www.barghnews.com

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

سال ششم، شماره بیستم و یکم، پاییز ۱۳۹۴

دریافت مقاله: ۹۴/۰۴/۱۸ تأیید نهایی: ۹۴/۰۸/۰۱

صص ۱۲۴-۱۰۵

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و GIS در امکان سنجی استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین سامانه‌های روشنایی (منطقه‌ی موردی: بزرگراه زنجان - تبریز)

مهدی هاتفی اردکانی*، فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد RS & GIS ، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی - دانشگاه تبریز

دکتر محمد حسین رضائی مقدم، استاد ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی - دانشگاه تبریز

چکیده

نیاز بشر به انرژی، پیوسته در حال افزایش و منابع انرژی فسیلی پایان‌پذیر در حال کاهش است. استفاده‌ی بی‌رویه از منابع سوخت فسیلی با آلوده ساختن محیط زیست؛ حیات را در کره‌ی زمین تهدید می‌کند و از طرف دیگر با توجه به صعب‌العبور بودن، و شرایط توپوگرافی نامساعد و عدم دسترسی برخی جاده‌های مناطق کوهستانی به شبکه‌ی برق سراسری و یا هزینه‌های زیاد اجرای این سیستم‌ها، انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر و رایگان از مهم ترین گزینه‌های جایگزین برای سوخت‌های فسیلی به‌شمارمی‌آید. در این پژوهش کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و GIS در امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین سامانه‌های روشنایی بزرگراه زنجان – تبریز؛ با استفاده از الگوریتم SEBAL مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله از داده‌های طیفی سنجنده OLI و داده‌های حرارتی سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ در مقیاس زمانی شش ماهه (می تا اکتبر)، داده‌های DEM منطقه‌ی مورد مطالعه، نرم‌افزارهای Arc GIS ، ENVI و ERDAS IMAGINE استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که منطقه‌ی مورد مطالعه، به دلیل تنوع توپوگرافی از تابش خالص سطحی متنوع برخوردار است و امکان به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی جهت تأمین روشنایی بزرگراه زنجان – تبریز را تأیید می‌کند، و در بحث تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش خالص دریافتی، الگوریتم SEBAL بیش ترین همبستگی را با جهت شیب و کم ترین همبستگی را با ارتفاع دارد.

کلید واژگان: سنجش از دور ، الگوریتم سبال ، انرژی خورشیدی ، GIS.

نویسنده مسئول: * Email: hatefiardakani@gmail.com

۱- مقدمه

امروزه "انرژی" یکی از نیازهای اولیه‌ی زندگی بشر محسوب می‌شود و وابستگی انسان به سوخت‌های فسیلی بسیار بیش‌تر از گذشته شده است، به طوری که بیش از ۹۰٪ از انرژی مصرفی جهان از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۰). با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در جهان فعلی، دیگر نمی‌توان به منابع موجود انرژی متکی بود. در کشور ما نیز، با توجه به نیاز روز افزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه داشتن محیط زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت‌های برق رسانی و تأمین سوخت برای نقاط و روستاهای دور افتاده و... استفاده از انرژی‌های نو مانند: انرژی باد، انرژی خورشید و ...، می تواند جایگاه ویژه‌ای داشته باشد(کمالی و همکاران، ۱۳۸۵ : ۴۲). آمارها نشان می‌دهد که حدود ۲ درصد از توان تولید شده در کشور صرف مصرف روشنایی جاده‌ها می‌شود. از طرف دیگر با توجه به صعب‌العبور بودن، عدم دسترسی برخی جاده‌های مناطق کوهستانی به شبکه برق سراسری و یا هزینه‌ی زیاد اجرای این سیستم‌ها، استفاده از منابع انرژی دیگر توصیه می‌شود (شفقت و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۳۶-۳۳۳). هم چنین با توجه به این که یکی از مهم‌ترین علل تصادفات جاده‌ای، خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان در هنگام رانندگی در این جاده‌ها می‌باشد که همواره خسارات جبران‌ناپذیری را به آنان تحمیل می‌گرداند، نیاز و ضرورت بازنگری در بخش توزیع انرژی الکتریکی جهت روشنایی جاده‌ها به شدت احساس می گردید و امکان‌سنجی و طراحی سیستم روشنایی جاده‌ها با استفاده از سیستم روشنایی خورشیدی در اولویت پروژه‌های تحقیقاتی قرار گرفت(اکبری مطلق و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). یکی از کاربردهای مهم انرژی خورشیدی، تبدیل انرژی خورشیدی بدون بهره‌گیری از مکانیزم‌های متحرک به صورت مستقیم به انرژی الکتریکی توسط سیستم‌های فتوولتائیک[1] می‌باشد(Keese et.al, 2003 :3). امروزه یکی از بهترین راه‌ها به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتائیک به منظور تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی است که هیچ‌گونه تهدیدی برای محیط‌زیست ندارد و وزارت راه و ترابری به‌عنوان متولی اصلی صنعت حمل‌ونقل کشور نیازمند به‌کارگیری این فن آوری برای کلیه ی جاده‌ها در تمام سطوح می‌باشد. در بسیاری از مناطق کشور به‌دلیل وجود محدودیت‌هایی از قبیل: ارتفاع زیاد، صعب‌العبور بودن و شرایط توپوگرافی نامساعد و دور بودن از منابع انرژی، امکان برق‌رسانی جهت تأمین انرژی‌های لازم برای آن مناطق که از جمله‌ی این مناطق اکثر جاده‌های مواصلاتی برون شهری می‌باشد، یا وجود ندارد و یا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. و از آن‌جایی که اندازه‌گیری‌های میدانی برای محاسبه‌ی تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین، با توجه به این‌که دقت بالایی دارد؛ اما بسیار پرهزینه است (پرویز و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۰۷۹). شناسایی موقعیت جغرافیایی یک نقطه، برای تعیین کیفیت و کمیت انرژیِ دریافتی آن نقطه ضروری است. تعداد ساعات آفتابی سالانه در نقاط مختلف سطح کره زمین بین ۱۰۰۰ ساعت تا بیش از ۴۰۰۰ ساعت متغیر است؛ اما تنها دانستن میزان ساعات آفتابی در یک نقطه، برای تعیین موقعیت خورشید در آن نقطه کافی نیست؛ زیرا مقدار انرژی خورشیدی واصله به یک نقطه، ساعت، روز، فصل سال و وضعیت اتمسفر هم بستگی دارد. آمارهای به دست آمده نشان می‌دهد که قسمت‌های جنوبی خاک ایران، روزانه حدود شش کیلووات ساعت بر هر مترمربع و قسمت‌های شمالی آن روزانه حدود پنج کیلووات ساعت برهر مترمربع انرژی دریافت می‌کند؛ از این‌رو، کشور ایران از نظر دریافت انرژی خورشیدی در موقعیت بسیار خوبی قرار دارد (سید موسی میرقربانی گنجی،۱۳۹۲ : ۵۳ - ۵۲). تکنیک‌های سنجش از دور به‌دلیل دقت و سرعت بالا و تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل تهیه‌ی آن‌ها در سری‌های زمانی در پیش‌بینی مقادیر تابش خالص می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و قدیمی در این زمینه باشد (Mather et.al, 2010: 105).

1- Photovoltaic Systems

آیا توزیع مکانی مقدار تابش رسیده به سطح زمین در مسیر بزرگراه زنجان - تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل تعیین است؟ آیا مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح زمین برای راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک جهت روشنایی کافی می‌باشد؟ و مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در مقدار تابش خالص رسیده به سطح زمین چیست؟ بنابراین هدف این تحقیق بررسی تکنیک‌های سنجش از دوری و GIS برای محاسبه R_n یا تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین، پهنه‌بندی پدیده تابش در منطقه‌ی مورد مطالعه و تعیین میزان و شدت عوامل مؤثر بر آن از جمله ارتفاع، شیب و جهت شیب می‌باشد.

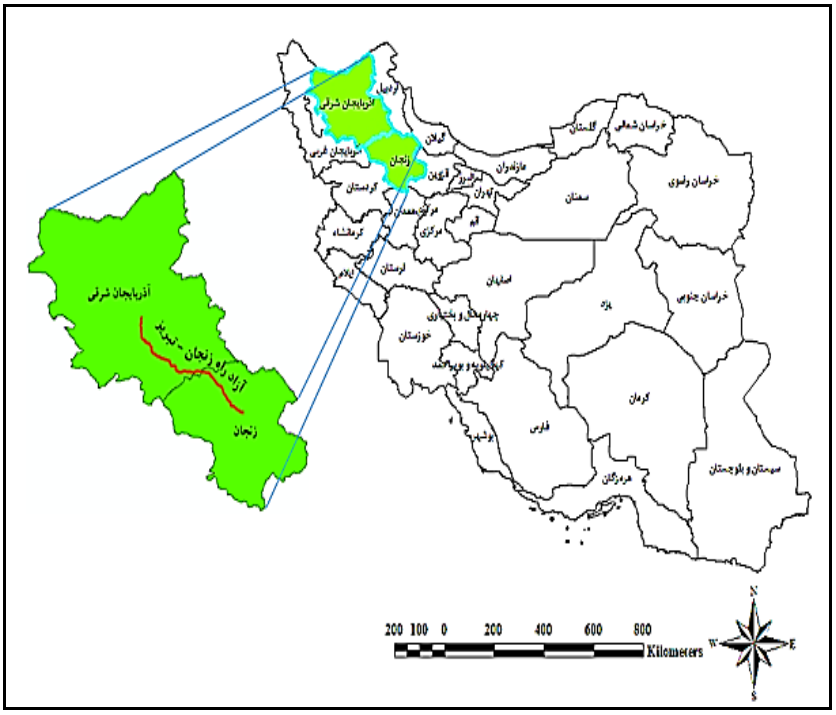
از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه: عباس پور و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی امکان به کارگیری سلول‌های فتوولتائیک جهت روشنایی معابر در منطقه‌ی ۲۲ شهرداری تهران پرداختند. قمرنیا و همکاران (۱۳۸۸) به محاسبه تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از روش SEBAL در دشت بیلوار کرمانشاه پرداختند. میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) با داده‌های سنجش از دور به برآورد دمای سطح با استفاده از الگوریتم سبال در حوزه‌ی آبخیز وردین شهرستان اهر پرداختند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) اقدام به محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم سبال نمودند. کریمی و همکاران (۱۳۹۱) به برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست پرداختند. خسروی و همکاران (۱۳۹۲) به برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی در محیط GIS پرداختند. تاسومی[۲] و همکاران (۲۰۰۳) از روش SEBAL و توابع الحاقی دیگر برای محاسبه ی تابش، دمای سطح و در نهایت تبخیر-تعرق در غرب ایالت متّحده استفاده کردند. باستیانسن[۳] و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای، الگوریتم سبال را جهت برآورد تبخیر و تعرق در حوزه آبخیز یاکیما در ایالت واشنگتن مورد استفاده قرار دادند. راماچاندرا[۴] (۲۰۰۷) کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را برای برآورد پتانسیل خورشید در ایالت کارناتاکا[۵] در هند و اوتارا[۶] و داکشنا[۷] ی کانادا بررسی کرده است. هانگ[۸] و همکاران (۲۰۰۹) امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از انرژی خورشید در روشنایی جاده‌ها را بررسی کردند. سانگ- هو- هونگ[۹] و همکاران (۲۰۱۱) تابش خالص را به روش SEBAL از ترکیب تصاویر سنجنده MODIS با سنجنده لندست استخراج کردند.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر، ۲۲۰ کیلومتر از طول آزاد راه زنجان – تبریز را شامل می‌شود که از عوارضی جاده ی زنجان با مختصات ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه‌ی عرض جغرافیایی شمالی و ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه‌ی طول شرقی از نصف- النهار گرینویچ شروع شده و تا مختصات ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی عرض جغرافیایی شمالی و ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه‌ی طول شرقی از نصف النهار گرینویچ ادامه می‌یابد.

این آزاد راه از تهران به سوی شمال غرب تا شهر تبریز می‌رود. و از مهم ترین خطوط ترانزیت کشور است که قطب صنعتی مرکزی (تهران) را به قطب صنعتی آذربایجان و از آن‌جا به ترکیه پیوند می‌دهد. این آزاد راه از استان زنجان و بخش‌های از استان آذربایجان شرقی عبور می‌کند شکل ۱. استان زنجان در شمال غربی کشور جمهوری اسلامی ایران بین ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی عرض جغرافیایی شمالی و ۴۷ درجه و۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۶

2- Tasumi et.al
۳- Bastiaanssen et.al
4- Ramachandra
5- Karnataka
6- Uttara
7- Dakshina
8- Huang et.al
9- Sung-Ho-Hong et.al



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

دقیقه‌ی طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد و به هفت استان (از شمال به استان‌های اردبیل و گیلان، از شرق به استان قزوین، از جنوب به استان همدان، از جنوب غربی به استان کردستان، از غرب به استان آذربایجان غربی و از شمال غرب به استان آذربایجان شرقی) محدود می‌شود که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۶۳ متر می‌باشد. (احد نژاد روشتی، ۱۳۸۸: ۱۷۴). عبور تنها بزرگراه غرب و شمال غرب کشور از استان زنجان موقعیت ممتازی را به این استان بخشیده است. هم چنین تنها راه مواصلاتی ریلی ایران و اروپا از شهر زنجان می‌گذرد که این نکته نیز از نظر ژئوپلتیک و موقعیت سیاسی و سرزمینی بسیار مهم است (ماهنامه ی ایران پاک، ۳۳:۱۳۸۸). علاوه براین، استان آذربایجان شرقی به دلیل موقعیت ویژه‌ی جغرافیایی از گذشته ی دور، پل ارتباطی ایران با کشورهای منطقه‌ی قفقاز و اروپا بوده است. این استان با وسعت ۴۵۴۹۰/۸۸ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران واقع شده است. که ۲/۷ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد و از این نظر، یازدهمین استان کشور است. آذربایجان شرقی از نظر موقعیّت جغرافیایی بین نصف‌النهارات ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه‌ی طول شرقی و مدارهای ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه‌ی عرض شمالی قرار گرفته است (اسماعیلی و همکاران،۱۳۹۱ : ۲).

۳- مواد و روش‌ها

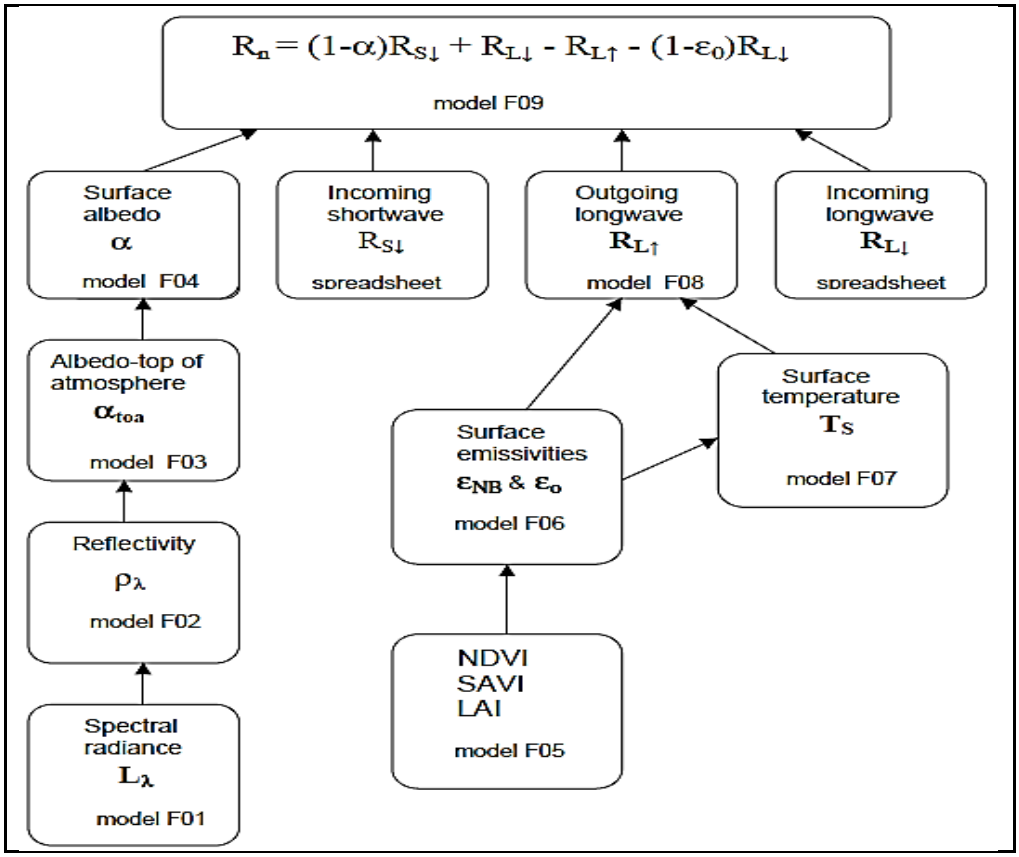
داده‌های ماهواره‌ای و نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد:

تصاویر شامل باندهای ۲و۳و۴و۵و۶و۷ طیفی سنجنده OLI و باند ۱۰ حرارتی سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۳ برای ماه‌های می، ژوئن، ژولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر جهت محاسبه تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین به روش الگوریتم SEBAL، است که تمام تصاویر از سایت http://glovis.usgs.gov به دست آمد. در تصاویر DEM منطقه‌ی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از نرم افزارهای ENVI5.1 ، جهت آماده سازی اولیه ی تصاویر و

انجام تصحیحات لازم و ERDAS IMAGINE2011 ، جهت اجرای الگوریتم سبال بر روی تصاویر و Arc GIS10.1 ، جهت انجام تحلیل‌های زمانی و مکانی و خروجی گرفتن از نتایج، استفاده شده است.

در این پژوهش، ابتدا عملیات پیش‌پردازش[۱۰] و تصحیحات رادیومتریک[۱۱] و هندسی[۱۲] بر روی تصاویر انجام شد. در ادامه، الگوریتم SEBAL بر روی تصاویر و داده‌های مربوطه اجرا شد و نتایج برای شش ماه (می تا اکتبر) از سال ۲۰۱۳ به دست آمد.

الگوریتم SEBAL از ۲۵ مدل تشکیل یافته که توسط آن‌ها تبخیر- تعرق[۱۳] (ET) و سایر مؤلفه‌های لازم برای معادله‌ی توازن انرژی محاسبه می‌شود(Bastiaanssen et al., 1998 : 209). در الگوریتم SEBAL از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مرئی، فروسرخ نزدیک و حرارتی برای برآورد انرژی تابشی خالص، شار حرارتی خاک، شار گرمای محسوس وشارگرمای نهان تبخیر برای هر پیکسل دریک تصویر، استفاده می‌شود (Allen et al., 2002 : 8-9). شکل ۲ مراحل و پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه‌ی تابش خالص رسیده به سطح زمین را نشان می‌دهد.



شکل۲: فلوچارت الگوریتم سبال، (Allen et al., 2002:15).

۱۰- Preprocessing

11- Radiometric Corrections

12- Geometric Correction

13- Evapotranspiration

۳-۱- محاسبه R_n

R_n (Net Surface Radiation) مقدار تابش رسیده به سطح و واحد آن وات بر متر مربع است. بر اساس قانون بقای انرژی، انرژی‌های ورودی و خروجی همواره با یک دیگر در حال تعادل است. رابطه‌ی ۱ مبیّن این وضعیت تعادلی می باشد(Allen et al., 2002: 10).

$$R_n = (1 - \alpha)R_S\downarrow + R_L\downarrow - R_L\uparrow - (1 - \varepsilon_0)R_L\downarrow$$ رابطه‌ی ۱

در رابطه‌ی فوق R_n: تابش خالص زمینی (W/m^2) و α : آلبیدوی سطحی و $R_S\downarrow$:تابش موج کوتاه فرودی (W/m^2) و $R_L\downarrow$: تابش موج بلند فرودی (W/m^2) و $R_L\uparrow$: تابش موج بلند خروجی (W/m^2) و ε_0 : گسیل مندی سطحی می‌باشد.

با توجه به شکل ۲ برای به دست آوردن R_n باید ابتدا پارامترهای ضروری مربوط به رابطه‌ی فوق را محاسبه نمود.

۳-۲- رادیانس طیفی (L_λ)

رادیانس طیفی عبارت است از انرژی در بالای اتمسفر که توسط سنجنده، مشاهده شده است. رادیانس طیفی برای هر باند توسط رابطه‌ی ۲ به دست می آید (Allen et al., 2002: 16).

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L$$ رابطه‌ی ۲

در رابطه‌ی فوق L_λ : رادیانس طیفی برای هر باند بر حسب ($W/m^2/sr/\mu m$). و M_L: (RADIANCE_MULT_BAND) ضرایب رادیانس MULT برای هر باند از تصویر که ارقام مربوطه از سرفایل[۱۴] تصاویر استخراج می‌شود. و Q_{cal} : ارزش عددی هر کدام از باندهای تصویر(DN). وA_L : (RADIANCE_ADD_BAND) ضرایب رادیانس ADD برای هرباند از تصویر که ارقام مربوطه از سرفایل تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج می‌شود.

۳-۳- بازتابندگی[۱۵] نیم کره‌ای ($\rho_{\lambda'}$)

بازتابندگی سطح به صورت نسبت شار طیفی بازتاب یافته به شار طیفی فرودی تعریف می‌شود. میزان بازتاب با استفاده از رابطه‌ی ۳ در هر باند محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002: 17).

$$\rho_{\lambda'} = M_P * Q_{cal} + A_P$$ رابطه‌ی ۳

در رابطه‌ی فوق $\rho_{\lambda'}$: مقدار بازتاب برای هر باند بدون اصلاح زاویه ی تابشی خورشید است. و M_P : (REFLECTANCE_MULT_BAND) ضرایب بازتاب MULT برای هر باند از تصویر که ارقام مربوطه از سرفایل تصاویر استخراج می‌شود و Q_{cal} : ارزش عددی هر کدام از باندهای تصویر (DN) و A_P: (REFLECTANCE_ADD_BAND) ضرایب بازتاب ADD برای هرباند از تصویر است که ارقام مربوطه از سرفایل تصاویر استخراج می‌شود.

---

1. Header file
2. Reflectivity

۳-۴- تصحیح زاویه ی خورشیدی

این تصحیح برای لحاظ کردن تغییرات فصلی و روزانه‌ی موقعیت خورشید نسبت به زمین صورت می‌گیرد. این تصحیح با محاسبه‌ی مقادیر DN در حالتی است که خورشید در موقعیت سرسو (زنیت) باشد و طبق رابطه‌ی ۴ صورت می‌گیرد (Allen et al., 2002: 17).

رابطه‌ی ۴ $$\rho_\lambda = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})}$$

در رابطه‌ی فوق ρ_λ : مقدار بازتاب برای هر باند با اصلاح زاویه‌ی تابشی خورشید و $\rho_{\lambda'}$: مقدار بازتاب برای هر باند بدون اصلاح زاویه‌ی تابشی خورشید و θ_{SE} : (SUN_ELEVATION) زاویه‌ی محلی ارتفاع خورشید و θ_{SZ} : زاویه‌ی زینت خورشید ($\theta_{SZ} = 90° - \theta_{SE}$) است.

۳-۵- آلبیدوی سطحی[۱۶] (α)

آلبیدو (α) به صورت نسبت انرژی الکترومغناطیسی انعکاس یافته از سطح خاک و گیاه بر انرژی فرودی بر آن سطح تعریف می‌شود. میزان آلبیدوی سطحی را می‌توان از رابطه‌ی ۵ محاسبه نمود (Allen et al., 2002: 18).

رابطه‌ی ۵ $$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path-radiance}}{{\tau_{sw}}^2}$$

در رابطه‌ی فوق α_{toa} : آلبیدوی بالای اتمسفر.$\alpha_{path-radiance}$: آلبیدوی ناشی از رادیانس مسیر و τ_{sw} : قابلیت عبور اتمسفری است.

$\alpha_{path-radiance}$: عبارت است از میانگین بخشی از رادیانس فرودی خورشیدی برای تمام باندها که قبل از رسیدن به سطح زمین به سمت سنجنده پراکنده شده است. مقادیر $\alpha_{path-radiance}$ در محدوده ی ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۴ می‌باشد که در مدل سبال مقدار آن ۰/۰۳ پیشنهاد شده است (Allen et al., 2002: 18).

τ_{sw} : قابلیت عبور اتمسفری به عنوان بخشی از رادیانس فرودی که توسط اتمسفر انتقال داده می‌شود، تعریف می‌شود و نشان دهنده‌ی تأثیرات اتفاق افتاده در اتمسفر می‌باشد. از آن جایی که این اثر، برای تابش فرودی و هم تابش خروجی وجود دارد؛ بنابراین در محاسبه ی آلبیدوی سطحی، مربع قابلیت انتقال عبور اتمسفری وارد می‌شود که با فرض صاف بودن آسمان و به تبع آن در شرایط خشک، با استفاده از رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002: 18).

رابطه‌ی ۶ $$\tau_{sw} = 0.75 + 2 * 10^{-5} * Z$$

در رابطه‌ی فوق، Z ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر می‌باشد. این ارتفاع باید به خوبی نشان دهنده‌ی ارتفاع منطقه‌ی مورد نظر باشد که برای این کار ارتفاع ایستگاه هواشناسی به عنوان ارتفاع معرّف، توصیه شده است. هم چنین می‌توان از طریق مدل رقومی ارتفاع منطقه‌ی (DEM) متوسط، ارتفاع را محاسبه نمود (Allen et al., 2002: 18). که در این پژوهش متوسط ارتفاع ۱۵۰۷٫۷۳ متر می‌باشد. مقدار τ_{sw} برای منطقه‌ی مورد مطالعه برابر ۰/۷۸۰۱۵ به دست آمد.

α_{toa} : عبارت است از آلبیدوی بالای اتمسفر که از رابطه‌ی ۷ قابل محاسبه است (Allen et al., 2002: 17).

رابطه‌ی ۷ $$\alpha_{toa} = \sum(\omega_\lambda * \rho_\lambda)$$

---

[۱۶]. Surface Albedo

که ρ_λ: بازتابندگی نیمکره‌ها در باندهای مختلف و ω_λ : ضرایب وزن‌دار برای باندهای غیر حرارتی می‌باشد که از رابطه‌ی ۸ قابل محاسبه‌است (Allen et al., 2002: 17).

رابطه‌ی ۸
$$\omega_\lambda = \frac{\mathrm{ESUN}}{\sum \mathrm{ESUN}}$$

مقادیر ω_λ برای باندهای مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

۳-۶- تابش موج کوتاه فرودی (Rs↓)

تابش فرودی موج کوتاه، شار تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده است که درواقع به زمین می‌رسد. با فرض شرایط آسمان صاف، می‌توان آن را به صورت رابطه‌ی ۹ برای زمان تصویر محاسبه کرد (Allen et al., 2002: 19).

رابطه‌ی ۹
$$R_s \downarrow = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw}$$

در رابطه‌ی فوق G_{sc} : ثابت خورشیدی ($1367\ W/m^2$) و $\cos\theta$: کسینوس زاویه‌ی فرودی خورشید و τ_{sw} : قابلیت عبور اتمسفری و $\cos\theta$ با استفاده از داده‌های فایل Header ، یعنی زاویه‌ی ارتفاع خورشیدی (β) که در آن $\theta = (90° - \beta)$ است و d_r : معکوس مربع فاصله‌ی نسبی زمین تا خورشید است که از رابطه‌ی ۱۰ به دست می‌آید (Allen et al., 2002: 17).

رابطه‌ی ۱۰
$$d_r = 1 + 0.033 * \mathrm{COS}(\mathrm{DOY}\frac{2\pi}{365})$$

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

مقادیر (Rs↓) بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع، بسته به محل و زمان تصویر فرق می‌کند.

۳-۷- دمای سطحی[۱۷] (T_S)

دمای سطحی با استفاده از رابطه‌ی ۱۱ زیر به دست می‌آید (Allen et al., 2002: 22).

رابطه‌ی ۱۱
$$T_S = \frac{K_2}{\mathrm{Ln}\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

T_S : دمای سطحی زمین برحسب درجه ی کلوین(K°) و L_λ :رادیانس طیفی برای هر باند بر حسب ($W/m^2/sr/\mu m$) و K_1 : ثابت تبدیل حرارتی از یک باند خاص، ضرایب (K_1 _CONSTANT_BAND) برای باند ۱۰ و باند ۱۱ از تصویر که ارقام مربوطه از سرفایل تصاویر استخراج می‌شود و K_2 : ثابت تبدیل حرارتی از یک باند خاص، ضرایب (K_2 _CONSTANT_BAND) برای باند ۱۰ و باند ۱۱ از تصویر که ارقام مربوطه از سرفایل تصاویر استخراج می‌شود.

جدول ۱ ضرایب K_1 و K_2 را که از سرفایل تصاویر استخراج شده را نشان می‌دهد.

[۱۷] . Surface Temperature

جدول ۱ : مقادیر K_1 و K_2 برای لندست ۸ (استخراج شده از سرفایل تصویر)

K1_CONSTANT_BAND_10	= 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11	= 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10	= 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11	= 1201.14

۳-۸- گسیل مندی سطحی (ε_0)

گسیل مندی سطحی به صورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله‌ی سطح به انرژی گرمایی تابش شده به وسیله‌ی جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود. در سبال، دو نوع گسیل مندی سطحی استفاده می‌شود. اوّلین گسیل مندی معرف رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در باند کم عرض حرارتی سنجنده می‌باشد که با علامت ε_{NB} نشان داده می‌شود. دومین گسیل مندی معرف رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در محدوده ی وسیع حرارتی از ۶ تا ۱۴ میکرومتر می‌باشد و با علامت ε_0 نشان داده می‌شود. به منظور محاسبه‌ی ضریب گسیل مندی باید ابتدا برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی را از تصاویر به‌دست‌آوریم و سپس با توجه به رابطه‌ای که بین ضریب گسیل مندی و شاخص‌های پوشش گیاهی وجود دارد، مقدار ضریب گسیل مندی را تعیین کنیم (Allen et al., 2002: 20).

۳-۹- شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI[۱۸])

NDVI : شاخصی است که به وضعیت و تراکم پوشش گیاهی حساسیّت دارد و از رابطه‌ی ۱۲ به دست می‌آید (Allen et al., 2002: 19).

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$ رابطه‌ی ۱۲

R : انعکاس در باند قرمزکه در لندست ۸ باند ۴ در محدود طیف قرمز قرار می‌گیرد. و IR : انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک که در لندست ۸ باند ۵ در محدود طیف مادون قرمز نزدیک قرار می‌گیرد. دامنه‌ی این شاخص پوشش گیاهی بین۱- تا ۱+ می‌باشد.

۳-۱۰- شاخص تعدیل شده گیاهی بر اساس خاک (SAVI[۱۹])

شاخصی است که سعی در کاهش اثرات خاک در زمینه بر روی NDVI دارد به صورتی که اثرات رطوبت خاک در این شاخص، کاهش می‌یابد و از رابطه‌ی ۱۳ به دست می‌آید (Allen et al., 2002: 19).

$$SAVI = \frac{(1 + L)(IR - R)}{(L + IR + R)}$$ رابطه‌ی ۱۳

[۱۸] . Normalized Difference Vegetation Index

[۱۹] . Soil Adjusted Vegetation Index

L : فاکتور تصحیح اثرات زمینه‌ی خاک می‌باشد و از صفر برای پوشش‌های گیاهی متراکم‌تر تا ۱ برای تراکم‌های کم تر متغیر است. مقدار استاندارد استفاده شده عبارت از ۰/۵ است که متناسب با پوشش گیاهی متوسط است.

۳-۱۱- شاخص سطح برگ (LAI[۲۰]):

LAI : شاخصی از بیوماس و مقاومت تاج پوشش گیاهی است و به صورت نسبت گل‌برگ‌های گیاه به سطح زمین پوشانده شده توسط آن گیاه تعریف می‌شود.

LAI با استفاده از رابطه‌ی ۱۴ به دست می‌آید (Allen et al., 2002: 20).

رابطه‌ی ۱۴

$$LAI = -\frac{\ln(\frac{0.6 - SAVI}{0.59})}{0.91}$$

رابطه‌ی SAVI-LAI به نوع محصول و موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه، بستگی دارد. این معادله بر اساس میانگین رابطه‌ی SAVI-LAI برای انواع محصولات در ناحیه آیداهوی جنوبی به دست آمده است؛ بنابراین می‌توان مقدار دقیق‌تر LAI از تصویر ماهواره‌ای را با ترکیب نقشه‌ی کاربری زمین و رابطه‌ی SAVI-LAI برای هر نوع محصول به دست آورد.

مقدار حداکثر LAI برابر ۶ می‌باشد که به مقدار حداکثر SAVI (SAVI= 0.687) انطباق دارد . بدین معنا که تا موقعی که SAVI برابر ۰/۶۸۷ شود، LAI افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش SAVI تغییر محسوسی در مقدار LAI مشاهده نمی‌شود.

گسیل مندی های سطحی با استفاده از روابط تجربی ۱۵ و ۱۶ زیر به دست می‌آید (Allen et al., 2002: 20).

موقعی که NDVI>0 داریم.

برای LAI<3

رابطه‌ی ۱۵

$$\varepsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033LAI$$

رابطه‌ی ۱۶

$$\varepsilon_0 = 0.95 + 0.01LAI$$

و زمانی که LAI>=3

$$\varepsilon_{NB} = 0.98 \qquad \varepsilon_0 = 0.98$$

برای آب ($\alpha < 0.47$) و برف ($\alpha \leq 0.47$) که دارای NDVI<0 می‌باشند، رابطه‌ی زیر را داریم.

$$\varepsilon_{NB} = 0.99 \qquad \varepsilon_0 = 0.985$$

۳-۱۲- تابش موج بلند خروجی ($R_L \uparrow$)

این تابش با استفاده از معادله‌ی استفان– بولتزمن طبق رابطه‌ی ۱۷ محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002: 22).

رابطه‌ی ۱۷

$$R_L \uparrow = \varepsilon_0 * \sigma * {T_s}^4$$

که در رابطه‌ی فوق ε_0 : گسیل مندی سطحی باند پهن (بدون بعد). σ: ثابت استئفان بولتزمن ($5.67\times10^{-8} W/m^2/K^2$) T_S: دمای سطح بر حسب درجه ی کلوین می‌باشد. و مقادیر $R_L\uparrow$ بسته به محل و زمان تصویر از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع تغییر می‌کند.

[۲۰] Leaf Area Index

۳-۱۳- تابش موج بلند فرودی ($R_L\downarrow$)

تابش موج بلند فرودی، شار تابش حرارتی از آسمان به سمت پایین است (W/m^2) که با استفاده از رابطه‌ی استفان – بولترمن طبق رابطه‌ی ۱۸ محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002: 23).

رابطه‌ی ۱۸ $$R_L\downarrow = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a{}^4$$

در رابطه‌ی فوق $R_L\downarrow$: طول موج بلند ورودی بر حسب وات بر مترمربع که مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر مترمربع متغیر می‌باشد. ε_a : گسیل مندی اتمسفر (بدون بعد). σ : ثابت بولتزمن ($5.67\times10^{-8} W/m^2/K^4$). T_a : دمای هوای نزدیک سطح بر حسب کلوین می‌باشد.

برای محاسبه ی ε_a می‌توان از رابطه‌ی تجربی ۱۹ که توسط باستیانسن به دست آمده، استفاده کرد(Allen et al., 2002: 23).

رابطه‌ی ۱۹ $$\varepsilon_a = 0.85 * (-\ln \tau_{sw})^{0.09}$$

که در آن τ_{sw} قابلیت عبور اتمسفری موج کوتاه می باشد. T_{cold} : نیز معادل دمای سطحی پیکسل سرد می‌باشد.

در این تحقیق جهت انتخاب پیکسل‌های سرد از دو فاکتور دما و شاخص سطح برگ (LAI) استفاده شد؛ بدین صورت که پیکسل سرد باید دارای دمای پایین و LAI بالا باشد. محدوده ی مقادیر $R_L\downarrow$ بسته به محل و زمان تصویر بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر مربع تغییر می‌کند.

در نتیجه معادله ی نهایی برای محاسبه ی $R_L\downarrow$ را می‌توان به صورت رابطه‌ی ۲۰ نوشت (Allen et al., 2002: 23).

رابطه‌ی ۲۰ $$R_L\downarrow = 0.85 * (-\ln \tau_{sw})^{0.09} * \sigma * T_{cold}{}^4$$

در نهایت شار تابش خالص سطحی (R_n) با محاسبه ی تمام پارامترهای فوق، طبق رابطه‌ی ۲۱ محاسبه می‌شود.

رابطه‌ی ۲۱ $$R_n = (1 - \alpha)R_s\downarrow + R_L\downarrow - R_L\uparrow - (1 - \varepsilon_0)R_L\downarrow$$

که مقادیر تابش خالص سطحی در محدوده ی ۷۰۰-۱۰۰ وات بر مترمربع بسته به سطح، متغیر است.

۴- یافته های تحقیق

در این بخش نتایج حاصل از اعمال الگوریتم سبال بر روی تصاویر، به صورت جداول و نقشه‌ها نشان داده شده است. مقدار میانگین بازتاب برای هرباند با اصلاح زاویه‌ی تابشی خورشید، برای تصاویر شش ماهه، می تا اکتبر سال ۲۰۱۳ به شرح جدول ۲ به دست آمد.

جدول ۲ : میانگین مقادیر(ρ_λ) بازتاب برای تمام باندهای تصاویر

ماه / باند تصاویر	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر
باند۲	۰,۱۴۴	۰,۱۵۶	۰,۱۷۴	۰,۱۶۱	۰,۱۷۳	۰,۱۴۷
باند۳	۰,۱۵۸	۰,۱۷۲	۰,۱۹۲	۰,۱۸۱	۰,۱۸۹	۰,۱۶۰
باند۴	۰,۱۸۳	۰,۱۹۸	۰,۲۲۷	۰,۲۱۷	۰,۲۲۵	۰,۱۹۷
باند۵	۰,۲۷۷	۰,۲۹۰	۰,۳۱۳	۰,۳۰۱	۰,۲۹۹	۰,۲۵۹

باند۶	۰,۲۷۱	۰,۲۸۲	۰,۳۱۲	۰,۳۰۱	۰,۳۰۴	۰,۲۷۵
باند۷	۰,۲۲۲	۰,۲۳۰	۰,۲۵۰	۰,۲۳۴	۰,۲۴۴	۰,۲۲۳

مقدار ضرایب وزن‌دار برای باند غیر حرارتی (باند ۱۰) از ماهواره لندست ۸ جهت محاسبه ی آلبیدو به شرح جدول ۳ محاسبه گردید.

جدول ۳ : مقادیر ω_λ برای لندست ۸

باند تصویر	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
مقادیر ω_λ	۰,۳۰۱۲۹	۰,۲۷۵۹۳	۰,۲۳۳۶۶	۰,۱۴۱۷۷	۰,۰۳۵۷۱	۰,۰۱۱۶۲

مقادیر تمام پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه‌ی تابش خالص رسیده به سطح زمین (R_n) ، با استفاده از الگوریتم سبال محاسبه گردید که نتایج به شرح جدول ۴ ارائه می‌گردد.

جدول ۴ : محدوده ی مقادیر اجرای الگوریتم سبال بر روی شش تصویر مورد مطالعه

تصاویر / مقادیر	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر
مقدار α_{toa}	۰,۱۸۱۶	۰,۱۹۵۳	۰,۲۱۷۳	۰,۲۰۵۸	۰,۲۱۳۷	۰,۱۸۴۰
مقدار آلبدو(α)	۰,۲۴۹۱	۰,۲۷۱۶	۰,۳۰۷۷	۰,۲۸۸۸	۰,۳۰۱۸	۰,۲۵۳۱
DOY	۱۲۰	۱۵۲	۱۸۴	۲۱۶	۲۴۸	۲۹۶
d_r	۰,۹۸۴۳	۰,۹۷۱۴	۰,۹۶۷۰	۰,۹۷۲۳	۰,۹۸۵۸	۱,۰۱۲۳
$\cos\theta$	۰,۸۸۰۵	۰,۹۲۲۴	۰,۹۱۹۴	۰,۸۸۵۵	۰,۸۱۴۳	۰,۶۲۲۷
مقدار ($R_S\downarrow$) برحسب (w/m^2)	۹۲۴	۹۵۵	۹۴۸	۹۱۸	۸۵۶	۶۷۷
مقادیر(T_s) برحسب (کلوین)	۲۸۷-۳۲۳	۲۷۸-۳۲۱	۲۸۰-۳۲۴	۲۹۶-۳۲۰	۲۸۶-۳۲۲	۲۷۶-۳۰۶
مقدار NDVI	-(۰,۶۳۲) (-۰,۱۹۰)	-(۰,۵۸۱) (-۰,۱۴۹)	-(۰,۶۴۵) (-۰,۱۳۳)	-(۰,۵۹۶) (-۰,۸۶۷)	-(۰,۵۶۵) (-۰,۰۷۳)	-(۰,۵۵۴) (-۰,۱۵۶)
مقدار SAVI	-(۰,۷۳۱) (-۰,۱۷۷)	-(۰,۶۴۴) (-۰,۱۴۴)	-(۰,۷۴۳) (-۰,۱۱۴)	-(۰,۶۸۶) (-۰,۰۸۸)	-(۰,۶۶۰) (-۰,۰۷۰)	-(۰,۶۹۵) (-۰,۱۶۵)
مقدار LAI	۰,۲۹۷	۰,۳۰۶	۰,۲۵۴	۰,۲۶۱	۰,۲۱۶	۰,۱۸۵
مقدار ε_0	۰,۹۵۲۹	۰,۹۵۳۰	۰,۹۵۲۵	۰,۹۵۲۶	۰,۹۵۲۱	۰,۹۵۱۸

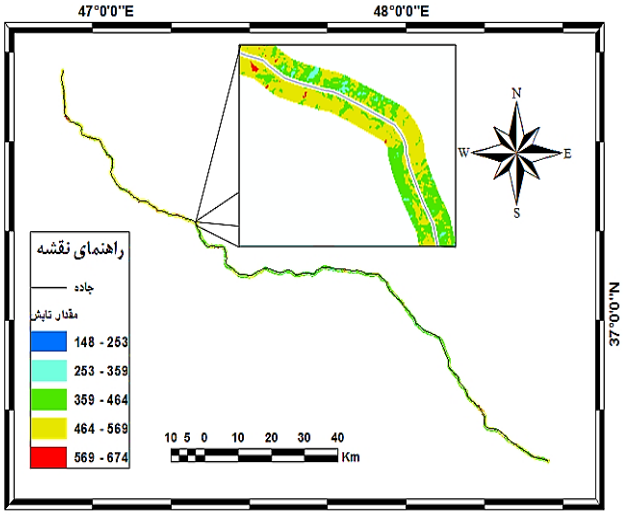
محدوده ی مقادیر($R_L\uparrow$)برحسب (w/m^2)	۳۶۶-۵۹۳	۳۲۵-۵۷۹	۳۲۳-۵۹۳	۴۱۷-۵۷۲	۲۷۵-۵۸۱	۳۱۳-۴۷۵
مقادیر($R_L\downarrow$) برحسب (w/m^2)	۲۸۸,۴۴	۲۵۳,۹۲	۲۶۱,۳۱	۳۵۸,۳۴۳	۲۸۴,۴۴۱	۲۴۶,۶۹۷
تابش(Rn) برحسب (w/m^2)	۱۴۸-۶۷۴	۱۷۸-۷۸۳	۱۳۲-۷۳۸	۱۵۶- ۶۹۱	۲۰۱- ۷۲۶	۱۱۱- ۵۱۸

۱-۴- تابش خالص محاسبه‌شده از ماه می تا اکتبر سال ۲۰۱۳

در این بخش نتایج حاصل از اجرای الگوریتم SEBAL بر روی تصاویر، به صورت نقشه در شکل‌های شماره‌ی ۳ الی ۸ نشان داده شده است و محدوده‌ی توزیع و پراکنش مقادیر تابش برای هر تصویر را به پنج کلاس طبقه‌بندی نموده، که نتایج آن به صورت جداول ۵ الی ۱۰ ارائه می‌گردد.

جدول ۵ : تابش طبقه‌بندی شده در ماه می

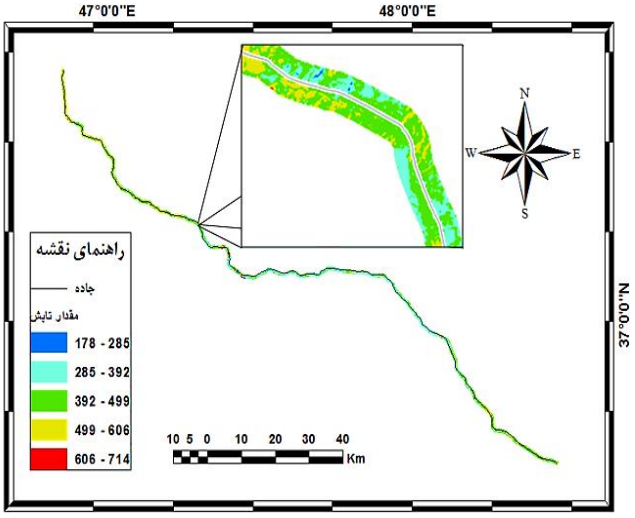
کلاس تابش	مقدار برحسب (w/m^2)	مقدار برحسب (درصد)
۱	۱۴۸-۲۵۳	۰/۰۷
۲	۲۵۳-۳۵۹	۳/۶۵
۳	۳۵۹-۴۶۴	۵۳/۲۷
۴	۴۶۴-۵۶۹	۴۱/۳۱
۵	۵۶۹-۶۷۴	۱/۷۰



شکل ۳ : نقشه ی توزیع تابش خالص در ماه می

جدول ۶ : تابش طبقه‌بندی شده در ماه ژوئن

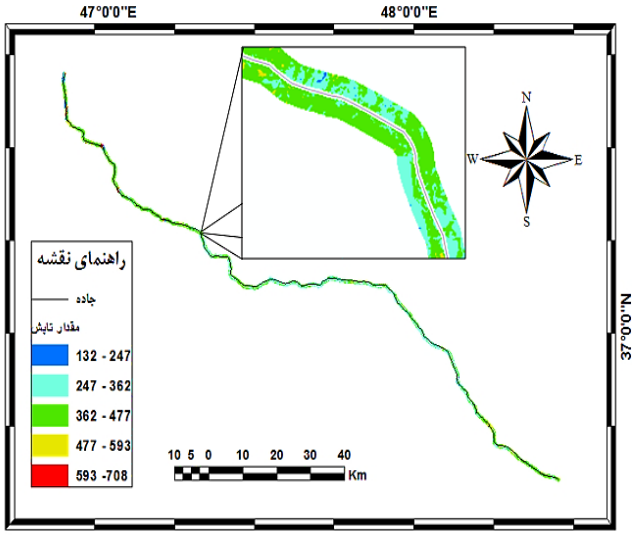
کلاس تابش	مقدار برحسب (w/m^2)	مقدار برحسب (درصد)
۱	۱۷۸ – ۲۸۵	۰/۹۵
۲	۲۸۵ – ۳۹۲	۳۲/۱۲
۳	۳۹۲ – ۴۹۹	۴۵/۱۹
۴	۴۹۹ – ۶۰۶	۲۰/۷۹
۵	۶۰۶ – ۷۱۴	۰/۹۵



شکل ۴ : نقشه ی توزیع تابش خالص در ماه ژوئن

جدول ۷ : تابش طبقه‌بندی شده در ماه ژولای

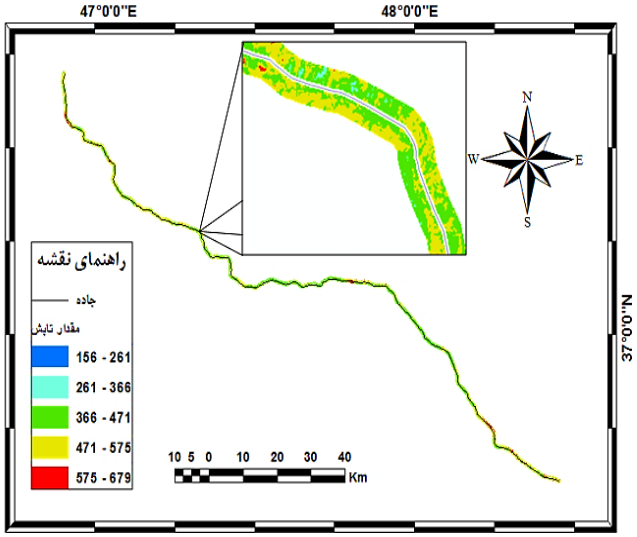
کلاس تابش	مقدار برحسب (w/m^2)	مقدار برحسب (درصد)
۱	۱۳۲-۲۴۷	۲/۷۱
۲	۲۴۷-۳۶۲	۳۵/۲۹
۳	۳۶۲-۴۷۷	۵۵/۳۴
۴	۴۷۷-۵۹۳	۵/۶۲
۵	۵۹۳ – ۷۰۸	۱/۰۴



شکل ۵ : نقشه ی توزیع تابش خالص در ماه ژولای

جدول ۸ : تابش طبقه‌بندی شده در ماه آگوست

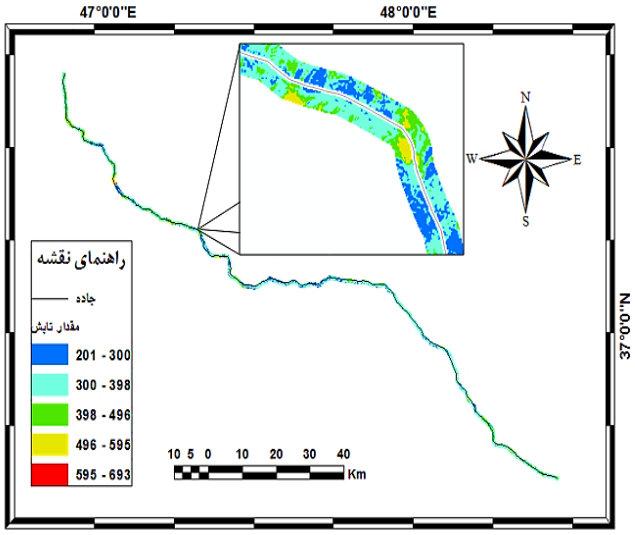
کلاس تابش	مقدار برحسب (w/m^2)	مقدار بر حسب (درصد)
۱	۱۵۶-۲۶۱	۰/۰۴
۲	۲۶۱-۳۶۶	۰/۳۳
۳	۳۶۶-۴۷۱	۴۹/۶۵
۴	۴۷۱-۵۷۵	۴۶/۶۴
۵	۵۷۵ – ۶۷۹	۳/۳۴



شکل ۶ : نقشه ی توزیع تابش خالص در ماه آگوست

جدول ۹ : تابش طبقه‌بندی شده در ماه سپتامبر

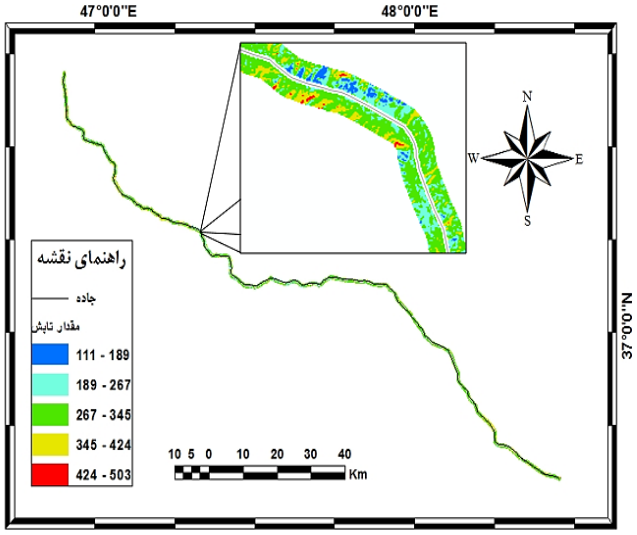
کلاس تابش	مقدار برحسب (w/m^2)	مقدار برحسب (درصد)
۱	۲۰۱-۳۰۰	۱۴/۰۵
۲	۳۰۰-۳۹۸	۶۶/۷۴
۳	۳۹۸-۴۹۶	۱۵/۹۵
۴	۴۹۶-۵۹۵	۳/۰۹
۵	۵۹۵–۶۹۳	۰/۱۷



شکل ۷ : نقشه ی توزیع تابش خالص در ماه سپتامبر

جدول ۱۰ : تابش طبقه‌بندی شده در ماه اکتبر

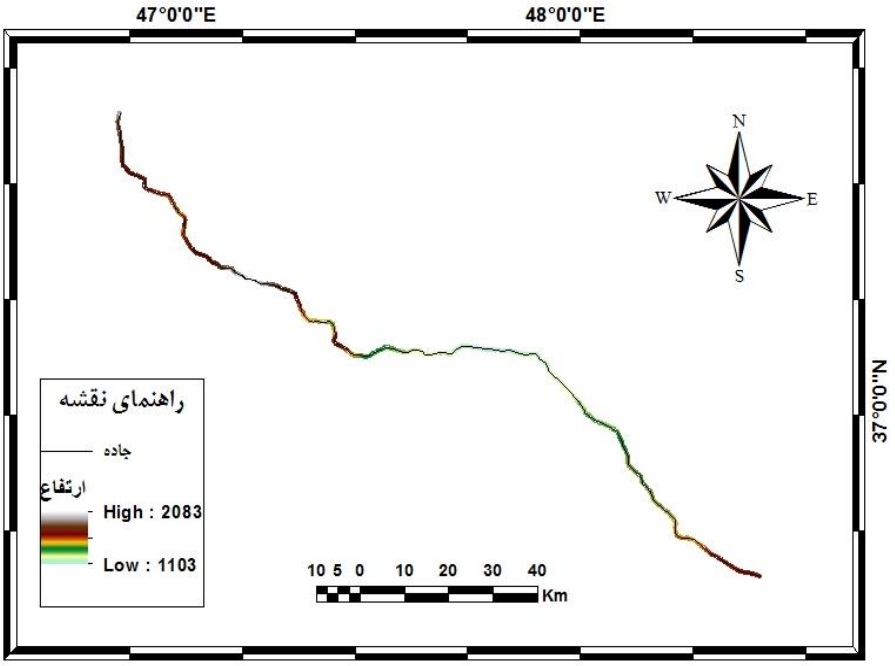
کلاس تابش	مقدار برحسب (w/m^2)	مقدار برحسب (درصد)
۱	۱۱۱-۱۸۹	۰/۳۱
۲	۱۸۹-۲۶۷	۸/۸۵
۳	۲۶۷-۳۴۵	۷۳/۵۵
۴	۳۴۵-۴۲۴	۱۷/۰۱
۵	۴۲۴ – ۵۰۳	۰/۲۸



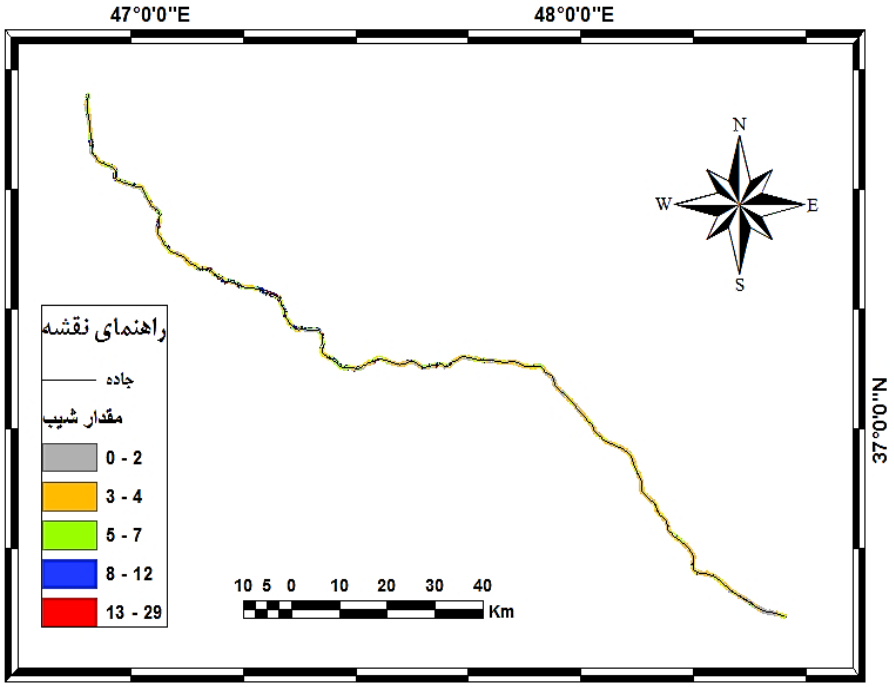
شکل ۸ : نقشه ی توزیع تابش خالص در ماه اکتبر

۴-۲- تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش دریافتی

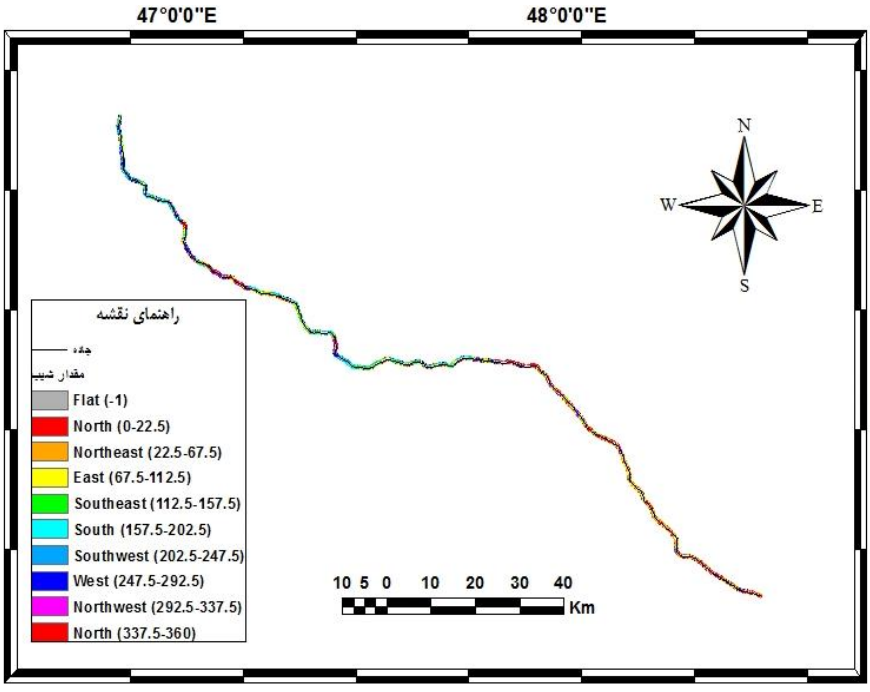
در شکل‌های ۹، ۱۰و ۱۱ نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب به عنوان عوامل مؤثر بر تابش خالص دریافتی برای منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۹ : نقشه ی مدل رقومی ارتفاع منطقه ی مورد مطالعه



شکل ۱۰ : نقشه ی شیب منطقه ی مورد مطالعه



شکل ۱۱ : نقشه، جهت شیب منطقه ی مورد مطالعه

در این مرحله با استفاده از تابع Zonal Statistics از نرم افزار Arc GIS، میانگین مقادیر سه عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب را برای مقدار تابش محاسبه شده توسط الگوریتم سبال، در منطقه‌ی مورد مطالعه پهنه بندی نمودیم که جهت مشخص-

نمودن مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تابش، همبستگی سه عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب را با تابش محاسبه شده، توسط الگوریتم SEBAL بررسی و نتایج آن در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱ : همبستگی عوامل و عناصر ارتفاع، شیب و جهت شیب

نوع عامل / نوع تابع	همبستگی برحسب (درصد)		
	ارتفاع	شیب	جهت شیب
SEBAL	۰/۰۱۳۷	۰/۰۹۱۶	۰/۲۷۹۴

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با اجرای الگوریتم SEBAL بر روی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های ارتفاعی، نتایج زیر حاصل شد.

با اجرای الگوریتم SEBAL مقدار تابش در ماه می ۶۷۴-۱۴۸ وات بر مترمربع به دست آمد و بیش‌ترین مقدار توزیع در کلاس ۴۶۴-۳۵۹ وات بر مترمربع با ۵۳/۲۷ درصد قرار گرفته است (جدول ۵). در ماه ژوئن ۷۱۴-۱۷۸ وات بر مترمربع که بیش‌ترین مقدار توزیع در کلاس ۴۹۹-۳۹۲ وات بر مترمربع با ۴۵/۱۹ درصد قرار گرفته است (جدول ۶). در ماه ژولای ۷۰۸-۱۳۲ وات بر مترمربع که بیش‌ترین مقدار توزیع در کلاس ۴۷۷-۳۶۲ وات بر مترمربع با ۵۵/۳۴ درصد قرار گرفته است (جدول ۷). در ماه آگوست ۶۷۹-۱۵۶ وات بر مترمربع که بیش‌ترین مقدار توزیع در کلاس ۴۷۱-۳۶۶ وات بر مترمربع با ۴۹/۶۵ درصد قرار گرفته است (جدول ۸). در ماه سپتامبر ۶۹۳-۲۰۱ وات بر مترمربع که بیش‌ترین مقدار توزیع در کلاس ۳۹۸-۳۰۰ وات بر مترمربع با ۶۶/۷۴ درصد قرار گرفته است (جدول ۹). در ماه اکتبر ۵۰۳-۱۱۱ وات بر مترمربع که بیش‌ترین مقدار در کلاس ۳۴۵-۲۶۷ وات بر مترمربع با ۷۳/۵۵ درصد قرار گرفته است (جدول ۱۰). پراکنش تابش در این روش به طور تقریبی برای تمام ماه‌ها مشابه بوده و پراکنش تابش در این روش برای تمام ماه‌ها با طرح یک حریم ۲۰۰ متری اطراف جاده از ۱۱۱ تا ۷۱۴ وات بر مترمربع متغیر می‌باشد.

با توجه به جدول ۱۱، در الگوریتم SEBAL ،همبستگی تابش با مقدار شیب ۰/۰۹۱۶ درصد، با جهت شیب ۰/۲۷۹۴ درصد و با ارتفاع ۰/۰۱۳۷ به دست آمد، که نشان می‌دهد الگوریتم SEBAL بیش‌ترین همبستگی را با جهت شیب و کم‌ترین همبستگی را با ارتفاع دارد؛ بنابراین با توجه به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت به دلیل این‌که مدل SEBAL مورد استفاده از نوع مسطح بوده و کوهستانی نیست و جهت محاسبه ی تابش، شاخص‌های شیب و جهت شیب را در نظر می‌گیرد و شاخص ارتفاع، روی خروجی تأثیر چندانی ندارد، بنابراین کم ترین مقدار همبستگی مربوط به عامل ارتفاع است.

اکنون با توجه به سوالات مطرح شده در تحقیق، پاسخ به هر سوال بدین شرح می‌باشد:

- منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل تنوع توپوگرافی از تابش خالص سطحی متنوع برخوردار است. با توجه به شکل ۹ توپوگرافی منطقه‌ی دارای ارتفاع متغیر بوده که از ارتفاع ۱۱۰۳ متر شروع شده و تا ۲۰۸۳ متر ادامه دارد، هم چنین با توجه به شکل‌های ۳ الی ۸ ، تابش خالص محاسبه شده با الگوریتم SEBAL که در آن‌ها مقدار تابش دارای محدوده ی بسیار متغیری است می‌توان نتیجه گرفت که تابش در منطقه، از توزیع متنوعی برخوردار است.

- عامل جهت شیب مهم‌ترین شاخص تأثیرگذار در تعیین مقدار انرژی تابشی دریافتی است، به‌طوری‌که شیب‌های جنوبی و رو به آفتاب در تمامی گستره‌ی مورد مطالعه، تابش بیش تری را دریافت می‌کند و در شیب‌های شمالی و پشت به آفتاب، عکس این حالت اتفاق می‌افتد.

- با توجه به مقادیر تابش به دست آمده برای تمام ماه‌های مورد بررسی که به طورتقریبی در دامنه ی ۱۱۱ تا ۷۱۴ وات بر مترمربع قرار دارد و با توجه به حساسیت سلول‌های فتوولتائیک که به تابش خورشیدی از آستانه ی تابش تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع حساسیت دارد و آن را دریافت می‌کند؛ می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در این منطقه، در شش ماه مورد مطالعه ی پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد.

۶-پیشنهادات

- استفاده از مدل‌های مطالعاتی دیگر و مقایسه‌ی نتایج حاصل از آن‌ها با روش‌های انجام‌شده در این پژوهش جهت دستیابی به بهترین و دقیق‌ترین مدل محاسبه ی تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف.

- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دوری به دلیل کم هزینه بودن و سرعت پردازش و دقت بالاتر به جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی.

۷- منابع

۱- احدنژاد روشتی، محسن (۱۳۸۸). مدل سازی ارزیابی آسیب پذیری از زلزله (مورد:شهر زنجان)، رساله ی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده ی جغرافیا، دانشگاه تهران.

۲- اسماعیلی، مهدی، محمدی، محمدجواد، محمدی، ولی علی، رضوی هریس، داریوش، باغبان خضرلو، پرویز، نجفی، نصرت اللّه، رحمان پور، سعیده (۱۳۹۱). استان‌شناسی آذربایجان شرقی(اجرای آزمایشی)، تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۳- اکبری مطلق، علی، حجازی، جعفر (۱۳۹۰). امکان‌سنجی اقتصادی سیستم‌های روشنایی خورشیدی LED در جاده‌ها، ششمین کنگره ی ملی مهندسی عمران،سمنان: دانشگاه سمنان.

۴- پرویز، لاله، خلقی، مجید، ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۸۸). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صص ۱۰۸۱-۱۰۷۳.

۵- حسن زاده، حسن، فرزاد، محمدعلی (۱۳۹۰).امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم ترکیبی فتوولتاییک و پیل سوختی جهت تولید همزمان برق و حرارت در یک واحد مسکونی در شرق ایران، نشریه‌ی انرژی ایران، دوره ی ۱۴، شماره ی ۲، صص ۴۱-۱۹.

۶- شفقت، ابوطالب، یزدانی، امیرعباس، غلامی، رمضان (۱۳۸۹). انرژی خورشیدی و توانمندی آن در توسعه و عمران روستایی، چکیده‌ی مقالات همایش ملی توسعه ی پایدار روستایی با تأکید بر بخش کشاورزی، خراسان شمالی، دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۳۴۳-۳۳۲.

۷- قمرنیا، هوشنگ، رضوانی، سید وحیدالدین، مهدی‌آبادی، گلاره، غلامیان، سید محسن (۱۳۸۹). محاسبه ی تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از روش سبال در دشت بیلوار کرمانشاه، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، ایران.

۸- عباس‌پور، مجید، عتابی، فریده، سعیدی، پونه (۱۳۸۴). بررسی امکان‌پذیری به کارگیری سلول‌های فتوولتائیک جهت روشنایی معابر در منطقه‌ی ۲۲ شهرداری تهران، فصلنامه ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ی ۷، شماره‌ی ۲، صص ۹-۲.

۹- کمالی، غلامعلی، مرادی، اسحق (۱۳۸۵). تابش خورشیدی، اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، تهران: انتشارات پژوهشکده‌ی هواشناسی.

۱۰- کریمی، علیرضا، فرهادی بانسوله، بهمن، حصادی، همایون (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست، نشریه‌ی آبیاری و زهکشی ایران، شماره‌ی ۴، جلد ۶، زمستان ۱۳۹۱ ، صص ۳۶۴- ۳۵۳.

۱۱- ماهنامه‌ی ایران پاک (۱۳۸۸). گزارش استانی: وضعیت مبارزه با مواد مخدر در استان زنجان، دوره‌ی جدید، شماره‌ی ۲۶ ، صص ۳۲-۳۵.

۱۲- جهانبخش، سعید، زاهدی، مجید، ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۹۰). محاسبه ی دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط GIS و RS در بخش مرکزی منطقه‌ی مراغه، نشریه‌ی علمی – پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، شماره‌ی۳۸، صص ۴۲-۱۹.

۱۳- خسروی، محمود، جهانبخش اصل، سعید، درخشی، جعفر (۱۳۹۲). برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS (نمونه موردی استان آذربایجان شرقی)، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم ، شماره‌ی۴۳، صص ۶۳-۳۹ .

۱۴- میرقربانی گنجی، سید موسی، میرقربانی گنجی، سید سینا (۱۳۹۲). سیستم‌های تولید گرما در ساختمان با استفاده ی بهینه از انرژی خورشید، نشریه‌ی توسعه ی تاسیسات و تجهیزات، بهار ۱۳۹۲، شماره ی ۳۶، صص ۵۷ -۵۳.

۱۵- میریعقوب‌زاده، میرحسن، قنبرپور، محمدرضا (۱۳۸۸). به کارگیری داده‌های سنجش از دور در برآورد دمای سطح اراضی(نمونه موردی حوزه ی آبخیز وردین، آذربایجان شرقی)، مجله ی علمی پژوهشی مرتع، سال سوم، شماره‌ی ۴، صص ۷۳۴ – ۷۲۳.

16- Allen, R., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R., and Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation. Advanced Training and User's Manual, version 1.0.

17- Bastiaanssen, W.G., Menenti, M, Feddes, R.and Holtslag, A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. formulation. J. Hydrology, pp.198-213.

18- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P., Allen, R. G., (2005). SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. Journal of irrigation and drainage ngineering, Volume131 (1), pp 85-93.

19- Huang, B.J, M.S, Wu, P, C. Hsu, J.W. Chen, K.Y. Chen. (2009). Development of high-performance solar LED lighting system. Energy conversion and Management, Volume 51, Issue 8 51, pp 1669-1675.

20- Keese, W.J., Pernell, R., Rosenfeld, A. H., James, D., Geesman J. L. (2003). Buying a Photovoltaic Solar Electric System:A Consumer Guide, California Energy Commission,22.

21- Mather P.M., Koch, M., (2010). Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction,4th Edition, John Wiley & Sons,460

22- Ramachandra,T.V . (2007) . Solar energy potential assessment using GIS. Energy Education Science and Technology,2007 Volume (issue)18(2), 101-114.

23- Sung-ho Hong, Jan M. H. Hendrickx and Brian Borchers, (2011). Down-Scaling of SEBAL Derived Evapotranspiration Maps from MODIS (250m) to Landsat (30m) scale, International journal of remote sensing, Volume 32, Issue 21, November 2011, pp 6457-6477.

24- Tasumi M., Trezza, R., Allen, R.G. and Wright, J.L., (2003). U.S. Validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite. ICID International Workshop on Use of Remote Sensing of Crop Evapotranspiration for Large Regions, Sept. 17, Montpellier, France.

25- WWW.glovis.usgs.gov.