






Feasibility Study of Using Solar Panels to Supply Electricity to Villages in Chalous County Using Thermal Images (SEBAL Algorithm) and Geographic Information System

Lotfollah Maleki Masoomabad¹  , Maryam Mohammadzadeh Shisheh Garan² 

1. (Corresponding Author) *Department of Urban and Rural Planning, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Email: l.maleki@uma.ac.ir

1. *Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Email: maryammohammadzadeh@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

29 December 2025

Received in revised form:

7 March 2026

Accepted:

31 March 2026

Available online:

13 May 2026

Keywords:

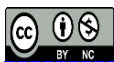
*Solar Radiant Energy,
Electricity,
SEBAL Algorithm,
Remote Sensing,
Chalus.*

ABSTRACT

Solar energy has been considered as a reliable solution for generating electricity necessary for human life. The inherent advantages of solar energy, including its universal accessibility without initial financial outlay, extended operational lifespan, and inherent usability, render grid infrastructure and associated costly components (e.g., transformers) redundant. Furthermore, its facile installation, rapid transportability, and suitability for deployment in proximity to end-users, as well as its application in mobile systems and provision of power to remote off-grid locations, collectively underscore its inevitable adoption. To conduct this research, images from the year 2024 of the Landsat 8 satellite, OLI and TIRS sensors, and the SEBAL algorithm were used. ENVI software was employed for geometric, atmospheric, and radiometric corrections of satellite images and for executing calculations related to the SEBAL model. Furthermore, ArcGIS software was used to create a database, spatial analyses, cartographic operations, and finally the implementation of the model. The results indicate that the average maximum incoming shortwave radiation was 846 watts/m² in August and the lowest was 313 watts/m² in February. It is concluded that solar radiation consistently reaching up to 1000 W/m². Therefore, solar radiation in the villages of Chalous County has the necessary potential for implementing solar photovoltaic projects.

Citation: Maleki Masoomabad, L., & Mohammadzadeh Shisheh Garan, M. (2026). Feasibility Study of Using Solar Panels to Supply Electricity to Villages in Chalous County Using Thermal Images (SEBAL Algorithm) and Geographic Information System. *Geographical planning of space quarterly journal*, 16 (1), 53-66.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.515856.3838>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Despite the paramount importance of solar radiation, its measurement is limited, and this deficiency is not only evident in developing countries but also in developed countries. The measurement of temporal and spatial variations in solar radiation is carried out by a network of meteorological stations equipped with pyranometers. The equipment for measuring this meteorological parameter is expensive and requires special techniques. In addition, the relevant devices, due to their sensitivity, require a lot of care and must be calibrated regularly. Most meteorological stations in Iran and the world lack this equipment, and there are many statistical gaps in the statistics and information available for such stations. Therefore, given the small number of stations with radiometric instruments in the country and the existence of statistical gaps in radiometric stations, the data available for studies of spatial and temporal changes in radiation reaching the Earth are limited and have low accuracy due to the dispersion of measurement networks, and it is necessary to conduct and continue studies on this issue. The use of satellite data provides studies on a large scale and reduces costs and prevents waste of time. It also reduces the adverse effects of projects on the environment and paves the way for achieving sustainable environmental development and dynamic agriculture. Given the importance of solar radiation as a clean, accessible and free from any harmful environmental pollution, identifying its emission areas is essential and necessary for introduction to the relevant authorities. In this research, the feasibility of using solar energy in the Chalous County region using the SEBAL algorithm and remote sensing technology. Given the importance of using solar radiation energy, numerous studies have been conducted in the realm of scientific literature throughout the world and in Iran. According to scientific estimates, about 6000 million years have passed since the birth of this ball of luminescence, and every second, 2.4 million tons of the mass of the Sun is converted into energy. Therefore, considering the weight of the Sun, which is

about 333 thousand times the weight of the Earth, this luminous sphere can be considered as a huge source of energy for the next 5 billion years. Energy is one of the essential factors in economic and social development and improving the quality of life. Due to the high potential of solar energy, this energy can be used in solar heating systems and solar batteries. Knowledge of the radiation reaching the Earth's surface is essential for solar radiation experts, architects, building design engineers for energy efficiency and other applications of solar radiation. Knowledge of the solar radiation reaching the Earth and its geographical distribution is important for measuring spatial changes in hydrological and meteorological processes, biology and other energy applications. Designing solar energy conversion systems and estimating their efficiency at a specific location requires reliable solar data for short time intervals over long periods.

Methodology

Landsat satellite images were used in a period for the months of 2023 to investigate and assess the feasibility of utilizing solar radiation energy. ENVI software was employed to conduct geometric, atmospheric, and radiometric corrections of satellite images, as well as to perform calculations related to the SEBAL model. In addition, ArcGIS software was used to create a database, conduct spatial analyses, perform cartographic operations, and finally implement the model. Subsequently, calculations related to the SEBAL model were performed in the ENVI and ArcGIS software environments, and the amount of net radiation was calculated and analyzed in the study area. It is noticeable that the images available for the months of the year for the study area were totally cloudy, and given that in the SEBAL algorithm, net radiation values are obtained by measuring the incident solar radiation from cloud-free images. It was not possible to use the images of the above-mentioned months. In this study, atmospheric effects were removed as much as possible using the Landsat satellite atmospheric correction function in ENVI software, and finally,

radiometric corrections were applied to the images to eliminate any gaps and strips. In the SEBAL algorithm, satellite image data in the visible, near-infrared, and thermal bands are used to estimate net radiant energy, soil heat flux, sensible heat flux, and latent heat flux of evaporation for each pixel in an image. In this method, instantaneous net radiation values are obtained by measuring the incident solar radiation from cloud-free images and using surface albedo, surface emissivity, and surface temperature. Chalus County has been selected as a case study. This county is located in the southern Caspian Sea region with an area of about 1600 square kilometers. In terms of the settlement system in Chalus County, the two northern and central parts are the places where the activity and residential systems are established. So that the northern area is connected to the central part by a road axis. The border separating these areas is dense forest areas and the Alborz mountain range, which has caused a large part of the county to be allocated to forest, pasture and barren areas. The northern part contains about 78 percent of the total population of the province. Special environmental conditions have caused the emergence of special land use in the region. The use of energy as an alternative to fossil fuels, considering its environmental and economic characteristics, is one of the concerns of energy policymakers in the current century. What has intensified the trend of attention to new energies in different countries is the growth of energy consumption and excessive use of fossil energy resources, the problems in the energy supply sector, and the warming of air temperatures caused by greenhouse gases.

Results and Discussion

In this study, Landsat satellite images were used in a period for the months of 2023 to investigate and assess the feasibility of using solar radiation energy. ENVI software was adopted to perform geometric, atmospheric, and radiometric corrections of satellite images, as well as to carry out calculations related to the SEBAL model, and ArcGIS software was used to create a database, conduct spatial analyses, perform

cartographic operations, and finally to implement the model. Subsequently, calculations related to the SEBAL model were performed in the ENVI and ArcGIS software environments, and the amount of net radiation calculated and analyzed in the study area. It should be noted that the images available for the months of the year for the study area were completely cloudy, and given that in the SEBAL algorithm, net radiation values are obtained by measuring the incident solar radiation from cloud-free images, it was not possible to use the images of the above-mentioned months. In this study, atmospheric effects were removed as much as possible using the Landsat satellite atmospheric correction function in ENVI software, and finally, radiometric corrections were applied to the images to eliminate any gaps and strips. In the SEBAL algorithm, satellite image data in the visible, near-infrared, and thermal bands are used to estimate net radiant energy, soil heat flux, sensible heat flux, and latent heat flux of evaporation for each pixel in an image. In this method, instantaneous net radiation values are obtained by measuring the incident solar radiation from cloud-free images and using surface albedo, surface emissivity, and surface temperature. The purpose of solar power is to rely entirely on the sun's radiant energy, which is an inexhaustible and renewable resource. Solar panels are made up of photovoltaic cells that convert the sun's radiant energy into direct current (DC). These cells are usually made of materials such as silicon that have special electrical properties. When sunlight hits the solar cells, the photons of light cause an electrical current to flow through the cells, which is converted into DC. A system in which solar energy is converted into electrical energy without the use of moving or chemical mechanisms is called photovoltaic effect. The element used in this process is called solar cell. These cells were first used as electrical generators in spacecraft about 45 years ago and have been used on Earth for some time now. Solar cells are capable of converting solar radiation energy directly into electricity with an efficiency of 5 to 20 percent. Although photovoltaics are not yet

economically viable, in recent years there has been a significant reduction in the costs of operating these systems, and it is expected that the price will continue to fall in the future with further research into the type of photovoltaic cells. These systems are also called solar power. Electricity is generated by using sunlight and solar cells, and by creating an electrical pressure difference in appropriately manufactured semiconductors.

Conclusion

Global solar radiation is considered one of the fundamental structures of any climatic range. Therefore, understanding the characteristics and predicting these fundamental structures have a great impact on energy-related planning. The use of satellite images and remote sensing models as a suitable and low-cost tool has been employed in recent years for estimating solar radiation. In the present study, images were utilized that obtained from the Landsat 8 satellite, OLI and TIRS sensors, and the SEBAL algorithm. The results show that the average maximum incoming shortwave radiation was 769 watts per square meter in September and the lowest value in May was 318 watts per square meter. The inconsistency in the amount of net radiation reaching the Earth in the study area is due to the difference in the angle of the sun's rays and the number of sunny hours in different months of the year. Finally, solar radiation in the region has the necessary potential for implementing solar photovoltaic projects. Photovoltaic cells that are sensitive and receive solar radiation ranging from the radiation threshold to 1000 watts per square meter. In conclusion, solar radiation in Chalous County and its villages has the necessary potential for implementing solar photovoltaic projects. September shows a significant increase in the radiation power and net radiation compared to previous months. Also, the highest percentage of net radiation distribution in this month is in the range of 700-769 watts per square meter, and the lowest radiation in this month is in the range of 300-352 watts per square meter of net radiation. Chalou County has the highest net radiation distribution

temperature in all parts of the county. The reason for this is that even in the lowest radiation power, the figure of 300-352 is very high compared to previous months. Also, the highest percentage of net radiation distribution in September is in the range of 590-641 watts per square meter with a value of 23.40 percent of the total net radiation. Also, the highest percentage of net radiation distribution in June was in the range of 288-296 watts per square meter, with a value of 28.33 percent of the total net radiation. Using satellite images and remote sensing models as a suitable and low-cost tool for estimating solar radiation has better performance than empirical methods. Therefore, it is suggested that researchers use satellite images and remote sensing methods to study solar radiation instead of temporal analyses of climate data and empirical methods. Investing in solar power generation can be one of the desirable and profitable investments that, in addition to economic benefits, also serves humans and the environment in various ways. Investing in solar power generation can be in the form of purchasing solar equipment and setting up off-grid power plants so that you can supply the electricity you need. Of course, this is not economically justified if you have access to grid electricity. In fact, investing in solar power generation is more common in the form of setting up an off-grid power plant or a home solar power plant. In a way, people who have the conditions to set up this power plant on the roof of their house or another place can set it up and sell their generated electricity to the grid through a contract with the electricity department. The return on investment in this method was about 4 years in the early years, but now, due to the increasing cost of equipment, it is slightly higher. Of course, it is possible that the return on investment will occur sooner, or that changes will be made to the terms of the guaranteed power purchase agreement, given the new policies that the SATBA organization is implementing.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



امکان‌سنجی به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی جهت تأمین برق روستاهای شهرستان چالوس با استفاده از تصاویر حرارتی (الگوریتم سبال) و سیستم اطلاعات جغرافیایی

لطف‌الله ملکی معصوم‌آباد^۱ ✉، مریم محمدزاده شیشه‌گران^۲ ID

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: 1.maleki@uma.ac.ir
۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: maryammohammadzadeh@uma.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از راهکارهای قابل‌اطمینان جهت تولید برق لازم در زندگی انسان‌ها موردتوجه قرار گرفته است. دسترسی آسان برای همه مردم بدون هیچ هزینه‌ای، عمر مفید و قابلیت استفاده طولانی‌مدت، عدم احتیاج به احداث شبکه برق، ترانسفورماتور و ... که بسیار پرهزینه است، و نیز سهولت در نصب و جابجایی آسان و سریع، قابلیت نصب آسان و سریع و قابلیت استفاده در سیستم‌های متحرک و نیاز به منابع الکتریسیته مناسب برای مکان‌های دور از شبکه برق‌رسانی بهره‌مندی از این انرژی را اجتناب‌ناپذیر است. جهت انجام این پژوهش، از تصاویر مربوط به سال ۲۰۲۴ 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 ۸۴۶ وات بر مترمربع در ماه آگوست و کمترین مقدار در ماه فوریه به میزان ۳۱۳ 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. می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی از آستانه تابش تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع را دریافت می‌کنند و تابش خورشیدی در روستاهای شهرستان چالوس پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۱۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۱</p> <p>تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳</p> <p>واژگان کلیدی: انرژی تابشی خورشید، الگوریتم سبال، سنجش‌ازدور، شهرستان چالوس.</p>

استناد: ملکی معصوم‌آباد، لطف‌الله و محمدزاده شیشه‌گران، مریم. (۱۴۰۵). امکان‌سنجی به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی جهت تأمین برق روستاهای شهرستان چالوس با استفاده از تصاویر حرارتی (الگوریتم سبال) و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۶ (۱)، ۶۶-۵۳.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.539712.3854>



مقدمه

علی‌رغم اهمیت تابش خورشیدی، اندازه‌گیری آن به‌طور محدود انجام می‌شود و این نقیصه نه‌تنها در کشورهای درحال توسعه بلکه در کشورهای توسعه‌یافته نیز به چشم می‌خورد. اندازه‌گیری تغییرات زمانی و مکانی تابش خورشیدی توسط شبکه ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به پیرانومترها انجام می‌شود. تجهیزات اندازه‌گیری این پارامتر هواشناسی گران‌قیمت بوده و تکنیک‌های خاصی موردنیاز است. علاوه بر آن دستگاه‌های مربوطه به علت حساس بودن، نیاز به مراقبت‌های زیاد دارد و باید مرتباً واسنجی شود (Bulut & Buyukalaca, 2007:480). غالب ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و جهان فاقد این تجهیزات بوده و در آمار و اطلاعات موجود این‌گونه ایستگاه‌ها نیز خلأهای آماری فراوانی نیز دیده می‌شود. بنابراین با توجه به اندک بودن ایستگاه‌های دارای ادوات تابش سنجی در کشور و همچنین وجود خلأهای آماری در ایستگاه‌های تشعشع سنجی، داده‌های قابل‌دسترس برای مطالعات تغییرات مکانی و زمانی تابش رسیده به زمین به علت پراکنده بودن شبکه‌های اندازه‌گیری محدود و دارای دقت کمی می‌باشند و نیاز به انجام و ادامه مطالعات در رابطه با این موضوع کاملاً ضروری است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مطالعات را در سطح وسیع فراهم کرده و سبب کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از اتلاف زمان می‌گردد. همچنین از اثرات سوء طرح‌ها بر محیط‌زیست کاسته و راه را جهت رسیدن به توسعه پایدار زیست‌محیطی و کشاورزی پویا هموار می‌نماید (Sorapipatana & Exel, 1989:61). سطح زمین با دمای متوسط ۱۵ درجه سانتی‌گراد در ناحیه فروسرخ در طول‌موج‌های ۴ تا ۱۰ میکرون تابش می‌کند که در آن بیش‌ترین انرژی با طول‌موج ۱۰ میکرون تابش می‌شود. برای مقایسه طول‌موج‌های تابش شده از خورشید و زمین غالباً از عبارات موج‌کوتاه برای تابش خورشیدی و موج‌بلند برای تابش زمین استفاده می‌شود. زمین نیز به‌نوبه خود امواج الکترومغناطیسی تابش می‌کند. برای یک جو استاندارد، این امواج از نوع موج‌بلند 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 به‌طوری‌که در هنگام بیشینه، لکه‌های خورشیدی افزایش می‌یابد. داده‌های تابش خورشیدی ماهواره‌ای به علت پوشش زمانی و مکانی بیشتر، دقت بالاتری در مقایسه با اندازه‌گیری زمینی دارند و این داده‌ها به‌طور مؤثر در کاربردهای انرژی خورشیدی در مناطقی که داده‌های تابش زمینی قابل‌دسترس نیستند، استفاده می‌شوند (Janjai et al, 2005: 741). با توجه به اهمیت تابش خورشیدی به‌عنوان یک انرژی پاک، در دسترس و عاری از هرگونه آلودگی‌های مخرب زیست‌محیطی، شناسایی نواحی پرتابش جهت معرفی به مراجع ذی‌ربط، امری ضروری و لازم بوده و هدف این تحقیق می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از الگوریتم سبال و تکنولوژی سنس‌ازدور امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در منطقه شهرستان چالوس مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به اهمیت استفاده از انرژی تابشی خورشید مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام‌شده است. ازجمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود. اصغری و فرامرزی (۱۴۰۴) به بررسی شناسایی مناطق امیدبخش برای انرژی زمین‌گرمایی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه سهند را موردبررسی قرار دادند. نتایج نقشه‌نهایی نشان داد که منطقه سهند مستعد انرژی زمین‌گرمایی می‌باشند چشمه‌های طبیعی وجود زمین‌گرمایی را در منطقه ثابت می‌کند. عابدینی و محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۳) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در استقرار پنل‌های خورشیدی با استفاده از روش سنس‌ازدور و الگوریتم سبال شهرستان مربوط به شهرستان گرمی با استفاده از الگوریتم سبال پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد، که بالاترین میزان انرژی در ماه ژوئن به مقدار ۶۸۰-۶۰۲ می‌باشد. این مقدار حاکی از مستعد بودن منطقه برای تأمین انرژی از خورشید می‌باشد. عابدینی و محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۲) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنس‌ازدور و الگوریتم سبال (مطالعه)

موردی: شهرستان ساوجبلاغ) را با استفاده از مدل سبال موردبررسی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده تأثیر مستقیم توان تشعشعی بسیار مناسب و با مقدار ۸۶۷ وات بر مترمربع می‌باشد و درعین‌حال کاربردی برای احداث پنل خورشیدی به‌خصوص در تابستان می‌باشد. زندی و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی سنجش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی با استفاده از شاخص موران پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد، جزایر حرارتی در خارج از محدوده شهری و در مناطق بایر متمرکز شده‌اند و دمای مناطق شهری نسبت به مناطق بیرون از شهر پایین‌تر است. جزایر خنک نیز در پهنه‌های آبی و پوشش‌های گیاهی متمرکز شده و دارای مساحت خیلی کمتری نسبت به جزایر حرارتی در سطح استان خوزستان می‌باشند. ملکی مرشد و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری مطالعه‌موردی: کلان‌شهر اهواز پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد، در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در مرکز این شهر، اغلب در روز جزیره سرمای و در شب جزیره گرمایی تشکیل یافته، ولی در شرایط موج گرمایی در روز هنگام اغلب جزیره سرمای شدیدتر از روزهای عادی بوده است و در شب هنگام جزیره گرمایی اغلب نسبت به شرایط عادی شدت بیشتری داشته است. در مجموع، به نظر می‌رسد رخداد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی شهر اهواز هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد تأثیر داشته که البته این شرایط در ماه‌های گرم محسوس‌تر از ماه‌های سرد سال بوده است. راستی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی مدل‌سازی مکان بهینه استقرار پنل‌های خورشیدی در پشت‌بام ساختمان‌ها با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی دلفی فازی و GIS در تهران با استفاده از شاخص فومیکی پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد که این مدل انتخاب مکان ایده‌آل برای نصب پنل‌های خورشیدی در تعداد زیادی از شهرها کمک کند. نقشه‌های ۱: ۲۰۰۰ که برای اکثر شهرهای کشور و در محیط شهری DSM موجود است، منبع بسیار مفیدی برای استخراج ارتفاع ساختمان‌ها در کشور در مقایسه با سایر منابع است. شکل و ابعاد هر نوع پنل خورشیدی قابل استفاده است و می‌توان آن را بر اساس موقعیت منطقه‌ای و نوع بهینه تعیین کرد. مؤمنی و محمدقلیان (۱۳۹۹) به بررسی سیاست بهره‌گیری از انرژی تابش خورشیدی در پراکنش پهنه‌های جغرافیایی پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد که مناطق شرق تهران پتانسیل بسیار خوبی برای توسعه و استفاده از پنل‌های خورشیدی دارند. علاوه بر مساحت مناسب، توان فتوولتائیک آن‌ها نیز بیشتر از مناطق اطراف تخمین زده می‌شود.

ترنکا و همکاران (۲۰۰۵) از روش سبال برای محاسبه تابش، دمای سطح و در نهایت تبخیر- تفرق در غرب ایالت متحده استفاده کردند. نتایج اعتبارسنجی این مطالعه نشان داد که در نواحی کشاورزی تطابق خوبی بین تبخیر- تفرق به‌دست‌آمده از سبال وجود دارد. جانجیا و همکاران (۲۰۰۵) مدل فیزیکی را بر اساس رابطه بین آلودگی اتمسفر- زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ضرایب جذب و پراکندگی اتمسفر ارائه دادند. این مدل برای محاسبه میانگین ماهانه تابش در مناطق گرمسیری با گردوغبار زیاد طراحی شده است. در این مدل تابش خورشیدی ورودی به سطح زمین را بر حسب تابش جذب‌شده به‌وسیله شرایط مختلف اتمسفر و تابش بازتابی به فضا محاسبه می‌شود. آلمب و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش سبال و به‌کارگیری 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 آلودگی و دمای سطحی پایین، پوشش گیاهی زیاد و تبخیر- تفرق بالایی دارند. هانگ و همکاران (۲۰۱۵) تابش خالص و تبخیر- تفرق 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 نقشه‌های تبخیر- تفرق هم به‌صورت ورودی با مقیاس کوچک و هم خروجی مقیاس کوچک معنی‌دار نیست.

روش پژوهش

در این پژوهش برای بررسی و امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره لندست در یک دوره برای ماه‌های مربوط به سال ۲۰۲۳ استفاده گردید. 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. 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 رادیومتریک نیز بر روی تصاویر اعمال گردید.

الگوریتم سبال

در الگوریتم سبال از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مرئی، مادون قرمز 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 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: 14).

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

در رابطه (۱)، R_n میزان تابش خالص انرژی خورشیدی، α آلبدوی سطحی، ε 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.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{DOY}{365} \frac{2\pi}{365}\right) \quad \text{رابطه ۲}$$

DOY تعداد روز سال بین ۱ (ژانویه) و ۳۶۵ یا ۳۶۶ (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 RS بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع بسته به محل و زمان تصویر متفاوت است (Allen et al., 2002: 14).

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times T_{sw} \quad \text{رابطه ۳}$$

G_{sc} ثابت خورشیدی 1367 w/m² است. برای محاسبه دمای سطح زمین T_s از رابطه (۴) استفاده شده است.

$$T_s = \frac{T_{bb}}{\varepsilon_0^{0.25}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$T_{bb} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_c} + 1\right)} \quad \text{رابطه ۵}$$

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

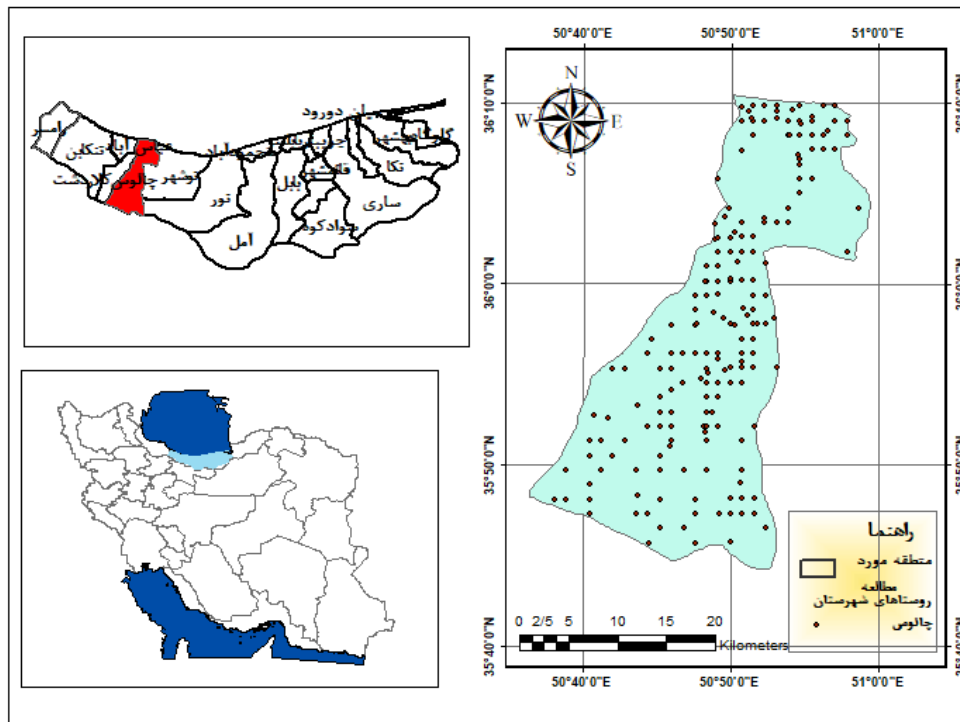
$$\varepsilon_0 = 1.009 + 0.047 \times \ln(\text{NDVI})$$

$$R_{L1} = \varepsilon_a \sigma T_a^4$$

رابطه ۶)

محدوده مورد مطالعه

شهرستان چالوس، به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این شهرستان با مساحتی در حدود ۱۶۰۰ کیلومترمربع در منطقه جنوبی دریای خزر قرار دارد. از نظر استقرار نظام سکونتگاهی در شهرستان چالوس، دو بخش شمالی و میانی محل استقرار نظام فعالیتی و سکونتی است. به‌طوری‌که منطقه شمالی به‌وسیله یک محور جاده‌ای به بخش میانی متصل می‌شود. مرز جداکننده این محدوده‌ها، مناطق متراکم جنگلی و رشته‌کوه‌های البرز است که این امر سبب شده است تا بخش وسیعی از شهرستان به مناطق جنگلی، مرتعی و بایر اختصاص یابد. بخش شمالی حدود ۷۸ درصد از کل جمعیت استان را در بر گرفته است. شرایط ویژه زیست‌محیطی سبب بروز کاربری ویژه در منطقه گردیده است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

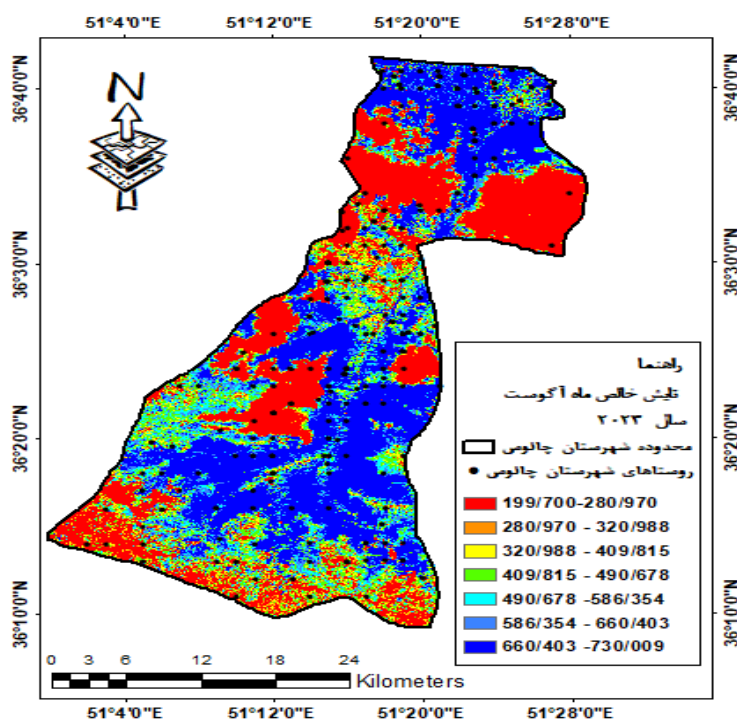
یافته‌ها

میانگین مقادیر بازتاب در این پژوهش پس از تهیه تصاویر منطقه مورد مطالعه، عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. سپس جهت محاسبه توزیع تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_n)، ابتدا بازتاب باندهای ۲ تا ۷ با اصلاح زاویه تابشی خورشید، برای تصاویر لندست، ۲۰۲۳ در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی در سال ۲۰۲۳ به میزان ۷۶۹ وات بر مترمربع در ماه سپتامبر و کمترین مقدار به میزان ۳۱۸ وات بر مترمربع در ماه می بوده است.

جدول ۱. مقادیر پارامترهای الگوریتم سیال جهت محاسبه تابش خالص

پارامتر	ماه	جولای	ژوئن	سپتامبر	آگوست	اکتبر	می
α_{toa}		۰/۱۲۰۶	۰/۱۷۰۰	۰/۱۵۹۱	۰/۱۸۱۰	۰/۱۳۴۵	۰/۱۱۹۷
A		۰/۱۹۰۰	۰/۲۴۲۰	۰/۲۴۱۳	۰/۲۵۴۳	۰/۱۸۸۳	۰/۱۶۱۳
Dr		۱/۰۲۰۲	۰/۹۸۲۵	۰/۹۶۱۰	۰/۹۷۲۴	۱/۰۱۱۰	۱/۰۱۵۰
Cos θ		۰/۶۱۸۷	۰/۹۰۳۰	۰/۹۲۵۱	۰/۸۹۰۰	۰/۵۳۴۳	۰/۸۳۱۱



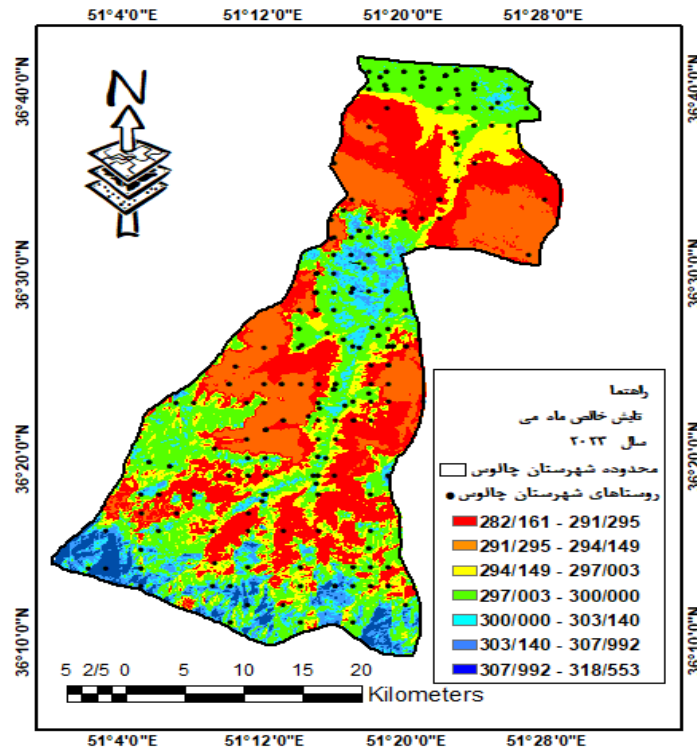
شکل ۲. توزیع تابش خالص ماه آگوست سال ۲۰۲۳ با روش سیال

جدول ۲. درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، آگوست ۲۰۲۳

کلاس تابش	مقدار تابش	درصد تابش
۱	۱۹۹ - ۲۸۰ (w/m ²)	۳۶/۹۷
۲	۳۲۰ - ۲۸۰ (w/m ²)	۲/۹۵
۳	۴۰۹ - ۳۲۰ (w/m ²)	۵/۳۲
۴	۴۹۰ - ۴۰۹ (w/m ²)	۴/۹۱
۵	۴۹۰ - ۵۸۶ (w/m ²)	۷/۵۱
۶	۶۶۰ - ۵۸۶ (w/m ²)	۲/۰۱
۷	۶۶۰ - ۷۳۰ (w/m ²)	۴/۳۳

اطلاعات شکل ۲ نشان می‌دهد که در این فصل ما شاهد بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه آگوست می‌باشیم. کمترین مقدار در ۲۸۸-۱۹۹ وات بر مترمربع کل تابش خالص بوده است. همچنین در این ماه در محدوده ۷۳۰-۶۶۰

وات بر مترمربع بیشترین تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است در شهرستان چالوس قسمت شمال و مرکز و شمال شرق در این ماه دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه آگوست در محدوده (280-199) w/m^2 وات بر مترمربع با مقدار 36/97 درصد کل تابش خالص بوده است.

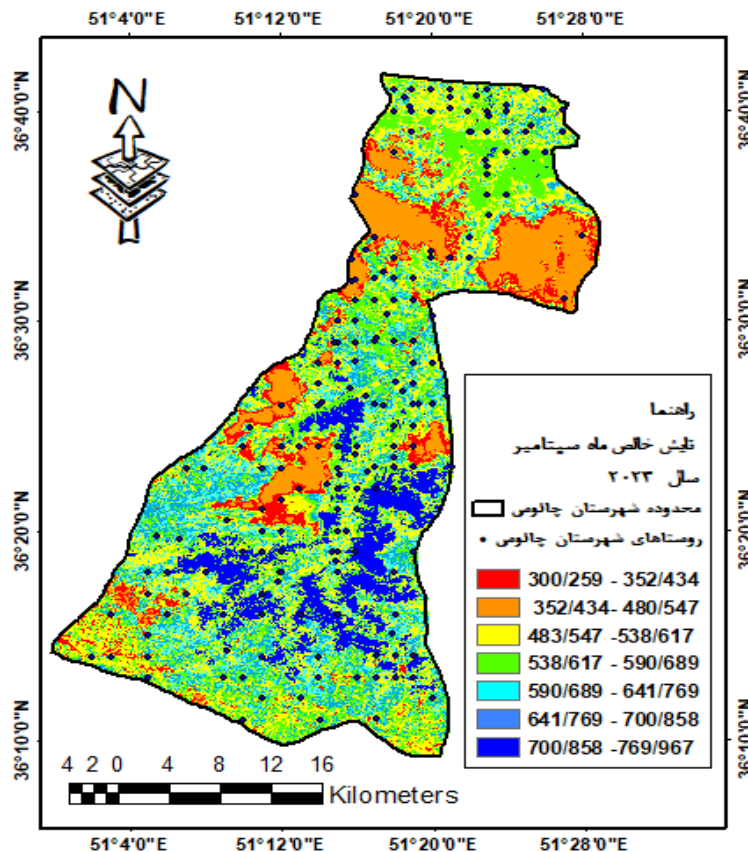


شکل ۳. توزیع تابش خالص ماه می سال ۲۰۳۳ با روش سیال

جدول ۳. درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، می ۲۰۲۴

مقدار تابش	کلاس تابش	کلاس تابش
25/70	282-291 (w/m^2)	۱
24/19	294-291 (w/m^2)	۲
8/01	297-294 (w/m^2)	۳
24/93	300-297 (w/m^2)	۴
10/45	303-300 (w/m^2)	۵
2/82	307-303 (w/m^2)	۶
3/90	307-318 (w/m^2)	۷

اطلاعات جدول ۳ نشان می‌دهد در ماه می، توان تشعشعی و تابش خالص نسبت ماه‌های قبل کاهش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. همچنین که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه در محدوده 307-318 وات بر مترمربع است، همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده 282-291 وات بر مترمربع کمترین تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است در شهرستان چالوس در ماه می در قسمت‌های جنوب شهرستان چالوس دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه می در محدوده 282-291 وات بر مترمربع با مقدار 25/70 درصد کل تابش خالص بوده است.

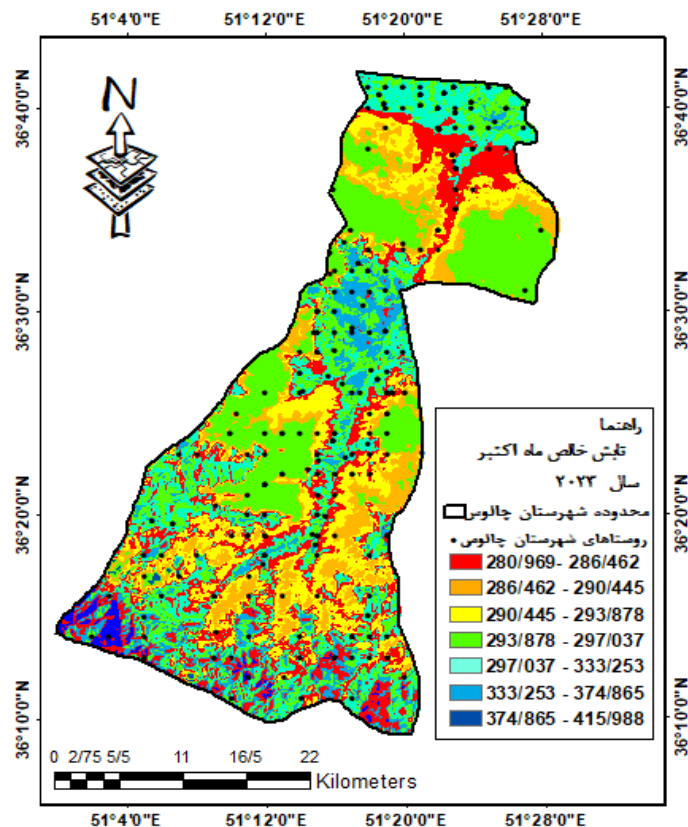


شکل ۴. توزیع تابش خالص سال سپتامبر با روش سیال

جدول ۴. درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، سپتامبر ۲۰۲۳

مقدار تابش	کلاس تابش	کلاس تابش
۵/۰۲	۳۰۰ - ۳۵۲ (w/m ²)	۱
۲۱/۲۵	۴۸۰ - ۳۵۲ (w/m ²)	۲
۸/۹۵	۵۲۸ - ۴۸۰ (w/m ²)	۳
۲۰/۱۱	۵۹۰ - ۵۸۳ (w/m ²)	۴
۲۳/۴۰	۵۹۰ - ۶۴۱ (w/m ²)	۵
۱/۰۹	۷۰۰ - ۶۴۱ (w/m ²)	۶
۲۰/۵۴	۷۰۰ - ۷۶۹ (w/m ²)	۷

اطلاعات شکل ۴ نشان می‌دهد در ماه سپتامبر توان تشعشعی و تابش خالص نسبت ماه‌های قبل افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. همچنین که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه در محدوده ۷۰۰-۷۶۹ وات بر متر مربع است، همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۰۰-۳۵۲ وات بر مترمربع تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است در شهرستان چالوس در تمام قسمت‌های شهرستان دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد. علت این امر این است که حتی در کمترین توان تشعشع نیز نسبت به ماه‌های قبل رقم ۳۵۲-۳۰۰ رقم بسیار بالایی می‌باشد. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه سپتامبر در محدوده ۵۹۰-۶۴۱ وات بر مترمربع با مقدار ۲۳/۴۰ درصد کل تابش خالص بوده است.

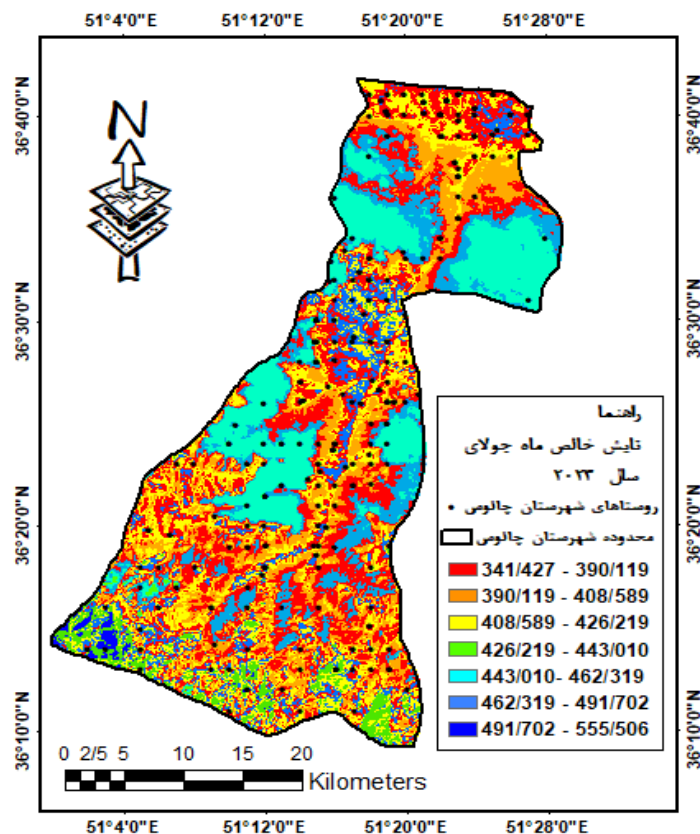


شکل ۵. توزیع تابش خالص سال ماه اکتبر با روش سیال

جدول ۵. درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، اکتبر ۲۰۲۳

مقدار تابش	کلاس تابش	کلاس تابش
۸/۵۰	۲۸۰ - ۲۸۶ (w/m ²)	۱
۱۷/۶۷	۲۹۰ - ۲۸۶ (w/m ²)	۲
۱۷/۵۰	۲۹۳ - ۲۹۰ (w/m ²)	۳
۲۵/۲۲	۲۹۷ - ۲۹۳ (w/m ²)	۴
۱۸/۰۱	۲۹۷ - ۳۳۳ (w/m ²)	۵
۱۱/۸۶	۳۷۴ - ۳۳۳ (w/m ²)	۶
۱/۲۴	۳۷۴ - ۴۱۵ (w/m ²)	۷

اطلاعات شکل ۵ نشان می‌دهد در این ماه توان تشعشعی و تابش خالص بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه اکتبر در محدوده ۳۷۴-۴۱۵ وات متر بر مربع است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۲۸۰-۲۸۶ وات بر مترمربع تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است در شهرستان چالوس در ماه اکتبر هم در قسمت‌های شمالی و هم در قسمت‌های جنوبی دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه اکتبر در محدوده ۲۹۳-۲۹۷ وات بر مترمربع با مقدار ۲۵/۲۲ درصد کل تابش خالص بوده است.

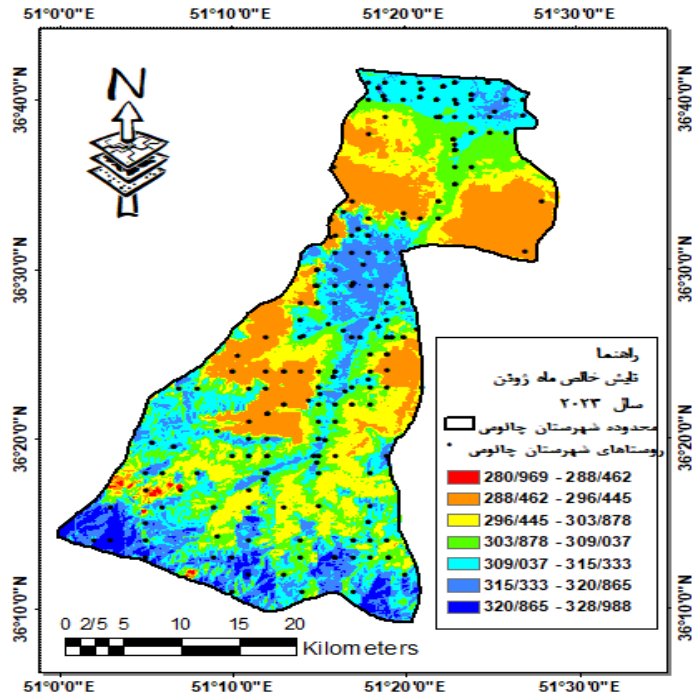


شکل ۶. توزیع تابش خالص سال جولای با روش سیال

جدول ۶. درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، جولای ۲۰۲۳

مقدار تابش	کلاس تابش	کلاس تابش
۱۷/۹۱	۳۴۱-۳۹۰ (w/m ²)	۱
۱۵/۷۸	۴۰۸-۳۹۰ (w/m ²)	۲
۹/۹۵	۴۲۶-۴۰۸ (w/m ²)	۳
۳/۳۷	۴۴۳-۴۲۶ (w/m ²)	۴
۲۶/۴۵	۴۴۳-۴۶۲ (w/m ²)	۵
۱۶/۰۱	۴۹۱-۴۶۲ (w/m ²)	۶
۰/۸	۴۹۱-۵۵۵ (w/m ²)	۷

اطلاعات شکل ۶ نشان می‌دهد در ماه جولای توان تشعشعی و تابش بیشترین توزیع تابش خالص در این ماه در محدوده ۴۹۱-۵۵۵ وات بر متر مربع است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۴۱-۳۹۰ وات بر مترمربع تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است در شهرستان چالوس در قسمت‌های مختلف شهرستان به‌خصوص در مراکز شهرستان چالوس دارای دما توزیع تابش خالص می‌باشد. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه جولای در محدوده ۴۶۲-۴۴۳ وات بر مترمربع با مقدار ۲۶/۴۵ درصد کل تابش خالص بوده است.



شکل ۷. توزیع تابش خالص سال ژوئن با روش سیال

جدول ۷. درصد توزیع تابش خالص با روش سیال، ژوئن ۲۰۲۳

مقدار تابش	کلاس تابش	کلاس تابش
۰/۷	۲۸۰ - ۲۸۸ (w/m ²)	۱
۲۸/۳۳	۲۹۶ - ۲۸۸ (w/m ²)	۲
۱۸/۹۱	۳۰۳ - ۲۹۶ (w/m ²)	۳
۱۴/۱۹	۳۰۹ - ۳۰۳ (w/m ²)	۴
۲۰/۶۹	۳۰۹ - ۳۱۵ (w/m ²)	۵
۱۳/۸۶	۳۲۰ - ۳۱۵ (w/m ²)	۶
۳/۳۲	۳۲۰ - ۳۲۸ (w/m ²)	۷

اطلاعات شکل ۷ نشان می‌دهد در ماه ژوئن توان تشعشعی و تابش کمتری را شاهد هستیم. بیشترین توزیع تابش خالص در ماه ژوئن در محدوده ۳۲۰-۳۲۸ وات بر متر مربع است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۲۸۸-۲۸۰ وات بر مترمربع تابش خالص دریافت شده است. همان‌گونه که از شکل مشخص است در شهرستان چالوس در تمام قسمت‌های شهرستان اعم از شمال و جنوب شهرستان دارای دما توزیع تابش خالص می‌باشد. همچنین بیشترین درصد توزیع تابش خالص در ماه ژوئن در محدوده ۲۸۸-۲۹۶ وات بر مترمربع با مقدار ۲۸/۳۳ درصد کل تابش خالص بوده است.

بحث

استفاده از انرژی‌های به‌عنوان جایگزینی برای انرژی‌های فسیلی با توجه به ویژگی‌های زیست‌محیطی با توجه به ویژگی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی یکی از دغدغه‌های سیاست‌گذاران بخش انرژی در قرن حاضر می‌باشد. آنچه روند توجه به انرژی‌های نو را در کشورهای مختلف شدت بخشیده است، رشد مصرف انرژی و استفاده بی‌رویه از منابع انرژی

فسیلی، مشکلات موجود در بخش عرضه انرژی و جهش‌های ایجادشده در قسمت انرژی، افزایش تولید آلودگی و در نتیجه تخریب منابع محیط‌زیست، تخریب لایه اوزون و گرم شدن دمای هوا ناشی از گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. به همین منظور تبدیل انرژی خورشیدی به برق برای مناطق مسکونی مورد توجه است.

نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج محققان بسیاری از جمله، ولیزاده کامران (۱۳۹۱) و رضایی مقدم و هاتفی اردکانی (۱۳۹۴)، موزاتیک و همکاران (۲۰۱۴)، که از داده‌های سنجش‌ازدور و الگوریتم سبال در مطالعات تابش خورشیدی بهره گرفته‌اند، مطابقت دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان 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 سنجش‌ازدور به‌جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی استفاده نمایند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در شهرستان چالوس، در ۹ ماه ژانویه تا نوامبر پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان 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 سنجش‌ازدور به‌جای تحلیل زمان بر داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی استفاده نمایند.

نتیجه‌گیری

خورشید به‌عنوان منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌های دیگر شناخته‌شده است. تابش جهانی خورشید یکی از سازه‌های بنیادی هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. از این‌رو، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه‌های اساسی، تأثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، در سال‌های اخیر بوده است. جهت انجام این پژوهش، از تصاویر مربوط به سال ۲۰۲۳ ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI و سنجنده TIRS و الگوریتم سبال استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که میانگین بیشترین تابش موج‌کوتاه ورودی به میزان ۷۶۹ وات بر مترمربع در ماه سپتامبر و کمترین مقدار ماه می به میزان ۳۱۸ 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 آستانه تابش تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع حساسیت دارند و آن را دریافت می‌کنند، می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در شهرستان چالوس و روستاهای شهرستان چالوس در سال مورد بررسی پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد. و پتانسیل بالایی هم برای استفاده خود روستا و ذخیره‌سازی را دارا می‌باشد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود محققان به‌جای تحلیل‌های زمانی داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی، از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش‌ازدور برای مطالعه تابش خورشیدی استفاده کنند. سرمایه‌گذاری در تولید برق خورشیدی می‌تواند یکی از سرمایه‌گذاری‌های مطلوب و از سودآوری باشد که علاوه بر سود اقتصادی از لحاظ مختلف به انسان‌ها و محیط‌زیست نیز خدمت می‌نماید. سرمایه‌گذاری در تولید برق خورشیدی می‌تواند به‌صورت خرید تجهیزات خورشیدی و راه‌اندازی نیروگاه‌های آف‌گرید باشد تا بتوانید برق مورد نیاز خود را تأمین نمایید. البته این کار در صورتی که شما به برق

شبکه دسترسی داشته باشید توجیه اقتصادی ندارد. در واقع سرمایه‌گذاری در تولید برق خورشیدی به‌صورت راه‌اندازی نیروگاه آن‌گرید یا نیروگاه خورشیدی خانگی مرسوم‌تر می‌باشد. به شکلی که افرادی که شرایط راه‌اندازی این نیروگاه را بر روی بام خانه و یا محل دیگری دارند، می‌توانند آن را راه‌اندازی نمایند و برق تولیدی خود را طی قراردادی با اداره برق به شبکه بفروشند. بازگشت سرمایه در این روش در سال‌های ابتدایی در حدود ۴ سال بود اما اکنون با توجه به گران‌تر شدن تجهیزات کمی بیشتر می‌باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی ندارد.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمامی بخش‌ها و مراحل پژوهش سهم برابر دارند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد و فرامرزی عوری، بهروز. (۱۴۰۴). شناسایی مناطق امیدبخش برای انرژی زمین‌گرایی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه سه‌سهند. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۱۵ (۵۵)، ۹۱-۱۳۰. <https://doi.org/10.22111/gajz.2025.50139.3240>
- رضایی مقدم، محمدحسین و هاتفی اردکانی گردوست، محمد. (۱۳۹۵). ارزیابی تأمین انرژی برای سیستم‌های فتوولتائیک بر اساس تابع تحلیلگر انرژی خورشیدی (منطقه: بزرگراه زنجان-تبریز). *مجله برنامه‌ریزی فضایی و ژئوماتیک*، ۲۰ (۳)، ۱۳۱-۱۵۵.
- عابدینی، موسی و محمدزاده شیشه‌گران، مریم. (۱۴۰۲). امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش‌ازدور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان ساوجبلاغ). *مجله علمی آمایش سرزمین*، ۱۵ (۱)، ۱۴۷-۱۶۳. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.352157.670367>
- ملکی مرشت، رقیه؛ سبحانی، بهروز و مرادی، مسعود. (۱۴۰۱). واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز). *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲۰ (۶۷)، ۱۲۱-۱۴۱. <https://doi.org/10.22111/j10.22111.2022.6923>
- مؤمنی، حجت‌الله و قلیان، حسن. (۱۳۹۹). سیاست استفاده از انرژی تابشی خورشید در توزیع مناطق جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۳ (۲)، ۶۱-۸۴.
- موسوی بایگی، محمد؛ اشرف، بتول و میان‌آبادی، آمنه. (۱۳۸۹). بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک. *آب و خاک*، ۴ (۴)، ۸۳۶-۸۴۴.
- ولیزاده کامران، خلیل؛ جهانبخش، سعید؛ زاهدی، مجید و رضایی بنفشه‌درق، مجید. (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تفرق واقعی و تحلیل رابطه آن با کاربری اراضی در محیط GIS مطالعه موردی: شهرستان مشکین‌شهر. *فضای جغرافیایی*، ۱۲ (۳۷)، ۳۹-۵۴.

References

- 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. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.352157.670367> [In Persian]
- Abedini, M., & Mohammadzadeh Shishagran, M. (2024). Feasibility of using photovoltaic systems in the installation of solar panels using remote sensing method and SEBAL algorithm in the case area: Grami city. *Geography and Human Relationships*, 6(4), 252-269. [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, 370(1-4), 1-4).
- Asghari Saraskanroud, S., & Faramarzi Ouri, B. (2025). Identification of promising areas for geothermal energy using satellite data in Sahand region. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 15(55), 91-130. <https://doi.org/10.22111/gaij.2025.50139.3240> [In Persian]
- Bulut, H., & Buyukalaca, O. (2007). Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey. *Applied Energy*, 84, 477-491.
- 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*, 32(6), 6457-6477.
- Maleki Rashti, R., Sobhani, B., & Moradi, M. (2022). Investigation of the relationship between heat waves and urban heat islands (Case study: Ahvaz metropolis). *Geography and Development*, 20(67), 121-141. <https://doi.org/10.22111/j10.22111.2022.6923> [In Persian]
- Momeni, H., & Gholiyan, H. (2020). The policy of using solar radiation energy in the distribution of geographical areas using ArcGIS applications. *Geography and Human Relationships*, 3(2), 61-84. [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 hours. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 6, 75-80.
- Rasti, S., Neysani Samani, N., & Nasiri, A. (2022). Modeling optimal location of solar panels roofs of buildings using hierarchical fuzzy Delphi analysis and GIS (Tehran case study). *Geography and Human Relationships*, 5(2), 50-65. [In Persian]
- Rezaei Moghaddam, M. H., & Hatefi Ardekani, M. (2016). Assessment of energy supply for photovoltaic systems based on solar energy analyst function (Area: Zanzan-Tabriz highway). *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 20(3), 131-155. [In Persian]
- Sorapipatana, C., & Exell, R. H. B. (1989). Mesoscale mapping of daily insolation over Southeast Asia from satellite data. *Solar and Wind Technology*, 6(1), 59-69.
- Trnka, M., Zalud, Z., Eitzinger, J., & Dubrovsky, M. (2005). Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131(1-2), 45-76. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.05.002>
- Valizadeh Kamran, K., Jahanbakhsh, S., Zahedi, M., & Rezaei Banafshe Daragh, M. (2012). Estimation of actual evapotranspiration and analysis of its relationship with land use in GIS environment (Case study: Meshkinshahr County). *Geographical Space*, 12(37), 39-54. [In Persian]
- Zandi, R., Zaheri Abdevand, Z., & Emami, S. (2024). Evaluation of earth surface temperature and its relationship with spectral indices (Case study: Khuzestan province). *Geography and Development*, 22(76), 33-64. [In Persian]