

## امکان سنجی بکارگیری پنل های خورشیدی جهت تامین انرژی شهرستان فردیس با

### استفاده از تصاویر حرارتی و سیستم اطلاعات جغرافیایی

بتول زینالی<sup>۱</sup>، مریم محمدزاده شیشه‌گران<sup>۲\*</sup>

۱-استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیل، ایران

۲-دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیل، ایران zeynali.b@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

#### چکیده:

خورشید به عنوان منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ 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، تاثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، در سال‌های اخیر بوده است. جهت انجام این پژوهش، از تصاویر مربوط به سال ۲۰۲۰ ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI و سنجنده TIRS و الگوریتم سبال استفاده شد. از نرم‌افزار ENVI جهت تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای و همچنین 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. نتایج حاصل نشان می‌دهد که میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۰۱ وات بر مترمربع در سال ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و کمترین مقدار در سال ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۳۸۱ وات بر مترمربع 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. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در منطقه، در سال مورد بررسی پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد.

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

**مقدمه:**

خورشید یک رآکتور هسته‌ای بسیار عظیم است. ماده در آن بر اثر هم‌جوشی هسته‌ای به انرژی تبدیل می‌شود (حالت پلازما) و هر روز حدود ۳۵۰ میلیارد تن و در هر ثانیه  $\frac{4}{2}$  میلیون تن از جرم خورشید به تابش تبدیل می‌گردد. واکنش‌ها در بسیاری از موارد فوق‌العاده شدید بوده و با انفجار خورشیدی همراه می‌باشند. (مصلحی فرد و شیرین‌پور، ۱۳۶۷: ۶۷). این انرژی به صورت امواج الکترومغناطیس با طول موجی بین  $\frac{0}{2}$  تا ۴ میکرون تابش می‌شود (هر میکرون یک هزارم میلی‌متر است)؛ در نتیجه امواج ساطع شده از خورشید با دمای ۶۰۰۰ درجه کلوین نواحی فرابنفش، مرئی و فروسرخ طیف الکترومغناطیس را شامل می‌شوند که بیش‌ترین انرژی خورشیدی توسط طول موج  $\frac{0}{5}$  میکرون تابش می‌شود. انرژی تشعشعی در مرکز خورشید که حرارت آن بین ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سانتی‌گراد می‌باشد تولید شده و از سطح خورشید که حرارت آن تقریباً معادل ۵۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است با سرعت نور یعنی ۳۰۰ هزار کیلومتر در ثانیه فضا را می‌پیماید و پخش می‌شود. زمین که در فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتر از خورشید قرار گرفته است فقط یک جزء از ۲۰۰۰ میلیون جزء انرژی خورشیدی را دریافت می‌کند و همین سهم بسیار کوچک، منبع تأمین انرژی تمام تحولات جوی و حیاتی و گرداننده چرخه‌های زندگی در روی کره زمین می‌باشد (حاج سقپی، ۱۳۹۰: ۱۰). سطح زمین با دمای متوسط ۱۵ درجه سانتی‌گراد در ناحیه فروسرخ در طول موج‌های ۴ تا ۱۰۰ میکرون تابش می‌کند که در آن بیش‌ترین انرژی با طول موج ۱۰ میکرون تابش می‌شود. برای مقایسه طول موج‌های تابش شده از خورشید و زمین غالباً از عبارات موج کوتاه برای تابش خورشیدی و موج بلند برای تابش زمین استفاده می‌شود. زمین نیز به نوبه خود امواج الکترومغناطیسی تابش می‌کند. برای یک جو استاندارد و در ناحیه ورد سپهر، این امواج از نوع موج بلند می‌باشند. مجموعه تابش‌های زمین و جو را تابش‌های زمینی می‌نامند. عوامل مؤثر بر میزان تابش‌های خورشیدی دریافتی در سطح زمین انرژی خروجی از خورشید: این انرژی خصوصاً در ناحیه فرابنفش بسیار متغیر است به طوری که در هنگام بیهوشی، لکه‌های خورشیدی افزایش می‌یابد.

**داده‌های تابش خورشیدی ماهواره‌ای**

در گذشته به منظور انجام تحقیقات و مطالعات پدیده‌های سطحی زمین و جو مجبور به جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات به طور محلی بودند که به علت گستردگی و نیز تغییرات سریع برخی پارامترها به دلیل طبیعت دینامیکی آن‌ها و دیگر مشکلات، کاری هزینه‌بر و زمان‌بر بود. از این‌رو بشر همواره سعی در جایگزینی روش‌های سهل‌تر و سریع‌تر داشته است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مختلف برای استخراج اطلاعات مورد نیاز از جمله این اهداف به شمار می‌رود (سیدان، ۱۳۸۲). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مطالعات را در سطح وسیع فراهم کرده و سبب کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از اتلاف زمان می‌گردد (علوی پناه، ۱۳۸۲). همچنین از اثرات سوء طرح‌ها بر محیط‌زیست

کاسته و راه را جهت رسیدن به توسعه پایدار زیست‌محیطی و کشاورزی پویا هموار می‌نماید (کریمیان و افخمی، ۱۳۸۵). فن استفاده از هوا و فضا برای جمع‌آوری اطلاعات زمینی و مطالعه و شناسایی این منابع بدون تماس

فیزیکی با آن‌ها، امروزه به عنوان فن‌آوری سنجش از دور به صورت گسترده مورد استفاده کشورهای مختلف قرار گرفته و در زمان‌های کوتاه، حجم قابل ملاحظه‌ای از اطلاعات زمینی جمع‌آوری گردیده است که این اطلاعات اساس برنامه‌ریزی‌های مختلف را تشکیل می‌دهد (زبیری و مجد، ۱۳۸۲). با جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای امکان بازنگری و به‌هنگام سازی منظم و پیوسته اطلاعات جغرافیایی فراهم شده و نیاز کمتری به عملیات نقشه‌برداری و کنترل زمینی وجود دارد بنابراین هزینه جمع‌آوری داده‌ها در واحد سطح به شدت کاهش می‌یابد (علی‌محمدی، ۱۳۷۸). داده‌های تابش خورشیدی ماهواره‌ای به علت پوشش زمانی و مکانی بیشتر، دقت بالاتری در مقایسه با اندازه‌گیری زمینی دارند و این داده‌ها به طور مؤثر در کاربردهای انرژی خورشیدی در مناطقی که داده‌های تابش زمینی قابل دسترس نیستند، استفاده می‌شوند (Janjai et al, 2005). به طور کلی، مدل‌های سنجش از دور برای تعیین اثرات کاهش کاهندگی اتمسفر و تابش رسیده به زمین را می‌توان به دو گروه آماری و فیزیکی تقسیم نمود. در مدل فیزیکی، معادله انتقال تابش خورشید از سطح بالای جو تا زمین که تحت تأثیر مولکول‌ها و ذرات و بخار آب قرار می‌گیرند، شبیه‌سازی می‌شوند (Cano et al) معادلات بدست آمده پیچیده و به پارامترهای زیادی نیاز دارد و این پارامترها بستگی به موقعیت جغرافیایی، ضخامت اتمسفر و موقعیت روز از سال دارد و برای تعیین آن‌ها نیاز به دستگاه اندازه‌گیری جوی رادیوسوند بوده و در ایران این دستگاه کم است (Cano Polo et al, 2006).



## پیشینه تحقیق و مبانی نظری

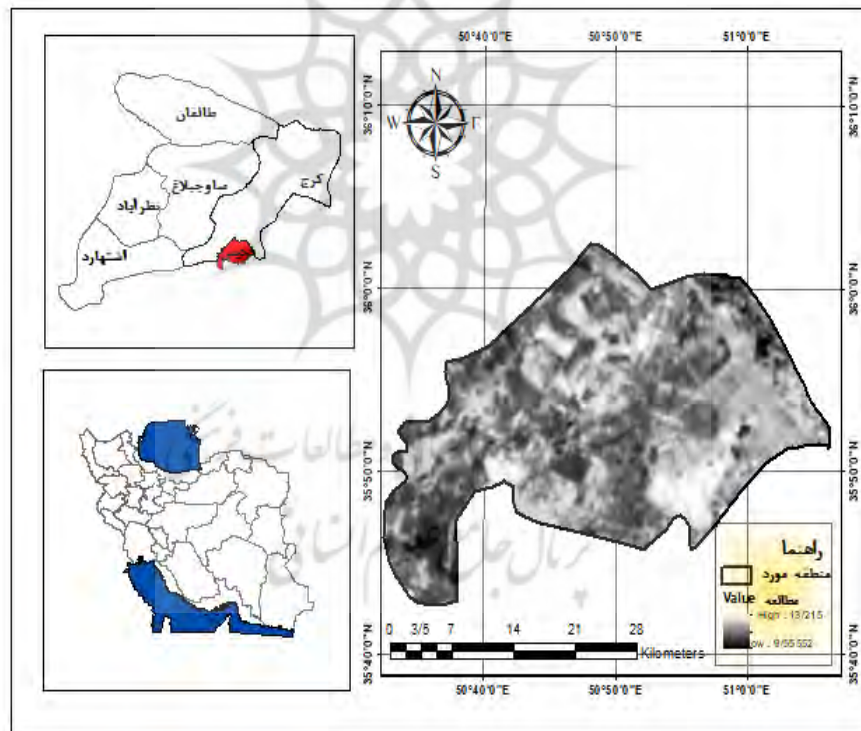
با توجه به اهمیت استفاده از انرژی تابشی خورشید مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام شده است. از جمله می توان به مطالعات زیر اشاره نمود. ملکی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان تغییرات دمای سطح شهرستان کرمانشاه در دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷ در این تحقیق از تصاویر لندست ۷ و روش تک کانال استفاده شد و نتایج نشان داد که بیشترین دما در مقدار ۴۵-۵۰ سانتی گراد را در بر گرفته است نتایج نشان داد که در سال ۹۷ محدوده دمای ۴۰ به شدت افزایش یافته است. موسوی بیگی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی مدل های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب ترین 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 مناسب ترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک معرفی نمودند. ترنکا و همکاران (۲۰۰۵) از روش سبال برای محاسبه تابش، دمای سطح و در نهایت تبخیر- تعرق در غرب ایالت 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. جانجیا و همکاران (۲۰۰۵) مدل فیزیکی را بر اساس رابطه بین آلدوی اتمسفر- زمین با استفاده از داده های ماهواره ای و ضرایب جذب و پراکندگی 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 را بر حسب تابش جذب شده بوسیله شرایط مختلف اتمسفر و تابش بازتابی به فضا محاسبه می شود. آلمب و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش سبال و به کارگیری 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 آلبدو و دمای سطحی پایین، پوشش گیاهی زیاد و تبخیر- تعرق بالایی دارند. هانگ 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 نقشه های تبخیر- تعرق هم به صورت ورودی با مقیاس کوچک و هم خروجی مقیاس کوچک معنی دار نیست.

## مواد و روش تحقیق

### محدوده مورد مطالعه شهرستان فردیس

منطقه کلان شهری تهران متشکل از ۲۳۱ سطح قلمروی و شامل استان های تهران و البرز با حوزه جمعیتی ۱۵۹۸۰۰۳۷ و ۱۹،۵۲۲ کیلومترمربع است که مطابق آمار جمعیتی سال ۱۳۹۵ استان البرز ۲،۷۱۲،۴۰۰ نفر جمعیت داشته است. همچنین براساس آمار جمعیتی، شهر کرج در سال ۱۳۳۵ دارای ۱۴،۵۲۶ نفر جمعیت بوده و در مدت ۶۰ سال اخیر، به بیش از ۱۰۰ برابر رسیده است (۱،۵۹۲،۴۹۲ نفر در سال ۱۳۹۵). افزایش جمعیت فعال و رشد بخش صنعت و خدمات شهری در فاصله دهه ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۵ و کاهش شاغلان در بخش کشاورزی، گسترش فعالیتهای

ساختمانی، گرانی مسکن و زمین در شهر تهران و همجواری آن با کرج و سوقیافتن جمعیت برای سکونت در شهر کرج، وجود منابع آب کافی، گسترش باغداری در کنار توسعه صنایع، قرارگیری شهر بر سر راه ارتباطی شهر تهران و دیگر شهرهای کشور، تفاوت‌های آب و هوایی و ملایمت هوای منطقه کرج نسبت به تهران و نیز هجوم جمعیت از تهران به کرج برای سکونت یا گذران تعطیلات آخر هفته و امثال آن سبب شد تا منطقه شهری کرج از توسعه و رشد فزاینده‌های برخوردار شود و در سالهای بعد این رشد به طور چشمگیری شدت یابد. کرج پس از تهران بزرگترین شهر مهاجرپذیر ایران است و به همین دلیل به آن لقب ایران کوچک داده شده است. بر پایه مطالعات طرح جامع و تفصیلی، این شهر دارای دوازده منطقه شهرداری است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شکل گیری استان البرز ۱۳۸۹ و به تبع آن ارتقای سطح تشکیلاتی فردیس ۱۳۹۲ نهایتاً موجب ارتقای سیاسی این محدوده به شهرستان و مرکزیت فردیس با جمعیتی حدود ۸۴۴،۱۱۷ نفر متشکل از شهرک های فردیس، وحدت، بخش مشکین دشت، حومه مشکین آباد و دهستان فرخ آباد شد. هم اکنون فردیس، جزو مناطق ۳ و ۱۰ شهرداری کرج است. فردیس خود از شهرک های بسیاری تشکیل شده است که از جمله آنها میتوان شهرک ناز، شهرک طالقانی در شمال و شهرک دهکده خانه در غرب را نام برد. مهمترین قسمت فردیس، خیابان اصلی آن است که مرکز تجاری بزرگی محسوب میشود. محدوده فردیس براساس آخرین سرشماری ۱۳۹۵ معادل ۲۵۶،۴۸۵ نفر جمعیت داشته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

### روش تحقیق

در این پژوهش برای بررسی و امکان سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در یک دوره، برای ماه های مربوط به سال ۲۰۲۰ استفاده گردید (جدول شماره ۱). از نرم افزار ENVI جهت تصحیحات

هندسی، اتمسفری و رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین 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 نرم‌افزار ENVI و ArcGIS انجام و مقدار تابش خالص در منطقه مورد مطالعه محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفت. لازم به توضیح است که تصاویر در دسترس ماه‌های سال برای محدوده مورد مطالعه کاملاً ابری بوده و با توجه به این که 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، امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در شهرستان البرز 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 صاف و بدون ابر باشد. در این پژوهش با استفاده از تابع تصحیح اتمسفری مربوط به ماهواره لندست 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.

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده

تصویر	تاریخ اخذ	ردیف	گذر
لندست ۸	۲۰۲۰/۰۴/۰۳	۳۵	۱۶۵
لندست ۸	۲۰۲۰/۰۵/۲۱	۳۵	۱۶۵
لندست ۸	۲۰۲۰/۰۶/۰۶	۳۵	۱۶۵
لندست ۸	۲۰۲۰/۰۸/۰۹	۳۵	۱۶۵
لندست ۸	۲۰۲۰/۰۹/۱۰	۳۵	۱۶۵
لندست ۸	۲۰۲۰/۱۰/۲۸	۳۵	۱۶۵

### 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 (Allen et al., 2002).

$$R_n = (1-\alpha) RS\downarrow + RL\downarrow - RL\uparrow \quad \text{رابطه ۱}$$

$$- (1-\varepsilon_0) RL\downarrow$$

در رابطه (۱)،  $R_n$  میزان تابش خالص انرژی خورشیدی،  $\alpha$  آلبدوی سطحی،  $\varepsilon$  گسیلمندی،  $RS\downarrow$  طول موج کوتاه فرودی،  $RL\downarrow$  طول موج بلند فرودی،  $RL\uparrow$  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 ( $\alpha$ ): نسبت انرژی رسیده به سطح به انرژی بازتابش شده را آلبدو گویند. جهت محاسبه آلبدو از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

رابطه ۲

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path\_radiance}}{\alpha_{toa}}$$

در رابطه (۲)، آلبدوی بالای اتمسفر، آلبدوی معادل تابش مسیر و ضریب شفافیت اتمسفری را نشان می‌دهد. برای محاسبه از رابطه (۳) و (۴) استفاده می‌شود (Allen et al., 2002):

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega\lambda \times \rho\lambda) \quad \text{رابطه ۳}$$

رابطه ۴

$$\alpha_{toa} = \frac{ESUN_\lambda}{\rho\lambda}$$

رابطه ۵

$$\alpha_{path\_radiance} \approx 0.03$$

رابطه ۶

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

در روابط فوق، میانگین تابش ورودی خورشید در هر باند، ضریب وزنی و  $Z$  ارتفاع محل برحسب متر را نشان می‌دهد.

انعکاس یک سطح نسبت شار تابشی منعکس شده به شار تابشی برخوردی با سطح است. برای محاسبه  $\rho\lambda$  (رادیانس به بازتاب) تصاویر ماهواره لندست از رابطه (۷) استفاده شده است.

رابطه ۷

$$\rho_\lambda = \frac{\pi * L_\lambda}{L_\lambda}$$

$\rho\lambda$  مقدار بازتاب برای هر باند،  $L_\lambda$  رادیانس طیفی برای هر باند بر حسب  $(W/m^2/sr/\mu m)$ ، میانگین تابش خروجی از اتمسفر برای هر باند بر حسب  $(W/m^2/sr/\mu m)$ ،  $\cos\theta$  زاویه فرودی خورشید (از نقطه نادر)،  $dr$  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 ( $\beta$ ) که در آن  $(\beta - 90^\circ)$  برابر  $\theta$  است به دست می‌آید.  $dr$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left( DOY \frac{2\pi}{365} \right) \quad \text{رابطه ۸}$$

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).

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad \text{رابطه ۹}$$

$G_{sc}$  ثابت خورشیدی  $1367 \text{ w/m}^2$  است. برای محاسبه دمای سطح زمین  $T_s$  از رابطه (۱۰) استفاده شده است.

$$T_s = \frac{T_{bb}}{\varepsilon_0} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

رابطه ۱۱

در روابط فوق  $K1$  و  $K2$  ثابت تصحیح،  $L6$  رادیانس باند حرارتی در ماهواره لندست،  $T_{bb}$  دمای جسم سیاه زمین را نشان می‌دهد.

گسیلمندی سطحی ( $\varepsilon_0$ ) بصورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده بوسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده بوسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود.

$$\varepsilon_0 = 1.009 + 0.047 \times \ln(NDVI) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

شاخص‌های پوشش گیاهی شاخصی است که به وضعیت و تراکم پوشش گیاهی حساسیت دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$R$  انعکاس در باند قرمز و  $IR$  انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک می‌باشند. برای محاسبه تابش موج بلند خروجی یا  $RL\uparrow$  از رابطه (۱۴) استفاده شده است. مقادیر  $RL$  بسته به محل و زمان تصویر از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع تغییر می‌کنند (Allen et al., 2002).

$$RL\uparrow = \varepsilon_0 \sigma T_s^4 \quad \text{رابطه ۱۴}$$



در رابطه (۱۴)  $\epsilon\sigma$  گسیلمندی اتمسفری،  $\sigma$  ثابت استفان بولتزمن و برابر  $5.67 \times 10^{-8} \text{ k} \cdot \text{w/m}^2 \cdot \text{K}$  دمای سطح زمین بر حسب  $k$  نشان می دهد. تابش موج بلند ورودی، شار تابش حرارتی از آسمان به سمت پایین است که با استفاده از رابطه استفان - بولتزمن محاسبه می شود (Allen et al., 2002).

$$R_{L\downarrow} = \epsilon\sigma Ta^4 \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$R_{L\downarrow}$  طول موج بلند ورودی بر حسب وات بر مترمربع که مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر مترمربع متغیر می باشد،  $\epsilon\sigma$  گسیلمندی اتمسفر (بدون بعد)،  $\sigma$  ثابت استفان بولتزمن و برابر  $5.67 \times 10^{-8} \text{ k} \cdot \text{w/m}^2 \cdot \text{K}$  دمای هوای نزدیک سطح بر حسب کلونین می باشد برای محاسبه  $\epsilon\sigma$  می توان از معادله تجربی زیر که توسط باستیانسن به دست آمده استفاده کرد (Allen et al., 2002).

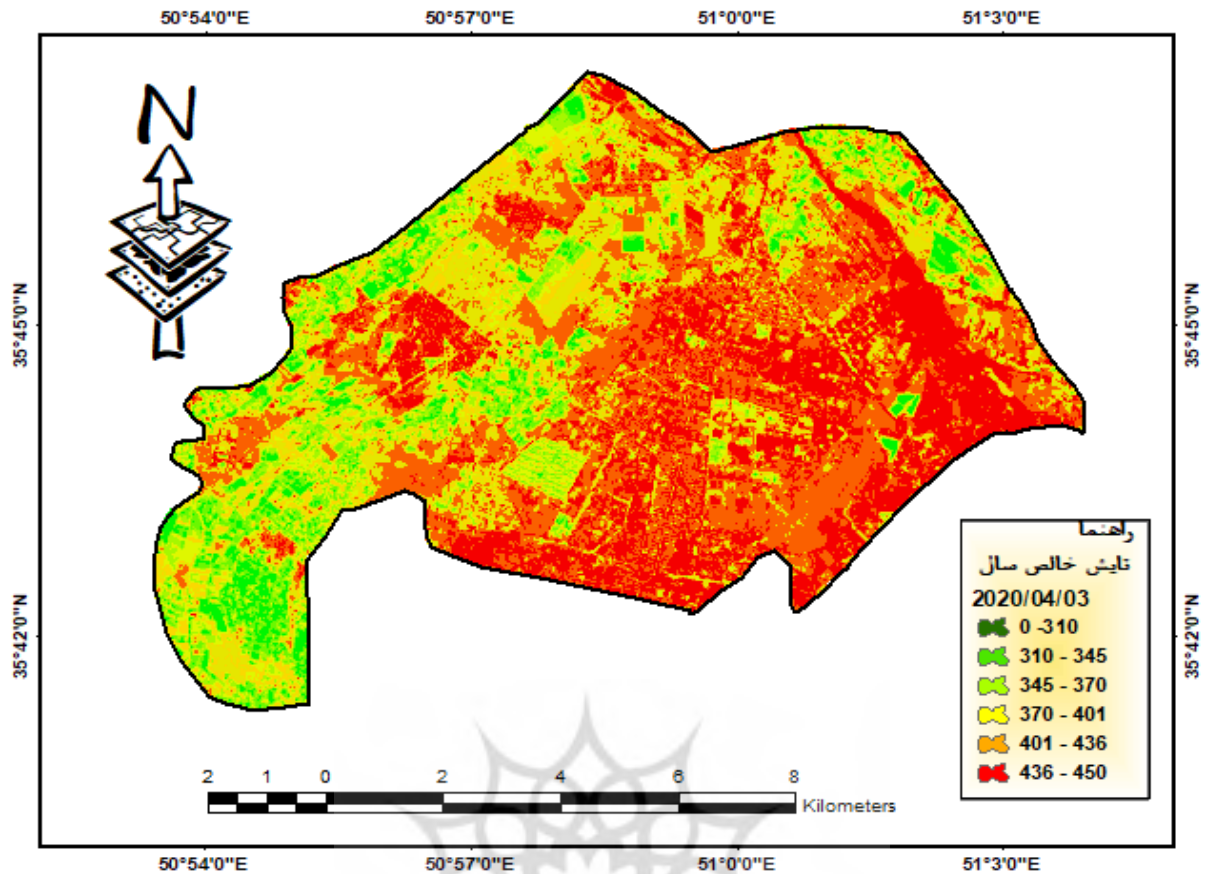
که در آن ضریب شفافیت اتمسفری موج کوتاه می باشد.  $T_{cold}$  نیز معادل دمای سطحی پیکسل سرد می باشد. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل (معمولاً یونجه) و کاملاً آبیاری شده انتخاب می شود که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می شوند در نتیجه معادله نهایی برای محاسبه  $R_{L\downarrow}$ 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

$$R_{L\downarrow} = 0.85 * (-\ln \tau_{sw})^{0.09} * \sigma * T_{cold}^4 \quad \text{رابطه ۱۷}$$

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

## نتایج و بحث

**میانگین مقادیر بازتاب** در این پژوهش پس از تهیه تصاویر منطقه مورد مطالعه، عملیات پیش پردازش بر روی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. سپس جهت محاسبه توزیع تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین ( $R_n$ )، ابتدا میانگین بازتاب ( $\rho\lambda$ ) باندهای ۲ تا ۷ با اصلاح زاویه تابشی خورشید، برای تصاویر لندست، ۲۰۲۰ در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج حاصل نشان می دهد که میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۰۱ وات بر مترمربع در سال ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و کمترین مقدار در سال ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۳۸۱ وات بر مترمربع بوده است.

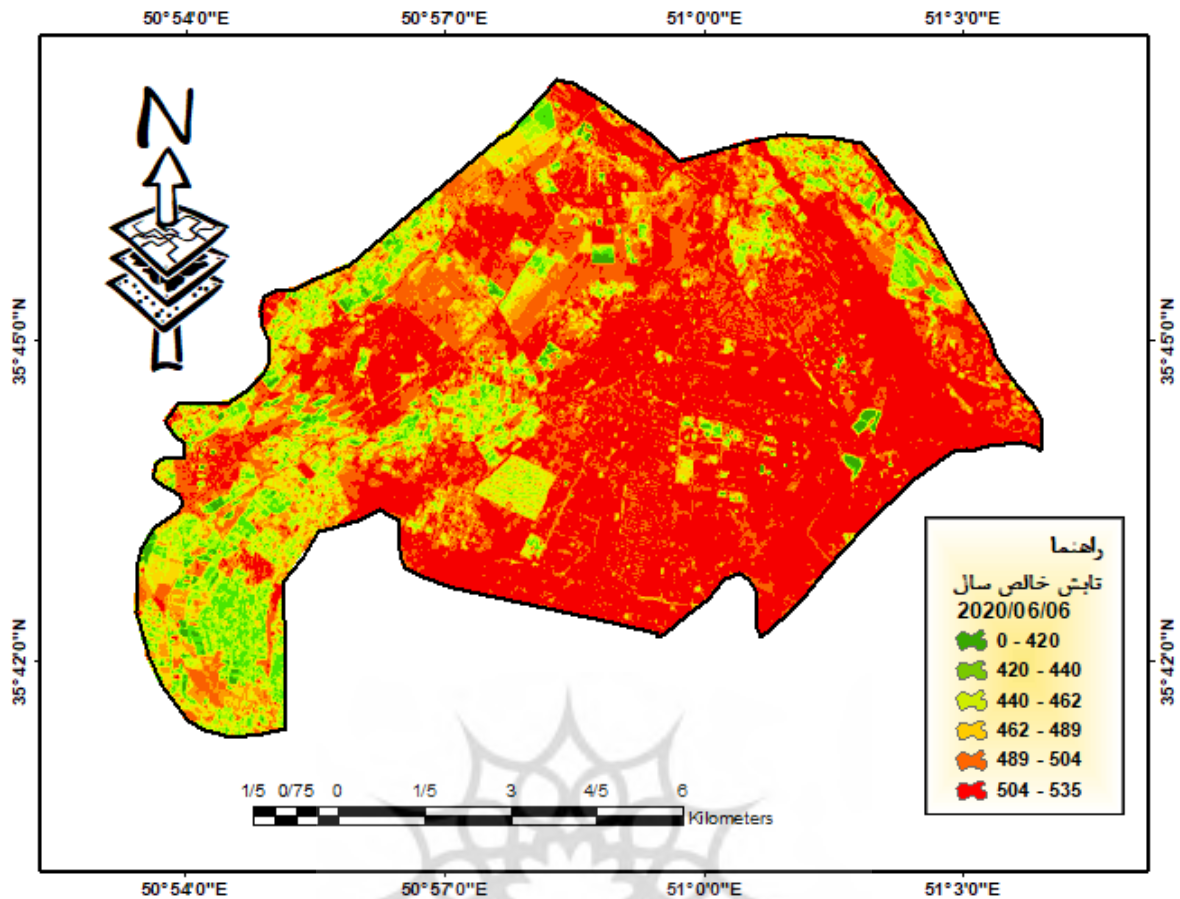


شکل ۲- توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ با روش سبیل

جدول ۲- درصد توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ با روش سبیل

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۳۹	۰-۳۱۰ (w/m <sup>2</sup> )
۲۲	۳۱۰-۳۴۵ (w/m <sup>2</sup> )
۳۰	۳۴۵-۳۷۰ (w/m <sup>2</sup> )
۷	۳۷۰-۴۰۱ (w/m <sup>2</sup> )
۴۵	۴۰۱-۴۳۶ (w/m <sup>2</sup> )
۱۱۰	۴۳۶-۴۵۰ (w/m <sup>2</sup> )

اطلاعات جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ در محدوده ۴۳۶-۴۵۰ وات بر مترمربع با مقدار ۳۳۸ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۴۳۶-۴۰۱ وات بر مترمربع ۷ کیلومتر کمترین تابش خالص دریافت شده است. همانگونه که از شکل مشخص است در شهرستان فردیس قسمت شرق دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد.



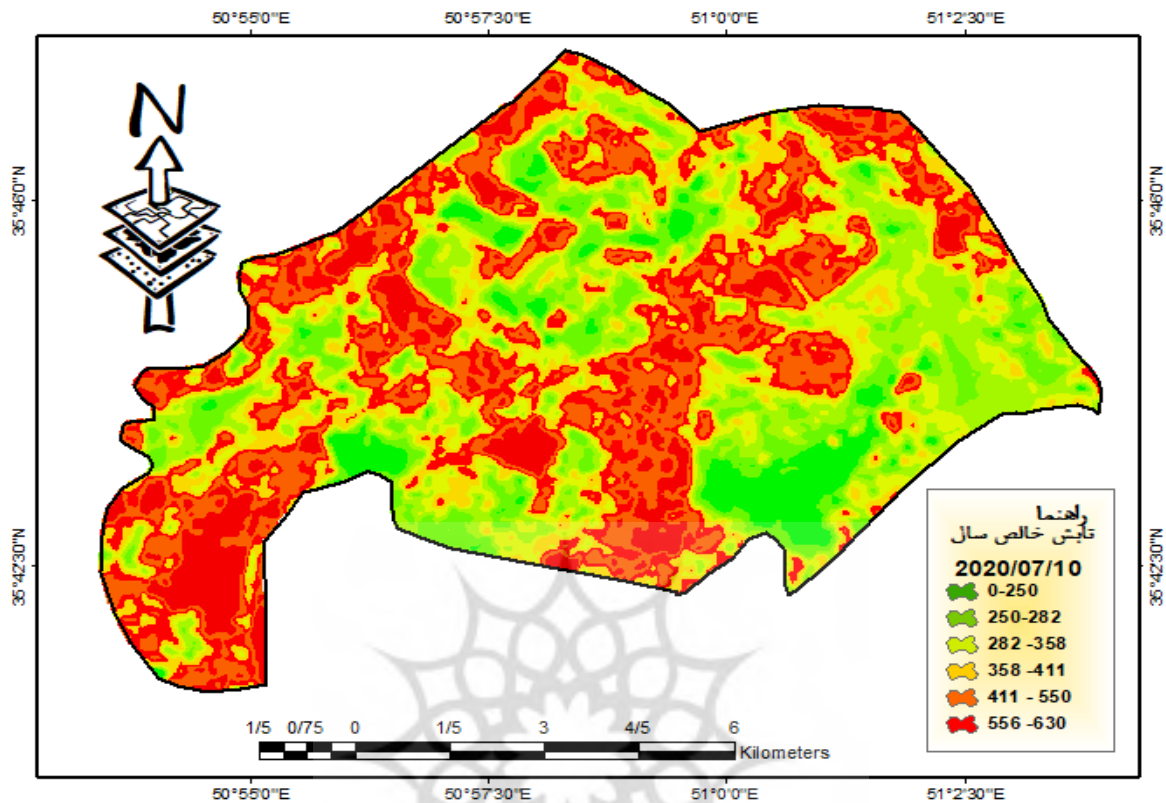
شکل ۴- توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ با روش سیبال

جدول ۴- درصد توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ با روش سیبال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۴۲	۰-۴۲۰ (w/m <sup>2</sup> )
۱۸	۴۲۰-۴۴۰ (w/m <sup>2</sup> )
۲۷	۴۴۰-۴۶۲ (w/m <sup>2</sup> )
۱۰	۴۶۲-۴۸۹ (w/m <sup>2</sup> )
۶۰	۴۸۹-۵۰۴ (w/m <sup>2</sup> )
۹۵	۵۰۴-۵۳۵ (w/m <sup>2</sup> )

اطلاعات جدول ۴ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت ماه‌های قبل افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. همچنین که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۵۳۶ وات بر متر مربع است، همچنین در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ در محدوده ۵۰۴-۵۳۵ وات بر مترمربع بیشترین مقدار ۹۵ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۴۶۲-۴۸۹ وات بر مترمربع ۱۰ کیلومتر تابش خالص دریافت

شده است. همانگونه که از شکل مشخص است در شهرستان فدیس در قسمت‌های شرق و قسمت مرکزی شهرستان دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می باشد.



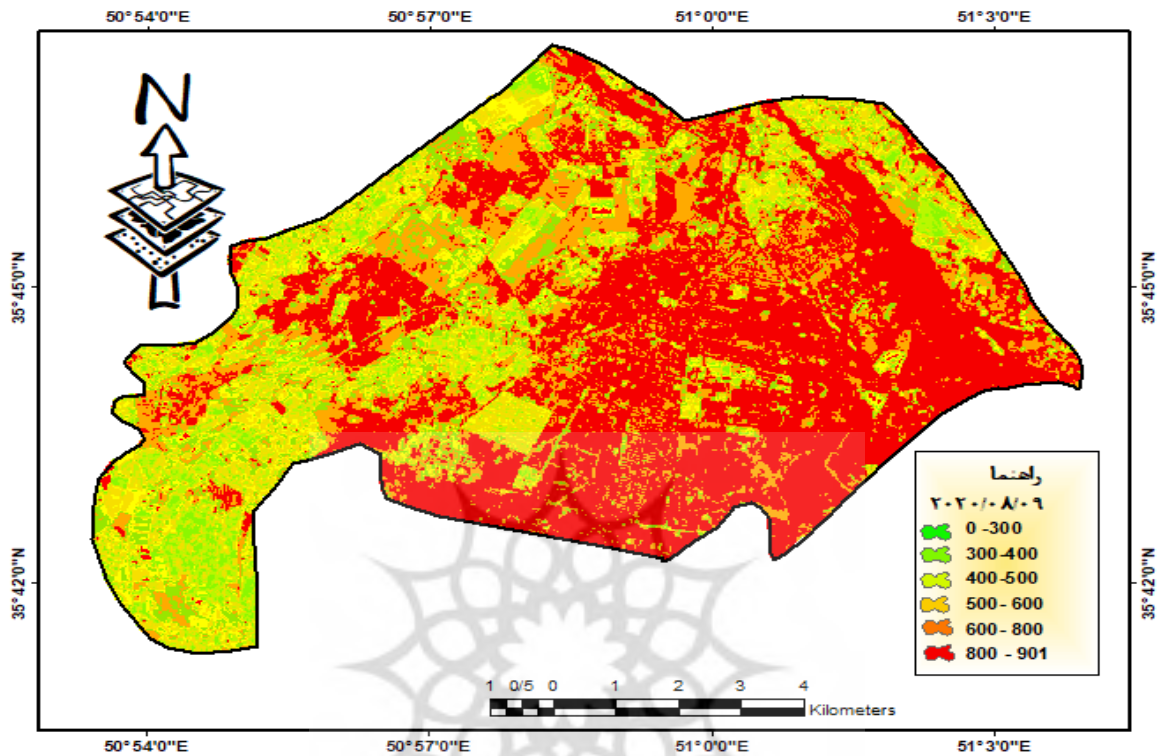
شکل ۵- توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۷/۱۰ با روش سبال

جدول ۵- درصد توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۷/۱۰ با روش سبال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۵۲	۰-۲۵۰ (w/m <sup>2</sup> )
۱۸	۲۵۰-۲۸۲ (w/m <sup>2</sup> )
۳۰	۲۸۲-۳۵۸ (w/m <sup>2</sup> )
۱۷	۳۵۸-۴۱۱ (w/m <sup>2</sup> )
۶۵	۴۱۱-۵۵۰ (w/m <sup>2</sup> )
۷۵	۵۵۰-۶۳۰ (w/m <sup>2</sup> )

اطلاعات جدول ۵ نشان می دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت ماه های قبل افزایش چشم گیری را نشان نمی دهد. همچنین که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۶۳۰ وات بر متر مربع است، همچنین در تاریخ ۲۰۲۰/۰۷/۱۰ در محدوده ۳۳۰-۵۵۰ وات بر مترمربع بیشترین مقدار ۷۵ کیلومتر کل تابش خالص بوده

است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۵۸-۴۱۱ وات بر مترمربع ۱۷ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همانگونه که از شکل مشخص است در شهرستان فردیس در تمام قسمت‌های شهرستان دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می باشد.

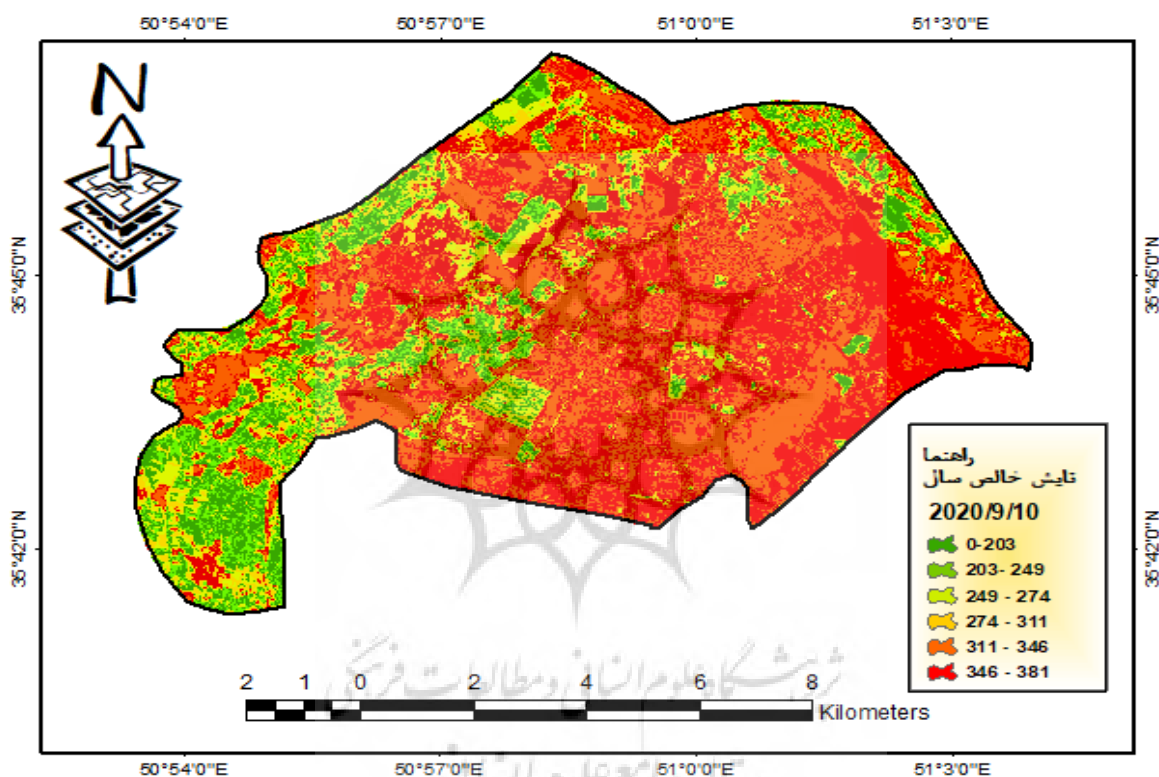


شکل ۶- توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ با روش سیبال

جدول ۶- درصد توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ با روش سیبال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۲۲	۰-۳۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۱۰	۳۰۰-۴۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۴۰	۴۰۰-۵۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۷۶	۵۰۰-۶۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۱۲	۶۰۰-۸۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۹۳	۸۰۰-۹۰۱ (w/m <sup>2</sup> )

اطلاعات جدول ۵ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت ماه‌های قبل افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد و به بالاترین حد خود هم در میزان تابش و هم در مساحت رسیده است. همچنین که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۹۰۱ وات بر متر مربع است، همچنین در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ در محدوده ۸۰۰-۹۰۱ وات بر مترمربع بیشترین مقدار ۹۳ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۰۰-۴۰۰ وات بر مترمربع ۱۰ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همانگونه که از شکل مشخص است در شهرستان فردیس در قسمت‌های شرقی شهرستان دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد.



شکل ۷- توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ با روش سبال

جدول ۷- درصد توزیع تابش خالص سال ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ با روش سبال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۵۲	۰-۲۰۳ (w/m <sup>2</sup> )
۱۸	۲۰۳-۲۴۹ (w/m <sup>2</sup> )
۱۰	۲۴۹-۲۷۴ (w/m <sup>2</sup> )

۲۷	۲۷۴-۳۱۱ (w/m <sup>2</sup> )
۹۵	۳۱۱-۳۴۶ (w/m <sup>2</sup> )
۵۰	۳۴۶-۳۸۱ (w/m <sup>2</sup> )

اطلاعات جدول ۶ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت ماه‌های قبل کاهش چشم‌گیری را نشان می‌دهد و به کمترین حد خود هم در میزان تابش و هم در مساحت رسیده است. همچنین که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۳۸۱ وات متر بر مربع است، همچنین در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ بیشترین مساحت در محدوده ۳۴۶-۳۱۱ وات بر مترمربع با مقدار ۹۵ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۲۷۴-۲۴۹ وات بر مترمربع ۱۰ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همانگونه که از شکل مشخص است در شهرستان فردیس در تمام قسمت‌های شهرستان دارای کمترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

خورشید به عنوان منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ 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، تاثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، در سال‌های اخیر بوده است. جهت انجام این پژوهش، از تصاویر مربوط به سال ۲۰۲۰ ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI و سنجنده TIRS و الگوریتم سبال استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۰۱ وات بر مترمربع در سال ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و کمترین مقدار در سال ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۳۸۱ وات بر مترمربع 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. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در منطقه، در سال مورد بررسی پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد. سلولهای فتوولتائیک که به تابش خورشیدی از آستانه‌ی تابش تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع حساسیت دارند و آن را دریافت می‌کنند، می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشید در منطقه البرز در دو سال مورد بررسی پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج محققان بسیاری از جمله، ولیزاده کامران (۱۳۹۱) و رضایی مقدم و هاتفی اردکانی (۱۳۹۴) که از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم سبال در مطالعات تابش خورشیدی بهره گرفته‌اند، مطابقت دارد. 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

- ابراهیمی، ا. (۱۳۸۹). انرژی خورشیدی و کاربرد آن، انتشارات فراگیران سینا همدان.
- بهادری نژاد، م. و میرحسینی، س.ع. (۱۳۸۴). ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران. سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.
- بینش، ع. (۱۳۶۶). انرژی خورشیدی و مناطق جنوب خراسان و سیستان و بلوچستان، مجله تحقیقات جغرافیایی. ۲: ۳۵-۱۵.
- حاج سقطی، ا. (۱۳۹۰). اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- جهانبخش، س.، زاهدی، م.، ولیزاده کامران، خ. (۱۳۸۸). 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)، ص ۱۹-۴۲.
- رضایی مقدم، م.، هاتفی اردکانی، م. (۱۳۹۴). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و GIS در امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید جهت تامین روشنایی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۶، شماره ۲۱، ص ۱۰۵-۱۲۴.
- زبیری، م. و مجد، ع. (۱۳۸۴). پروژه مدل‌سازی و تهیه اطلس متوسط تابش ماهانه کشور، سازمان هواشناسی کشور.
- 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.
- کمالی، ع.، مرادی، ا. (۱۳۸۴). تابش خورشیدی (اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.



- مباشری، م.، خاوریان، ح.، (۱۳۸۳). تجزیه و تحلیل روش‌های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ص ۸۳-۹۸.
- 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.
- مصلحی فرد، م. و شیرین‌پور، م. (۱۳۶۷). انرژی. دانشگاه تبریز، انتشارات نیما.
- معینی، س.، جوادی، ش.، کوبی، ح.، دهقان منشادی، م.، اسماعیلی، ر.، (۱۳۸۹). برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در شهر یزد، نشریه انرژی ایران. ص ۲۴-۳۹.
- ملکی، محمد، احمدی، زهرا، دوستی، رحمن. (۱۳۹۸). تغییرات دمای سطح شهر کرمانشاه در دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷. *جغرافیا و روابط انسانی*، سال سوم دوره ۲، صص ۳۰۹-۳۱۹.
- موسوی بایگی، م.، اشرف، ب.، 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، ص ۸۳۶-۸۴۴.
- وروانی، ه.، فرهادی، ب.، شریفی، م.ع.، (۱۳۹۸). تلفیق تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنجنده مودیس جهت برآورد نیاز آبی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد (منطقه مورد مطالعه: ماهیدشت کرمانشاه)، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۵، شماره ۱، ص ۲۵۷-۲۶۶.
- ولیزاده کامران، خ.، (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به روش استفنز 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، شماره ۹، ۳۹-۵۲.
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., 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.
- Almhab, A., Busu, I. (2008). Estimation of evapotranspiration using fused remote sensing image data and M-SEBAL model for improving water management area, the 3<sup>rd</sup> international conference water resources and arid environments.
- Bakirci, K. (2009). Correlation for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, Energy, Vol. 34, P. 485-501.
- Bosch, J.L., Lopez, G., Batlles, F.J. (2008). Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks, Renewable Energy, Vol. 33, P. 1622-1628.
- Hong, S., Hendrickx, J., Borchers, B. (2015). Down-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250m) to landsat (30m) scale, International journal of

- remote sensing, Vol. 32, P. 6457-6477.
- Jaber, H.S., Mansor, S., Pradhan, B., Ahmad, N. (2016). Evaluation of SEBAL model for Evapotranspiration mapping in Iraq using remote sensing and GIS, International Journal Appl Engineering Research, Vol. 11, P. 3950-3964.
  - Janjai, S., Laksanaboonsong, J., Nunez, M., Thongsathitya, A. (2005). Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment, solar energy, Vol. 78, P. 739-751.
  - Laine, V., Venalainen, A., Heikinheimo, M., Hyvarinen, O. (1999). Estimation of surface solar global radiation from NOAA AVHRR data in high latitudes, Journal of applied meteorology, Vol. 38, P. 1706-1719.
  - Muzathik, A.M., Nik, W.B.W., Ibrahim, M.Z., Samo, K.B., Sopian, K., Alghoul, M.A. (2014). Daily global solar radiation estimate based on sunshine hourse, International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Vol. 6, P. 75-80.
  - Pinker, R.T., Ewing, J.A. (1985). Modeling surface solar radiation: model formulation and validation, Journal Climate Appl Meteorology, Vol. 24, P. 389-401.
  - Trnka, M., Zalud, Z., Eitzinger, J., Dubrovsky, M. (2005). Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulas, Agriculture and Forest Meteorology, Vol. 131(1-2), P. 45-76.
- 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

