar radiation over Saudi Arabia and comparison with empirical models, *Energy*. 23 (12): 1077-1082.
55. Rivington, M., Bellocchi, G., Matthews, K.B. and Buchan, K. 2005. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 132: 228-243.
56. Scheifinger, H., and Kolb, H. 2000. Modeling global radiation in complex terrain: comparing two statistical approaches: *agric for meteorol*, 100: 127-136.
57. Skeiker, K. 2006. Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria, *Energy Conversion and Management*, 47 (4): 331-345.
58. Sorapipatana, C. and Exell, R. H. B. 1989. Mesoscale mapping of daily insolation over Southeast Asia from satellite data. *Solar and wind technology*. 6 (1): 59-69
59. Trnka, M., Zalud, Z., Eitzinger, J. and Dubrovsky, M.. 2005. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulas. *Agric. and Forest Meteorol.* 131(1-2): 45-76.
60. Togrul, I.T. and Onat, E. 1999. A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data, *Energy Conversion and Management* 40: 1577-1584.
61. Winslow, J. C., Hunt, E. R. and Piper, S. C. 2001. A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data: *Ecol Model*, 43: 227-243.
62. Yang, K., Koike, T. and Ye, B. 2006. Improving estimation of hourly, daily, and monthly solar radiation by importing global data sets, *Agricultural and Forest Meteorology*. 137: 43-55.
- and terrain conditions A case study in Heihe river basin. *Energy*, 32: 1148-1157.
38. Hasenauer, H., Merganicova, K., Petritsch, R., Pietsch, S. A., and Thorntou, P. E. 2003. Validating daily climate interpolation over complex terrain in Austria: *Agric For Mmeteorol*, 119: 87-107.
39. Hong, S., Hendrickx, J. and Borchers, B. 2015. Down-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250m) to landsat (30m) scale, *International journal of remote sensing*, 32 (21): 6457-6477.
40. Huang, L., and Zhang, Q. J. 2001. Development of Chinese weather data for uilding energy calculations. Proc. 4th international conference indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings. October 2-5. Changsha, Hunan, china.
41. Irish, R. 2008. Calibrated Landsat Digital Number (DN) to Top of Atmosphere (TOA) Reflectance Conversion, *Remote Sensing Basics*.
42. Iziomon, M.G. and Mayer, H. 2002. Assessment of some global solar radiation parameterizations. *Atmospheric and Solar - Terrestrial Physics*. 64: 1631-1643.
43. Janjai, S., Laksanaboonsong, J., Nunez. M. and Thongsathitya, A. 2005. Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment. *Solar energy*, 78: 739-751.
44. Keese, W.J., Pernell, R., Arthur, H. and James, D. 2003. A consumer guide a photovoltaic solar electric system, energy commission state of California.
45. Kreith, F. 1962. Radiation heat transfer spacecraft and solar power plant design. *International text book*, Scranton, Pennsylvania.
46. Laine, V., Venalainen, A., Heikinheimo, M. and Hyvarinen, O. 1999. Estimation of surface solar global radiation from NOAA AVHRR data in high latitudes. *Journal of applied meteorology*, 38: 1706-1719.
47. Li, H., Lian, Xianlong, Y., Wang, X., Ma, W. and Zhao, L. 2011. Solar constant values for estimating solar radiation, *Energy xxx*, 1-5.
48. Markham, B. L., Chander, G. and Helder, D.L. 2009. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 All Sensors, *Remote Sensing of Enviroment*. 113: 893-903.
49. Mefti, A., Adane, A. and Bouroubi, M.Y. 2008. Satellite approach based on cloud cover classification: Estimation of hourly global solar radiation from meteosat images. *Energy Conver and Manag.* 49: 652-659.