



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۰، دوره ۴، شماره ۳، صص ۲۰۴-۱۸۴

برآورد تغییرات مکانی - زمانی تابش خالص دریافتی شهرستان داراب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

علی اصغر ایرج پور^۱، حسین اسمعیلی^{۲*}

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سروستان، گروه عمران، سروستان، ایران

۲- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا،
زنجان، ایران

Hesmaeili19@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

چکیده

انرژی حاصل از تابش خورشید یکی از عناصر آب و هوایی است که بر روی فرایندهای سطح زمین مانند منابع آب و خاک، ذوب برف، فرایندهای تبخیر و تعرق و مواردی از این قبیل تأثیرگذار می‌باشد. با توجه به اهمیت زیاد انرژی، مطالعه حاضر با هدف برآورد تابش خالص دریافتی حاصل از خورشید در شهرستان داراب انجام شد. بدین ترتیب مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در طی ماه‌های مختلف (از شهریورماه سال ۱۳۹۸ تا مردادماه ۱۳۹۹) برای محدوده مورد مطالعه دریافت شد و ضمن انجام تصحیحات مورد نیاز بر روی هریک از تصاویر، بوسیله مدل توازن انرژی سطحی (سبال) نقشه‌های تابش خالص رسیده به سطح زمین شهرستان داراب، برای هر ماه تهیه شد. مطابق با یافته‌های تحقیق بیشترین میزان تابش خالص دریافتی شهرستان در طی فروردین ماه صورت می‌گیرد. در این ماه میانگین تابش خالص دریافتی در کل شهرستان برابر با ۵۲۷/۱۳ وات بر مترمربع می‌باشد. همچنین نیز بررسی‌های صورت گرفته در فروردین ماه نشان می‌دهد که بخش رستاق با میانگین ۵۵۷/۴۳ وات بر مترمربع، بیشترین میزان انرژی دریافتی را دریافت نموده و پس از آن بخش‌های مرکزی و فورگ به ترتیب با میزان ۵۳۸/۰۳ و ۴۷۹/۶۱ وات بر مترمربع در مراتب بعدی قرار دارند. از سوی دیگر کمترین میزان تابش خالص دریافتی در کل محدوده مورد بررسی در آذرماه صورت گرفته است، میانگین تابش دریافتی کل شهرستان در این ماه ۳۲۷/۹۹ وات بر مترمربع می‌باشد. در این ماه بخش رستاق به صورت میانگین با ۳۵۷/۴۰ وات بر مترمربع انرژی، بیشترین میزان تابش دریافتی را داشته است و پس از آن بخش‌های مرکزی و فورگ به ترتیب با میزان ۳۳۴/۶۵ و ۲۸۸/۸۷ وات بر مترمربع در مراتب بعدی قرار دارند. واژگان کلیدی: تابش خالص، مدل سبال، لندست ۸، شهرستان داراب.

مقدمه

انرژی تابشی حاصل از خورشید، منشأ اولیه سایر انرژی‌های روی کره زمین و یکی از منابع انرژی پاک در کشور ایران محسوب می‌شود (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۵). در واقع تابش خورشید یکی از عناصر آب و هوایی است که بر روی فرایندهای سطح زمین مانند منابع آب و خاک، ذوب برف، فرایندهای تبخیر و تعرق و مواردی از این قبیل تأثیرگذار می‌باشد. اما با توجه به اهمیت زیاد این عنصر، اندازه‌گیری آن به صورت محدود صورت می‌گیرد (سلطانی و مرید، ۱۳۸۴: ۶۹). لذا تخمین دقیق میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین از اصول مهم و اساسی طراحی و ایجاد شبکه‌ها و سازه‌ها و برنامه‌ریزی‌های مربوطه است (الموراکس و هونتوریا؛ ۲۰۰۴، ۱۵۲۹). از سویی یکی از مهمترین موضوعات امروزه آب و هوای جهان خسارات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی ناشی از فعالیت‌های انسانی جهت تأمین انرژی می‌باشد (بشیر^۱ و همکاران، ۲۰۱۹: ۱). انرژی در توسعه و پیشرفت جوامع انسانی دارای نقش بسیار زیادی است، به طوری که در صورت نبود آن توسعه تمدن‌ها به صورت کنونی غیر ممکن بود. از طرفی تولید انرژی نیازمند صرف هزینه‌های زیادی است که خود به عنوان یکی از چالش‌های اساسی سیاست‌مداران محسوب می‌شود (عساکره و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۴). لذا با روند رو به رشد مصرف انرژی، در آینده‌ای نه چندان دور مشکل تأمین انرژی به عنوان یکی از مشکلات کشورهای جهان، حتی کشورهای دارای منابع عظیم نفت خواهد بود (واین^۲؛ ۲۰۰۸: ۵۰). بنابراین بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدشونده همچون انرژی حاصل از تابش خورشیدی به عنوان یکی از راه‌های جلوگیری از بروز بحران تأمین انرژی محسوب می‌شود. برای مثال یکی از کاربردهای انرژی تابشی خورشید، تبدیل این انرژی به انرژی الکتریکی با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک می‌باشد (کیز^۳ و همکاران، ۲۰۰۳: ۳). لذا پایش و بررسی مداوم میزان تابش خورشیدی رسیده به سطوح مختلف بدلیل تأثیرات آن بر میزان توازن گرمایی زمین، تأثیر بر روی شرایط آب و هوا و خاک، تبخیر و تعرق و همچنین ذوب برف‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (زندى و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین آگاهی از مقدار و شدت تابش دریافتی در هر مکان برای احداث سایت‌های خورشیدی بسیار مهم و قابل توجه می‌باشد. به طوری که از چنین اطلاعاتی جهت برآورد هزینه‌های ایجاد و بازدهی پروژه‌های مرتبط استفاده می‌شود (هاتل و ویلییر^۴؛ ۱۹۵۵: ۹۰). تابش خورشیدی بدلیل ویژگی‌های خاص خود توانایی تبدیل شدن به

¹ - Almorox & Hontoria

² - Bashir

³ - Vine

⁴ - Keese

⁵ - Hottel & Whillier

عنوان اصلی ترین منبع انرژی در سال های آتی را دارد (دینسر^۱، ۲۰۰۰: ۱۵۵). بنابراین بررسی، طراحی و ایجاد سیستم های مبتنی بر انرژی خورشیدی در هر مکان نیازمند آگاهی و اطلاع از ویژگی های مربوط به مقدار انرژی تابشی دریافت شده در آن مکان می باشد (صفاری پور و مهرابیان، ۱۳۸۸: ۱). یکی از روش های نسبتاً دقیق جهت اندازه گیری مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین استفاده از دستگاه تابش سنج (پیرانومتر^۲) است (تابش سنج خورشیدی، پیرانومتر، آفتاب سنج یا توان سنج خورشیدی وسیله ای است که توسط آن میزان تابش انرژی خورشید بر حسب وات بر متر اندازه گیری می شود) که کماکان استفاده از آن در مناطق مختلف بدیل فقدان امکانات و به لحاظ اقتصادی بسیار محدود می باشد. بدین ترتیب اندازه گیری تابش خورشیدی در همه مناطق انجام نمی شود، لذا پژوهشگران در اقدامات خود جهت برآورد مقدار آن کوشش می کنند (بلچر و دگاتانو^۳، ۲۰۰۷: ۳۲۹). لذا استفاده از مدل های تجربی در شرایطی که دستگاه های اندازه گیری تابش خورشیدی در دسترس نیست بسیار مؤثر و کارا می باشند (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). قابل ذکر است در ایران فقط تعداد محدودی ایستگاه تابش سنجی وابسته به سازمان هواشناسی وجود دارد که فرایند اندازه گیری میزان تابش دریافتی را اندازه گیری می کند که داده های ثبت شده بدلائل مسائل و مشکلات مربوط به کالیبراسیون، نگهداری ابزار و ادوات تابش سنجی و همچنین مسائل مربوط به ثبت داده ها و خلاءهای آماری همراه با خطاهای بسیاری بوده و قبل از هرگونه استفاده باید با دقت مورد کنترل و بررسی قرار گیرند. از سویی داده های ثبت شده فقط به صورت نقطه ای بوده و میزان تابش دریافتی را فقط برای همان نقطه مربوط نشان می دهد و بدست آوردن پهنه تابشی سطح را غیرممکن می کند. بدین ترتیب محدودیت های مذکور در طی سال های اخیر باعث گسترش استفاده از روش های سنجش از دوری مبتنی بر تصاویر ماهواره ای حاصل از سنجنده های مختلف برای تخمین و برآورد بسیاری از پدیده ها از جمله تابش رسیده به سطح زمین در مکان های مختلف شده است. بنابراین فناوری سنجش از دور مبتنی بر تصاویر ماهواره ای ابزاری قوی جهت سنجش منابع زمینی می باشد (عیسی زاده و همکاران، ۱۳۹۹، ۹). شناسایی انرژی تابشی مناطق در بسیاری از زمینه ها از قبیل کاربردهای صنعتی مانند خشک کردن محصولات کشاورزی، در زمینه های مربوط به مهندسی انرژی، احداث نیروگاه های برق خورشیدی و طراحی کلکتورهای خورشیدی، تولید انرژی های گرمایشی، طراحی و احداث سیستم های فتوولتائیک جهت روشنایی محیط های شهری و روستایی، راه ها و معابر و... قابل استفاده بوده و دارای کارایی های بسیاری می باشد.

¹ - Dincer

² - Pyranometer

³ - Belcher & DeGaetano

با توجه به توضیحات ارائه شده، در این مطالعه با استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای لندست میزان تابش خورشیدی سطح شهرستان داراب به تفکیک ماه‌های مختلف سال تهیه شد.

پیشینه تحقیق

در ادامه به تعدادی چند از مطالعات انجام شده که مرتبط با زمینه تحقیقاتی پژوهش حاضر می‌باشد به صورت مختصر اشاره شده است: خسروی و همکاران (۱۳۹۲) به برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی استان آذربایجان شرقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام نمودند. نتایج مطالعه آنها بیانگر این است که توزیع تابش سالانه محدوده مورد مطالعه از جنوب غرب به شمال و شمال شرق روند رو به کاهش دارد. سیدیان و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از پارامترهای هواشناسی به تخمین مقدار تابش خورشیدی اقدام نمودند. مطالعه آنها حاکی از این است که تابش پیش‌بینی شده در ایستگاه اصفهان با کمترین خطا و ایستگاه رامسر دارای بیشترین خطا می‌باشد. زندی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تابع تحلیل تابش در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و همچنین استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) نقشه پهنه‌بندی تابش خورشیدی ۱۵۹ روستا در سطح شهرستان سبزوار را تهیه نمودند. نتیجه نهایی مطالعه آنها گویای این است که ۹۵/۸۲ درصد از مساحت شهرستان سبزوار دارای پتانسیل عالی جهت استفاده از پتانسیل انرژی خورشید می‌باشد. بالتس^۱ و همکاران (۲۰۰۸) جهت تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین، با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب و وضعیت جهت‌گیری خورشید (آزیموت) از طریق روش تحلیل تابش و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه پتانسیل دریافت انرژی خورشید در مناطق مختلف کره زمین را تهیه نمودند. هولستاین^۲ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و تابع تحلیل تابش به برآورد تابش خورشیدی ایالت ویرجینیای آمریکا جهت طراحی و احداث سیستم‌های فتوولتائیک اقدام نمودند و به این طریق نقشه‌های پهنه‌بندی قابلیت دریافت انرژی تابش خورشیدی مناطق مختلف را در طی ماه‌های مختلف سال تهیه نمودند. میشر^۳ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲، ایالت هیل در کشور هند را از لحاظ پتانسیل دریافت انرژی تابشی خورشید جهت طراحی سیستم‌های فتوولتائیک مورد بررسی قرار دادند. آنها ضمن تهیه

¹ - Geographic Information System (GIS)

² - Solar Analyst

³ - Digital Elevation Model (DEM)

⁴ - Baltles

⁵ - Holstein

⁶ - Mishra

⁷ - Sentinel-2

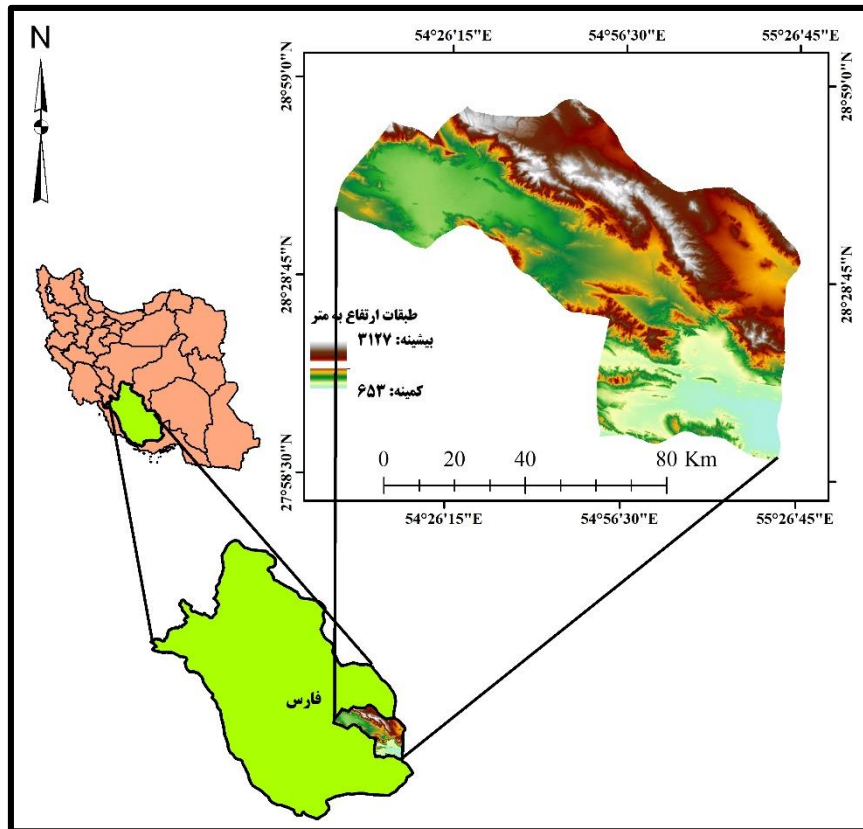
⁸ - Hill

نقشه کاربری اراضی ایالت مورد مطالعه، میزان تابش خورشیدی دریافت شده توسط هریک از طبقات کاربری را مشخص نمودند. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود کشور چین را به لحاظ پتانسیل دریافت مقدار انرژی تابشی خورشید از سه جنبه جغرافیایی، اقتصادی و فناوری مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها حاکی از این است که قسمت‌های غربی چین پتانسیل بیشتر جهت دریافت انرژی تابشی خورشید دارد.

مواد و روش‌ها

شهرستان داراب یکی از شهرستان‌های استان فارس می‌باشد که بین ۵۴ درجه و ۰۶ دقیقه و ۰۵ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۲۷ دقیقه و ۰۷ ثانیه طول شرقی تا ۲۸ درجه و ۰۱ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۲۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۳ ثانیه عرض شمالی قرار دارد و به لحاظ تقسیمات سیاسی سه بخش مرکزی، فورگ و رستاق را شامل می‌شود (شکل ۱). از نظر اقلیمی اکثر بارش‌های شهرستان داراب در طی دوره سرد سال روی می‌دهد و در تابستان‌ها بدلیل دوری از منابع رطوبتی و نبودن عامل صعود هوای مرطوب، حالت هوای گرم و خشک کویری پیدا می‌کند. مطابق با داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک حسن‌آباد موجود در شهرستان میانگین بارش سالانه آن طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۹ - ۱۳۷۹)، ۲۳۶/۳ میلیمتر و میانگین دمای هوای ثبت شده آن ۲۲/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. شهرستان داراب از نظر ژئومورفولوژی جزء زاگرس جنوب شرقی محسوب می‌شود که در این منطقه، زاگرس به حداکثر پهنای خود رسیده و چهره ظاهری ناهمواری‌ها با سایر بخش‌های زاگرس متفاوت است (علائی طالقانی، ۱۳۸۲: ۱۶۰). میانگین ارتفاع شهرستان داراب حدود ۱۴۹۱ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. شهرستان مذکور از لحاظ وضعیت پوشش گیاهی بسیار غنی و دارای انواع مختلف گیاهان خودرو می‌باشد و تنها در برخی از قسمت‌ها که از خاک‌های شور تشکیل شده گیاهان شوری پسند مانند رشد و نمو دارد (سلیمانی شیری، ۱۳۹۱: ۵۲).

¹ - Zhang



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی شهرستان داراب در کشور و استان فارس

داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه ابتدا مدل رقومی ارتفاع (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در طی ماه‌های مختلف برای محدوده مورد مطالعه، که شامل باندهای چندطیفی سنجنده الکترواپتیکی (OLI)^۱ و باندهای حرارتی سنجنده TIRS (سنجنده فروسرخ حرارتی) می‌باشند (جدول ۱)، از تارنمای سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)^۳ دریافت شد و سپس بوسیله مدل توازن انرژی سطحی سبال (SEBAL)^۴ که توسط آلن و همکاران ارائه شده است (آلن و همکاران: ۲۰۰۲). نقشه‌های تابش خالص رسیده به سطح زمین شهرستان داراب، در بازه زمانی یک ساله و به فاصله زمانی هر ماه یک نقشه (از شهریورماه سال ۱۳۹۸ تا مردادماه سال ۱۳۹۹) تهیه شد. جهت انجام تصحیحات و پردازش‌های مورد نیاز بر روی تصاویر دریافت شده جهت اجرای مدل سبال و استخراج

¹ - Operational Land Imager (OLI)

² - Thermal Infrared Sensor (TIRS)

³ - The United States Geological Survey (USGS)

⁴ - The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

تابش خالص دریافتی ماهانه محدوده مورد مطالعه از نرم افزار ENVI 5.3.1 و همچنین نرم افزار Arc/Gis ۱۰٫۷ استفاده شد.

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

شماره	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	شماره فریم (ردیف - گذر)
۱	۲۰۱۹/۰۸/۲۷	۱۳۹۸/۰۶/۰۵	۱۶۱ - ۴۰
۲	۲۰۱۹/۱۰/۱۴	۱۳۹۸/۰۷/۲۲	۱۶۱ - ۴۰
۳	۲۰۱۹/۱۱/۱۵	۱۳۹۸/۰۸/۲۴	۱۶۱ - ۴۰
۴	۲۰۱۹/۱۲/۰۱	۱۳۹۸/۰۹/۱۰	۱۶۱ - ۴۰
۵	۲۰۲۰/۰۱/۱۸	۱۳۹۸/۱۰/۲۸	۱۶۱ - ۴۰
۶	۲۰۲۰/۰۲/۱۹	۱۳۹۸/۱۱/۳۰	۱۶۱ - ۴۰
۷	۲۰۲۰/۰۳/۰۶	۱۳۹۸/۱۲/۱۶	۱۶۱ - ۴۰
۸	۲۰۲۰/۰۴/۲۳	۱۳۹۸/۰۲/۰۴	۱۶۱ - ۴۰
۹	۲۰۲۰/۰۵/۰۹	۱۳۹۹/۰۲/۲۰	۱۶۱ - ۴۰
۱۰	۲۰۲۰/۰۶/۱۰	۱۳۹۹/۰۳/۲۱	۱۶۱ - ۴۰
۱۱	۲۰۲۰/۰۶/۲۶	۱۳۹۹/۰۴/۰۶	۱۶۱ - ۴۰
۱۲	۲۰۲۰/۰۸/۱۳	۱۳۹۹/۰۵/۲۳	۱۶۱ - ۴۰

برآورد تابش خالص دریافتی

در مطالعه حاضر در ابتدا ضمن انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز بر روی تصاویر از قبیل تصحیحات رادیومتریکی، اتمسفری و هندسی از الگوریتم سبال جهت برآورد تابش خالص دریافتی محدوده مورد مطالعه به تفکیک هر ماه استفاده شد. از طریق الگوریتم سبال می‌توان میزان دمای سطح زمین، میزان انرژی رسیده به سطح زمین، میزان تبخیر - تعرق مناطق مختلف سطح زمین و... را محاسبه نمود. در الگوریتم سبال از باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی حاصله از تصاویر ماهواره‌ای جهت برآورد پارامترهای تابش خالص، شار حرارتی خاک، میزان شار گرمای محسوس خاک‌ها و همچنین شار گرمای نهان تبخیر استفاده می‌شود. در ادامه

¹ - Net Radiation

به شرح مختصری از مدل سبال (روابط ۱ تا ۲۱) جهت محاسبه تابش خالص دریافتی پرداخته می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

جهت محاسبه میزان انرژی خالص رسیده به واحد سطح بر حسب وات بر متر مربع، مطابق با الگوریتم سبال از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

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

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

نحوه محاسبه رادیانس طیفی (L_λ)

رادیانس طیفی انرژی تابشی در سطوح بالای جو است که توسط سنجنده ثبت شده است. جهت محاسبه رادیانس طیفی برای هر باند از تصویر از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

(۲)

$$L_\lambda = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \times (DN - QCALMAX) + LMIN$$

که در رابطه (۲) مقدار ارزش عددی هر پیکسل تصویر، LMAX و LMIN ضرایب ثابت کالیبراسیون سنجنده می‌باشند. QCALMAX و QCALMIN به ترتیب بزرگترین و کوچکترین مقدار عددی است که برای باند ۱۰ سنجنده OLI برابر با ۶۵۵۳۵ و ۱ می‌باشد.

نحوه محاسبه بازتابندگی نمیکره‌ای (ρ_λ)

¹ - Allen

² - Digital Number (DN)

³ - calibration constants

⁴ - Reflectivity

نسبت شار طیفی بازتاب یافته به شار طیفی فرودی بازتابندگی سطحی نامیده می‌شود که از طریق رابطه (۳) میزان آن برای هر باند قابل محاسبه است:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta d_R} \quad (3)$$

که در رابطه فوق θ زاویه فرودی خورشید می‌باشد و به صورت $\theta = 90 - \beta$ محاسبه می‌شود که β میزان ارتفاع خورشید است که از فایل اطلاعات تصویر قابل استخراج است. d_r معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید است که توسط رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$d_r = 1 + 0.033 \left(DOY \frac{2\pi}{365} \right) \quad (4)$$

که در رابطه فوق DOY چندمین روز از سال است که تصویربرداری در آن روز صورت پذیرفته است.

نحوه محاسبه آلبیدوی بالای اتمسفر (α_{toa})

جهت محاسبه آلبیدوی بالای جو از رابطه (۵) استفاده می‌شود:

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega_{\lambda} \times \rho_{\lambda}) \quad (5)$$

که در آن ρ_{λ} بازتابندگی نیمکره‌ای در باندهای مختلف می‌باشد که طریقه محاسبه آن در قسمت‌های قبل ارائه شد. ω_{λ} ضرایب وزن‌دار برای باندهای غیرحرارتی می‌باشد که توسط رابطه (۶) زیر قابل محاسبه است:

$$\omega_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum ESUN_{\lambda}} \quad (6)$$

نحوه محاسبه آلبیدوی سطحی (α)

میزان آلبیدوی سطح زمین از طریق رابطه (۷) قابل محاسبه است:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (7)$$

¹ - sequential day

² - surface albedo

در رابطه بالا α_{toa} آلبیدوی بالای اتمسفر یا جو زمین، $\alpha_{path_radiance}$ آلبیدوی ناشی از رادیانس مسیر و τ_{sw}^2 قابلیت عبور اتمسفری یا جوی می‌باشد. مقدار $\alpha_{path_radiance}$ در مدل سبال ۰/۰۳ پیشنهاد شده است. مقدار τ_{sw} با فرض صاف بودن آسمان و در نتیجه شرایط خشک توسط رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (۸)$$

که در رابطه فوق z میزان ارتفاع از سطح دریا به متر می‌باشد که در اینجا به جای مقدار z از لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) محدوده مورد مطالعه استفاده شد.

نحوه محاسبه تابش موج کوتاه فرودی ($R_s \downarrow$)

تابش موج کوتاه فرودی میزان شار تابش خورشیدی به صورت مستقیم و پراکنده است که به زمین می‌رسد و از رابطه (۹) قابل محاسبه می‌باشد:

$$R_s \downarrow = G_{sc} \times \cos \theta \times dr \times \tau_{sw} \quad (۹)$$

که در رابطه فوق G_{sc} ثابت خورشیدی و برابر با $1367W / m^2$ می‌باشد. سایر اجزای معادله فوق در قسمت-های قبل ارائه شده است.

نحوه محاسبه گسیلمندی سطحی (E)

نسبت انرژی گرمایی که توسط سطح تابش شده به نسبت انرژی گرمایی که توسط جسم سیاه و در همان دما تابش می‌شود، گسیلمندی سطحی نام دارد. در مدل سبال از دو نوع گسیلمندی سطحی استفاده می‌شود. گسیلمندی اول رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در باند حرارتی تصویر ماهواره‌ای در طول موج‌های ۱۰/۴ تا ۱۲/۴ میکرون می‌باشد و با علامت نشان ϵ_{NB} داده می‌شود. گسیلمندی دوم رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در محدوده طول موج‌های ۶ تا ۱۴ میکرون است که با علامت ϵ_0 نشان داده می‌شود. جهت محاسبه دمای سطحی (T_s) از ϵ_{NB} استفاده می‌شود. جهت محاسبه هر یک از گسیلمندی‌های سطحی از روابط تجربی (۱۰) و (۱۱) استفاده می‌شوند:

¹ - Surface emissivity

اگر میزان $NDVI > 0$ و میزان $LAI < 3$ باشد از رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) و چنانچه میزان $LAI \geq 3$ باشد ϵ_0 و ϵ_{NB} برابر با ۰/۹۸ می‌باشد:

$$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 \times LAI \quad (10)$$

$$\epsilon_0 = 0.95 + 0.01 \times LAI \quad (11)$$

که در آب و برف برای ϵ_{NB} و ϵ_0 از فیلتر استفاده می‌شود. به طوری که رابطه (۱۲) برای آب و رابطه (۱۳) برای برف می‌باشد:

$$NDVI < 0, \alpha < 0.47 \rightarrow \epsilon_{NB} = 0.99, \epsilon_0 = 0.985 \quad (12)$$

$$NDVI < 0, \alpha \geq 0.47 \rightarrow \epsilon_{NB} = 0.99, \epsilon_0 = 0.985 \quad (13)$$

در روابط فوق $NDVI$ شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و LAI شاخص سطح برگ و α آلبیدوی سطحی می‌باشد که در قسمت‌های قبل روش محاسبه آلبیدوی سطحی ارائه شد. جهت محاسبه شاخص $NDVI$ از رابطه (۱۴) استفاده می‌شود (کاستا^۲ و همکاران، ۲۰۲۰: ۲):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (14)$$

که در آن NIR و RED به ترتیب بازتابندگی طیفی اندازه‌گیری شده در بخش مادون قرمز نزدیک و قرمز طیف الکترومغناطیس می‌باشد (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۵۸). مقادیر این شاخص در محدوده ۱- تا ۱+ در نوسان است (لی^۳ و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۵۸) که در آن مقادیر مثبت نشان دهنده پوشش گیاهی متراکم و مقادیر صفر و نزدیک به آن نشان دهنده مناطق بدون پوشش گیاهی و زمین‌های بایر و مقادیر عددی منفی و نزدیک به ۱- مربوط به آب می‌باشد. شاخص سطح برگ نسبت سطح کل برگ‌های یک گیاه به سطح زمین پوشیده شده توسط همان گیاه می‌باشد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۲۴). جهت محاسبه شاخص سطح برگ از رابطه (۱۵)

¹ - Leaf Area Index (LAI)

² - Costa

³ - Li

استفاده می‌شود (تنگ، ۲۰۱۴: ۱۳۴). مقادیر این شاخص بین حداقل ۰ تا حداکثر ۶ متغیر می‌باشد (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۲).

$$LAI = -\frac{\ln\left(\frac{0.69 - SAVI_{ID}}{0.59}\right)}{0.91} \quad (15)$$

جهت محاسبه شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک (SAVI) به عنوان یکی از اجزای معادله فوق از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود (هلمن و موسری، ۲۰۲۰: ۶):

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - R)}{NIR + R + L} \quad (16)$$

L: فاکتور تعدیل کننده اثر خاک می‌باشد که مقدار آن برای مناطق با پوشش گیاهی تنک ۱ و برای مناطق با پوشش متوسط برابر با ۰/۵ و برای مناطق که دارای پوشش انبوه یا مقدار ۰ و یا ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۵۶).

نحوه رادیانس حرارتی تصحیح شده (R_c)

رادیانس حرارتی تصحیح شده، میزان رادیانس واقعی گسیل شده از سطح می‌باشد که برای اثرات جوی تصحیح شده است که از رابطه (۱۷) بدست می‌آید:

$$R_c = \frac{L_6 - R_p}{\tau_{NB}} - (1 - \varepsilon_{NB})R_{sky} \quad (17)$$

در رابطه (۱۷) L_6 رادیانس باند حرارتی، R_p رادیانس مسیر در باند حرارتی، R_{sky} وضعیت تابش آسمان صاف در باند حرارتی τ_{NB} قابلیت عبور جوی در باند حرارتی می‌باشد. جهت محاسبه R_{sky} از رابطه (۱۸) استفاده می‌گردد:

$$R_{sky} = (1.807 \times 10^{-10}) T_a^4 \left[1 - 0.26 \exp\left(-7.77 \times 10^{-4} [273.15 - T_a]^2\right) \right] \quad (18)$$

¹ - Tang

² - Soil adjusted vegetation index

³ - Helman & Mussery

که در رابطه (۱۸) دمای هوای نزدیک سطح بر حسب کلوین، مقادیر T_a و R_P مطابق با راهنمای سبال به ترتیب برابر با ۱ و صفر قرار داده شده است.

نحوه دمای سطحی (T_s)

با اعمال رابطه (۱۹) دمای سطح زمین به درجه کلوین بدست می‌آید:

$$T_s = \frac{K_2}{Ln \left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{R_c} + 1 \right)} \quad (19)$$

در رابطه (۱۹) R_c رادیانس باند حرارتی تصحیح شده، ε_{NB} گسیل‌مندی سطحی باند حرارتی، K_1 و K_2 ضریب ثابت کالیبراسون هستند که مقدار آنها برای سنجنده OLI به ترتیب برابر با ۷۷۴/۸۸۵۳ و ۱۳۲۱/۰۷۸۹ می‌باشد. چنانچه مقدار ۲۷۳/۱۵ از نتیجه بدست آمده از رابطه (۱۹) کم شود دمای سطح زمین بر حسب درجه سلسیوس به دست خواهد آمد.

نحوه محاسبه تابش موج بلند خروجی ($RL \uparrow$)

برای محاسبه میزان تابش موج بلند خروجی از معاله استفان - بولتزمان بر اساس رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$RL \uparrow = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^2 \quad (20)$$

که در رابطه فوق ε_0 : میزان گسیل‌مندی سطحی باند حرارتی، σ : ثابت استفان - بولتزمان و برابر با $5.67 \times 10^{-8} W / m^2$ ، T_s^4 : دمای سطح زمین بر اساس درجه کلوین می‌باشد. میزان $RL \uparrow$ با توجه به ناحیه مورد نظر و همچنین زمان تصویربرداری بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع متفاوت می‌باشد.

نحوه تابش موج بلند فرودی ($RL \downarrow$)

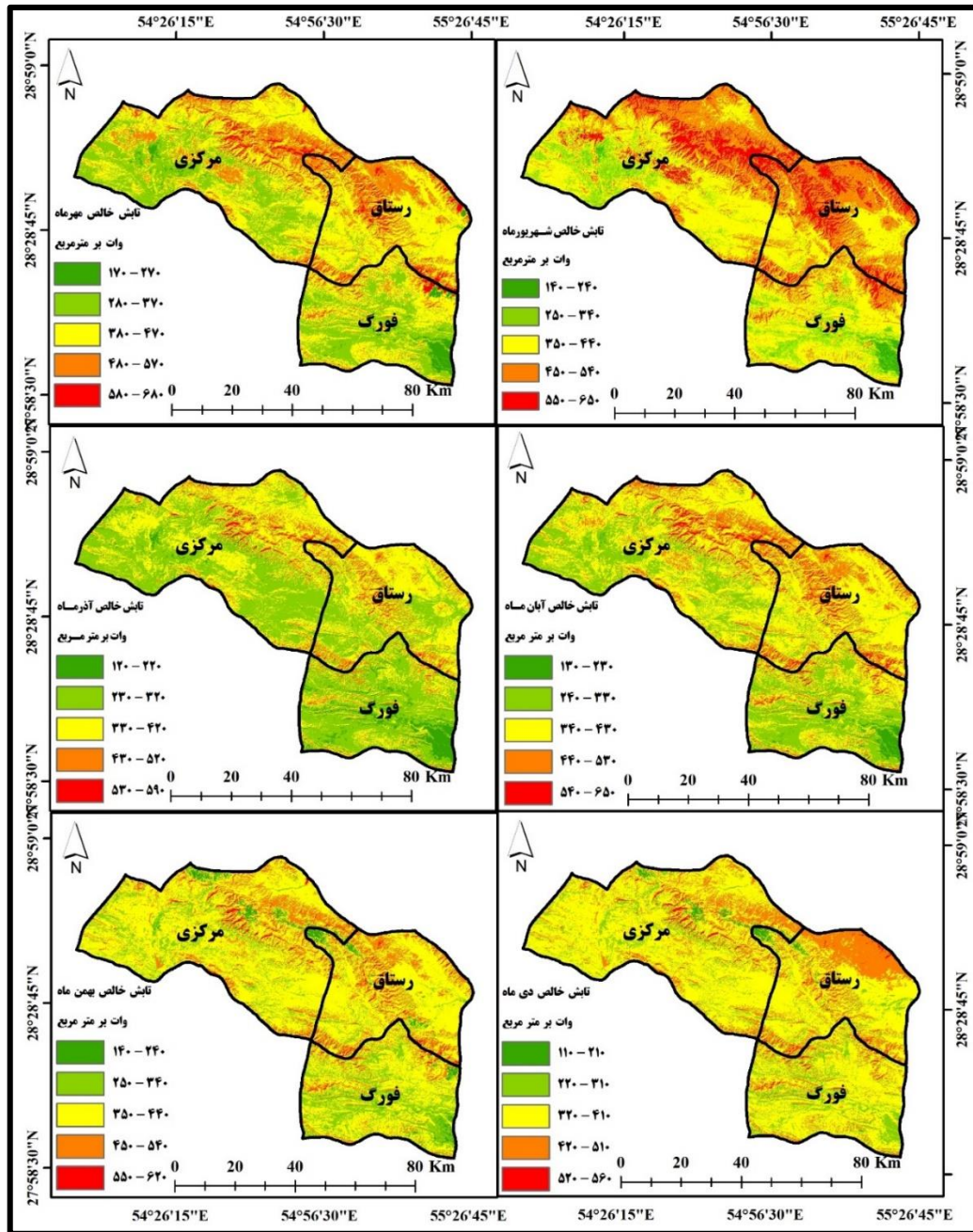
تابش موج بلند فرودی یا ورودی به معنی شار تابش حرارتی از فراز جو به سمت زمین بر حسب وات بر متر مربع می‌باشد. تابش باند فرودی نیز بر اساس معادله استفان - بولتزمان محاسبه می‌شود (رابطه ۲۱):

$$RL \downarrow = \varepsilon_a \times \sigma \times T_s^2 \quad (21)$$

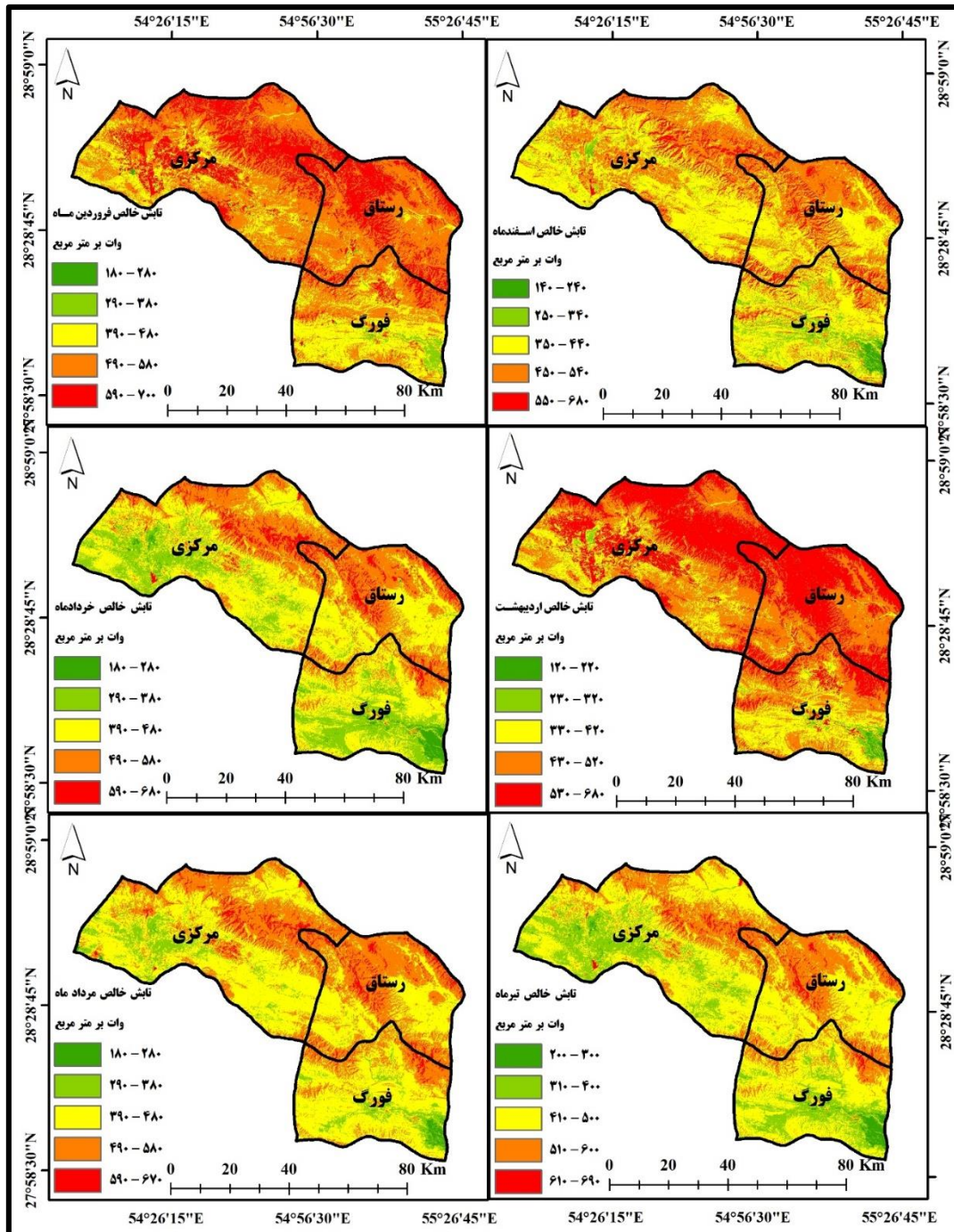
در رابطه بالا $RL \downarrow$: طول موج بلند فرودی بر حسب وات بر متر مربع می‌باشد که مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ مترمربع متغیر است. نحوه محاسبه سایر اجزای معادله فوق در قسمت‌های قبل ارائه شده است.

نتایج

بعد از اینکه روابط و الگوریتم‌های مدل سبال بر روی هریک از تصاویر ماه‌های مختلف سال اعمال شد، نقشه‌های مربوط به تابش خالص دریافتی شهرستان داراب به صورت شکل (۲) به تفکیک هر ماه تهیه شد. همچنین نیز جدول (۲) و نمودار (۱) میانگین مقدار انرژی تابشی خالص دریافتی برای کل شهرستان داراب و هریک از ماه‌های سال شهرستان را نشان می‌دهد.



شکل (۲): تابش خالص دریافتی شهرستان داراب در طی ماه‌های شهریور تا بهمن



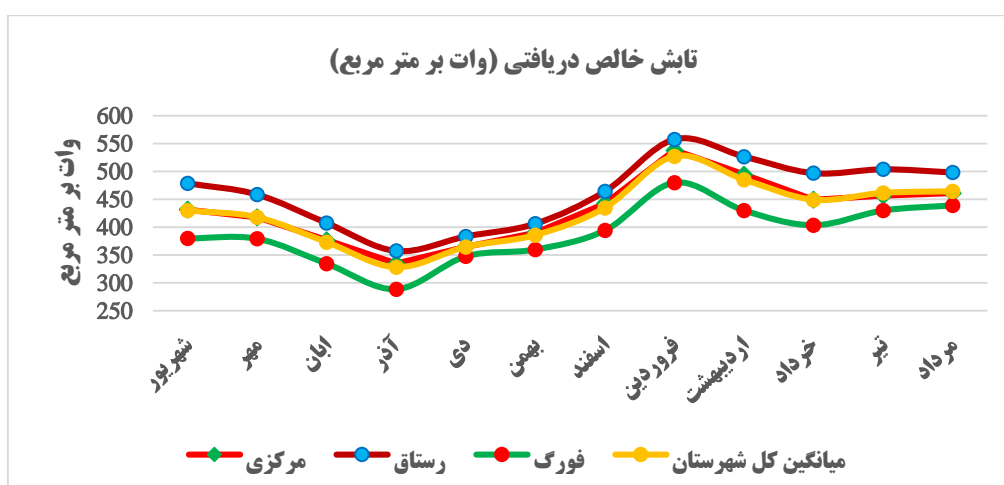
ادامه شکل (۲): تابش خالص دریافتی شهرستان داراب در طی ماه‌های شهریور تا بهمن

همانگونه که از شکل (۲)، جدول (۲) و نمودار (۱) نمایان است بیشترین میزان تابش خالص دریافتی شهرستان در طی فروردین ماه صورت می‌گیرد. به طوری که در این ماه میانگین تابش در کل شهرستان برابر با ۵۲۷/۱۳

وات بر مترمربع می‌باشد، که تقریباً در تمامی نواحی و بخش‌های مختلف شهرستان پراکنده شده است و به جزء قسمت‌های محدودی از شهرستان که در قسمت‌های جنوب شرقی قرار دارند، سایر نواحی دارای میزان تابشی در حدود ۵۹۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع می‌باشند. مطابق با بررسی‌های صورت گرفته در فروردین ماه، بخش رستاق به صورت میانگین با ۵۵۷/۴۳ وات بر مترمربع، بیشترین میزان تابش خالص را دریافت نموده است و پس از آن بخش‌های مرکزی و فورگ به ترتیب با میزان ۵۳۸/۰۳ و ۴۷۹/۶۱ وات بر مترمربع در مراتب بعدی قرار دارند. از سوی دیگر کمترین میزان انرژی دریافتی در کل محدوده مورد بررسی در آذرماه صورت گرفته است و مطابق با نقشه تابشی تولید شده برای این ماه، تابش در تمامی نواحی محدوده مورد مطالعه پراکنده شده است. میانگین تابش خالص دریافتی کل شهرستان در آذرماه ۳۲۷/۹۹ وات بر مترمربع می‌باشد. در این ماه بخش رستاق به صورت میانگین با ۳۵۷/۴۰ وات بر مترمربع انرژی، بیشترین میزان تابش دریافتی را داشته است و پس از آن بخش‌های مرکزی و فورگ به ترتیب با میزان ۳۳۴/۶۵ و ۲۸۸/۸۷ وات بر مترمربع در مراتب بعدی قرار دارند.

جدول (۲): مقادیر تابش خالص دریافتی به تفکیک هر ماه برای کل شهرستان داراب و بخش‌های آن

نام بخش	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد
فورگ	۳۷۹/۸۳	۴۱۷/۷۸	۳۷۶/۶۱	۳۳۴/۶۵	۳۶۴/۸۶	۳۹۰/۰۴	۴۴۲/۳۶	۵۳۸/۰۳	۴۹۴/۳۵	۴۴۹/۲۰	۴۵۶/۸۰	۴۶۰/۹۰
رستاق	۴۷۸/۷۱	۴۵۸/۴۸	۴۰۷/۴۷	۳۵۷/۴۰	۳۸۳/۴۳	۴۰۶/۳۱	۴۶۴/۱۶	۵۵۷/۴۳	۵۲۶/۵۵	۴۹۶/۷۶	۵۰۳/۷۳	۴۹۸/۱۳
مرکزی	۴۳۱/۴۱	۳۷۹/۱۲	۳۳۴/۵۹	۲۸۸/۸۷	۳۴۷/۵۶	۳۵۹/۸۶	۳۹۴/۰۳	۴۷۹/۶۱	۴۲۹/۷۲	۴۰۳/۳۳	۴۲۹/۶۹	۴۳۸/۹۴
کل شهرستان	۴۲۹/۶۹	۴۷۱/۶۱	۳۷۲/۹۵	۳۲۷/۹۹	۳۶۴/۴۶	۳۸۵/۶۵	۴۳۴/۶۶	۵۲۷/۱۳	۴۸۵/۱۷	۴۴۹/۰۲	۴۶۱/۳۱	۴۶۴/۱۷



نمودار (۱): وضعیت تابش خالص دریافتی بخش‌های مختلف شهرستان داراب به تفکیک ماه

نتیجه‌گیری

تابش خورشیدی و انرژی دریافتی حاصل از آن منبع اصلی فعل و انفعالات کره زمین می‌باشد که در صورت استفاده مناسب از آن می‌تواند جایگزین بسیار مطلوبی برای سایر منابع تولید انرژی از جمله نفت و گاز باشد. بحران‌های ایجاد شده در بسیاری از کشورهای جهان جهت تولید انرژی در طی سال‌های اخیر موجب شده که امروزه بیش از پیش به این نوع انرژی توجه شود. از جمله راه‌های بهره‌برداری بهینه از این انرژی در مرحله اول شناسایی و اندازه‌گیری میزان دریافت آن در مناطق مختلف می‌باشد. از جمله راه‌های اندازه‌گیری این نوع انرژی استفاده از دستگاه‌های تابش‌سنج می‌باشد که استفاده از آن دارای محدودیت‌های مختلفی از جمله محدودیت اقتصادی و هزینه زیاد می‌باشد و از سوی دیگر تابش اندازه‌گیری شده فقط میزان انرژی دریافتی یک مکان مشخص را نشان می‌دهد و میزان انرژی پهنه‌های وسیع را نمایان نمی‌سازد. برای رفع این مشکلات استفاده از فناوری سنسجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای به عنوان راه حلی مناسب و بهینه محسوب می‌شود. در این مطالعه نیز جهت برآورد تابش خالص دریافتی شهرستان داراب در طول یک سال (از شهریور ماه ۱۳۹۸ تا مردادماه ۱۳۹۹) از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم توازن انرژی (سبال) استفاده شد و به این ترتیب انرژی خالص دریافتی برای ماه‌های مختلف سال برآورد گردید. یافته‌های تحقیق حاکی از این است که بیشینه میزان تابش خالص دریافتی شهرستان در فروردین ماه صورت می‌گیرد. در این ماه میانگین تابش در کل محدوده مورد بررسی برابر با $527/13$ وات بر مترمربع می‌باشد، که تقریباً در تمامی نواحی و بخش‌های مختلف شهرستان پراکنده شده است و به جزء قسمت‌های محدودی از شهرستان که در قسمت‌های جنوب شرقی قرار دارند، دیگر نواحی دارای میزان انرژی در حدود 590 تا 700 وات بر مترمربع می‌باشند. مطابق با بررسی‌های صورت گرفته در فروردین ماه، بخش رستاق به صورت میانگین با $557/43$ وات بر مترمربع انرژی، بیشترین میزان تابش را دریافت می‌نماید و پس از آن بخش‌های مرکزی و فورگ به ترتیب با میزان $538/03$ و $479/61$ وات بر مترمربع در مراتب بعدی قرار دارند. از طرف دیگر کمینه میزان تابش خالص دریافتی در کل محدوده مورد بررسی در آذرماه صورت می‌گیرد. مطابق با نقشه تهیه شده برای این ماه، توزیع تابش خالص دریافتی به صورت یکسان نبوده و در تمامی نواحی محدوده مورد مطالعه پراکنده شده است. میانگین تابش خالص دریافتی کل شهرستان در این ماه $327/99$ وات بر مترمربع می‌باشد. در ماه آذر، بخش رستاق به صورت میانگین با $357/40$ وات بر مترمربع انرژی، بیشترین میزان تابش خالص دریافتی را داشته است و پس از آن بخش‌های مرکزی و فورگ به ترتیب با دریافت میزان $334/65$ و $288/87$ وات بر مترمربع انرژی در مراتب بعدی قرار دارند. بنابراین یافته‌های بدست آمده حاکی از این است که شهرستان داراب به لحاظ دریافت تابش خالص دریافتی در سطح

مناسبتی قرار دارد. با توجه به یافته‌ها و نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت که استفاده از فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای ابزاری با قابلیت بالا جهت برآورد میزان تابش خالص دریافتی مناطق مختلف محسوب می‌شود.

منابع

۱. 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* مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۳، صص ۶۳ - ۳۹.
۲. زندی، رحمان، صفایی، محمدجواد، خسرویان، مریم (۱۳۹۸). پتانسیل سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی مطالعه موردی: شهرستان سبزوار، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۵۷، صص ۹۳ - ۶۹.
۳. سلطانی، سعید، مرید، سعید (۱۳۸۴) مقایسه برآورد تابش خورشید با استفاده از روش هارگریوز - سامانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله دانش کشاورزی، سال ۱۵، شماره ۱، صص ۷۷ - ۶۹.
۴. سلیمانی‌شیری، محمدرضا (۱۳۹۱). مکان‌یابی اراضی مستعد جهت اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار و سطحی با استفاده از *GIS* (مطالعه موردی: دشت داراب). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۵. سیدیان، سیدمرتضی، فراستی، معصومه، روحانی، حامد، حشمت‌پور، علی (۱۳۹۶). تخمین تابش خورشیدی با استفاده از پارامترهای هواشناسی، مجله تحقیقات آب ایران، سال ۱۳، شماره ۱، صص ۱۰۰ - ۸۸.
۶. صفاری‌پور، محمدحسین، مهربان، مظفرعلی (۱۳۸۸). پیش‌بینی مقدار کل انرژی تابش خورشیدی در کرمان با استفاده از مشخصات هندسی، نجومی، جغرافیایی و هواشناسی، مجله علمی پژوهشی شریف، شماره ۵۱، صص ۱۳ - ۳.
۷. صفایی‌بتول، خلجی‌اسدی، مرتضی، تقی‌زاده، حبیب (۱۳۸۴). برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن، مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۳۳، صفحات ۳۴ - ۲۷.

۸. عساکره، عباس، غدیریان فر، محسن، شیخ داوی، محمدجواد (۱۳۹۵). امکان سنجی تولید برق از پنل خورشیدی پشت بام در مناطق روستایی استان خوزستان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال چهاردهم، شماره ۴۳، ۱۳۲ - ۱۱۳.
۹. عیسی زاده، وحید، آسیایی، شکوفه، عیسی زاده، اسماعیل (۱۳۹۹). بررسی پایش دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸ و الگوریتم های تک کاناله و پنجره مجزا (منطقه مورد مطالعه: شهرستان دزفول)، نشریه جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۳، شماره ۳.
۱۰. علائی طالقانی، محمود (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی ایران. انتشارات قومس.
۱۱. معینی، سام، جوادی، شهرام، کوکبی، محسن، دهقان منشادی، محسن (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره ۲، صص ۱۰ - ۱.
۱۲. یزدان پناه، حجت الله، میرمجبیبیان، راضیه، برقی، حمید (۱۳۸۹). برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۷، صص ۱۰۴ - ۹۵.

13. Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., & Bastiaanssen, W. (2002). *Sebal (surface energy balance algorithms for land). Advance Training and Users Manual-Idaho Implementation, version, 1, 97.*
14. Almorox, J., & Hontoria, C. (2004). *Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Energy Conversion and Management, 45(9-10), 1529-1535.*
15. Bashir, S., Shaikh, F., & Kumar, L. (2019). *ESTIMATION OF THE ROOFTOP SOLAR PHOTOVOLTAIC POTENTIAL FOR ENGINEERING UNIVERSITY IN PAKISTAN. International Journal of Renewable Energy Resources, 9(1), 1-5.*
16. Batlles, F., Bosch, J., Tovar-Pescador, J., Martinez-Durban, M., Ortega, R., & Miralles, I. (2008). *Determination of atmospheric parameters to estimate global radiation in areas of complex topography: Generation of global irradiation map. Energy Conversion and Management, 49(2), 336-345.*
17. Belcher, B. N., & DeGaetano, A. T. (2007). *A revised empirical model to estimate solar radiation using automated surface weather observations. Solar Energy, 81(3), 329-345.*
18. Dincer, I. (2000). *Renewable energy and sustainable development: a crucial review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4(2), 157-175.*
19. Holstein, B. (2015). *Analyzing photovoltaic potential using a geographic information system: a case study of Prince William County public schools.*

20. Hottel, H., & Whillier, A. (1955). *Evaluation of flat-plate solar collector performance. Paper presented at the Trans. Conf. Use of Solar Energy*;().
21. Keese, W., Pernell, R., Rosenfeld, A., James, D., & Geesman, J. (2003). *Buying a Photovoltaic Solar Electric System: A Consumer Guide. California Energy Commission, 22.*
22. Mishra, T., Rabha, A., Kumar, U., Arunachalam, K., & Sridhar, V. (2020). *Assessment of solar power potential in a hill state of India using remote sensing and Geographic Information System. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 19, 100370.*
23. Vine, E. (2008). *Breaking down the silos: the integration of energy efficiency, renewable energy, demand response and climate change. Energy efficiency, 1(1), 49-63.*
24. Zhang, Y., Ren, J., Pu, Y., & Wang, P. (2020). *Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. Renewable Energy, 149, 577-586.*