Journal of Geography and Planning
Online ISSN: 2717-3534 Print ISSN: 2008-8078
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

Feasibility study of using solar panels to supply electricity to Ramsar County using thermal images (Sebal algorithm) and geographic information system

Mousa Abedini[1]✉, **Maryam Mohammadzadeh Shishehgaean**[2]

1. Corresponding Author, Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. E-mail: abedini@uma.ac.ir
2. PHD student, Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: mmohamadzadeh23@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 25 August 2025
Revised: 2 December 2025
Accepted: 11 December 2025
Published: 29 July 2026

Keywords:
Solar radiant energy,
Sebal algorithm,
remote sensing,
Ramsar city.

ABSTRACT

Objective: The purpose of solar electricity is to rely entirely on solar radiation, which is an inexhaustible and renewable resource. Solar panels are made of photovoltaic cells that convert solar radiation into direct current. These cells are usually made of materials such as silicon, which have special electrical properties. When sunlight hits the solar cells, the photons of light cause an electric current to flow through the cells, which is converted into direct current.

Methods: methods were based on the processing of Landsat satellite images in 2024 and the method was based on the highly accurate Sebal model. All processing was performed in ENVI software.

Results show that the average maximum incoming shortwave radiation was 846 watts per square meter in August and the lowest value was 313 watts per square meter in February. The difference in the amount of net radiation reaching the ground 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, it can be concluded that the solar radiation in the area in the year under study has the necessary potential for implementing solar photovoltaic projects.

Conclusions: The different distribution of solar radiation has varied in the range of 313 to 846 watts per square meter, from the amount of received radiation and reflection, which in addition to its great ability to supply electricity to Ramsar city, is a very suitable source for supplying electricity distribution in Mazandaran province. The innovation in this research is the use of periodic and seasonal satellite images, which makes it very accurate and reliable compared to similar studies that measure potentials only based on weighted parameters.

Cite this article: Abedini, M. & Mohammadzadeh Shishehgaean, M. (2026). Feasibility study of using solar panels to supply electricity to Ramsar County using thermal images (Sebal algorithm) and geographic information system. *Journal of Geography and Planning*, 30(97), 320-338. http//doi.org/10.22034/gp.2025.68818.3444

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: http//doi.org/10.22034/gp.2025.68818.3444

Introduction

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.

Materials and Methods

In this study, Landsat 8 satellite images were used in the months of 2024 to investigate and assess the feasibility of using solar radiation energy. ENVI software was used to perform calculations related to the Sebal model and ArcGIS software was used to prepare the map. One of the applications of thermal images is to prepare thermal maps to determine isothermal zones. We know that conductive and convection heat transfer requires a temperature gradient in the material. However, heat transfer by radiation does not require a material. Many industrial heating, cooling, drying processes, as well as energy conversion methods such as fossil fuel combustion, deal with the radiation process. Radiation incidence on any surface can be from different directions, and the way the surface responds to this radiation depends on its direction of incidence. These directional effects can be examined by introducing the concept of radiation intensity. Radiation intensity is represented by I. Every solid object absorbs a fraction of the radiation falling on its surface, the rest is reflected. An ideal blackbody is defined as a material that absorbs all incident radiation without any reflection. From the perspective of quantum theory, a blackbody is a material that has an infinite number of quantized energy levels in the path such that any photon that falls on it with a frequency is absorbed. Since the energy absorbed by a material increases its temperature, if no energy is emitted, a perfect absorber or blackbody is also a perfect emitter.

Results

In this study, the solar radiation power area in the entire Ramsar city using images of different months in 2024. After preparing the images of Ramsar city, pre-processing operations were used on the images. In this study, in addition to satellite images, different parameters were used in radiation processing, such as sundial, the hour at which the satellite image was obtained, total radiation, indirect and direct radiation, altitude, the most important physical factor in locating the potential and ability to absorb in a power plant, a factor and parameter and factor that can increase the amount of reflection, scattering or absorption of energies and solar radiation flux in the upper layers and maximize solar energy in Ramsar city. Then, to calculate the distribution of net solar radiation reaching the earth's surface (Rn), first the reflectance (ρλ) of bands 2 to 7 was calculated by correcting the solar radiation angle for Landsat images, 2024 in the study area. The results show that the average maximum incoming shortwave radiation in 2024 was 846 watts/square meter and the lowest value was 313 watts/square meter.

Conclusion

In recent years, the use of fossil energy has given way to solar energy due to limitations and pollution issues. Not polluting the environment and even thermal pollution, being free and unlimited, and having a huge source of this energy all over the world, especially in Iran, are some of the advantages of this type of energy. Solar energy has been considered as a reliable solution for producing heat and electricity needed in human daily life, and attention should be paid to the necessity of maximum utilization of solar energy. Therefore, in the field of utilizing this energy to supply electricity to achieve environmental goals, the first step is to identify areas susceptible to climate change, and Iran is very susceptible in this regard to gradually increase the share of electricity production from renewable sources in the country. In this study, the amount of radiation received and reflected from the earth's surface was used to assess the feasibility of using photovoltaic systems using the Sebal analysis function, which is one of the remote sensing and GIS techniques, according to the research findings that the different distribution of solar radiation has varied in the range of 313 to 846 watts per square meter. The sensitivity of photovoltaic cells to solar radiation spreads up to 1000 watts per square meter. Therefore, it can be said that solar radiation has great potential for supplying electricity to the region. The results of this study are consistent with the results of many researchers, including Valizadeh Kamran (2012) and Rezaei Moghadam and Hatefi Ardakani

(2015), who have used remote sensing data and the Sebal algorithm in solar radiation studies. The use of 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 time-based analysis of climate data and experimental methods

Keywords: Solar radiant energy, Sebal algorithm, remote sensing, Ramsar city.

جغرافیا و برنامه ریزی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۸۰۷۸ شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۳۵۳۴
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

امکان‌سنجی بکارگیری پنل‌های خورشیدی جهت تامین برق شهرستان رامسر با استفاده از تصاویر حرارتی (الگوریتم سبال) و سیستم اطلاعات جغرافیایی

موسی عابدینی[1]✉، مریم محمدزاده شیشه‌گران[2]

۱. نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی ، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: abedini@uma.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mmohamadzadeh23@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۰۷

کلیدواژه‌ها:
تابش انرژی خورشیدی،
الگوریتم سبال،
سنجش از دور،
رامسر.

چکیده

هدف برق خورشیدی کاملاً بر انرژی تابشی خورشید متکی است که یک منبع بی‌پایان و تجدیدپذیر محسوب می‌شود. پنل‌های خورشیدی از سلول‌های فتوولتائیک تشکیل شده‌اند که انرژی تابشی خورشید را به جریان برق مستقیم تبدیل می‌کنند. این سلول‌ها معمولاً از موادی مانند سیلیکون ساخته می‌شوند که دارای خواص الکتریکی خاصی هستند. زمانی که نور خورشید به سلول‌های خورشیدی می‌تابد، فوتون‌های نور باعث ایجاد جریان الکتریکی در سلول‌ها می‌شوند و این جریان به برق مستقیم تبدیل می‌شود.

روش پژوهش جهت پردازش از تصاویر ماهواره لندست در سال ۲۰۲۴ و روش کار بر پایه مدل بسیار دقیق سبال صورت گرفت. و تمامی پردازش‌ها در نرم‌افزار ENVI انجام شد.

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. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در منطقه، در سال مورد بررسی پتانسیل لازم برای اجرای طرح‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری توزیع متفاوت تابش خورشیدی در محدوده ۳۱۳ تا ۸۴۶ وات بر متر مربع متغیر بوده است، از میزان تابش دریافتی و بازتابی که علاوه بر قابلیت بسیار زیاد برای تامین برق شهرستان رامسر یک منبع بسیاد مناسبی برای تغذیه توزیع برق در استان مازنداران باشد. نوآوری در این تحقیق استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به صورت دوره‌ای و فصلی که این موضوع باعث می‌شود از مطالعاتی مشابه که پتانسیل‌سنجی را فقط براساس پارامترها وزن‌ها می ستنجند، هم به لحاظ دقت و هم صحت بسیار دقیق و قابل استناد باشد.

استناد: عابدینی، موسی و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۵). امکان‌سنجی بکارگیری پنل‌های خورشیدی جهت تامین برق شهرستان رامسر با استفاده از تصاویر حرارتی (الگوریتم سبال) و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰ (۹۷)، ۳۲۰-۳۳۸.
http//doi.org/10.22034/gp.2025.68818.3444

ناشر: دانشگاه تبریز.

© نویسندگان.

مقدمه

با توجه به اینکه ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در ایران و جهان، نمی‌توانند به منابع در اختیار انرژی متکی شوند. در کشور ما نیز، با توجه به نیاز روز افزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه داشتن محیط زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت‌های برق رسانی و تامین سوخت برای نقاط و روستاهای دور افتاده، استفاده از انرژی های نو مانند: انرژی باد، انرژی خورشید و جذر و مدی بسیار با اهمیت می باشد. طبق برآوردهای علمی در حدوده ۶۰۰۰ میلیون سال از تولد این گوی آتیشن می‌گذرد و در هر ثانیه ۴/۲ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. بنابراین با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است. این کره نورانی را می‌توان بعنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد. انرژی یکی از فاکتورهای ضروری در توسعه اقتصادی، اجتماعی و ارتقای کیفیت زندگی است. به علت پتانسیل بالای انرژی خورشیدی، این انرژی قابل کاربرد در سیستم‌های گرمایش خورشیدی و باطری‌های خورشیدی می‌باشد. آگاهی از تابش رسیده به سطح زمین برای متخصصان علم تابش خورشیدی، معماران، مهندسان طراحی ساختمان به منظور بهره‌وری انرژی و کاربردهای دیگر تابش خورشیدی ضروری می‌باشد (ترانکا[1]، ۲۰۰۵: ۴۷). اطلاع از تابش خورشیدی رسیده به زمین و توزیع جغرافیایی آن برای اندازه‌گیری تغییرات مکانی فرآیندهای آب و هواشناسی، زیست‌شناختی و دیگر کاربردهای انرژی مهم می‌باشد. طراحی سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی و برآورد کارایی آن‌ها در موقعیت مشخص احتیاج به داده‌های خورشیدی قابل اطمینان برای فواصل زمانی کم در طی دوره‌های طولانی دارد (مافتی[2]، ۲۰۰۸: ۶۵۴).

علی‌رغم اهمیت تابش خورشیدی، اندازه‌گیری آن به طور محدود انجام می‌شود و این نقیصه نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته 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 گران قیمت بوده و تکنیک‌های خاصی مورد نیاز است. علاوه بر آن دستگاه‌های مربوطه به‌علت حساس بودن، نیاز به مراقبت‌های زیاد دارد و باید مرتباً واسنجی شود (بایولت و بایاکالکا[3]، ۲۰۰۷: ۴۸۰). غالب ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و جهان فاقد این تجهیزات بوده و در آمار و اطلاعات موجود این‌گونه ایستگاه‌ها نیز خلاءهای آماری فراوانی نیز دیده می‌شود. بنابراین با توجه به اندک بودن ایستگاه‌های دارای ادوات تابش‌سنجی در کشور و همچنین وجود خلاءهای آماری در ایستگاه‌های تشعشع‌سنجی، داده‌های قابل دسترس 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 کاملا 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 زیست محیطی و کشاورزی پویا هموار می‌نماید (سوراپی پاتانا و اکسل[4]، ۱۹۸۹: ۶۱).

مبانی نظری

تشعشع انتقال گرمای رسانشی و جا به جایی نیازمند شیب دما در ماده است.ولی،انتقال گرما توسط تشعشع به ماده نیاز ندارد.بسیاری از فرایند های گرمایش،سرمایش،خشک کردن صنعتی و هم چنین روش های تبدیل انرژی نظیر احتراق سوخت فسیلی با فرایند تشعشع سر و کار دارند (سوربرینو[5] و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۵).

1. Trnka
2. Mefti
3. Bulut and Buyukalaca
4. Sorapipatana and Exell
5. Sobrino et al

شدت تشعشع

فرود تشعشع در هر سطح می تواند از جهت‌های مختلف باشدو نحوهٔ پاسخ سطح به این تشعشع به جهت فرود آن بستگی دارد. این تاثیرات جهتی را با وارد کردن مفهوم شدت تشعشع می توان بررسی کرد.شدت تشعشع را با I نشان می دهند (اکی[1]، ۱۹۷۳: ۷۷۰).

جسم سیاه هر جسم جامدی کسری از تابش فرودی بر سطح خود را جذب مبی کند، بقیه این تابش بازتاب می‌یابد.یک جسم سیاه ایده‌آل به صورت ماده‌ای که تمامی تابش فرودی را، بدون هیچ بازتابس درمی‌آشامد، تعریف می‌شود از دیدگاه نظریه کوانتومی، جسم سیاه عبارت است از ماده‌ای که تعداد بیشماری تراز انرژی کوانتیده در مسیر بطوری که هر فوتونی که با بسامدی بر آن فرود آید در آشامیده می‌شود از آنجا که انرژی درآشامیده بوسیله یک ماده دمای آن را افزایش می‌دهد،اگر هیچ انرژی گسیل نشود، یک درآشام کامل یا جسم سیاه، گسیل کننده کامل نیز هست (سوربرینوو همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۵).

قانون پلانک برای تشعشع جسم سیاه

رابطهٔ شدت تابش بر حسب بسامد(که رابطهٔ عکس با طول موج دارد) از قانون پلانک برای جسم سیاه به دست می‌آید (سوربرینو و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۵).

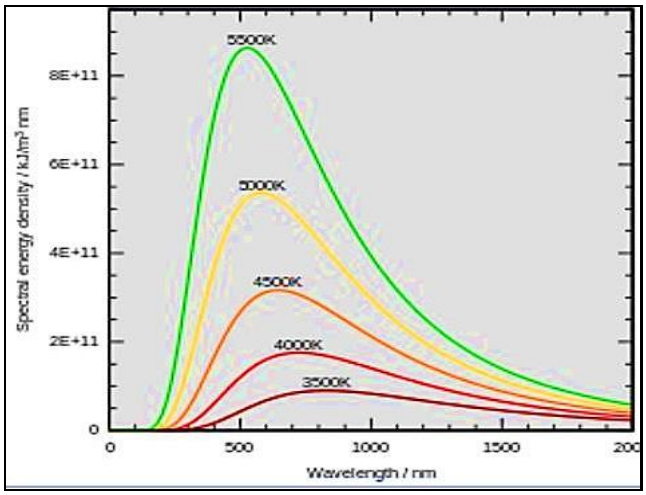
$$I(v)dv = \frac{2hv3}{c2}\frac{1}{e^{\frac{hy}{kt}} - 1}$$

I(v)dv مقدار انرژی بر واحد سطح بر واحد زمان است که در واحد زاویهٔ فضایی در بازهٔ بسامدی v و v+dv می‌تابد؛ T دمای جسم سیاه است؛ h ثابت پلانک است؛ c سرعت نور است؛ k ثابت بولتزمن است.

قانون جابجایی وین برای تشعشع جسم سیاه

همانطور که در شکل ۱ مشخص است توزیع طیفی جسم سیاه یک ماکزیمم دارد و طول موج متناظرآن به دما بستگی دارد. ماهیت این وابستگی را با قانون جا به جایی وین می توان نشان داد.

$\lambda max = \frac{C}{T}$ طبق این قانون،ماکزیممم توان گسیل طیفی با افزایش دما به طرف طول موج های کوتاه تر جا به جا می‌شود، این گسیل در وسط طیف مرئی خورشیدی قرار دارد،زیرا خورشید مانند جسم سیاه در دمای ۵۸۰۰ k تشعشع می کند (سوربرینو و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۵).



شکل ۱. توزیع طیفی جسم سیاه در قانون وین

1. Oke

گسیلمندی

نسبت تابش گسیل شدهٔ یک جسم به تابشی که یک جسم سیاه کامل در همان دما گسیل می‌کند. گسیل مندی را معمولاً با نماد (ε) نشان می‌دهند و مقدار عددی آن برای اجسام حقیقی کمتر از یک است (اکی، ۱۹۷۳: ۷۷۰).

پیشینه پژوهش

مطالعات داخلی

تحقیقات زیادی در مورد موضوع تحقیق در خارج و داخل کشور بعمل آمده که به اجمال در زیر پرداخته شد:

عشور نژاد و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی حد واسط خیابان وصال تا خیابان قدس شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد که مشاهدات میدانی، مدل بررسی شد و از ضریب تاو-کندال b برای تعیین چگونگی تطبیق بین نتایج حاصله در مدل استفاده گردید. نتایج، حاصل ضریبی برابر ۰/۷۷۱ را نمایش داد که نشانه رابطهٔ زیاد بین دو متغیر و صحت نسبتاً زیاد مدلسازی انجام شده است.حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان اصفهان با مدل برد و هول استورم مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد که، عواملی که سبب شده است تا بیشترین مقادیر تابشی در فصل تابستان وجود داشته باشد ارتفاع خورشید و همچنین افزایش ساعات آفتابی و قرارگیری ایران در استیلای پرفشار جنب حاره است. نتایج برآورد شده تابش دریافتی سطح زمین نشان می دهد فصل زمستان و پاییز درماه های دسامبر و ژانویه دارای کمترین مقدار هستند. بیشترین مقدار دریافتی در این استان در ماه ژوئن است. متوسط مقدار تابش دریافتی در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۱۶/۹۱، ۲۷/۳۷، ۲۷/۰۴، ۱۵/۹۳ MJ/m^2 است. رنگزن و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی شاخص‌های تراکم شهری در امکان‌سنجی استفاده از پتانسیل انرژی خورشیدی با استفاده از GIS (مطالعه موردی منطقه ۴ اهواز) را بااستفاده از روش با استفاده از مدل Solar Analyst مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد که، میزان تابش سالانه خورشید از ۵۰۷ (در مناطق متراکم) به ۷۴۱ (در مناطق پراکنده) کیلووات ساعت بر متر مربع افزایش می‌یابد. شاخص نسبت حجم به مساحت با تابش سالانه خورشید، R^2 برابر با ۰/۸۰۵، بالاترین ضریب تعیین را دارد. علاوه بر این، در منطقه مورد مطالعه، پتانسیل سقف‌های ساختمان برای توسعه سیستم‌های فتوولتائیک بسیار بیشتر از سیستم‌های STC است که تحت تأثیر میزان تراکم شهری قرار دارد. زندی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی پتانسیل‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی سبزوار با استفاده از مدل‌های مختلف شاخص‌های طیفی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش، همبستگی دو عامل ارتفاع و ساعات آفتابی با تابش کل محاسبه گردید و نتایج حاکی از آن است که همبستگی بین تابش کل و عامل ارتفاع به مراتب بیشتر از میزان ساعات آفتابی می‌باشد. در نهایت پتانسیل تابش کلی در سطح منطقه مورد مطالعه محاسبه و بررسی شد، نتایج گویای پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی پراکنده و با جمعیت کم می‌باشد. همچنین نتایج نشان می دهند که، ۹۵،۸۲ درصد از سطح شهرستان دارای پتانسیل عالی، ۴/۰۱ درصد دارای پتانسیل خیلی خوب و ۰/۱۵ درصد دارای پتانسیل خوب می‌باشند. مومنی و محمدقلیان (۱۳۹۹) به بررسی سیاست بهره‌گیری از انرژی تابش خورشیدی در پراکنش پهنه‌های جغرافیایی با استفاده از برنامه‌های ArcGIS را مورد بررسی قرار دادند. 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. ملکی مرشت و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی واکاوی رابطهٔ امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد، در هردو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در مرکز این شهر، اغلب در روز جزیرهٔ سرمایی و در شب جزیرهٔ گرمایی تشکیل یافته، ولی در شرایط موج گرمایی در روز هنگام اغلب جزیرهٔ سرمایی شدیدتر از روزهای عادی بوده است و در شب هنگام جزیرهٔ 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 پانل های خورشیدی در پشت بام ساختمان ها با استفاده ازتحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی و GIS در تهران با استفاده از شاخص فومیاکی 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. عابدینی و محمدزاده شیشه گران (۱۴۰۲) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعهٔ موردی: شهرستان ساوجبلاغ) را با استفاده از مدل سبال مورد بررسی پداختند. نتایج آن‌ها نشاندهنده تاثیر مستقیم توان تشعشعی بسیار مناسب و با مقدار ۸۶۷ وات بر متر مربع می‌باشد و در عین حال کاربردی برای احداث پنل خورشیدی به خصوص در تابستان می‌باشد. عابدینی و محمدزاده شیشه گران (۱۴۰۳) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در استقرار پنل‌های خورشیدی با استفاده از روش سنجش از دور و الگوریتم سبال شهرستان گرمی 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 تامین انرژی از خورشید می‌باشد. زندی و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی سنجش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی مطالعهٔ موردی: استان خوزستان را با استفاده از شاخص موران مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد، جزایر حرارتی در خارج از محدودهٔ 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 خیلی‌کمتری نسبت به جزایر حرارتی در سطح استان خوزستان می‌باشند. اصغری و فرامرزی (۱۴۰۴) به بررسی شناسایی مناطق امیدبخش برای انرژی زمین‌گرمایی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقهٔ سهند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نقشهٔ نهایی نشان داد که منطقه سهند مستعد انرژی زمین‌گرمایی می باشند چشمه‌های طبیعی وجود زمین گرمایی را در منطقه ثابت می‌کند.

مطالعات خارجی

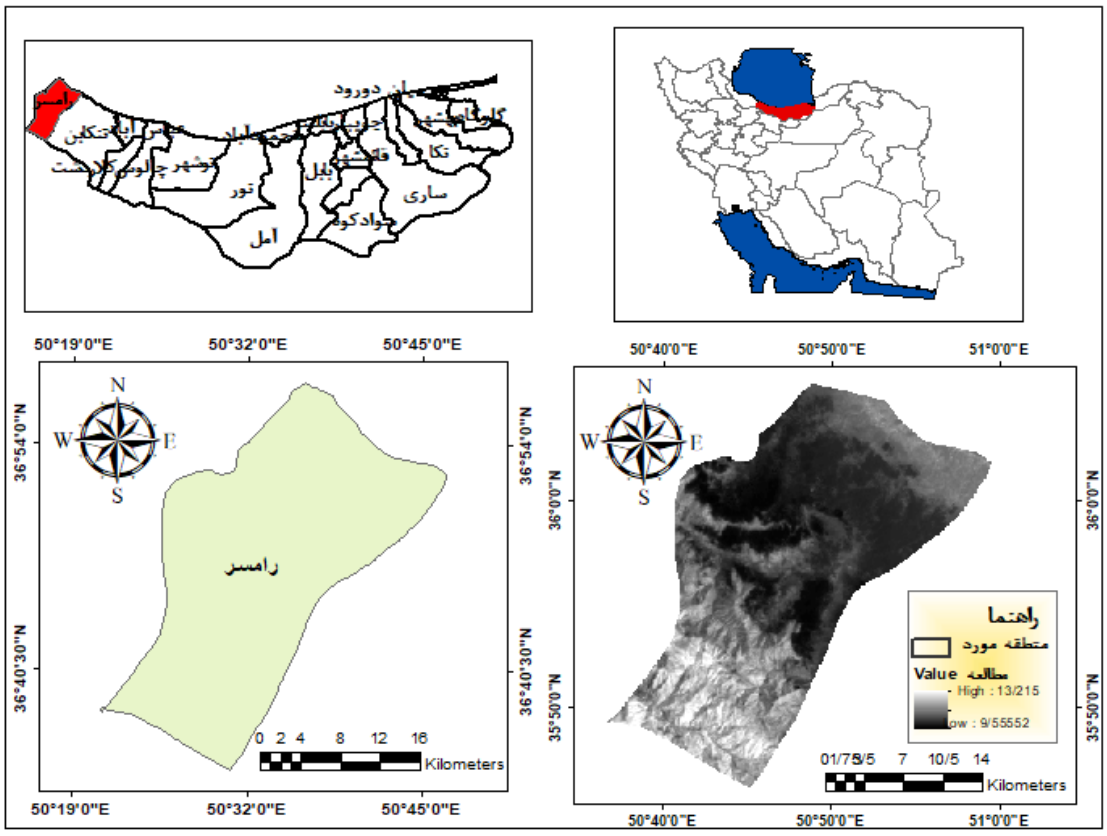
میوزتیک[1] (۲۰۱۴) به ارزیابی مدل‌های متعددی برای تخمین میانگین ماهانه تابش خورشیدی روزانه در یک سطح افقی بر اساس ساعات آفتابی و انتخاب مدلی مناسب برای ایالت گرنگانو مالزی پرداخته است. مدل‌های بررسی‌شده با آزمون‌های آماری سنجش شده و خطاهای آماری مثل MBE، MPE، RMSE و NSE محاسبه شد. بر اساس نتایج مدل مبتنی بر معادله آنگستروم بهترین تخمین را نشان داد. ساراسوات[2] و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تکنیک مبنی بر MCDM برای ارزیابی مزرعه خورشیدی در هند انجام دادند. محققان با استفاده از AHP لایه مکان‌یابی بررسی کرده و نقشه پهنه‌بندی استخراج کردند. در نهایت با روش تلفیق معیارها براساس وزن‌های محاسبه شده استخراج کردند. آیو[3] و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی یک روش تعمیلی نوین مبتن بر توابع درجه ترجیحی چند معیاره برای انتخاب سایت نیروگاه خورشیدی انجام دادند. نتایج در این پژوهش در مقایسه با انواع روش‌های جدید نتیجه و کارایی فوق العاده داشته است. ساراجی و همکاران[4] (۲۰۲۴) به ارزیابی یک رویداد تصمیم‌گیری چند معیاره دو مرحله‌ای جدید برای انتخاب سایت‌های مزرعه خورشیدی برای ارزیابی مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در لیقوانی از یک رویداد دو مرحله ای یا چند مرحله‌ای بررسی کرده‌اند. در این روش ابتدا معیار تصمیم براساس کریتیک محاسبه شده است.

1. Muzathik
2. Saraswat et al
3. Ayough et al
4. Sarajiet al

روش پژوهش

رامسر غربی‌ترین شهرستان استان مازندران و دروازه ورودی به استان گیلان بوده است. منطقه رامسر از نظر موقعیت جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۴۸ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۶ ثانیه عرض شمالی در غرب استان مازندران واقع شده است.

رامسر شمال به دریای مازندران، از جنوب به بلندی‌های البرز میانی، از باختر به شهرستان رودسر (گیلان) و از خاور به شهرستان تنکابن محدود می‌شود و در مسیر راه اصلی چالوس– رشت قرار دارد. روستاهای شهرستان رامسر با زیبایی وصف‌ناپذیر دامنه جنگلی و زیبای البرز و سواحل رویایی دریای خزر آرمیده و با برخورداری از جاذبه‌های گردشگری و امکانات اقامتی، پذیرایی و تفریحی و کوتاهترین فاصله بین کوه و دریا به عنوان قطب مهم گردشگری در کشور و حتی جهان مطرح است. مساحت این شهرستان ۸/۷۲۹ کیلومتر مربع و شامل دو شهر رامسر و کتالم و ساداتشهر، چهار دهستان، دو بخش مرکزی و دالخانی و ۱۴۳ روستا دارای سکنه و ۶۲ آبادی خالی از سکنه می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه شهرستان رامسر

در این پژوهش برای بررسی و امکان سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره‌ی لندست در یک دوره، برای ماه های مربوط به سال ۲۰۲۴ 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 ماه های سال برای محدوده مورد مطالعه کاملا ابری بوده و با توجه به این که در الگوریتم

سبال، مقادیر تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری تابش فرودی خورشید از تصاویر بدون ابر به دست می‌آید امکان استفاده از تصاویر ماه‌های فوق‌الذکر مقدور نگردید.

محققان، روش‌های مختلفی برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین، برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد کرده اند. هر یک از این روش ها بر اساس ضریب صافی هوا، کسر ساعات آفتابی، میزان بارندگی، دما، رطوبت نسبی، فشار، ارتفاع از سطح دریا و پارامترهای دیگر می باشند. در این پژوهش از الگوریتم سبال و تکنولوژی سنجش از دور، امکان-سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در شهرستان رامسر مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور انجام عملیات پردازش و به دست آوردن نتایج دقیق، عملیات پیش پردازش 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 رادیومتریک نیز بر روی تصاویر اعمال گردید.

الگوریتم توازن انرژی سطح (SEBAL)[1]

مدل بیلان انرژی سطح زمین (SEBAL) که نخستین مرتبه توسط باستیانسن[2] و همکاران در سال ۱۹۹۸ ارائه شد، بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیر و تعرق واقعی را با حداقل داده‌های زمینی برآورد می‌نماید (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸، ۲۰۱).

$$Rn = (1-\alpha)\, RS\downarrow + RL\downarrow - RL\uparrow - (1-\varepsilon 0)\, RL\downarrow$$

رابطه ۱)

در رابطه (۱)، Rn میزان تابش خالص انرژی خورشیدی، α آلبیدوی سطحی، ε گسیلمندی، RS↓ طول موج کوتاه فرودی، RL↓ طول موج بلند فرودی، RL↑ طول موج بلند خروجی برحسب وات بر مترمربع را نشان می‌دهند. بنابراین تابش خالص عبارت از اختلاف بین جریان تابش خروجی و فرودی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می‌رود. در ادامه به روش محاسبه اجزای رابطه (۱) و در نهایت محاسبه Rn پرداخته می‌شود.

آلبدو (α): نسبت انرژی رسیده به سطح به انرژی بازتابش شده را آلبدو گویند (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸: ۲۰۱).

در الگوریتم سبال از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مرئی، فروسرخ نزدیک و حرارتی برای برآورد انرژی تابشی خالص، شار حرارتی خاک، شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان تبخیر برای هر پیکسل در یک تصویر استفاده می‌شود در این روش مقادیر لحظه‌ای تابش خالص با استفاده از اندازه‌گیری تابش فرودی خورشید از تصاویر بدون ابر و به کارگیری آلبدوی سطحی، گسیلمندی سطحی و دمای سطح، به دست می‌آید. برای محاسبه میزان تابش خالص انرژی خورشیدی از رابطه (۱) استفاده می شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴).

$$Rn = (1-\alpha)\, RS\downarrow + RL\downarrow - RL\uparrow - (1-\varepsilon 0)\, RL\downarrow$$

رابطه ۱)

در رابطه (۱)، Rn میزان تابش خالص انرژی خورشیدی، α آلبیدوی سطحی، ε گسیلمندی، RS↓ طول موج کوتاه فرودی، RL↓ طول موج بلند فرودی، RL↑ طول موج بلند خروجی برحسب وات بر مترمربع را نشان می‌دهند. بنابراین تابش خالص

1. SurfaceBalance Energy
2. Bastiaanssen

عبارت از اختلاف بین جریان تابش خروجی و فرودی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می‌رود. در ادامه به روش محاسبه اجزای رابطه (۱) و در نهایت محاسبه Rn پرداخته می شود.

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

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^{2}}$$ رابطه ۲)

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

برای محاسبه از رابطه (۳) و (۴) استفاده می‌شود (آلن[1] و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴).

$$\alpha toa = \Sigma (\omega\lambda \times \rho\lambda$$ رابطه ۳)

$$\omega_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum ESUN_{\lambda}}$$ رابطه ۴)

$$\alpha_{path_radiance} \approx 0.03$$ رابطه ۵)

$$\tau_{SW} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z$$ رابطه ۶)

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

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

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} * \cos\theta * d_{r}}$$ رابطه ۷)

ρλ مقدار بازتاب برای هر باند، Lλ رادیانس طیفی برای هر باند بر حسب (W/m2/sr/μm)، میانگین تابش خروجی از اتمسفر برای هر باند بر حسب (W/m2/sr/μm)، cosθ زاویه فرودی خورشید (از نقطه نادیر)، dr مجذور معکوس فاصله نسبی زمین تا خورشید بر حسب واحد نجومی را نشان می‌دهند. cosθ با استفاده از داده‌های هدرفایل یعنی زاویه ارتفاع خورشیدی (β) که در آن (۹۰– β) برابر θ است به دست می‌آید. dr با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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

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 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 (آلنو همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴).

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_{r} \times \tau_{sw}$$ رابطه ۹)

1. Allen et al

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

$$T_s = \frac{T_{bb}}{\varepsilon_0^{0.25}}$$ رابطه ۱۰)

$$T_{bb} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_6}+1\right)}$$ رابطه ۱۱)

در روابط فوق K1 و K2 ثابت تصحیح، L6 رادیانس باند حرارتی در ماهواره لندست، Tbb دمای جسم سیاه زمین را نشان می‌دهد.

گسیلمندی سطحی (ε0) بصورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده بوسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده بوسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود.

$$\varepsilon 0 = 1.009 + 0.047 \times \ln(NDVI)$$ رابطه ۱۲)

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

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

R انعکاس در باند قرمز و IR انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک می‌باشند. برای محاسبه تابش موج بلند خروجی یا RL↑ از رابطه(۱۴) استفاده شده است. مقادیر RL بسته به محل و زمان تصویر از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع تغییر می کنند (آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴).

$$RL\uparrow = \varepsilon o\ \sigma\ Ts4$$ رابطه ۱۴)

در رابطه (۱۴) εo گسیلمندی اتمسفری، σ ثابت استفان بولتزمن و برابر 5.67×10-8 w/m2. ˚k، Ts دمای سطح زمین بر حسب k نشان می‌دهد. تابش موج بلند فرودی، شار تابش حرارتی از آسمان به سمت پایین است که با استفاده از رابطه استفان – بولترمن محاسبه می‌شود.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon a\ \sigma\ Ta4$$ رابطه ۱۵)

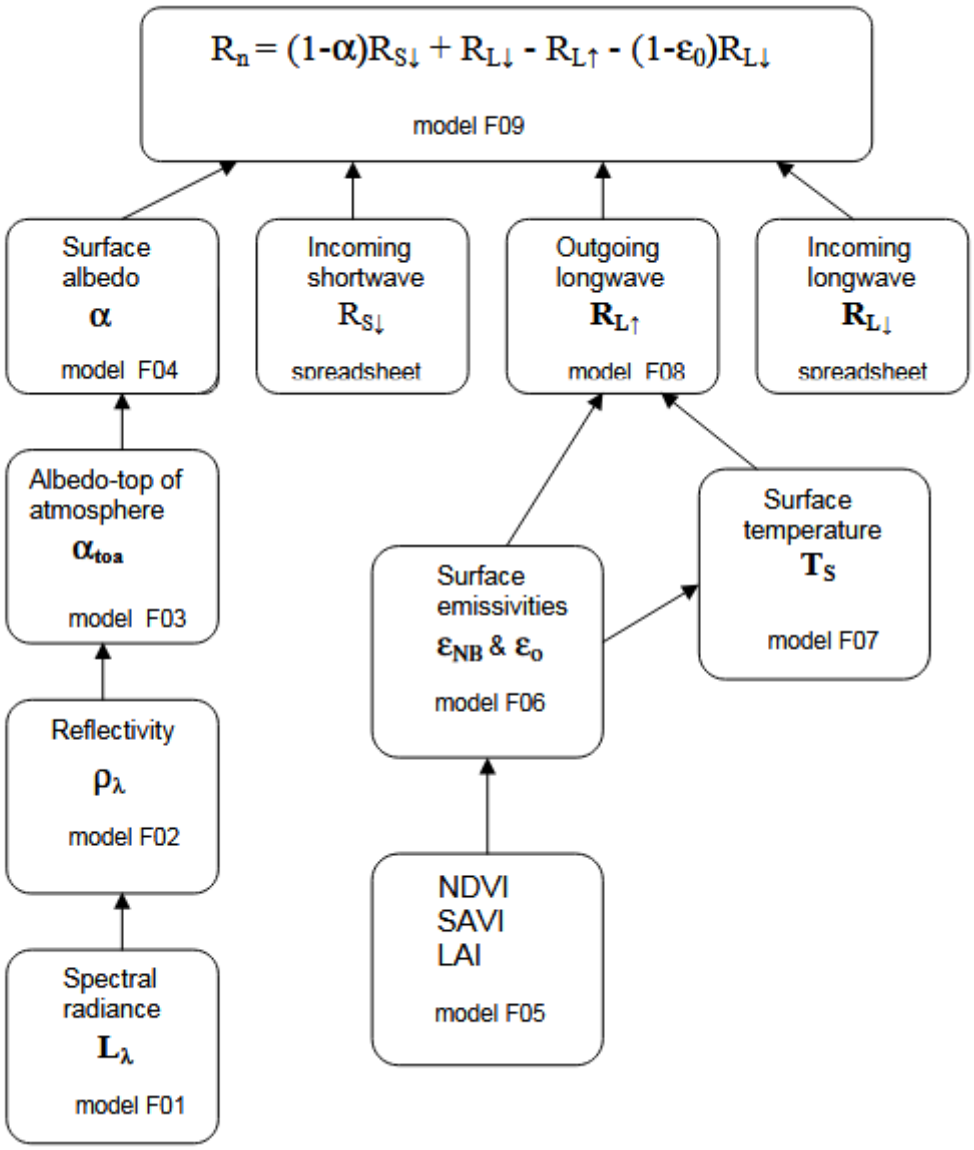
RL↓ طول موج بلند ورودی بر حسب وات بر مترمربع که مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر مترمربع متغیر می‌باشد، εa گسیلمندی اتمسفر (بدون بعد)، σ ثابت استفان بولتزمن و برابر 5.67×10-8 w/m2. k، Ta دمای هوای نزدیک سطح بر حسب کلوین می‌باشد برای محاسبه εa می‌توان از معادله تجربی زیر که توسط باستیانسن به دست آمده استفاده کرد (آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴).

$$\varepsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw})^{.09}$$ رابطه ۱۶)

که در آن ضریب شفافیت اتمسفری موج کوتاه می باشد. Tcold نیز معادل دمای سطحی پیکسل سرد می‌باشد. 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 معادله نهایی برای محاسبه RL↓ را می‌توان به صورت زیر نوشت.

رابطه ۱۷) $R_L\downarrow = 0.85 * (-\ln \tau_{sw})^{0.09} * \sigma * Tcold^4$

پس از محاسبه پارامترهای الگوریتم سبال که در بالا شرح داده شد، شار تابش خالص سطحی (Rn) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴). تمامی مراحل ذکر شده و همچنین روند ترتیبی در شکل (۲) بیان شده است.

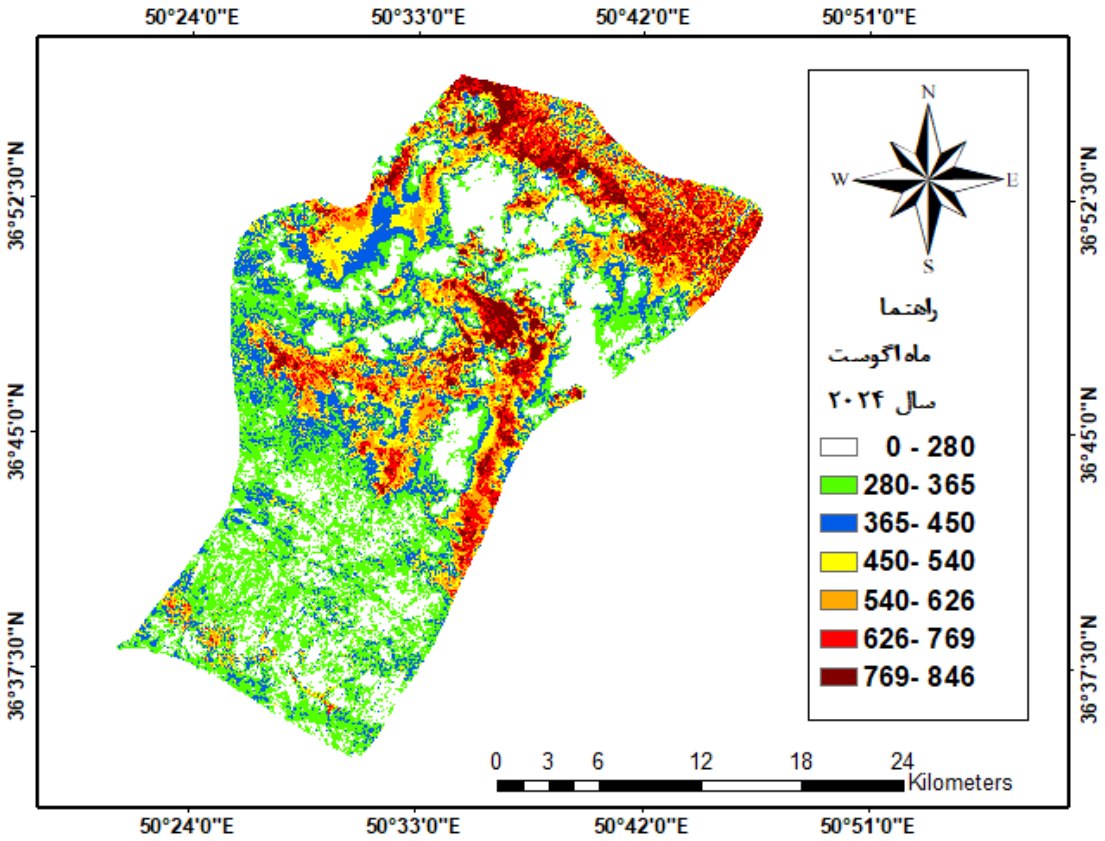


شکل ۳. روند کلی تحقیق

نتایج

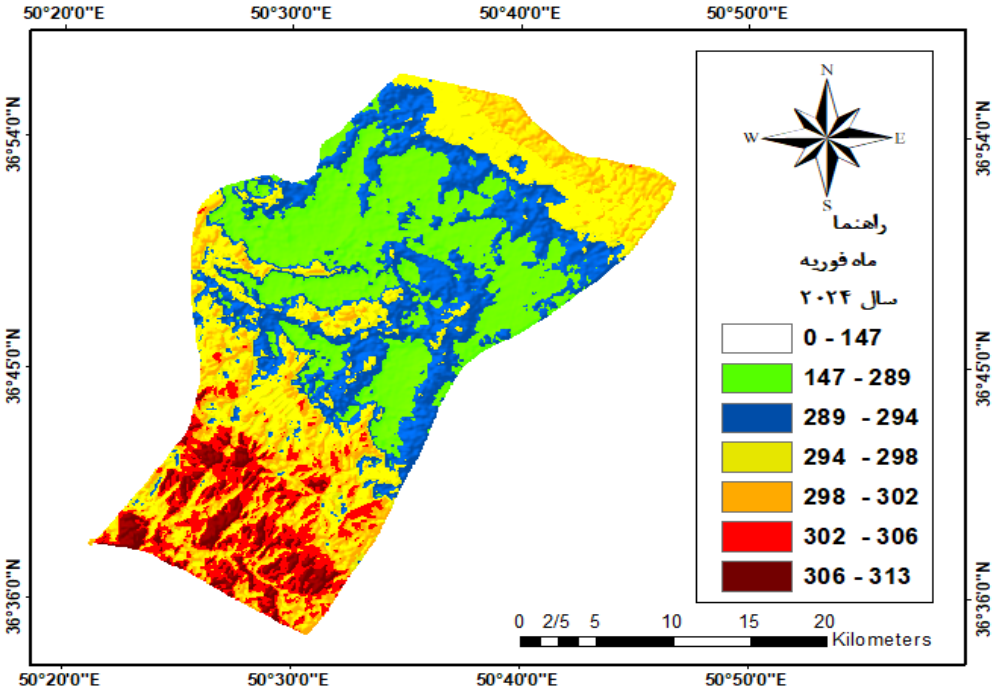
نتایج حاصل نشان می‌دهد که میانگین بیشترین تابش موج کوتاه ورودی در سال ۲۰۲۴ به میزان ۸۴۶ وات بر مترمربع و کمترین مقدار به میزان ۳۱۳ وات بر مترمربع بوده است. اطلاعات شکل (۴) نشان می‌دهد جو به علت ماهیت خود شامل عوامل جذب، پراکنش و انعکاس می‌باشد. مواد و ترکیبی که پهنای بزرگی دارند در طبقات که پایین‌تر هستند مواد غلیظ انباشته شده و در لایه‌های که ارتفاع نسبتا بالایی دارد در جو زمین رقیق شده و ضخامت که در جو زمین است کاهش می‌یابد. این دو عامل انرژی و شار انرژی تابشی را بررسی و پایش می‌کند. که ماه اگوست جز یکی از ماه‌های گرم و دارای پتانسیل بالای تشعشعی و وجود تابش بسیار قوی در این ماه که تا محدوده ۸۴۶– ۷۶۹ وات بر مترمربع است که بیشترین مقدار در قسمت شمالی و

مرکزی شهرستان رویت می‌شود. این مقدار شدت پراکنش در شهرستان رامسر در تقسیم‌بندی انرژی خورشیدی توسط آزمایشگاه انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر در ایالات متحده امریکا در دسته عالی قرار دارد و تایید تامین برق و پتانسیل تولید برق در مناطق شهری در شهرستان رامسر می‌تواند ۱۰۰ مصرف خانگی شهری را تامین کند.



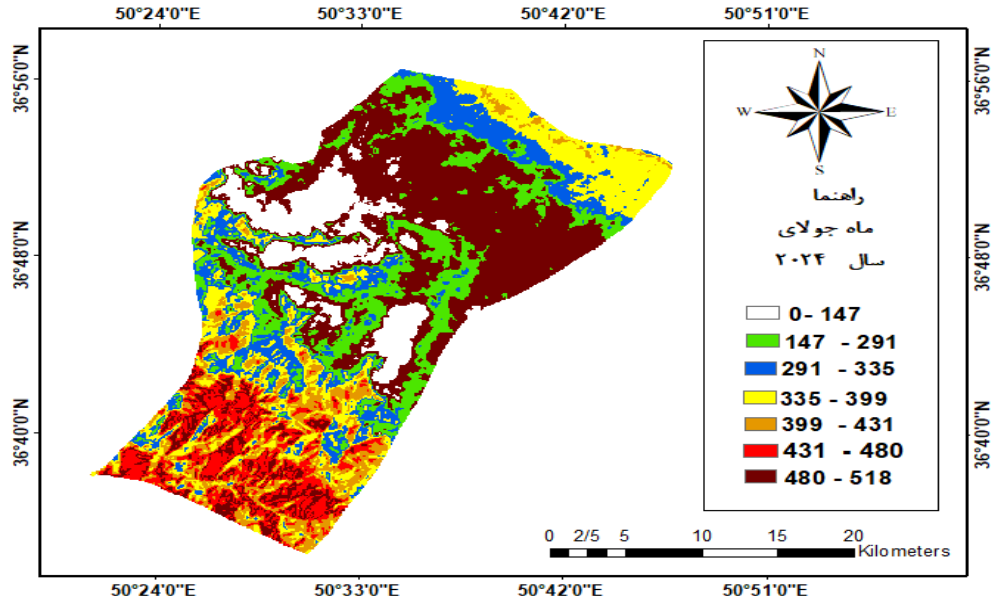
شکل ٤. توزیع تابش خالص ماه آگوست با روش سبال

اطلاعات شکل (۵) نشان می‌دهد پتانسیل تولید برق در مناطق شهری در شهرستان رامسر می‌تواند ۱۰۰ مصرف خانگی شهری را تامین کند که این رقم متغییر و مستلزم شرایط در ماه‌های گوناگون می‌باشد که در ماه فوریه با بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه در محدوده ۳۰۶–۳۱۳ وات متر بر مربع است، همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۷ –۰ وات بر مترمربع کمترین تابش خالص تابش خالص دریافت شده است. شهرستان رامسر در ماه فوریه در قسمت‌های جنوب شهرستان دارای بالاترین دما توزیع تابش خالص می‌باشد. این پتانسیل در ماه فوریه نشان‌دهنده این است که در این ماه در شهرستان رامسر دارای کمترین توان خود می‌باشد.



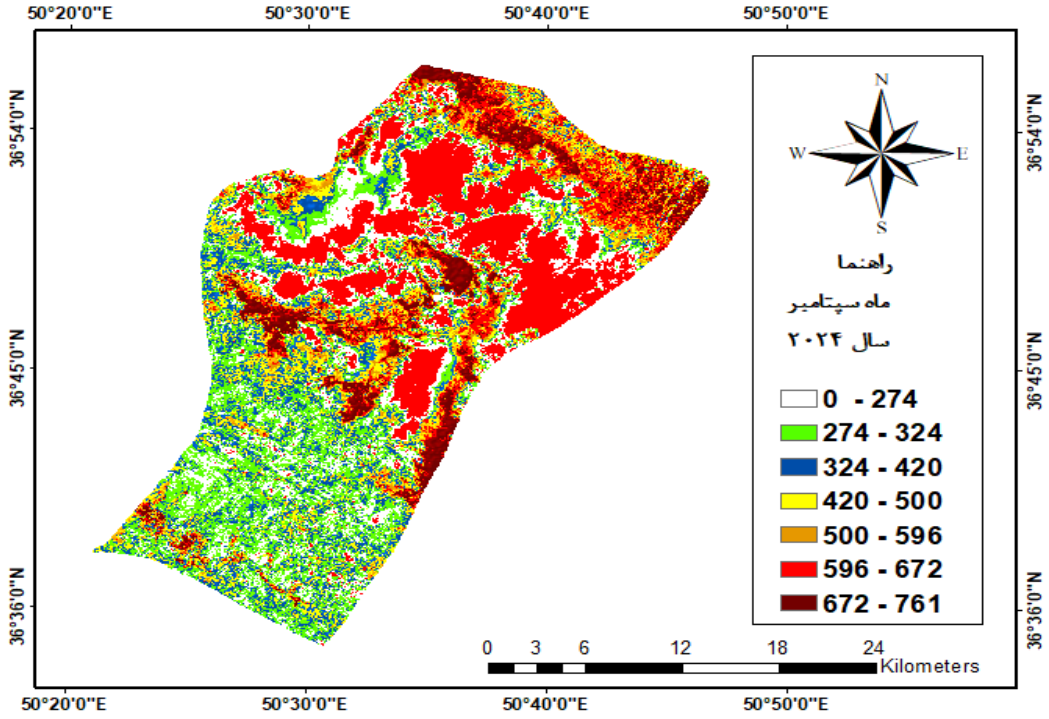
شکل ۵. توزیع تابش خالص سال فوریه با روش سبال

اطلاعات شکل (۶) نشان‌دهنده این است که در این ماه توان تشعشعی به علت تغییراتی که در بازدهی حداکثری حرارتی در شهرستان رامسر در ماه ژوئن را در محدوده ۵۱۸–۴۸۰ وات متر بر مربع است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۱۴۷–۰ وات بر مترمربع تابش را نشان می‌دهد که بیشترین پراکنش در تمام قسمت شهرسان رامسر را نشان می‌دهدکه نسبت به دمای کارایی زیاد در ماه جولای را در سیستم فتوولتائیک در فصول گرم را نشان می‌دهد. افزایش دمای باعث افزایش دمای سیال شده و راندمان دمای محیطی رامسر حرارت سیستم را افزایش می‌دهد. البته این افزایش یافتن راندمانی حرارتی تشعشع به علت افزایش حرارتی با افزایش صعودی دما در این ماه انطباق دارد.



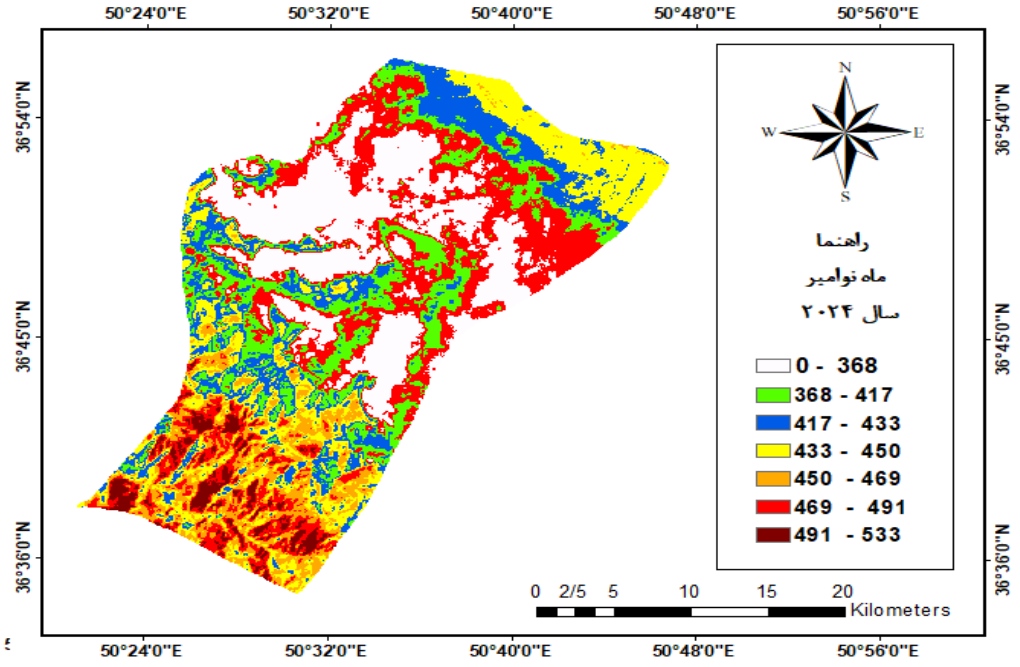
شکل ٦. توزیع تابش خالص سال جولای با روش سبال

اطلاعات شکل (۷) نشان می‌دهد ماه سپتامبر مصادف با ماه‌های گرم و دارای بیشترین بازدهی تشعشعی را دارد. وجود تابش بسیار مناسب مکان استفاده برق را برای تامین برق شهرستان و کاهش فشاری که بر خ انتقال نیروی برق و در نتیجه این امر عدم قطعی برق را مهیا می‌کند. در شهرستان رامسر اوج مصرف برق در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور می‌باشد که آن را می‌توان به عنوان یک منبع غنی جهت تامین برق ماه‌ها استفاده کرد. تابش خالص نسبت ماه‌های قبل افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد که نشان از تامین‌کنندگی بسیار مناسب انرژی در فصول کم شعشی بیشترین درصد توزیع تابش خالص در این ماه سپتامبر محدوده ۶۷۱–۷۶۱ وات متر بر مربع است که این پراکنش در تمام قسمت‌های شمالی به وضوح رویت می‌شود. این مقدار شدت پراکنش در شهرستان رامسر در تقسیم‌بندی انرژی خورشیدی توسط آزمایشگاه انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر در ایالات متحده امریکا در دسته عالی قرار دارد.



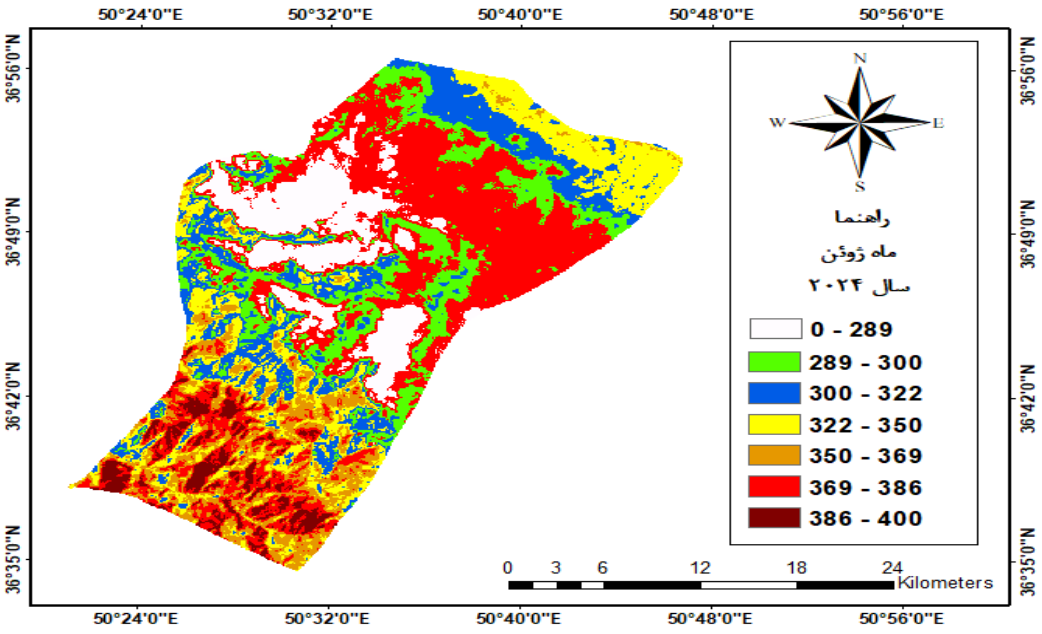
شکل ۷. توزیع تابش خالص سال سپتامبر با روش سبال

اطلاعات شکل (۸) نشان می‌دهد که در این ماه توان تشعشعی به علت تغییراتی که در بازدهی حداقلی حرارتی در شهرستان رامسر در ماه نوامبر را در محدوده ۴۹۱–۵۳۳ وات متر بر مربع است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۳۶۸–۰ وات بر مترمربع تابش را نشان می‌دهد که بیشرین پراکنش در قسمت شمالی را نشان می‌دهدکه نسبت به دمای کارایی نسبتا کم در این ماه را در سیستم فتوولتائیک در فصول سرد را نشان می‌دهد. کاهش دمای باعث کاهش دمای سیال شده و راندمان دمای محیطی رامسر حرارت سیستم را کاهش می‌دهد. البته این کاهش یافتن راندمانی حرارتی تشعشع به علت کاهش تلفات حرارتی با کاهش نزولی دما انطباق دارد.



شکل ۸. توزیع تابش خالص سال ماه نوامبر با روش سبال

اطلاعات شکل (۹) نشان‌دهنده این این ماه توان تشعشعی به علت تغییراتی که در بازدهی حداکثری حرارتی در شهرستان رامسر در ماه ژوئن را در محدوده ۴۰۰–۳۸۶ وات متر بر مربع است. همچنین در این ماه کمترین تابش در محدوده ۲۸۹–۰ وات بر مترمربع تابش را نشان می‌دهد که بیشرین پراکنش در قسمت جنوبی را نشان می‌دهدکه نسبت به دمای کارایی نسبتا کم در ماه ژوئن را در سیستم فتوولتائیک در فصول سرد را نشان می‌دهد. کاهش دمای باعث کاهش دمای سیال شده و راندمان دمای محیطی رامسر حرارت سیستم را کاهش می‌دهد. البته این کاهش یافتن راندمانی حرارتی تشعشع به علت کاهش تلفات حرارتی با کاهش نزولی دما انطباق دارد.



شکل ۹. توزیع تابش خالص سال ژوئن با روش سبال

بحث و نتیجه‌گیری

خورشید به عنوان منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌های دیگر شناخته شده است. تابش جهانی خورشید یکی از سازه‌های بنیادی هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. از این رو، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه‌های اساسی، تاثیر زیادی در برنامه‌ریزی‌های وابسته به انرژی دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، در سال‌های اخیر بوده است. جهت انجام این پژوهش، از تصاویر مربوط به سال ۲۰۲۴ ماهواره لندست 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. در سال‌های اخیر، استفاده از انرژی فسیلی به دلیل محدودیت‌ها و مسائل مربوط به آلودگی، جای خود را به انرژی خورشیدی داده است. عدم آلودگی محیط زیست و حتی آلودگی حرارتی، رایگان و نامحدود بودن و وجود منبع عظیم این انرژی در سراسر جهان، به ویژه در ایران، از مزایای این نوع انرژی است. انرژی خورشیدی به عنوان یک راه حل مطمئن برای تولید گرما و برق مورد نیاز در زندگی روزمره بشر مورد توجه قرار گرفته است و باید به لزوم استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی توجه شود. بنابراین، در زمینه استفاده از این انرژی برای تامین برق جهت دستیابی به اهداف زیست محیطی، اولین گام شناسایی مناطق مستعد تغییرات اقلیمی است و ایران از این نظر بسیار مستعد است تا به تدریج سهم تولید برق از منابع تجدیدپذیر را در کشور افزایش دهد.

در این مطالعه، می‌توان نتیجه با توجه به یافته‌های تحقیق که توزیع متفاوت تابش خورشیدی در محدوده ۳۱۳ تا ۸۴۶ وات بر متر مربع متغیر بوده است، از میزان تابش دریافتی و بازتابی که علاوه بر قابلیت بسیار زیاد برای تامین برق شهرستان رامسر یک منبع بسیاد مناسبی برای تغذیه توزیع برق در استان مازنداران باشد. از سطح زمین برای ارزیابی امکان سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک استفاده شد.

نوآوری در این تحقیق استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به صورت دوره‌ای و فصلی است که این موضوع باعث می‌شود از مطالعاتی مشابه که پتانسیل‌سنجی را فقط براساس پارامترها وزن‌ها بسنجند هم به لحاظ دقت و هم صحت بسیار دقیق و قابل استناد باشد.

نتایج تحقیق نشان داد که شهرستان رامسر به عنوان شهرستانی که جمعیت دوره‌ای و ثابت آن رو به افزایش می‌باشد، رشد مصرف انرژی، نیازمند افزایش ظرفیت تولید انرژی دارد و برنامه‌ریزان می‌بایست برای تامین برق با توجه به محدوده ۳۱۳ تا ۸۴۶ که علاوه بر پتانسیل خیلی خوب برای تامین برق مزایای از جمله تجدیدپذیر بودن، دردسترس بودن، آلودگی کمتر و مهمتر از همه توسعه پایدار، بهترین راه تامین برق به حساب می‌آید. در کل می‌توان نتیجه گرفت در که روند تغییرات ارتفاع، تفاوت زاویه تابش خورشید و تعداد ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف سال در میزان و مقدار انرژی خورشید بسیار مهم است به عنوان مثال در ماه آگوست با مقدار ۸۴۶ وات بر متر مربع به علت دارا بودن تمام شرایط بیان شده دارای بالاترین پتانسیل در بین تمام ماه‌های سال می‌باشد.

بنابراین می‌توان گفت تابش خورشیدی پتانسیل بالایی برای تأمین برق منطقه دارد. نتایج این مطالعه با نتایج بسیاری از محققان از جمله ولی‌زاده کامران (۱۳۹۱)، رضایی مقدم و هاتفی اردکانی (۱۳۹۵)، لیلی هوجقانی و همکاران (۱۴۰۴)، رنگزن وهمکاران (۱۳۹۷) و هوشنگی و آل شیخ (۱۳۹۶) که از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم سبال در مطالعات تابش خورشیدی استفاده کرده‌اند، مطابقت دارد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های سنجش از دور به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه برای تخمین تابش خورشیدی، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود محققان به جای تحلیل‌های زمانی داده‌های اقلیمی و روش‌های تجربی، از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور برای مطالعه تابش خورشیدی استفاده کنند.

سرمایه‌گذاری در تولید برق خورشیدی می تواند یکی از سرمایه گذاری های مطلوب و از سودآوری باشد که علاوه بر سود اقتصادی از لحاظ مختلف به انسان‌ها و محیط زیست نیز خدمت می‌نماید. سرمایه‌گذاری در تولید برق خورشیدی می‌تواند به صورت خرید تجهیزات خورشیدی و راه‌اندازی نیروگاه‌های آفگرید باشد تا بتوانید برق مورد نیاز خود را تامین نمایید. البته این کار در صورتی‌که شما به برق شبکه دسترسی داشته باشید توجیه اقتصادی ندارد.

در واقع سرمایه‌گذاری در تولید برق خورشیدی به صورت راه اندازی نیروگاه آنگرید یا نیروگاه خورشیدی خانگی مرسوم تر می باشد. به شکلی که افرادی که شرایط راه اندازی 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. البته ممکن است با توجه به سیاست‌های جدیدی که سازمان ساتبا درحال وضع آن می باشد، بازگشت سرمایه زودتر صورت بگیرد و یا در مفاد قرارداد خرید برق تضمینی تغییراتی ایجاد شود.

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد و فرامرزی عوری، بهروز (۱۴۰۴). شناسایی مناطق امیدبخش برای انرژی زمین‌گرمایی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقهٔ سهند. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۱۵(۵۵)،۹۱-۱۳۰. doi:10.22111/gaij.2025.50139.3240

حجازی‌زاده، زهرا؛ کربلائی درئی، علیرضا و کربلائی، محمدرضا (۱۳۹۷). برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان اصفهان با مدل برد و هول استورم. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۱۶(۵۱)، ۱۵۹-۱۷۴. doi: 10.22111/gdij.2018.3851

راستی، سعید؛ سامانی نیسانی، نجمه و نصیری، ابوذر (۱۴۰۱). مدلسازی مکان بهینه استقرار پانل های خورشیدی در پشت بام ساختمان ها با استفاده ازتحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی وGIS (مطالعه موردی منطقه ۶ شهر تهران). *جغرافیا و روابط انسانی*، ۵(۲)، ۵۰-۶۵. doi: 10.22034/gahr.2022.334388.1686

رضائی مقدم، محمدحسین و هاتفی اردکانی، مهدی (۱۳۹۵). ارزیابی تامین انرژی برای سیستم‌های فتوولتائیک بر مبنای تابع تحلیل‌گر انرژی خورشیدی (منطقه موردی: بزرگراه زنجان – تبریز). *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۲۰(۳)، ۱۳۱-۱۵۵. https://hsmsp.modares.ac.ir/article_14527.html?lang=fa

رنگزن، کاظم؛ قنبری، نازنین؛ کابلی‌زاده، مصطفی و مرادی، پوریا (۱۳۹۷). ارزیابی شاخص‌های تراکم شهری در امکان‌سنجی استفاده از پتانسیل انرژی خورشیدی با استفاده از GIS (مطالعه موردی منطقه ۴ اهواز). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲(۶۴)، ۱۲۷-۱۰۳. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_7762.html

زندی، رحمان؛ ظاهری عبده وند، زینب و امامی، صدیقه (۱۴۰۳). سنجش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی مطالعهٔ موردی: استان خوزستان. *جغرافیا و توسعه*، ۲۲(۷۶)، ۳۳-۶۴. doi: 10.22111/gdij.2024.46176.3554

زندی، رحمان؛ ظاهری عبده وند، زینب و امامی، صدیقه (۱۴۰۳). سنجش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی مطالعهٔ موردی: استان خوزستان. *جغرافیا و توسعه*، ۲۲(۷۶)، ۳۳-۶۴. doi: 10.22111/gdij.2024.46176.3554

عابدینی، موسی و محمدزاده شیشه گران، مریم (۱۴۰۲). امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعهٔ موردی: شهرستان ساوجبلاغ). *آمایش‌سرزمین*، ۱۵(۱)، ۱۴۷-۱۶۳. doi:10.22059/jtcp.2023.352157.670367

عابدینی، موسی و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۳). امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در استقرار پنل‌های خورشیدی با استفاده از روش سنجش از دور و الگوریتم سبال منطقه موردی: شهرستان گرمی. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۶(۴)، ۲۵۲-۲۶۹. doi: 10.22034/gahr.2024.441377.2050

عشورنژاد، غدیر؛ پاک طینت، هادی و درویشی بلورانی، دکتر علی (۱۳۹۳). مدل‌سازی مکان بهینهٔ استقرار پانل‌های خورشیدی در پشت‌بام ساختمان‌ها با استفاده از GIS؛ مطالعه موردی حد واسط خیابان وصال تا خیابان قدس شهر تهران. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۴(۱۲)، ۳۳-۵۰. doi: 10.22111/gaij.2014.1666

ملکی مرشت، رقیه؛ سبحانی، بهروز و مرادی، مسعود (۱۴۰۱). واکاوی رابطهٔ امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر اهواز. *جغرافیا و توسعه*، ۲۰(۶۷)، ۱۲۱-۱۴۱. doi: 10.22111/j10.22111.2022.6923

مومنی، حسن و محمدقلیان، حجت اله (۱۳۹۹). سیاست بهره‌گیری از انرژی تابش خورشیدی در پراکنش پهنه‌های جغرافیایی با استفاده از برنامه‌های ArcGIS. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۳(۲)، ۶۱-۸۴. Doi:20.1001.1.26453851.1399.3.2.7.4

ولی‌زاده کامران، خلیل؛ جهانبخش، سعید؛ زاهدی، مجید و رضایی بنفشه درق، مجید (۱۳۹۱). برآورد تبخیر- تعرق واقعی و تحلیل ارتباط آن با کاربری زمین در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان مشکین شهر). *فضای جغرافیایی*، ۱۲(۳۷)، ۳۹-۵۴. SID. https://sid.ir/paper/91323/fa

هوجقانی، لیلی؛ رستم‌زاده خسروشاهی، علیرضا و محمودزاده، علی (۱۴۰۴). امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه خورشیدی مقیاس کوچک در منطقه شمالغرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹(۹۲)، ۲۴۰-۲۱۸. doi:10.22034/gp.2024.57687.3178

هوشنگی، نوید و آل شیخ، علی اصغر (۱۳۹۶). پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ایران با روش‌های تاپسیس، فازی تاپسیس و فازی سوگنو. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۱(۵۹)، ۳۰۳-۳۲۷. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_6163.html?lang=en

Abedini, M. and 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. (Inpersian). doi: 10.22059/jtcp.2023.352157.670367 https://jtcp.ut.ac.ir/article_91027.html?lang=en

Abedini, M. and MohammadzadehShishagran, M. (2024). Feasibility of using photovoltaic systems in the installation of solar panels using remote sensing method and Sabal algorithm in the case area: Grami city. *Geography and Human Relationships*, 6(4), 252-269. (In Persian). doi: 10.22059/jtcp.-2023.352157.670367

Arvin, A. (2019). Land Surface Temperature Detection Using of Satellite Images. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(19), 91-102(In Persian). doi: 10.22111/jneh.2017.20855.1284.

Asghari Saraskanroud, S. and 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. (In Persian). doi: 10.22111/gaij.2025.50139.3240 https://gaij.usb.-ac.ir/article_8997.html

Ashournejad, Q., Paktinat, H. and Darvishi Boloorani, D. A. (2014). Modeling the optimum site for solar panels' installation in buildings' rooftops using the GIS Case study: between Vesal Street and Qods Street of Tehran city. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 4(12), 33-50. (In Persian). doi: 10.22111/gaij.2014.1666

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. doi: 10.22111/gaij.2014.1666.

Ayough, A., Boshruei, S., & Khorshidvand, B. (2022). A new interactive method based on multicriteria preference degree functions for solar power plant site selection. *Renewable Energy*, 195(1), 1165-1173(In Persian). https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.087

Bakirci, K (2009). Models of Solar Radiation with Hours of Bright Sunshine; A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; Vol. 13, PP. 2580-2588. https://www.sciencedirect.com/science/-article/abs/pii/S1364032109001397

Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R. and Holtslag, A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1 .*Formulation. Journal of Hydrology*, 212. 198-212. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169498002534

Bulut, H. and Buyukalaca, O. 2007. 10-6-Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey. *Applied Energy*, 84: 477-491. https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v84y-2007i5p477-491.html

Hejazizadeh, Z, Karbalaee, A. and karbalaee, M. R. (2018). Estimating the Received Solar Radiation by Bird and Hulstrom Model in Isfahan Province. *Geography and Development*, 16(51), 159-174(In Persian). doi: 10.22111/gdij.2018.3851.

Hojaghani, L. , Rostamzadeh Khosroshahi, A. and Mahmoudzadeh, A. (2025). conducted with the aim of technical, economic and environmental feasibility of a small-scale solar power plant in the northwestern region of Iran.. *Journal of Geography and Planning*, 29(92), 240-218(In Persian). doi: 10.22034/gp.2024.57687.3178

Houshangi, N. and Allsheikh, A. A. (2017). Regional assessment of Iran's potential for Solar Farms by TOPSIS, Fuzzy TOPSIS and Sugeno-type Fuzzy Inference Methods. *Journal of Geography and Planning*, 21(59), 303-327(In Persian). https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_6163.html?lang=en

Maleki Rashti, R, Sobhani, B. and 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(In Persian). doi: 10.22111/j10.22111.2022.6923.

Momeni, H. and 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). Doi: 20.1001.1.26453851.1399.3.2.7.4. https://www.gahr.ir/article_114593.html

Mefti, A., Adane, A. and Bouroubi, M.Y. 2008. Satellite approach based on cloud cover classification: Estimation of hourly global solar radiation from meteosat images. *Energy Conver and Manag*. 49, 652–659. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890407002713

Muzathik, A. M., Nik, W. B. W., Ibrahim, M. Z., Samo, K. B., Sopian, K. and Alghoul, M. A. 2014. Daily global solar radiation estimate based on sunshine hourse, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* (IJMME), 6: 75-80. https://www.sciencedirect.com/-science/article/pii/S0196890407002713

Oke, T.R. 1973. City size and the urban heat island. Atmospheric Environment 7.769-779. https://scholar.google.com/citations?user=x_J2OoQAAAAJ&hl=en

Rangzan, K. , Ghanbari, N. , Kabolizade, M. K. and Moradi, P. M. (2018). Evaluation of the Urban Compactness Indexes in Feasibility of Use of Solar Energy Potential using GIS (Case Study Ahvaz 4 Region). *Journal of Geography and Planning*, 22(64), 127-103(In Persian). https://www.gahr.ir/article_158979.html

Rezaei Moghaddam,M. H. and Hatefi Ardekani, Graduated,M. (2016). Assessment of energy supply for photovoltaic systems based on solar energy analyst function (area: highway Zanjan Tabriz). *The*

Journal of Spatial Planning and Geomatics, 20(3), 131-155(In Persian). https://hsmsp.modares.ac.-ir/article_14527.html?lang=fa

Rasti, S. , Neysani SNamani, N. and 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). https://www.gahr.ir/article_158-979.html

Saraswat, S. K., Digalwar, A. K., Yadav, S. S., & Kumar, G. (2021). MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. *Renewable Energy*, 169, 865- 884. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.056

Saraji, M. K., Streimikiene, D., & Suresh, V. (2024). A novel two-stage multicriteria decision making

approach for selecting solar farm sites: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141198. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141198.

Sobrino, A., Juan, C., Jimenez-Munoz. Leonardo Paolinib, (2014). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90, 434-440. https://www.academia.edu/-6296133/Land_surface_temperature_retrieval_from_LANDSAT_TM_5

Sorapipatana, C. and Exell, R. H. B. 1989. Mesoscale mapping of daily insolation over Southest Asia from satellite data. Solar and wind technology. 6 (1), 59-69

Trnka , M., Zalud, Z., Eitzinger, J. and Dubrovsky, M. 2005. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulas. *Agric. and Forest Meteorol*. 131(1-2), 45-76. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.05.002

Valizadeh Kamran, Kh, Jahanbakhsh, S, Zahedi, Majid, and Rezaei Banafshe Daragh, Majid. (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. SID (In Persian). https://sid.ir/paper/91323/fa

Zandei, R, safaei, M. J. and khosravian, M. (2019). Potentiometric Analysis of Solar Energy in Rural Areas (Case Study: Sabzevar city). *Geography and Development*, 17(57), 69-94 (In Persian). doi: 10.22111/gdij.2019.4983. https://gdij.usb.ac.ir/article_8170.html

Zandi, R, Zaheri Abdevand, Z. and 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). https://gdij.usb.ac.ir/article_8170.html