



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۲، صص ۳۲۰-۳۳۵

## امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در استقرار پنل خورشیدی با استفاده از

### سنجش از دور و الگوریتم سبال

(مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد)<sup>۱</sup>

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

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

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۹

#### 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 میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۰۱ وات بر مترمربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و کمترین مقدار در فوریه به میزان ۳۰۲ وات بر مترمربع بوده است. این در حالی است که کمترین مقدار تابش خالص در ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ به میزان ۳۵۵ وات بر متر مربع می‌باشد. 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، تصاویر لندست، شهرستان اشتهارد

<sup>۱</sup> این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نوع دو به شماره: ۱۵۹۲۰ / ۹ / ۱۴۰۳ است و با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفته است. مجری این طرح دکتر بتول زینالی است.

## مقدمه:

با توسعه شهرنشینی مقادیر زیادی از مساحت مناطق کشاورزی و جنگلی جای خود را به مناطق شهری داده‌اند. مناطق شهری مدرن توسط آسفالت، بتون و سایر سطوح غیرقابل نفوذ پوشیده شده‌اند و رشد شهری به‌خصوص در شهرهای بزرگ با سرعت زیاد تغییرات پوشش زمین را در پی دارد (کاکه‌ممی، ۱۳۹۶، ۱۲۳). از آنجایی که دمای سطح زمین در هر محدوده‌ای به خصوصیات مواد تشکیل‌دهنده سطح و بازتابش انرژی خورشید وابسته می‌باشد، الگوی حرارتی مناطق شهری نسبت به نواحی غیرشهری تفاوت قابل توجهی دارد که ظرفیت حرارتی بالای سطوح مصالح مورد استفاده در شهرها، کاهش میزان آلودگی و وجود منابع حرارتی ناشی از فعالیت‌های انسانی موجب افزایش دمای برخی مناطق شهری نسبت به دیگر مناطق و تغییرات بیلان حرارتی این نواحی می‌شوند بنابراین در مناطق شهری بسته به پوشش‌ها و کاربری‌های موجود، مناطقی با درجه حرارت بیشتر از سایر نواحی به وجود می‌آیند، این پدیده به نام جزیره حرارتی شهرها نام‌گذاری شده است. علاوه بر اینکه این افزایش دما به نوبه خود اثر قابل توجهی بر روی شرایط اتمسفری، زیستی و اقتصادی دارد، تخمین میزان حرارت سطح در مناطق مختلف شهری به‌منظور بررسی توزیع دمایی سطح زمین و علل پیدایش آن کاربردهای فراوانی مانند تعیین نقش ترافیک و شهرک‌های صنعتی در گرم شدن شهرها دارد. لذا بررسی و آنالیز پدیده جزایر حرارتی در شهرها بسیار حائز اهمیت می‌باشد (نیکولوس، ۲۰۰۹، ۵۵). مطابق نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، در حدود ۳۰ درصد از جمعیت ۷۹،۹۲۶،۲۷۰ میلیونی ایران در سیزده شهر، دارای بیش از پانصد هزار نفر جمعیت زندگی می‌کنند. این سیزده شهر به ترتیب عبارت‌اند از: تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، کرج، شیراز، اهواز، قم، کرمانشاه، ارومیه، زاهدان، رشت و کرمان می‌باشند و بیشترین تراکم جمعیت مربوط به استان‌های تهران و کرج و کمترین تراکم جمعیت مربوط به استان‌های سمنان و خراسان جنوبی می‌باشد (مرکز آمار ایران سال ۱۳۹۵).<sup>۱</sup> در حالی که شهرها توسعه پیدا می‌کنند، تغییراتی در سیمای زمین ایجاد می‌شود. ساختمان‌ها، خیابان‌ها و دیگر زیرساخت‌ها جایگزین خاک و پوشش گیاهی می‌شود. سطوحی که پیش از آن معمولاً قابل نفوذ و مرطوب بودند، غیرقابل نفوذ و خشک می‌شوند. انرژی ورودی جذب شده خورشید، ممکن است با تغییر در سطوح طبیعی افزایش یابد (یانگ، ۲۰۰۴، ۴۱). این امر منجر به تغییر در توازن انرژی مناطق شهری که موجب افزایش دما (هم در سطح و هم دمای هوا) در مناطق شهری و در نهایت شکل‌گیری جزایر حرارتی می‌شود. امروزه مطالعات مختلفی بر روی شرایط دمایی مناطق شهری بسیار مورد توجه می‌باشد. مطالعات اخیر در چهل سال گذشته توانسته‌اند نقش پدیده‌های اصلی مؤثر در شکل‌گیری و تداوم جزایر حرارتی شهری را از لحاظ کمی تعیین کنند. کارنیا و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای نشان دادند، از مطالعات جزیره حرارتی شهری می‌توان برای کنترل رشد جمعیت شهری و برنامه‌ریزی شهری بهره جست. رونالد<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در شهرهای بزرگ مناطق بانکوک (تایلند)، جاکارتا (اندونزی)، مانیل (فیلیپین) به دنبال بررسی رابطه درجه حرارتی سطحی و فراوانی و الگوی فضایی سطح

<sup>۱</sup> مرکز آمار ایران [www.amar.org.ir](http://www.amar.org.ir)

<sup>۲</sup> Ronald et al

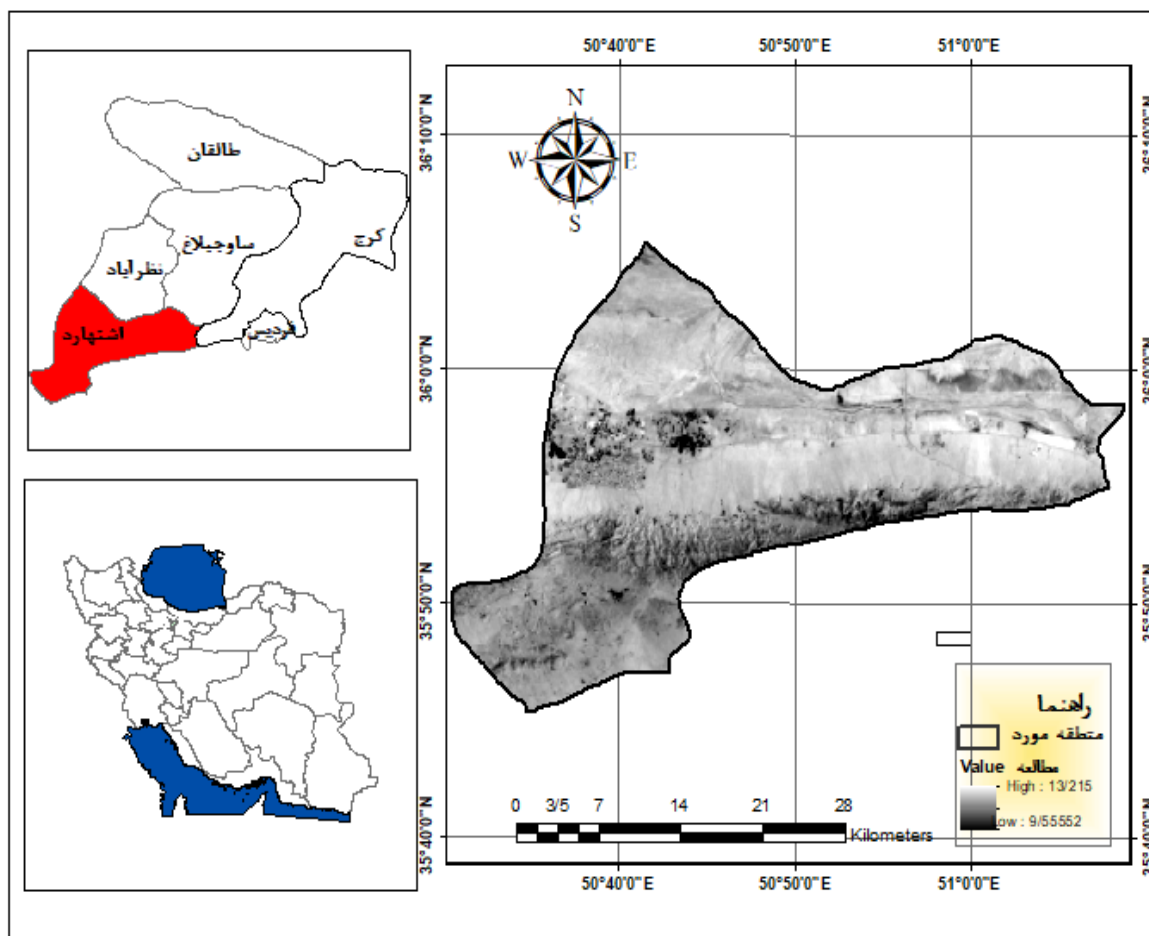
غیرقابل نفوذ و فضای سبز، مطالعه‌ای انجام دادند که نشان داد ارتباط معنادار و قوی بین میانگین دمای سطح زمین و تراکم سطح غیرقابل نفوذ (مثبت) و فضای سبز (منفی) در امتداد شیب شهر-روستایی از سه شهر UHI<sup>1</sup> معمول را دارا می‌باشد. عابدینی و محمدزاده (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان امکان سنجی استفاده از توان‌های انرژی خورشیدی با استفاده از الگوریتم سبال در شهرستان ساوجبلاغ نشان دادند که 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 گرفتند تابش خورشیدی در منطقه در سال مورد بررسی پتانسیل لازم را برای اجرای طرح‌های فتوولتائی خورشیدی دارد. 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 سانتی‌گراد را در برگرفته است نتایج نشان داد که در سال ۹۷ محدوده دمای ۴۰ به شدت افزایش یافته است.

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از الگوریتم سبال و تکنولوژی سنجش از دور امکان سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در منطقه شهرستان اشتهارد مورد مطالعه قرار گیرد.

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان اشتهارد در جنوب غربی استان البرز قرار گرفته است که با شهر تهران حدود ۱۲۲ کیلومتر و با شهر کرج حدود ۸۸ کیلومتر فاصله دارد. از نظر تقسیمات کشوری شهرستان اشتهارد شامل دو بخش به نام‌های بخش مرکزی و بخش پلنگ آباد است که بخش مرکزی به مرکزیت شهر اشتهارد شامل، دهستان‌های ایپک و صحت آباد و بخش پلنگ آباد به مرکزیت روستای شامل دهستان‌های جارو و پلنگ آباد است. اشتهارد از شهرهای باستانی استان البرز است که مساحت آن ۸۰۰ کیلومتر و در مسیر جاده تهران به استان‌های غربی ایران واقع شده است. از طرف شمال به ارتفاعات حلقه دره و محدوده شهرستان نظرآباد و از طرف جنوب به ارتفاعات قزل باش و محدوده شهر ملارد و از طرف شرق به رودخانه شور و محدوده شهر کرج و از طرف غرب به محدوده شهر بوئین زهرا محدود می‌شود. شهرداری این شهر در سال ۱۳۳۱ تاسیس شده است.

<sup>1</sup> *Urban heat island*



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

#### مواد و روش‌ها:

در این پژوهش برای بررسی و امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در یک دوره، برای ماه‌های مربوط به سال ۲۰۲۰ استفاده گردید (جدول شماره ۱). 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. 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 این‌که در الگوریتم سبال، مقادیر تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری تابش فرودی خورشید از تصاویر بدون ابر به دست می‌آید امکان استفاده از تصاویر ماه‌های فوق‌الذکر مقدور نگردید. محققان، روش‌های مختلفی برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین، برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد کرده‌اند. 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 سنسچس از دور، امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در شهرستان اشتهارد 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 نرم افزار 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

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

### قطعه‌بندی<sup>۱</sup>

قطعه‌بندی به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آن‌هاست (فیضی زاده، ۲۱، ۱۳۸۷). شی‌های تصویری حاصل از فرآیند قطعه‌بندی، مبنای طبقه‌بندی شی‌ها هستند و آن‌ها دارای حجم زیادی از مشخصات و خصیصه‌های پدیده‌های زمینی متناظرشان در سطح تصویر می‌باشند. در فرآیند قطعه‌بندی، شی‌های تصویری در سطح تصویر بر اساس تفکیک مکانی و تفکیک طیفی تصویر به وسیله گروهی از پیکسل‌ها، مطابق با ویژگی‌های طیفی و هندسی که مفسر برای کلاس‌ها تعیین می‌کند، انجام می‌شود (فیضی زاده، ۱۳۹۵، ۲۷۴). در فرآیند قطعه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی (شکل ۳)، فرآیند قطعه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های مورد نظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرآیند قطعه‌بندی اعمال نماید (فیضی زاده، ۱۳۸۸، ۸۱). در تحقیق حاضر برای قطعه‌بندی، از روش چند مقیاسه<sup>۲</sup> استفاده شد. برای این منظور با تجزیه و تحلیل نتایج قطعه‌بندی تصویر با پارامتر مقیاس متفاوت و تفکیک مکانی تصویر، پارامتر مقیاس ۲۵ برای قطعه‌بندی انتخاب شد. قبل از انجام طبقه‌بندی به روش شی‌ها لازم است قطعه‌بندی تصویر صورت گیرد.

### استخراج نقشه کاربری اراضی منطقه

در این مرحله نقشه‌های طبقه‌بندی از روش شی‌ها و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی توسط نرم افزار Ecognition صورت گرفت. طبقه‌بندی شی‌ها را برای انتخاب شی‌ها که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد

<sup>1</sup> segmentation

<sup>2</sup> Multi resolution segmentation

این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی استوار است و ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر کلاس تبدیل می‌کند (رضایی بنفشه، ۱۳۸۶، ۱۴۹). در این پژوهش تعداد ۱۲ کلاس برای محدوده مورد مطالعه استخراج شد در نهایت برای استخراج نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGis5.3 استفاده شد.

### استخراج دمای سطح زمین

درجه حرارت سطح زمین می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با خصوصیات فیزیکی زمین و اقلیم که نقش به‌سزایی در فرایند محیط زیستی بازی می‌کند، فراهم نماید (ونگ، ۲۰۰۴، ۴۷۰). دمای سطح زمین به‌عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، از عناصر اساسی شناخت آب و هوا می‌باشد. در سنجش‌ازدور دمای سطح زمین را که بالای جو به وسیله سنجنده‌ها به دست می‌آید، دمای روشنایی می‌نامند. این دما به علت پدیده‌های جذب و پخش جوی به نظر کمتر از دمای واقعی در سطح زمین است (سوبرینو، ۲۰۰۴، ۴۳۸). برای تعیین دمای واقعی سطح زمین از الگوریتم‌های گوناگونی همچون الگوریتم پنجره مجزا (SW) استفاده می‌شود و در این تحقیق به‌منظور به دست آوردن دمای سطح زمین از این الگوریتم استفاده شد. در همین راستا از باند ۱۱ و ۱۰ حرارتی سنجنده لندست (OLI) استفاده شد. به دلیل اینکه روش پنجره مجزا<sup>۱</sup> برای سنجنده‌هایی که دارای دویباند حرارتی دارند قابل‌استفاده می‌باشند و سنجنده (TM) دارای یک باند حرارتی است، از این‌رو برای محاسبه دمای سطحی سنجنده (TM) در این پژوهش، با بررسی و مقایسه دیگر روش‌های معمول محاسبه دمای سطحی زمین، روش تک بانندی<sup>۲</sup> برای محاسبه دمای سطح زمین سنجنده (TM) انتخاب گردید. مراحل محاسبه دمای سطحی زمین به ترتیب زیر به منظور استخراج دمای سطح زمین طی شد.

### الگوریتم SINGLE CHANNEL

روش تک بانندی<sup>۳</sup> یکی از روش‌های پرکاربرد محاسبه دمای سطح زمین است که در بسیاری از پروژه‌های سنجش‌ازدوری استفاده می‌شود. در این الگوریتم تصاویر دمای تابشی، رادیانس حرارتی و توان تشعشعی استفاده می‌گردد. در این روش تأکید ویژه‌ای بر برآورد بخارآب موجود در اتمسفر دارد و اثر آن از لحاظ میزان جذب بر روی باند حرارتی تعدیل می‌شود. در این پژوهش برای محاسبه دمای سطح زمین سنجنده (TM) از این روش استفاده شد.

### محاسبه دمای تابشی

برای محاسبه دمای تابشی ابتدا داده‌های مادون‌قرمز حرارتی به رادیانس تبدیل گردید، به‌طورکلی می‌توان گفت پس از استفاده از عکس قانون پلانک (برای تبدیل رادیانس به دمای تابشی) لازم است دمای تابشی به دمای واقعی تبدیل شود با استفاده از رابطه (۱) (چاندر، ۲۰۰۹، ۱۶۲۱).

$$T = \frac{k_2}{kn \left( \frac{k_1}{L\lambda} + 1 \right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$T$  = دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلوین و  $k_2 - k_1$  ثابت حرارتی برای هر دو باند حرارتی موجود در متادیتا،  $L\lambda$  = درخشندگی جو بالا

<sup>1</sup> Split-window

<sup>2</sup> Single channel

<sup>3</sup> Single Channel

### محاسبه رادیانس حرارتی

با توجه به این که اجسام پدیده‌ها و پوشش‌های سطح زمین جز گروه اجسام سیاه قرار نمی‌گیرند، بنابراین دمای تابشی محاسبه شده از باندهای سنجنده را با لحاظ کردن مقادیر توان تشعشعی و شرایط جوی به دمای واقعی سطح زمین تبدیل گردید. دمای تابشی باید ابتدا مقدار DN هر پیکسل به رادیانس تبدیل شود با استفاده از رابطه (۲) (چاندر ۲۰۰۹، ۱۶۲۱).

$$R = (RMB * B) + \text{رابطه (۲)}$$

**RMB** از متادیتا تصاویر استخراج شده است که برای دو باند حرارتی یکسان است.

### محاسبه توان تشعشعی

با توجه به وجود اختلاط هر پیکسل در منطقه مطالعاتی، میزان گسیلمندی در هر پیکسل مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود (سوبرینو، ۲۰۰۴، ۴۳۴).

$$\varepsilon = \varepsilon v \times PV + \text{رابطه (۳)}$$

$\varepsilon v = \varepsilon S \times (1 - PV) + d\varepsilon$  = گسیلمندی پوشش گیاهی (۰/۹۹) = گسیلمندی خاک (۰/۹۷)  $PV$  درصد پوشش گیاهی

### محاسبه دمای سطح زمین (کلوین)

برای محاسبه دمای زمین به سانتی‌گراد، از رابطه (۴) استفاده می‌شود (بارسی، ۲۰۰۳، ۱۴۱).

$$Ts = \text{رابطه (۴)}$$

$$\frac{Tb}{1 + (\lambda \times \frac{Tb}{p}) \times \ln(\varepsilon)}$$

### برآورد ستون بخار آب (CWV)

ستون بخار آب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند، که با فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد.....  $C^2$  .....  $C^0$  ضرایب ثابت، از داده‌های شبیه‌سازی شده هستند (بارسی، ۲۰۰۳، ۱۴۱).

$$CWV = C^0 + C^1 * (Tj/Ti) + C^2 * (Tj/Ti)^2$$

میانگین دمای روشنایی  $Tj/Ti$

$$C^0 = -۹/۶۷۴ ، C^1 = ۰/۶۵۴ ، C^2 = ۹/۰۸۷$$

### الگوریتم SPLIT-WINDOW

روش پنجره مجزا<sup>۱</sup> از روش‌های کاربردی محاسبه دمای سطحی زمین در سنجش‌ازدور می باشد و برای سنجنده‌هایی است که بیش از یک باند حرارتی دارند، استفاده می‌شود. این الگوریتم از جمله روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین به حساب می‌آید. در این الگوریتم نیز اثر ضرایب تصحیح کننده اتمسفری از روی باند حرارتی نیز در

<sup>۱</sup> Split window

نظر گرفته می شود که نسبت به سایر روش ها از دقت بهتری برای محاسبه دمای سطح زمین برخوردار است. از ویژگی مهم این الگوریتم حذف اثرات جوی می باشد. به طور گسترده در بازیابی قابلیت انتشار سطح زمین از دو سنسور، ۱- چند طیفی ۲۱- حرارتی استفاده می کند. در این پژوهش برای محاسبه دمای سطح زمین سنجنده (OLI) از این روش استفاده شد و با توجه به در دسترس نبودن یک پایگاه داده برای اندازه گیری های دمای سطح زمین با لندست (OLI)، ضرایب C از طریق شبیه سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح زمین مطابق (جدول ۲) به دست آمد.

### محاسبه دمای سطح زمین با الگوریتم SPLIT-WINDOW

با مشخص شدن ضرایب ثابت C و با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه ۵ دمای سطح زمین برای سنجنده (OLI) محاسبه شد (وان، ۱۹۹۶، ۹۰۱).

$$SW)LST= TB10+C1 (TB10-TB11) C2 (TB10-TB11)2+C0+ \quad \text{رابطه ۵}$$

$$C5+C6W) \Delta\epsilon(1+\epsilon) \quad ((C3+C4W$$

$\epsilon = \text{mean LSE}$ ،  $\Delta\epsilon = \text{LSE difference}$ ،  $TB =$  باند های حرارتی،  $C =$  کانال های حرارتی،  $W =$  مقدار بخار آب موجود در جو

### استخراج خوشه های جزایر حرارتی شهری

برای محاسبه خودهمبستگی فضایی با استفاده از شاخص موران جهانی، از رابطه ۵ استفاده می شود:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$z_i =$  تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه  $X_i$  با میانگین  $(X_i - \bar{X})$  و  $z_j =$  تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه  $X_j$  با میانگین  $(X_j - \bar{X})$  و  $w_{ij} =$  وزن موجود بین عارضه  $i, j$  می باشد که عکس فاصله بین دو عارضه  $i, j$  است،  $\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$  و  $N =$  تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه (کرمی، ۱۳۹۳، ۶۱)

محاسبه کل وزن های فضایی، با استفاده از رابطه ۶ انجام می شود (فلاح قاهری، ۱۳۹۴، ۶۵۰)

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad \text{رابطه (۶)}$$

محاسبه نمره های استاندارد  $Z_i$  برای آماره موران با استفاده از رابطه ۷:

$$Z_i = \frac{i - E(I)}{\sqrt{V(I)}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

<sup>1</sup> Multi Spectral

به‌طورکلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد ۱+ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد ۱- باشد، آنگاه داده‌ها از هم‌گسسته و پراکنده می‌باشند. (فلاح قالمهری، ۱۳۹۴، ۶۵۰)

### تحلیل لکه‌های داغ<sup>۱</sup>

جهت آشکارسازی جزایر حرارتی سرد و گرم از تحلیل لکه‌های داغ آماره‌ی گتیس-ارد جی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. در این آماره نمره‌ی Z محاسبه‌شده، نشان می‌دهد که در کدام مناطق، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده است. چهارچوب مفهومی این تحلیل، این‌گونه عمل می‌کند که اگر عارضه‌ای مقدار بالا داشته باشد، مهم است ولی این بدان معنی نیست که یک لکه داغ باشد. عارضه‌ای لکه داغ تلقی می‌شود که هم خود عارضه و هم عارضه‌های همسایه‌ی آن از نظر آماری معنادار باشند. امتیاز Z برای خروجی نهایی زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی<sup>۳</sup> عارضه و همسایه‌ی آن به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه گردد (علی‌آبادی، ۱۳۹۴: ۹۲).

### نتایج و بحث

نتایج حاصل نشان می‌دهد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۰۱ وات بر مترمربع در تاریخ ۰۸/۰۹/۲۰۲۰ و کمترین مقدار در فوریه به میزان ۳۰۲ وات بر مترمربع بوده است. این در حالی است که کمترین مقدار تابش خالص در ۱۰/۲۸/۲۰۲۰ به میزان با مقدار ۳۵۵ وات بر متر مربع می‌باشد.

تابش خالص محاسبه شده در ماه‌های سال ۲۰۲۰ در منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از الگوریتم سبال بر روی تصاویر منطقه مورد مطالعه به صورت نقشه، در شکل‌های ۲ تا ۸ نشان داده شده است. همچنین محدوده توزیع پراکنش مقادیر تابش به هفت کلاس با واحد وات بر مترمربع طبقه‌بندی شده است.

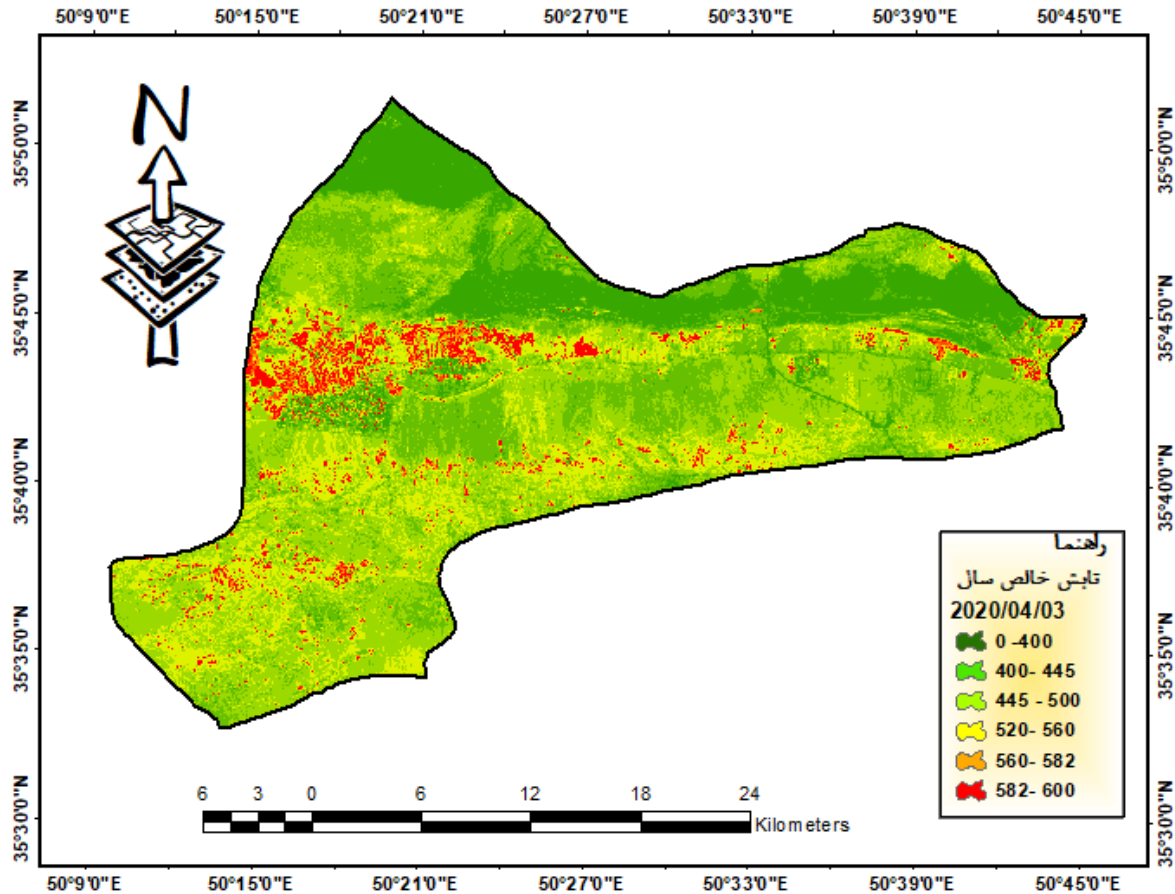
جدول ۲- درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، ۲۰۲۰/۰۴/۰۳

مقدار تابش	کلاس تابش
۴۰	۰ - ۴۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۲۰	۴۰۰ - ۴۴۵ (w/m <sup>2</sup> )
۲۰	۴۴۵ - ۵۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۷	۵۲۰ - ۵۶۰ (w/m <sup>2</sup> )
۳	۵۶۰ - ۵۸۲ (w/m <sup>2</sup> )
۱۰	۵۸۲ - ۶۰۰ (w/m <sup>2</sup> )

<sup>۱</sup>Hotspot

<sup>۲</sup>Getis - Ord Gi

<sup>۳</sup>Local sum



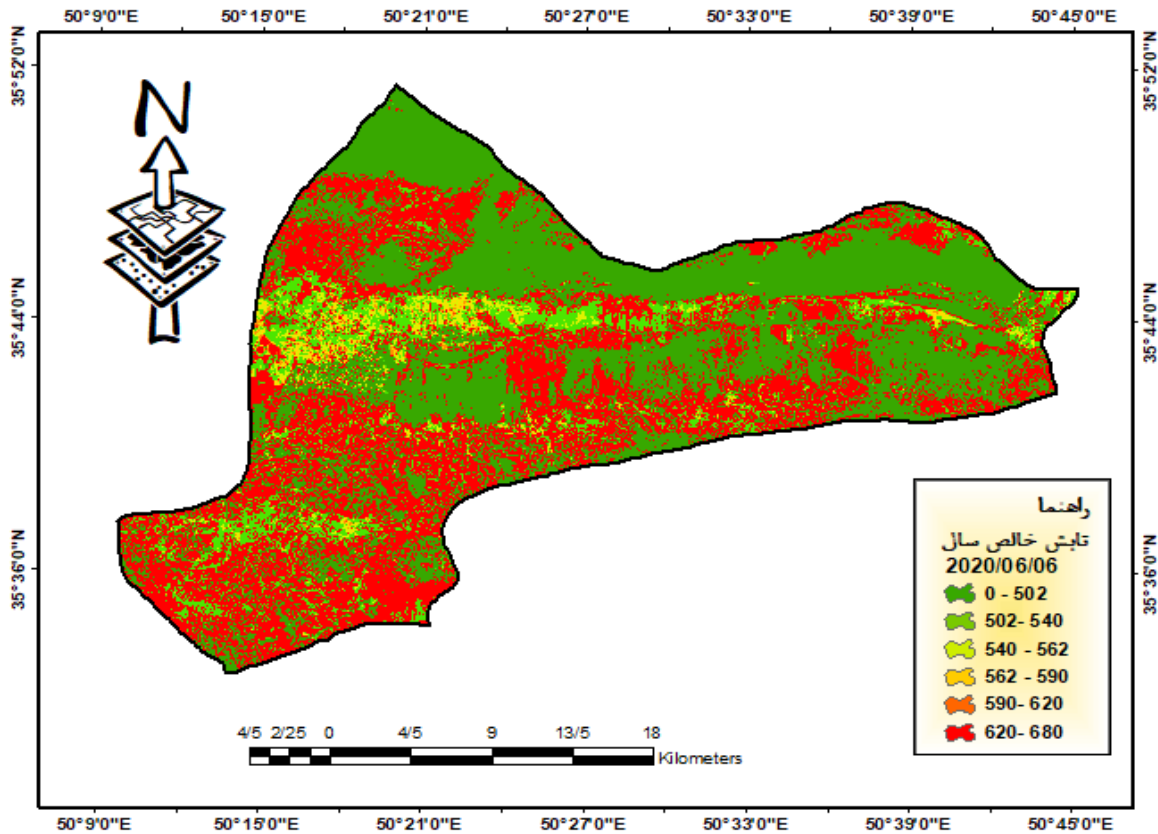
شکل ۲- توزیع تابش خالص ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ با روش سیال

اطلاعات جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ در محدوده ۰-۴۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۵۳ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۵۸۲-۵۶۰ وات بر مترمربع ۳

درصد تابش خالص دریافت شده است. همانگونه که از شکل مشخص است شهرستان اشتهارد در قسمت شمالی شهرستان دارای بالاترین دما می‌باشد.

جدول ۳- درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، ۲۰۲۰/۰۶/۰۶

مقدار تابش	کلاس تابش
۴۱	۰-۵۰۲ (w/m <sup>2</sup> )
۶	۵۰۲-۵۴۰ (w/m <sup>2</sup> )
۶	۵۴۰-۵۶۲ (w/m <sup>2</sup> )
۲	۵۶۲-۵۹۰ (w/m <sup>2</sup> )
۳	۵۹۰-۶۲۰ (w/m <sup>2</sup> )
۴۲	۶۲۰-۶۸۰ (w/m <sup>2</sup> )

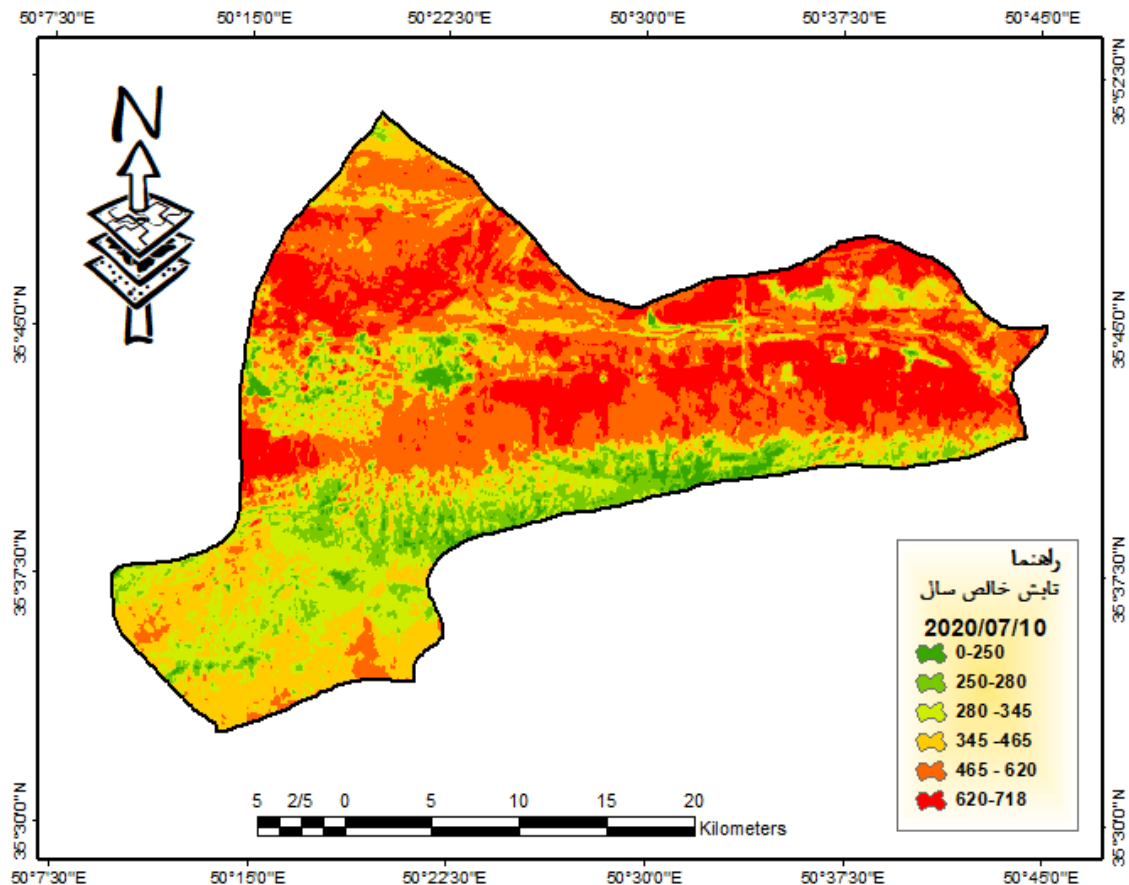


شکل ۳. توزیع تابش خالص ، ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ با روش سیال

اطلاعات جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ، ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ در محدوده ۶۸۰-۶۲۰ وات بر مترمربع با مقدار ۴۲ در صد کل تابش خالص بوده است. همچنین در محدوده ۵۰۲-۰ تابش خالص ۴۱ درصد را نشان می‌دهند که رقم قابل توجهی می‌باشد. همچنین در این ماه در محدوده ۵۹۰-۵۶۲ وات بر مترمربع ۲ تابش خالص دریافت شده است. در مقایسه شهرستان می‌توان گفت که غرب شهرستان اشتهارد دارای بیشترین درصد تابش خالص ثبت شده است.

جدول ۴- درصد توزیع تابش خالص با روش سیال ۲۰۲۰/ ۰۷/۱۰

مقدار تابش	کلاس تابش
۷	۰-۲۵۰ (w/m <sup>2</sup> )
۶	۲۵۰-۲۸۰ (w/m <sup>2</sup> )
۸	۲۸۰-۳۴۵ (w/m <sup>2</sup> )
۳۱	۳۴۵-۴۶۵ (w/m <sup>2</sup> )
۲۳	۴۶۵-۶۲۰ (w/m <sup>2</sup> )
۲۵	۶۲۰-۷۱۸(w/m <sup>2</sup> )

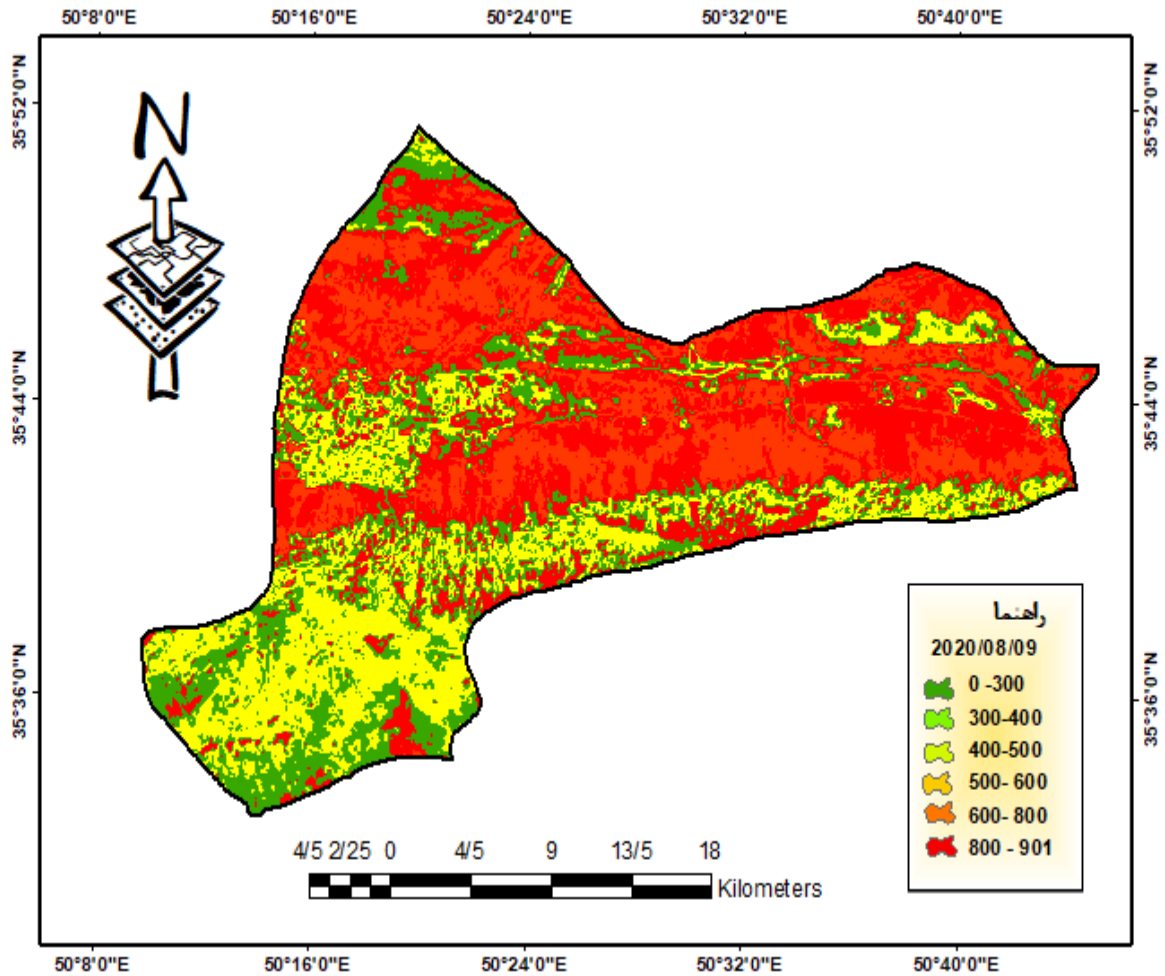


شکل ۴- توزیع تابش خالص با روش سببال ۲۰۲۰/۰۷/۱۰

اطلاعات جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ۲۰۲۰/۰۷/۱۰ محدوده ۳۴۵-۶۵ وات بر مترمربع با مقدار ۳۱ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در بازه ۷۱۸-۶۲۰ با ۲۵ درصد در رتبه بعد قرار دارد. همچنین در این ماه در محدوده ۲۸۰-۲۵۰ وات بر مترمربع ۶ درصد تابش خالص دریافت شده است. در این شمال شهرستان اشتهارد دارای تابش خالص زیادی می‌باشد.

جدول ۵- درصد توزیع تابش خالص با روش سببال، ۲۰۲۰/۰۸/۰۹

مقدار تابش	کلاس تابش
۱۲	۰-۳۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۵	۳۰۰-۴۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۱۲	۴۰۰-۵۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۱۵	۵۰۰-۶۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۳۱	۶۰۰-۸۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۲۵	۸۰۰-۹۰۱ (w/m <sup>2</sup> )

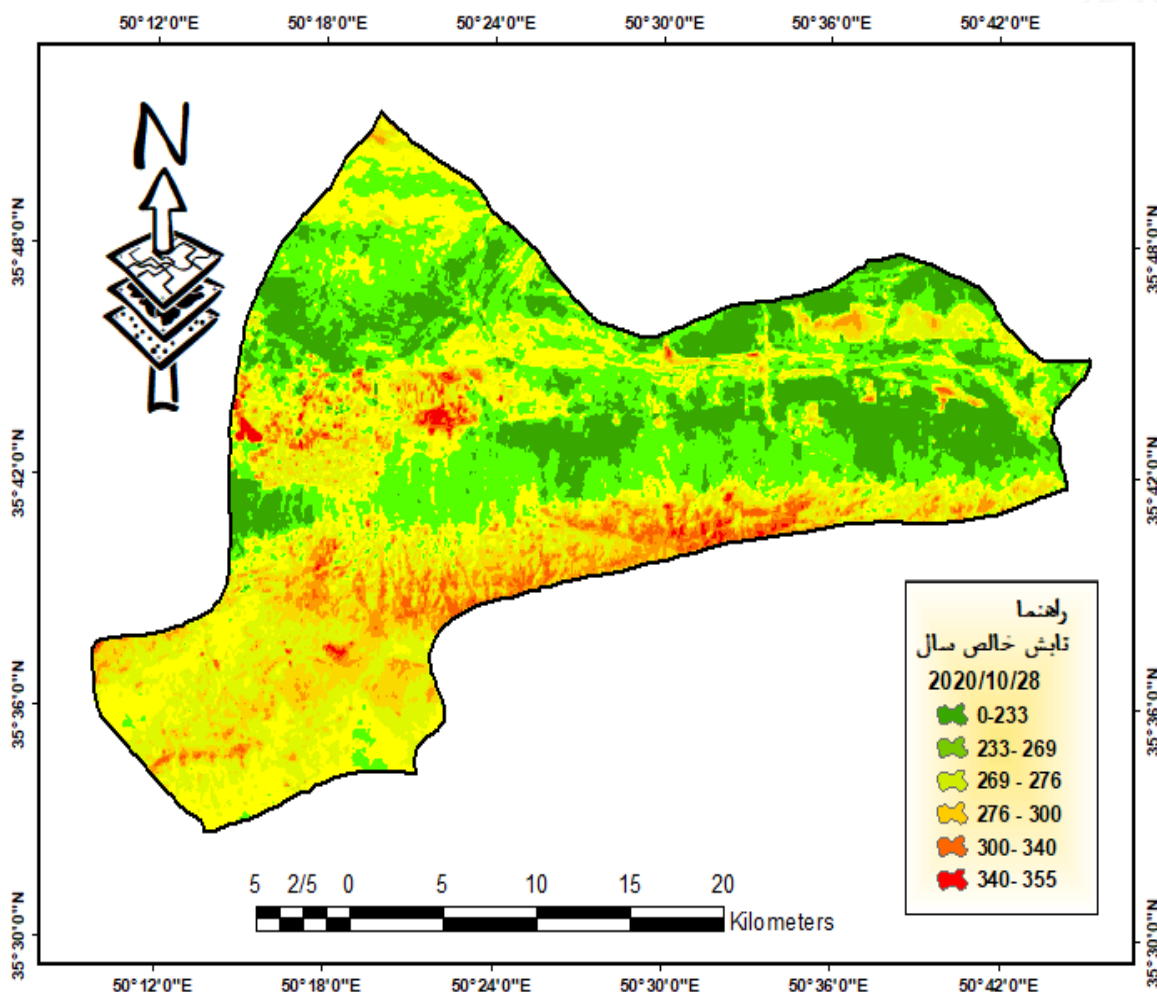


شکل ۵- توزیع تابش خالص ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ با روش سبال

اطلاعات جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه محدوده ۶۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۳۱ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه کمترین میزان در محدوده ۴۰۰-۳۰۰ وات بر مترمربع ۵ تابش خالص دریافت شده است. در این شهرستان نیز بیشترین میزان تابش خالص مربوط به شمال شهرستان اشتهارد می‌باشد.

جدول ۶- درصد توزیع تابش خالص با روش سبال، ۲۰۲۰/۱۰/۲۸

مقدار تابش	کلاس تابش
۲۱	۰-۲۳۳ (w/m <sup>2</sup> )
۲۰	۲۳۳-۲۶۹ (w/m <sup>2</sup> )
۶	۲۶۹-۲۷۶ (w/m <sup>2</sup> )
۴۰	۲۷۶-۳۰۰ (w/m <sup>2</sup> )
۸	۳۰۰-۳۴۰ (w/m <sup>2</sup> )
۵	۳۴۰-۳۵۵ (w/m <sup>2</sup> )



شکل ۶- توزیع تابش خالص، ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ با روش سبال

اطلاعات جدول ۶ نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد توزیع تابش خالص در، ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ محدوده ۳۰۰-۲۷۶ وات بر مترمربع با مقدار ۴۰ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در محدوده ۲۳۳-۰ با ۲۱ درصد دوم قرار دارد. همچنین در این ماه در محدوده ۳۵۵-۳۴۰ وات بر مترمربع ۵ درصد تابش خالص دریافت شده است. در این ماه نیز می‌توان گفت جنوب شهرستان‌های اشتهارد دارای تابش خالص زیادی می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان می‌دهد که نتایج حاصل نشان می‌دهد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۹۰۱ وات بر مترمربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و کمترین مقدار در فوریه به میزان ۳۰۲ وات بر مترمربع بوده است. این در حالی است که کمترین مقدار تابش خالص در ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ به میزان با مقدار ۳۵۵ وات بر مترمربع می‌باشد. بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ محدوده ۶۰۰-۸۰۰ وات بر مترمربع با مقدار ۳۱ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه کمترین میزان در محدوده ۴۰۰-۳۰۰ وات بر مترمربع ۵ درصد تابش خالص دریافت شده است. در این ماه شهرستان نیز بیشترین میزان تابش خالص را در یک سال آتی می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در شهرستان اشتهارد در 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 هانفی اردکانی (۱۳۹۴) که از داده‌های سنجنش از دور و الگوریتم سبال در مطالعات تابش خورشیدی بهره گرفته‌اند، مطابقت دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجنش 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 سنجنش از دور به جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی استفاده نمایند.

## منابع

- رضایی بنفشه، رستم زاده، فیضی زاده؛ مجید، هاشم، بختیار (۱۳۸۶) بررسی و ارزیابی روند تغییر سطوح جنگل با استفاده از سنجنش از دور و GIS مطالعه موردی جنگل‌های ارسباران ۲۰۰۵-۱۹۸۷، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، صص ۱۵۹-۱۴۳.
- عابدینی، موسی & محمدزاده شیشه گران، مریم. (۱۴۰۲). امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجنش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان ساوجبلاغ). *مجله علمی "آمایش سرزمین، دوره ۱، شماره ۱۵، ۱۴۷-۱۶۳*.
- علی‌آبادی، کاظم، داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۴). بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه‌ی ایران. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۶، شماره ۲۱، صص ۱۰۴-۸۶.
- فلاح قاله‌ری، غلام عباس، اسدی، مهدی، داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۴). تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، صص ۶۳۷-۶۵۰.
- فیضی زاده، بختیار، دیده‌بان، خلیل، غلام نیا، خلیل (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد). فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۸، صص ۱۷۱-۱۸۲.
- فیضی زاده، جعفری، نظم فر؛ بختیار، فیروز، حسین، (۱۳۸۷). کاربرد داده‌های سنجنش از دور در آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی شهری مطالعه موردی فضای سبز شهر تبریز، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۴، صص ۱۷-۲۴.
- فیضی زاده، سلمانی، بختیار، سعید (۱۳۹۵). مدل‌سازی تخریب اراضی کشاورزی بر اثر رشد و توسعه شهری با به‌کارگیری روش‌های شیء پایه پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محدوده شهری ارومیه، آمایش سرزمین، دوره هشتم، شماره دوم، صص ۲۰۲-۱۷۷.
- فیضی زاده، شهابی، سیفی؛ بختیار، هژار، هوشنگ (۱۳۹۵). شناسایی پهنه‌های مستعد توفان‌های نمکی دریاچه ارومیه با استفاده از پردازش فازی-شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، دوره ۳، شماره ۳، صص ۲۸۴-۲۶۹.
- فیضی زاده، هالی، بختیار، حسین، (۱۳۸۸). مقایسه روش‌های پیکسل پایه، شیء‌گرا و پارامترهای تأثیرگذار در طبقه‌بندی پوشش / کاربری اراضی استان آذربایجان غربی، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۷۱، صص ۷۳-۸۴.

کاکه ممی، آزاد، قربانی، اردوان، کیوان بهجو، فرشاد، میرزایی موسی وند، آمنه (۱۳۹۶). مقایسه روش‌های تفسیر چشمی و رقومی در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی استان اردبیل، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هشتم، شماره سوم، صص ۱۳۴-۱۲۱.

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.

ولی زاده کامران، خلیل، غلام نیا، خلیل، عینالی، گلزار، موسوی، سید محمد (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۸، شماره ۳۰، صص ۵۰-۳۵.

Abedini, M., & Mohammadzadeh Shishehgaran, M. (2023). Studying the Possibility of Using Solar Radiation energy Using Remote Sensing and SEBAL Algorithm (Case Study: Savojbolagh city). *Town and Country Planning*, 15(1), 147-163. doi: 10.22059/jtcp.2023.352157.670367.

Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). Examining urban heat island relations to land use and air pollution: multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3).pp. 1749-1756.

Karenia, C. S. G. (2016). Spatial Geo-technologies and GIS tools for urban planners applied to the analysis of urban heat island. Case Caracas city, Venezuela, ICUC9, 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, pp. 1-5.

Nicòs Valiente, J.A., Barberà, M.J., Estrela, M.J., Galve, and J.M., Caselles. (2009). Preliminary results on the retrieval of land surface temperature from MSG-SEVIRI data in Eastern Spain. *Proceedings*, pp.55-78.

Ronald, C, Estoque, M, Yuji, M, S W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia, *National Library of Medicine, U.S.*,15(577).pp. 349-359.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4).pp. 434-440 .

Subrino, j.jime nez-munoz,g.c.&paplini,l.,(2004).land surface temperature retrieval from landsat tm5,remote sensing of environment,90.pp.434-440.

Wan, Z., & Dozier, J, (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature fromspace, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 34(4).pp. 892-905.

Weng, Q.H., Lu, D.S. and Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies', *Remote Sensing of Environment*, Vol, 89, No. 4.pp. 467-483.

Yang J.S., Wan Y.Q. and P.V. August, (2004). Estimation of land surface temperature using spatial interpolation and satellite-derived surface emissivity, *J. Environmental informatics*, 4(1).pp. 40-47.

Zhang, j.,wang,y.&li, Y.,(2006),AC++ Program for retrieving land surface temperature from the data of landsat tm/etm+ band6,computers & geosciences , 32,pp.1796-1805.