



University of Tehran

Studying the Possibility of Using Solar Radiation energy Using Remote Sensing and SEBAL Algorithm (Case Study: Savojbolagh city)

Mousa Abedini^{1*} | Maryam Mohammadzadeh Shishehgaran²

1. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: abedini@uma.ac.ir

2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: mmohamadzadeh23@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received December 06, 2022
Revised February 08, 2023
Accepted February 12, 2023

Keywords:
*Solar radiation,
SEBAL algorithm,
Remote sensing,
Savojbolagh city.*

ABSTRACT

As the main source of energy, the sun is the origin of life and the root of every other known energy. The global radiation of sun is one of the fundamental structures of any climatic range. Thus, knowing the qualities and predicting these fundamental structures have a great effect on energy-based plannings. The use of satellite images and remote sensing models have been used as suitable and cheap means to estimate solar radiation. In this study, the 2020 year images of Landsat 8 satellite, OLI sensor, TIRS sensor, and SEBAL algorithm were used. ENVI software was used to make geometric, atmospheric, and radiometric modifications of the satellite images and execute SEBAL model calculations, and ArcGIS was used to create database, conduct locative analyses, carry out cartographic operations, and implement the model. The obtained results showed that the average of highest short-wave incoming radiation has been 862 watts per square meter on August 9, 2020, and the lowest value has been 368 watts per square meter on October 28, 2020. Nonetheless, the highest absolute radiation value has been 901 kilowatts on June 6, 2020, and the lowest value has been 19 kilowatts on September 10, 2020. The difference in the absolute radiation values received by earth in the area under study is due to the difference in the sun's radiation angle and the number of sunny hours in different months of the year. Finally, it can be concluded that the solar radiation in the region in the year under study has the potential to execute solar photovoltaic plans.

Cite this article: Abedini, M., Mohammadzadeh Shishehgaran, M. (2023). Feasibility study of using solar radiation energy using remote sensing and SEBAL algorithm (Case study: Savjablag Plain). *Town and Country Planning*.15 (1), 147-163. Doi: 10.22059/jtcp.2023.352157.670367



© Mousa Abedini, Maryam Mohammadzadeh Shishehgaran **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.352157.670367>



دانشگاه تهران

آمایش سرزمین

سایت نشریه: <https://jtcp@ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۶۲۶۸-۲۴۲۳

امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان ساوجبلاغ)

موسی عابدینی^{۱*} | مریم محمدزاده شیشه‌گران^۲

۱. نویسنده مسئول، رشته جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: abedini@uma.ac.ir
۲. رشته جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mmohamadzadeh23@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

کلیدواژه:

الگوریتم سبال،
انرژی تابشی خورشید،
سنجش از دور،
شهرستان ساوجبلاغ.

خورشید، به منزله منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ همه انرژی‌های دیگر شناخته شده است. تابش جهانی خورشید یکی از سازه‌های بنیادین هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. از این رو، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه‌های اساسی تأثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی در سال‌های اخیر بوده است. جهت انجام دادن این پژوهش، از تصاویر 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 اجرای مدل استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۸۶۲ وات بر متر مربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و میانگین کمترین مقدار در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ به میزان ۳۶۸ وات بر متر مربع بوده است. این در حالی است که بیشترین مقدار تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ به میزان ۹۰۱ کیلومتر و کمترین مقدار در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۱۹ کیلومتر محاسبه شده 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 تابش خورشیدی در منطقه در سال مورد بررسی پتانسیل لازم را برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی دارد.

استناد: عابدینی، موسی؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۲). امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان ساوجبلاغ). *آمایش سرزمین*، ۱۵ (۱) ۱۴۷-۱۶۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.352157.670367>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© موسی عابدینی، مریم محمدزاده شیشه‌گران

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.352157.670367>



مقدمه و بیان مسئله

خورشید، به منزله منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ همه انرژی‌های دیگر شناخته شده است. تابش جهانی خورشید یکی از سازه‌های بنیادین هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. از این رو، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه‌های اساسی تأثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد (کمالی و مرادی، ۲۰۰۵، ص ۲۸۵). در بسیاری از مناطق کوهستانی، که برق‌رسانی آسان نیست، انرژی حاصل از تابش خورشیدی می‌تواند جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی باشد؛ به‌ویژه اینکه کاربرد این سرچشمه انرژی عاری از آلودگی‌های زیست‌محیطی است (Bosch et al. 2008. PP. 1622-1628). یکی از روش‌های دسترسی به اطلاعات انرژی خورشیدی اندازه‌گیری مستقیم انرژی خورشید توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری، مانند پیرانومتر و پیرهیلومتر، است. متأسفانه در بسیاری از نقاط اندازه‌گیری تابش خورشیدی به لحاظ هزینه زیاد و نگهداری و نیاز به واسنجی (کالیبراسیون) تجهیزات همیشه صورت نمی‌گیرد (Bakirc2009. PP. 485-501). تا کنون رویکردهای گوناگونی برای فراگیر ساختن نقشه‌های تابشی به انجام رسیده است تا از این راه بتوان به برآوردی از تابش خورشیدی در پهنه‌هایی که داده‌های دیدبانی در دسترس نیست دست یافت (Winslow. 2001. PP 227-243). تکنیک‌های سنجش از دور به دلیل دقت و سرعت بالا در برآورد مقادیر تابش خالص می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و قدیمی در این زمینه باشند (معینی، ۲۰۱۰: ۷۹).

پیشینه تجربی پژوهش

با توجه به اهمیت استفاده از انرژی تابشی خورشید، مطالعات فراوانی در این زمینه در سراسر جهان و نیز ایران انجام شده است. وروانی و همکارانش (۱۳۸۹) از تلفیق تصاویر لندست ۸ و مودیس و مدل سبال برای برآورد تبخیر و تعرق ذرت در منطقه ماهی‌دشت کرمانشاه استفاده کردند. مقادیر حاصل در قیاس با داده‌های زمینی بیانگر این بود که تلفیق تصاویر ماهواره‌ای باعث بهبود دقت تبخیر و تعرق برآوردی نسبت به تصویر لندست ۸ شده است. به طور کلی نتایج نشان داد برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم سبال نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. مباحثی و همکارانش (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان «تجزیه و تحلیل روش‌های استفاده از ماهواره برای تعیین میزان تابش جهت برآورد تبخیر-تعرق» از سه روش مکانیسم بازخور داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک استفاده از فرایندهای بیوفیزیکی و سبال استفاده کردند. در روش سبال مقادیر لحظه‌ای تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری‌های تابش خالص و تابش فرودی خورشید در دو ایستگاه زمینی و تابش حرارتی خروجی با استفاده از دو تصویر بدون ابر و به‌کارگیری آلبدوی سطحی، گسیلمندی سطحی، و دمای سطح به دست آمد. نتایج نشان داد مدل سبال، علاوه بر اینکه کمترین وابستگی را به داده‌های زمینی دارد، در صورتی که از ماهواره با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا استفاده شود، در مقایسه با دو روش دیگر، بهترین جواب را برای محاسبه تابش ارائه خواهد داد. جهان‌بخش و همکارانش (۱۳۸۸) به طور هم‌زمان به پایش دمای سطح زمین در تعداد محدودی از ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای و محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم سبال پرداختند. نتایج نشان داد اختلافی در حدود ۵/۵۷ درجه سانتی‌گراد بین دمای سطح برآوردشده از طریق سنجش از دور و آمار دوازده‌ساله (۲۰۰۵ - ۱۹۹۳) ایستگاه هواشناسی مراغه وجود دارد. موسوی‌بیگی و همکارانش (۱۳۸۹) در پژوهشی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی را به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک بررسی کردند. این محققان، با بررسی هفت مدل برآورد تابش خورشیدی، مدل آنگستروم-پرسکات پیشنهادی فائو را مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک معرفی کردند. ولی‌زاده کامران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای، جهت محاسبه تبخیر و تعرق به روش استفنز در منطقه آذربایجان شرقی، به محاسبه تابش رسیده به سطح زمین با استفاده از تصاویر SRTM و با کمک تابع Solar Analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS در روز ۱۱ خردادماه بین ساعات ۱۰ تا ۱۱ قبل از ظهر اقدام کرد. رضایی‌مقدم و همکارانش (۱۳۹۴) در پژوهشی، با استفاده از الگوریتم سبال، تابش خالص خورشیدی را جهت تأمین روشنایی بزرگراه زنجان- تبریز مطالعه کردند. نتایج نشان داد منطقه 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 وجود دارد. اصغری سراسکانرود و امامی (۱۳۹۷) در پایش دمای سطح زمین و بررسی تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+

در شهرستان اردبیل با روش پنجره مجزا اعلام کردند رابطه قوی بین کاربری اراضی و دمای سطحی وجود دارد؛ در نواحی شهری که پوشش گیاهی کمتر از نواحی کشاورزی و مرتعی است دما بیشتر است. اصغری سراسکانرود و فعال نذیری (۱۳۹۸) در پایش دمای سطح زمین و بررسی تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر سنجنده OLI در ۴۰ کیلومتری شهر اردبیل با روش پنجره مجزا اعلام کردند رابطه‌ای قوی بین کاربری اراضی و دمای سطحی وجود دارد؛ در نواحی شهری که پوشش گیاهی کمتر از نواحی کشاورزی و مرتعی است دما بیشتر است. همچنین شاخص موران جهانی در این پژوهش نشان داد داده‌های دمای سطح زمین اردبیل ساختار فضایی دارد و به شکل خوشه‌ای توزیع شده است. آروین (۱۳۹۸) در تحقیقی، با هدف آشکارسازی دمای رویه سطح زمین در شهر اصفهان، از الگوریتم پنجره مجزا استفاده کرد. نتایج نشان داد اختلاف دمای محاسبه شده و دمای ایستگاه عمق ۵ سانتی‌متری خاک در دو ایستگاه ازن‌سنجی و فرودگاه اصفهان به طور میانگین ۴/۲۵ درجه سلسیوس است که این اختلاف کم دقت بالای این الگوریتم را نشان می‌دهد. عابدینی و همکارانش (۱۴۰۱) در تحقیقی به پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI, TM در شهرستان مشگین‌شهر پرداختند. نتایج نشان داد رابطه‌ای قوی بین کاربری اراضی و دمای سطحی وجود دارد. مناطق با پوشش گیاهی بالا و مناطق آبی دارای درجه حرارت پایین بودند. همچنین، کاربری کشاورزی دیم دارای بیشترین میانگین دما نسبت به مناطق مجاور بود که خشک بودن محصولات کشاورزی در سطح شهرستان مشگین‌شهر را نشان می‌دهد. همچنین عابدینی و همکارانش (۱۴۰۱) به بررسی پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداختند. نتایج نشان داد شاخص‌های NBR و dNBR اطلاعات مناسبی در خصوص تأثیر آتش‌سوزی و روند تغییرات آن در اختیار قرار می‌دهد و همچنین ۱۳۶۸۵ هکتار از جنگل‌های زاگرس در این آتش‌سوزی طعمه حریق شده‌اند. بیجت^۱ و همکارانش (۲۰۱۷) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل فضایی روند دما در صربستان (۱۹۶۱ - ۲۰۱۰) پرداختند. در این پژوهش از داده‌های متوسط دمای ماهیانه ۶۴ ایستگاه هم‌دید استفاده شد و سپس روند دامنه‌های دما از روند خطی و همچنین روش حداقل مربعات معمولی به دست آمد. آن‌ها برای بررسی خودهمبستگی فضایی نیز از روش موران جهانی استفاده کرده بودند. نتایج پژوهش نشان داد روند درجه حرارت در سراسر صربستان از الگوی تصادفی تبعیت می‌کند. توست^۲ و همکارانش (۲۰۱۸) با استفاده از یک مدل ابداعی ساده مقدار جزیره گرمایی شهر را برای چهارده شهرستان در سراسر شمال غربی اروپا محاسبه کردند و دریافتند بین دره عمیق و باریک در منطقه شهری و مناطق روستایی اختلاف درجه حرارت وجود دارد. رونالد^۳ و همکارانش (۲۰۱۹) در شهرهای بزرگ مناطق بانکوک (تایلند)، جاکارتا (اندونزی)، مانیل (فیلیپین) به منظور بررسی رابطه درجه حرارت سطحی و فراوانی و الگوی فضایی سطح نفوذناپذیر و فضای سبز مطالعه‌ای انجام دادند که نشان داد ارتباط معنادار و قوی بین میانگین دمای سطح زمین و تراکم سطح نفوذناپذیر (مثبت) و فضای سبز (منفی) در امتداد شیب شهر-روستایی از سه شهر UHI معمول را دارد. پینکر و همکارانش (۱۹۸۵) مدل فیزیکی را برای تخمین تابش خورشیدی در سطح زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دست آوردند. در این مدل فیزیکی تأثیرات جذب بخار آب، پراکنش معمول تابش‌ها، پراکنش و جذب گردوغبار، جذب و پراکندگی ابرها بررسی شد. لاین و همکارانش (۱۹۹۹) در تحقیقی مدل فیزیکی برای تخمین تابش خورشیدی لحظه‌ای و روزانه در فنلاند بر پایه داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره نوا و داده‌های شش ایستگاه اندازه‌گیری زمینی تابش خورشیدی در ماه جولای ارائه دادند. بررسی لحظه‌ای تخمین‌های ماهواره‌ای با داده‌های اندازه‌گیری میانگین ۱۵ دقیقه‌ای تابش خورشیدی در شرایط صاف با ضریب همبستگی ۰/۹۷ و خطای استاندارد ۰/۸ و تحت شرایط آسمان ابری با ضریب همبستگی ۰/۸۳ - ۰/۷۹ و خطای استاندارد ۳۹ - ۲۷ درصد را نشان داد. ترنکا و همکارانش (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 در نواحی کشاورزی تطابق خوبی بین تبخیر-تعرق به دست آمده از سبال وجود دارد. جانجیا و همکارانش (۲۰۰۵) مدل فیزیکی را بر اساس رابطه بین آلدوی اتمسفر-زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ضرایب جذب و پراکندگی اتمسفر ارائه دادند. این مدل برای محاسبه

1. Bejet
2. Tuset
3. Ronald

میانگین ماهیانه تابش در مناطق گرمسیری با گردوغبار زیاد طراحی شده است. در این مدل تابش خورشیدی ورودی به سطح زمین بر حسب تابش جذب‌شده در شرایط مختلف اتمسفر و تابش بازتابی به فضا محاسبه می‌شود. آلمب و همکارانش (۲۰۰۸) با استفاده از روش سبال و به‌کارگیری تصاویر سنجنده‌های TM و NOAA به برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی و تخمین تابش خالص، شار گرمای خاک، و شار گرمای محسوس در حوضه‌های سنای یمن پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد مناطق دارای آلودگی و دمای سطحی پایین پوشش گیاهی زیاد و تبخیر- تعرق بالایی دارند. تاییک و همکارانش (۲۰۱۰) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با در نظر گرفتن عوامل ارتفاع و شیب و جهت شیب الگوریتمی سریع و دقیق جهت تعیین نقشه‌های حد اکثر انرژی تابش فرودی و زوایای بهینه آن از روی مدل رقومی ارتفاع با تفکیک بالا ارائه کردند. موزاتیک (۲۰۱۴) به ارزیابی مدل‌های متعدد برای تخمین میانگین ماهیانه تابش خورشیدی روزانه در یک سطح افقی بر اساس ساعات آفتابی و انتخاب مدلی مناسب برای ایالت گرنگانوی مالزی پرداخت. هانگ و همکارانش (۲۰۱۵) تابش خالص و تبخیر- تعرق با مقیاس کوچک را به روش سبال از ترکیب تصاویر سنجنده‌های مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر با سنجنده‌های لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج کردند. نتایج نشان داد تفاوت در نقشه‌های تبخیر- تعرق هم به صورت ورودی با مقیاس کوچک هم به صورت خروجی با مقیاس کوچک معنادار نیست. ایندیکیشن و همکارانش (۲۰۱۷) به تخمین تبخیر- تعرق واقعی محصول گندم با استفاده از الگوریتم سبال و روش استاندارد شده پنمن-مانتیت و مقایسه نتایج لایسیمتر در منطقه بیوانی در هاریانا پرداختند. نتایج نشان داد مقدار بارش کافی و در دسترس بودن آب به تولید بیشتر گندم، در اثر افزایش تبخیر- تعرق منطقه مورد مطالعه، منجر شده است. نتایج تحقیقات انجام‌گرفته نشان می‌دهد به طور کلی مدل‌های سنجش از دور عملکرد بهتری در تخمین تابش خورشیدی دارند و می‌توان از آن‌ها به منزله یکی از ابزارهای مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی استفاده کرد. جابر و همکارانش (۲۰۱۶) برای تبخیر و تعرق واقعی در شهر بابل عراق از مدل سبال استفاده کردند. آن‌ها این مدل را برای سری اول ماه مارس برابر ۰/۸۶ و برای سری دوم ماه سپتامبر ۰/۸۶ به دست آوردند.

اهداف و سؤالات پژوهش

بیشترین میزان انرژی مربوط به کدام ماه است؟

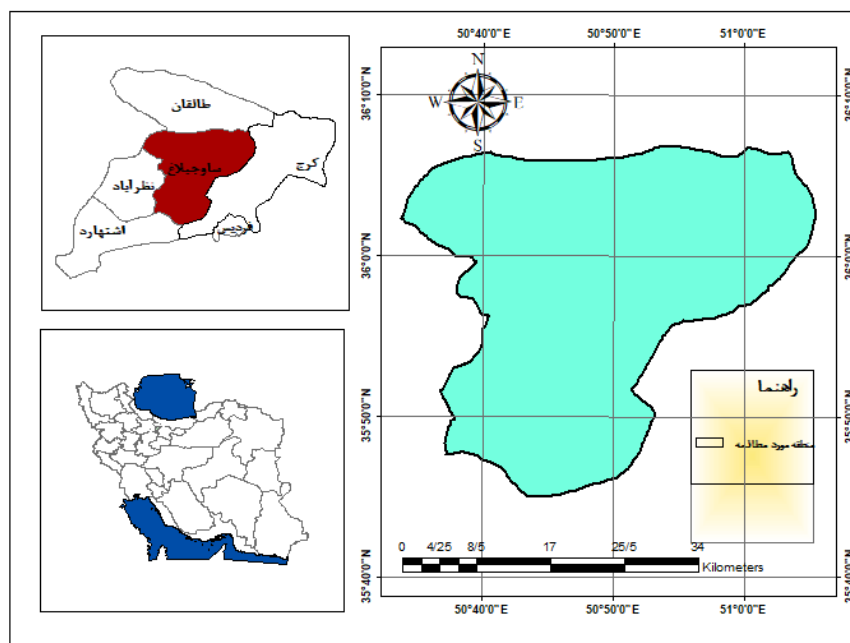
بالاترین میزان تشعشع خورشید چه میزان است؟

با توجه به اهمیت تابش خورشیدی، به منزله یک انرژی پاک و در دسترس و عاری از هر گونه آلودگی مخرب زیست‌محیطی، شناسایی نواحی پرتابش جهت معرفی به مراجع ذی‌ربط ضروری و لازم و هدف این تحقیق است. در این پژوهش سعی شده با استفاده از الگوریتم سبال و تکنولوژی سنجش از دور امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در منطقه شهرستان ساوجبلاغ مطالعه شود.

روش و ابزار تحقیق

محدوده مورد مطالعه: شهرستان ساوجبلاغ

ساوجبلاغ یکی از شهرستان‌های استان البرز و مرکز آن شهر هشتگرد است. این شهرستان بر اساس آخرین تقسیمات کشوری با وسعتی معادل ۲۸۰۰ کیلومتر مربع در غرب استان البرز واقع شده است و از شرق با شهرستان کرج، از جنوب با شهرستان اشتهارد، از غرب با شهرستان آبیک و نظرآباد، و از شمال با شهرستان طالقان هم‌جوار است. قسمت عمده‌ای از بخش‌های چندار در منطقه کوهستانی و بخش‌های مرکزی و چهارباغ در منطقه دشت و زمین‌های تپه‌ماهوری واقع شده‌اند. طبق آمار سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهرستان ۲۵۹/۹۷۳ نفر بوده است. موقعیت شهرستان ساوجبلاغ در شکل ۱ قابل مشاهده است (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش برای بررسی و امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در یک دوره مربوط به ماه‌های سال ۲۰۲۰ استفاده شد (جدول ۱). از نرم‌افزار ENVI جهت تصحیحات هندسی، اتمسفری، و رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای و همچنین اجرای محاسبات مدل سبال و از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی، عملیات کارتوگرافیکی، و در نهایت اجرای مدل استفاده شد. در ادامه محاسبات مدل سبال در محیط نرم‌افزار ENVI و ArcGIS انجام شد و مقدار تابش خالص در منطقه مورد مطالعه محاسبه و تحلیل شد. گفتنی است تصاویر در دسترس ماه‌های سال برای محدوده مورد مطالعه کاملاً ابری بود 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 یادشده مقدور نشد.

محققان روش‌های مختلفی برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه از سطح زمین برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد کرده‌اند. اساس هر یک از این روش‌ها ضریب صافی هوا، کسر ساعات آفتابی، میزان بارندگی، دما، رطوبت نسبی، فشار، ارتفاع از سطح دریا، و پارامترهای دیگر است. در این پژوهش، با الگوریتم سبال و تکنولوژی سنجش از دور، امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در شهرستان ساوجبلاغ مطالعه شد. به منظور عملیات پردازش و به دست آوردن نتایج دقیق، عملیات پیش‌پردازش و تصحیحات لازم بر همه باند‌های تصاویر انجام گرفت. باند‌های حرارتی و غیر حرارتی باید عاری از اثر اتمسفری باشند. در روش سبال بسیار مهم است که تصویر مورد استفاده برای انجام دادن 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 آثار اتمسفری برطرف و در نهایت جهت از بین بردن هر گونه گپ و استریپ تصحیحات رادیومتریک بر تصاویر اعمال شد.

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 سیال

در الگوریتم سیال 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 به‌کارگیری آلبودی 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, PP 1-97).

$$R_n = (1-\alpha) RS_{\downarrow} + RL_{\downarrow} - RL_{\uparrow} \quad (1)$$

$$- (1-\epsilon_0) RL_{\downarrow}$$

در رابطه ۱، R_n میزان تابش خالص انرژی خورشیدی، α آلبودی سطحی، ϵ گسیلمندی، RS_{\downarrow} طول موج کوتاه فرودی، RL_{\downarrow} طول موج بلند فرودی، RL_{\uparrow} طول موج بلند خروجی بر حسب وات بر متر مربع را نشان می‌دهند. بنابراین تابش خالص عبارت است از اختلاف بین جریان تابش خروجی و فرودی 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.

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

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

در رابطه ۲، آلبودی بالای اتمسفر آلبودی معادل تابش مسیر و ضریب شفافیت اتمسفری را نشان می‌دهد.

برای محاسبه از رابطه ۳ و ۴ استفاده می‌شود (Allen, et al. 2002, PP 1-97).

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega\lambda \times \rho\lambda) \quad (3)$$

$$\omega_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum ESUN_{\lambda}} \quad (4)$$

$$\alpha_{path_radiance} \approx 0.03 \quad (5)$$

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times Z \quad (6)$$

در روابط ۳ تا ۶ میانگین تابش ورودی خورشید در هر باند ضریب وزنی و Z ارتفاع محل بر حسب متر را نشان می‌دهد. انعکاس یک سطح نسبت شار تابشی منعکس شده به شار تابشی برخوردی با سطح است. برای محاسبه $\rho\lambda$ (رادیانس به بازتاب) تصاویر ماهواره لندست از رابطه ۷ استفاده شده است.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} * \cos\theta * d_r} \quad (7)$$

$\rho\lambda$ مقدار بازتاب برای هر باند، L_{λ} 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)، d_r مجذور معکوس فاصله نسبی زمین تا خورشید بر حسب واحد نجومی را نشان می‌دهند. $\cos\theta$ با استفاده از داده‌های هدر فایل یعنی زاویه ارتفاع خورشیدی (β) که در آن $(\beta - 90^\circ)$ برابر θ است به دست می‌آید. d_r با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(DOY \frac{2\pi}{365}\right) \quad (8)$$

DOY تعداد روز سال بین ۱ (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 با رابطه ۹ برای زمان تصویر محاسبه کرد. مقادیر RS بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر متر مربع بسته به محل و زمان تصویر متفاوت است (Allen, et al. 2002, PP 1-97).

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (9)$$

G_{sc} ثابت خورشیدی 1367 w/m² است. برای محاسبه دمای سطح زمین T_s از رابطه ۱۰ استفاده شده است.

$$T_s = \frac{T_{bb}}{\varepsilon_0^{0.25}} \quad (10)$$

$$T_{bb} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_6} + 1\right)} \quad (11)$$

در روابط ۱۰ و ۱۱، K_1 و K_2 ثابت تصحیح، L_6 رادیانس باند حرارتی در ماهواره لندست، T_{bb} دمای جسم سیاه زمین را نشان می‌دهند.

گسیلمندی سطحی (ε_0) به صورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده به وسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود.

$$\varepsilon_0 = 1.009 + 0.047 \times \ln(\text{NDVI}) \quad (12)$$

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

$$\text{NDVI} = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (13)$$

R انعکاس در باند قرمز و IR انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک هستند.

برای محاسبه تابش موج بلند خروجی یا $\uparrow RL$ از رابطه ۱۴ استفاده شد. مقادیر RL بسته به محل و زمان تصویر از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر متر مربع تغییر می‌کنند (Allen, et al. 2002, PP 1-97).

$$\uparrow RL = \varepsilon_0 \sigma T_s^4 \quad (14)$$

در رابطه ۱۴، ε_0 گسیلمندی اتمسفری و σ ثابت استفان-بولتزمن و برابر $5.67 \times 10^{-8} \text{ k}$ است. T_s دمای سطح زمین بر حسب k را نشان می‌دهد. تابش موج بلند فرودی، شار تابش حرارتی از آسمان به سمت پایین است که با استفاده از رابطه استفان-بولتزمن محاسبه می‌شود (Allen, et al. 2002, PP 1-97).

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (15)$$

$R_{L\downarrow}$ طول موج بلند ورودی بر حسب وات بر متر مربع است که مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر متر مربع متغیر است. ε_a گسیلمندی اتمسفر (بدون بعد) و σ ثابت استفان-بولتزمن و برابر $5.67 \times 10^{-8} \text{ k}$. T_a دمای هوای نزدیک سطح بر حسب کلون است.

برای محاسبه ε_a می‌توان از رابطه ۱۶ که توسط باستیانسن به دست آمده استفاده کرد (Allen, et al. 2002, PP 1-97).

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

که در آن ضریب شفافیت اتمسفری موج کوتاه است. T_{cold} نیز معادل دمای سطحی پیکسل سرد است. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل (معمولاً یونجه) و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می‌شوند. در نتیجه رابطه نهایی برای محاسبه $R_{L\downarrow}$ را می‌توان به صورت رابطه ۱۷ نوشت (Allen, et al. 2002, PP 1-97).

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

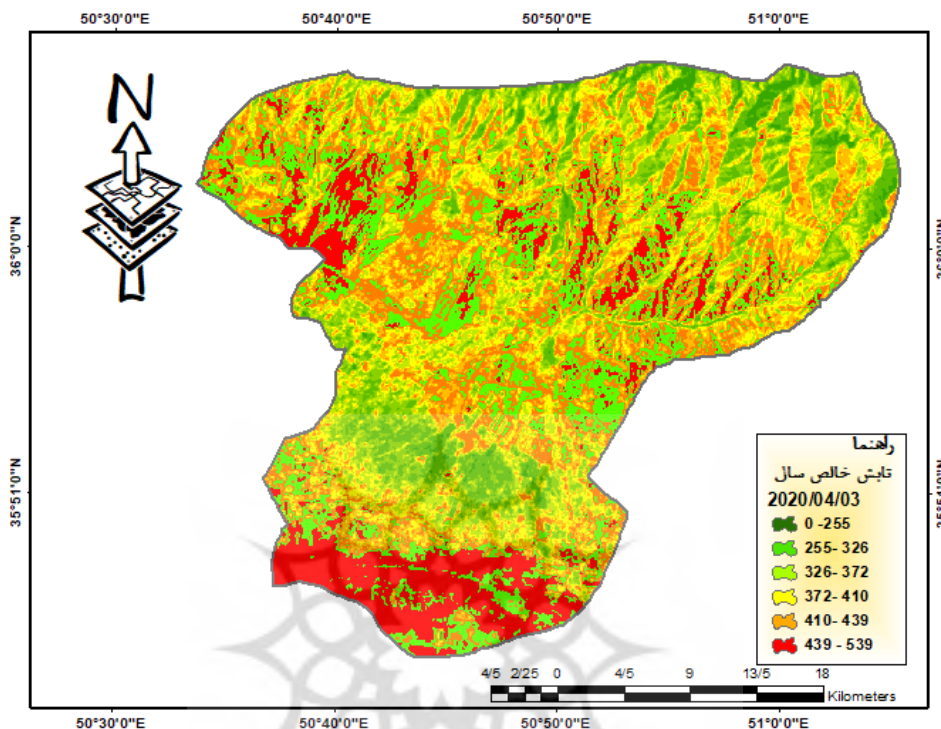
پس از محاسبه پارامترهای الگوریتم سیال، که شرح داده شد، شار تابش خالص سطحی (R_n) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

یافته‌های پژوهش

میانگین مقادیر بازتاب

در این پژوهش، پس از تهیه تصاویر منطقه مورد مطالعه، عملیات پیش پردازش بر تصاویر انجام شد. 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 نشان می‌دهد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۸۶۲ وات بر متر مربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و میانگین کمترین مقدار در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ به میزان ۳۶۸ وات بر متر مربع بوده است. این در حالی است که بیشترین مقدار تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ به میزان ۹۰۱ کیلومتر و کمترین مقدار در ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۲۰ کیلومتر محاسبه شده است.



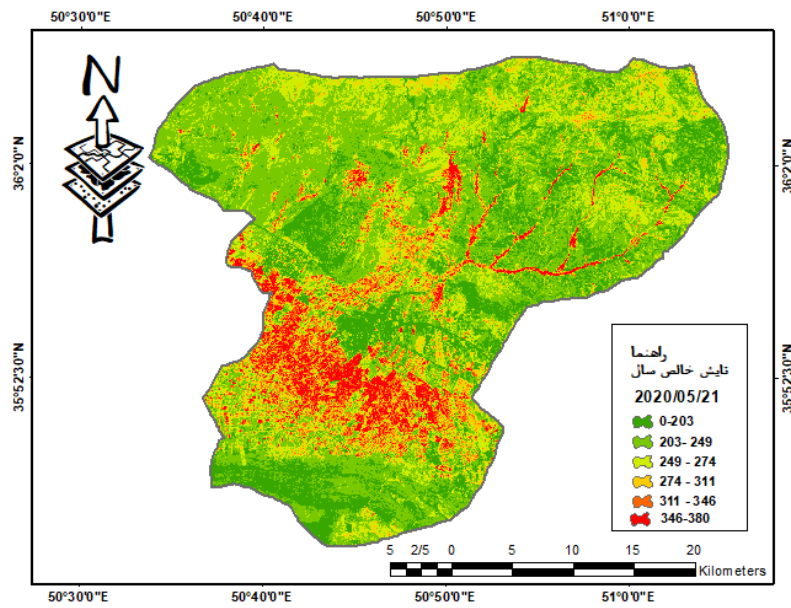
شکل ۲. توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ با روش سیال

جدول ۲. درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ با روش سیال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۸۲	۰ - ۲۵۵ (w/m ²)
۱۵۲	۲۲۶ - ۲۵۵ (w/m ²)
۱۹۰	۳۷۲ - ۳۲۶ (w/m ²)
۲۳۹	۴۱۰ - ۳۷۲ (w/m ²)
۲۷۶	۴۱۰ - ۴۳۹ (w/m ²)
۲۱۹	۵۳۹ - ۴۳۹ (w/m ²)

اطلاعات جدول ۲ نشان می‌دهد بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۰۳ در محدوده ۴۳۹ - ۴۱۰ وات بر متر مربع با مقدار ۲۷۶ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۲۵۵ - ۰ وات بر متر مربع ۸۲ کیلومتر کمترین تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است در شهرستان ساوجبلاغ قسمت جنوب و مرکز دارای بالاترین دمای توزیع تابش خالص است.

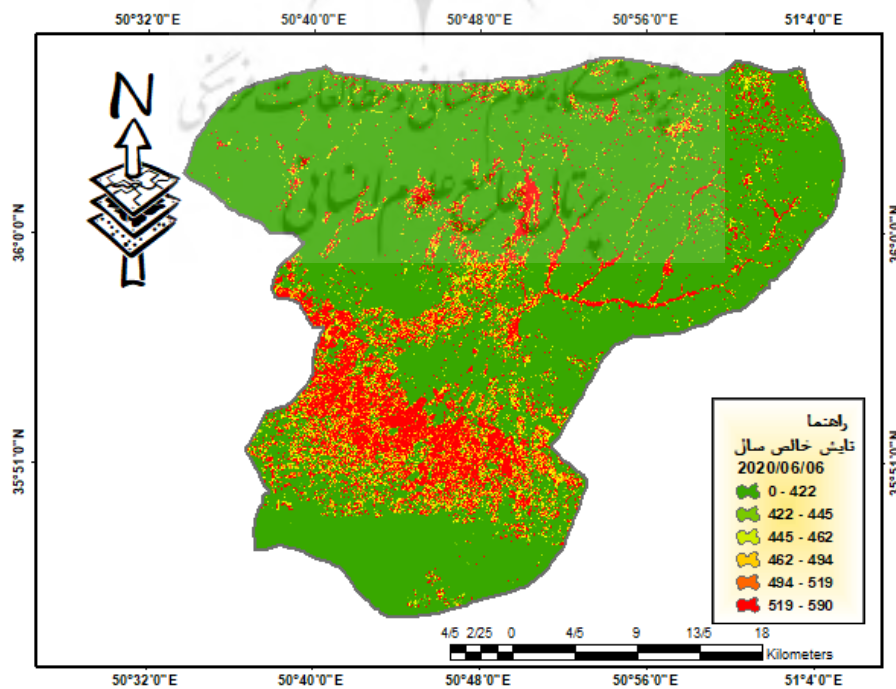
اطلاعات جدول ۳ نشان می‌دهد بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۵/۲۹ در محدوده ۲۴۹ - ۲۰۳ وات بر متر مربع با مقدار ۴۸۴ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۳۴۶ - ۳۸۰ وات بر متر مربع ۵۹ کیلومتر کمترین تابش خالص را دریافت کرده است. همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود در شهرستان ساوجبلاغ قسمت جنوب و مرکز دارای بالاترین دمای توزیع تابش خالص است.



شکل ۳. توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۵/۲۹ با روش سیال

جدول ۳. درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۵/۲۹ با روش سیال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۲۱۸	۰ - ۲۰۳ (w/m ²)
۴۸۴	۲۰۳ - ۲۴۹ (w/m ²)
۲۴۱	۲۴۹ - ۲۷۴ (w/m ²)
۸۹	۲۷۴ - ۳۱۱ (w/m ²)
۶۶	۳۱۱ - ۳۴۶ (w/m ²)
۵۹	۳۴۶ - ۳۸۰ (w/m ²)

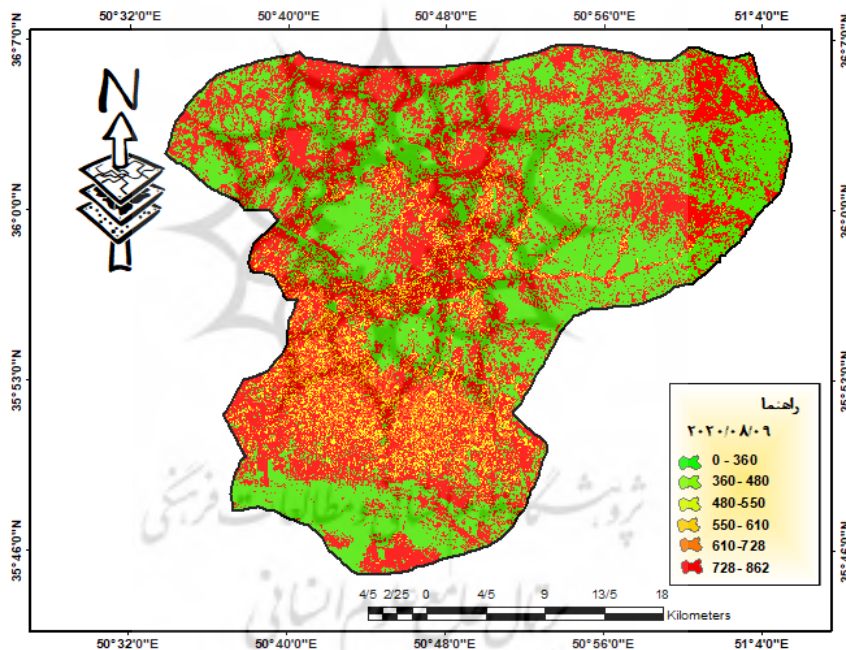


شکل ۴. توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ با روش سیال

جدول ۴. درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ با روش سیال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۹۰۱	۰ - ۴۲۲ (w/m ²)
۲۰	۴۴۵ - ۴۲۲ (w/m ²)
۶۷	۴۶۲ - ۴۴۵ (w/m ²)
۳۹	۴۹۴ - ۴۶۲ (w/m ²)
۴۴	۴۹۴ - ۵۱۹ (w/m ²)
۸۷	۵۹۰ - ۵۱۹ (w/m ²)

اطلاعات جدول ۴ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت به ماه‌های قبل افزایش چشمگیری داشته است. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۹۰۱ وات بر متر مربع است. در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ در محدوده ۰ - ۴۲۲ وات بر متر مربع بیشترین میزان تشعشع با مقدار ۹۰۱ کیلومتر تابش خالص بوده است. در این ماه کمترین تابش در محدوده ۴۴۵ - ۴۲۲ وات بر متر مربع ۲۰ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است همه قسمت‌های شهرستان ساوجبلاغ دارای بالاترین دمای توزیع تابش خالص است.

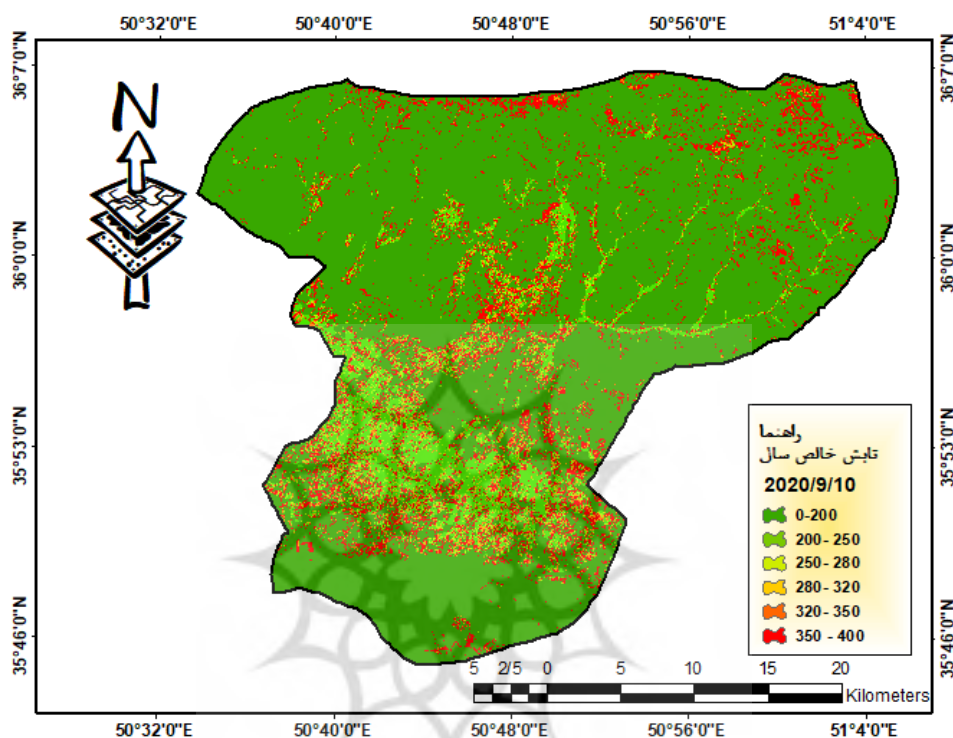


شکل ۵. توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ با روش سیال

جدول ۵. درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ با روش سیال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۵۰۰	۰ - ۳۶۰ (w/m ²)
۳۱	۴۸۰ - ۳۶۰ (w/m ²)
۳۲	۵۵۰ - ۴۸۰ (w/m ²)
۶۲	۶۱۰ - ۵۵۰ (w/m ²)
۵۲	۶۱۰ - ۷۲۸ (w/m ²)
۴۷۰	۸۶۲ - ۷۲۸ (w/m ²)

اطلاعات جدول ۵ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت به ماه‌های قبل افزایش چشمگیری داشته و به بالاترین حد خود هم در میزان تابش هم در مساحت رسیده است. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۵۰۰ وات متر بر مربع است. در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ در محدوده ۳۶۰-۰ وات بر متر مربع بیشترین مقدار ۵۰۰ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۶۰-۴۸۰ وات بر متر مربع ۳۱ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل ۵ مشخص است همه قسمت‌های شهرستان ساوجبلاغ دارای بالاترین دمای توزیع تابش خالص است.

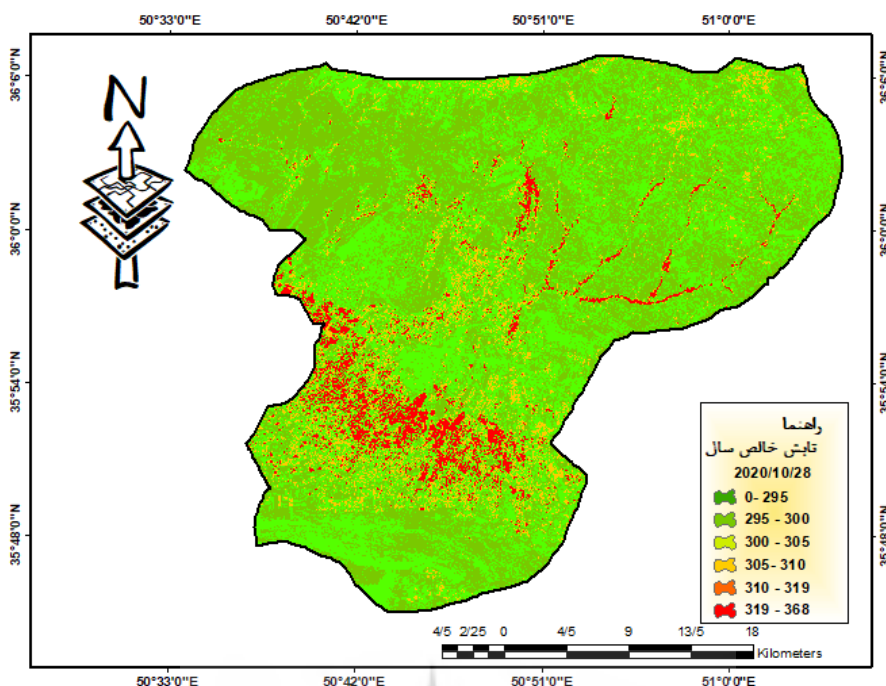


شکل ۶. توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ با روش سیال

جدول ۶. درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ با روش سیال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۸۹۷	۰-۲۰۳ (w/m ²)
۷۰	۲۴۹-۲۰۳ (w/m ²)
۶۷	۳۷۴-۲۴۹ (w/m ²)
۱۹	۳۱۱-۲۷۴ (w/m ²)
۴۴	۳۱۱-۳۴۶ (w/m ²)
۶۷	۳۸۱-۳۴۶ (w/m ²)

اطلاعات جدول ۶ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت به ماه‌های قبل کاهش چشمگیری داشته و به کمترین حد خود، هم در میزان تابش هم در مساحت، رسیده است. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۸۹۷ وات متر بر مربع است. در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ بیشترین مساحت در محدوده ۲۰۳-۰ وات بر متر مربع با مقدار ۸۹۷ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۱۱-۲۷۴ وات بر متر مربع ۱۹ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص است همه قسمت‌های شهرستان ساوجبلاغ دارای کمترین دمای توزیع تابش خالص است.



شکل ۷. توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ با روش سیال

جدول ۷. درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ با روش سیال

مقدار تابش (کیلومتر)	کلاس تابش
۲۱۸	۰ - ۲۹۵ (w/m ²)
۴۸۴	۳۰۰ - ۲۹۵ (w/m ²)
۲۴۱	۳۰۵ - ۳۰۰ (w/m ²)
۸۹	۳۱۰ - ۳۰۵ (w/m ²)
۶۶	۳۱۰ - ۳۱۹ (w/m ²)
۵۹	۳۶۸ - ۳۱۹ (w/m ²)

اطلاعات جدول ۷ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص نسبت به ماه‌های قبل کاهش چشمگیری داشته و به کمترین حد خود، هم در میزان تابش هم در مساحت، رسیده است. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه ۴۸۳ وات بر متر مربع است. در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ بیشترین مساحت در محدوده ۲۹۵-۳۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۴۸۳ کیلومتر کل تابش خالص بوده است. در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۱۹-۳۶۸ وات بر متر مربع ۵۹ کیلومتر تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ مشخص است همه قسمت‌های شهرستان ساوجبلاغ دارای کمترین دمای توزیع تابش خالص است. تابش دمای سطح زمین به عوامل بسیار زیادی بستگی دارد و نمی‌توان آن را به یک عامل محدود کرد. یکی از عوامل تغییرات آب‌وهوایی است که منطقه به منطقه در فواصل مشخص تغییر می‌کند و در میزان تابش بسیار مؤثر است. دومین عامل آب است. هر نوع رطوبتی در خاک، سد، چشمه، و حتی سطح زمین مؤثر است. سومین عامل پوشش گیاهی است که هرچند متراکم یا ضعیف بسیار مؤثر در تابش خالص است. حتی شاخص‌های Savi، Lai، و NDVI در محاسبه سیال در ماه‌های مختلف لحاظ شده و طی الگوریتم‌های مختلف کسر شده است. چهارمین عامل انسان‌ساخت است. انسان‌ها با تصرف طبیعت و تغییراتی که در طبیعت اعمال می‌کنند باعث تغییراتی در تابش خالص می‌شوند؛ همچون ساخت برج‌ها و آسمان‌خراش‌ها و گلخانه‌ها، ترافیک، و ... آخرین و مهم‌ترین عامل فصل و ماه سال و تغییرات آب‌وهوایی است که بسیار مؤثر است. چه بسا در فصل تابستان بالاترین و بیشترین تابش خالص را داشته باشیم؛ در حالی که در زمستان کمترین میزان تابش خالص و کمترین بهره‌برداری از انرژی خورشیدی رخ می‌دهد.

نتیجه

خورشید، به منزله منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ همه انرژی‌های دیگر شناخته شده است. تابش جهانی خورشید یکی از سازه‌های بنیادین هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. از این رو، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه‌های اساسی تأثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی در سال‌های اخیر بوده است. جهت انجام دادن 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 و 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 اجرای مدل استفاده شد. نتایج نشان داد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۸۶۲ وات بر متر مربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و میانگین کمترین مقدار در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ به میزان ۳۶۸ وات بر متر مربع بوده است. این در حالی است که بیشترین مقدار تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ به میزان ۹۰۱ کیلو متر و کمترین مقدار در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۱۹ کیلو متر محاسبه شده 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 مورد بررسی پتانسیل لازم را برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی داشته است. سلول‌های فتوولتائیک به تابش خورشیدی از آستانه تابش تا ۱۰۰۰ وات بر متر مربع حساسیت دارند و آن را دریافت می‌کنند. می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در منطقه البرز در دو سال مورد بررسی پتانسیل لازم را برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی داشته است. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج محققان بسیاری، از جمله رضایی‌مقدم 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 منزله ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، از عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی برخوردار است. بنابراین پیشنهاد می‌شود محققان جهت مطالعات تابش خورشیدی از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور به جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی استفاده کنند.

اهداف و سؤالات پژوهش

بالاترین میزان تشعشع خورشید چه میزان است؟ نتایج نشان می‌دهد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۸۶۲ وات بر متر مربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ بوده است.

بیشترین میزان انرژی مربوط به کدام ماه است؟

نتایج نشان می‌دهد میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی به میزان ۸۶۲ وات بر متر مربع در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۹ و کمترین مقدار در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۲۸ به میزان ۳۶۸ وات بر متر مربع بوده است. این در حالی است که بیشترین مقدار تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۰۶ به میزان ۹۰۱ کیلو متر و کمترین مقدار در ۲۰۲۰/۰۹/۱۰ به میزان ۱۹ کیلو متر محاسبه شده 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.

پیشنهاد

با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور، به منزله ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، از عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی برخوردار است. بنابراین پیشنهاد می‌شود محققان جهت مطالعات تابش خورشیدی از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور به جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی استفاده کنند.

منابع

- ابراهیمی، ا. (۱۳۸۹). انرژی خورشیدی و کاربرد آن، فراگیران سینا همدان.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ هادی امامی (۱۳۹۷). «پایش دمای سطح زمین و بررسی رابط کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر OLI و ETM+ (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل)»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، س ۱۹، ش ۵۳، ص ۱۹۵ - ۲۱۵.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ مهدی فعال‌نذیری (۱۳۹۸). «پایش دمای سطح زمین و بررسی رابط کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر OLI با تجزیه و تحلیل شاخص موران (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل)»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ش ۷۳، ص ۹۳ - ۱۱۰.
- آروین، عباس‌علی (۱۳۹۸). «آشکارسازی دمای رویه سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای»، *مخاطرات محیط طبیعی*، د ۸، ش ۱۹، ص ۹۱ - ۱۰۲.
- بهادری‌نژاد، م؛ س. ع. میرحسینی (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»، *تحقیقات جغرافیایی*، ۲، ص ۱۵ - ۳۵.
- جهان‌بخش، س.؛ م. زاهدی؛ خ. ولی‌زاده کامران (۱۳۸۸). «محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط GIS و RS در بخش مرکزی منطقه مراغه»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)*، ص ۱۹ - ۴۲.
- رضایی‌مقدم، م.؛ م. هاتفی اردکانی (۱۳۹۴). «کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و GIS در امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید جهت تأمین روشنایی»، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، د ۶، ش ۲۱، ص ۱۰۵ - ۱۲۴.
- عابدینی، م.؛ ا. قلعه‌ن. آقازاده؛ م. محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۱). «پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM (مطالعه موردی: شهرستان مشگین‌شهر)»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، د ۲۲، ش ۶۷، ص ۳۷۵ - ۳۹۳.
- عابدینی، م.؛ م. محمدزاده شیشه‌گران؛ ا. قلعه (۱۴۰۱). «پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، س ۳۳، پیاپی ۸۸، ش ۴، ص ۴۹ - ۶۲.
- کمالی، ع.؛ ا. مرادی (۱۳۸۴). *تابش خورشیدی (اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو)*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- مباشری، م.؛ ح. خاوریان (۱۳۸۳). «تجزیه و تحلیل روش‌های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ص ۸۳ - ۹۸.
- معینی، س.؛ ش. جوادی؛ ح. کوی؛ م. دهقان منشادی؛ ر. اسماعیلی (۱۳۸۹). «برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در شهر یزد»، *انرژی ایران*، ص ۲۴ - ۳۹.
- موسوی بایگی، م.؛ ب. اشرف؛ آ. میان‌آبادی (۱۳۸۹). «بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک»، *آب و خاک*، ش ۴، ص ۸۳۶ - ۸۴۴.
- وروانی، ه.؛ ب. فرهادی؛ م. ع. شریفی (۱۳۹۸). «تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنجنده مودیس جهت برآورد نیاز آبی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد (منطقه مورد مطالعه: ماهی‌دشت کرمانشاه)»، *تحقیقات منابع آب ایران*، د ۱۵، ش ۱، ص ۲۵۷ - ۲۶۶.
- ولی‌زاده کامران، خ. (۱۳۹۱). «برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به روش استفتز و محاسبه مقدار تابش رسیده به سطح زمین با استفاده از تصاویر DEM SRTM و با کمک تابع Solar Analyst در محیط GIS»، *نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز*، ش ۹، ص ۳۹ - ۵۲.
- Abedini, M., Mohamadzadeh Shishegaran, M., & Ghale, E. (2022). "Monitoring and Estimating the Fire-Affected Areas of the Zagros Mountains Using Landsat Satellite Images", *Geography and Environmental Planning*, 33(4), pp. 49-62. (in Persian)
- Abedini, M., Castle, A., Aghazadeh, N., & Mohammadzadeh Shihgaran, M. (2022). "Monitoring the surface temperature of the earth and investigating the relationship between land use and surface temperature using OLI and TM sensor images, case study: (Meshginshahr city)", *applied research of geographical sciences*, Vol. 22, No. 67, pp. 375-393. (in Persian).
- 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. .PP. 1-97.

- Almhab, A. & Busu, I. (2008). Estimation of evapotranspiration using fused remote sensing image data and M-SEBAL model for improving water management area, the 3rd international conference water resources and arid environments.
- Arvin, A. (2019). "Land Surface Temperature Detection Using of Satellite Images", *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(19), pp. 91-102. doi: 10.22111/jneh.2017.20855.1284
- Asghari, S., Emami, H. (2019). Monitoring the earth surface temperature and relationship land use with surface temperature using of OLI and TIRS Image, *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19 (53), pp.195-215. (in Persian)
- Asghari Saraskanroud, S., Faal-Naziri, M., & Ghale, E. (2019). "The Relationship of Different Land Uses with Land Surface Temperature based on Spatial Correlation (Moran) Analysis Using Landsat 8 Satellite Images (OLI) (Case Study: Ardebil City)", *Geography and Environmental Planning*, 30 (1), pp. 93-110. (in Persian)
- Bahadrinejad, M. & Mir-Hosseini, S. A. (2014). "Air purity coefficient for different cities of Iran", The third conference on optimizing fuel consumption in buildings. (in Persian)
- Bajat, B., Blagojević, D., Kilibarda, M., Luković, J., & Tošić, I. (2017). "Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961–2010", *Theoretical and Applied Climatology*, 121 (1-2), pp. 289-301.
- Bakirci, K. (2009). "Correlation for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey", *Energy*, Vol. 34, pp. 485-501.
- Binesh, A. (1366). "Solar energy and South Khorasan and Sistan and Baluchistan regions", *Journal of Geographical Research*, 2, pp. 3-15.
- 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, pp. 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, pp. 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, pp. 3950-3964.
- Jahanbakhsh, S., Zahedi, M., & Valizadeh Kamran, Kh. (2008). "Calculation of ground surface temperature using Sabal and decision tree method in GIS and Rs environment in the central part of Maragheh region", *Scientific-Research Publication Of Geography And Planning* (Tabriz University), pp. 19-42. (in Persian)
- 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, pp. 739-751.
- Kamali, A. & Moradi, A. (1384). *Solar radiation* (principles and applications in agriculture and new energies), Ferdowsi University of Mashhad Publications. (in Persian)
- 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, pp. 1706-1719.
- Moini, S., Javadi, S., Kokbi, H., Dehghan Manshadi, M., & Esmaili, R. (2009). "Estimating the potential of solar radiation in Yazd city", *Iranian Energy Journal*, pp. 24-39. (in Persian)
- Mousavi Baighi, M., Ashraf, B., & Mianabadi, A. (2009). "Investigation of different solar radiation estimation models in order to introduce the most appropriate model in a semi-arid climate", *Water and Soil Journal*, No. 4, pp. 836-844. (in Persian)
- Mubasheri, M. & Khavarian, H. (2004). "Analysis of the methods of using satellite in determining the rate of evaporation and transpiration", *Applied Research Of Geographic Sciences*, pp. 83-98. (in Persian)
- 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, pp. 75-80.
- Pinker, R.T. & Ewing, J.A. (1985). "Modeling surface solar radiation: model formulation and validation", *Journal Climate Appl Meteorology*, Vol. 24, pp. 389–401.
- Rezaei Moghadam, M. & Hatfi Ardakani, M. (2014). "The use of satellite images and GIS in the feasibility of using the sun's radiant energy to provide lighting", *Geographical Studies of Dry Areas*, Vol. 6, No. 21, pp. 105-124. (in Persian)
- Ronald, C., Estoque, M., & Yuji, M, S. W. (2019). "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.
- Theeuwes, N. E., Steeneveld, G. J., Ronda, R. J., & Holtslag, A. A. (2018). "A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe", *International Journal of Climatology*, (1) 37, pp. 443-454.

- 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), pp. 45-76.
- Valizadeh Kamran, Kh. (2011). "Estimation of potential evaporation and transpiration by Stefftz method and calculation of the amount of radiation reaching the earth's surface using DEM SRTM images and with the help of Solar Analyst function in GIS environment", *Scientific And Research Journal of Geography and Planning of Tabriz University*, No. 9, pp. 39-52. (in Persian)
- Varwani, H., Farhadi, B., & Sharifi, M.A. (2018). "Integration of Landsat 8 and Modis sensor images to estimate the water requirement of fodder corn during the growth period (study area: Mahidasht Kermanshah)", *Iran Water Resources Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 257-266. (in Persian)
- Winslow, J. C., Hunt, E. R., & Piper, S. C. (2001). "A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data", *Ecol Model*, 43, pp. 227-243.

