



Daily estimation of solar radiation in some climatic samples of Iran using meteorological data

Rojin Fasihi¹ , Maryam Bayatvarkeshi² , Abdollah Taheri Tizro³  

¹ Ph.D graduated of Water Science and Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

E-mail: rojin.fasihi@yahoo.com

² Assistant Professor, Soil Science Department, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: m.bayat.v@gmail.com

³ Corresponding Author, Associate Professor, Water Science and Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: ttizro@basu.ac.ir

ABSTRACT

The importance of the amount of radiation in the application of solar energy is well known. Many problems exist in recording this parameter, especially the areas lacking meteorological stations. It is necessary to properly estimate the solar radiation in different regions of the country. In this study, by using the meteorological parameters Viz. wind speed, temperature (maximum, minimum and average), relative humidity, daily sunshine and precipitation, the experimental relations, the amount of solar radiation in five different climates of the country were proposed. Empirical relationships were extracted using multivariate regressions between solar radiation as a dependent variable and other daily meteorological variables (as independent variables) and these were classified according to statistical criteria. The investigation showed that the hot and cold semi-arid climate has the highest accuracy based on nRMSE=0.085 index among the rest of the climates and the hot and cold dry climate has the MBE value of -1.15 (MJ.cm⁻².day⁻¹) and nRMSE equal to 0.11 have the highest error between meteorological parameters and the weakest estimate among the 5 investigated climates. In the hot and cold semi-arid climate where the best estimation of solar radiation was made, parameters such as temperature (maximum, minimum and average), precipitation, sunshine hours and wind speed were used. The influence of the mentioned parameters in the estimation of solar radiation remains the same.

Keywords: Climate, Radiation, Regression, Meteorological parameter

Article Type: Research Article

Article history: Received: 15 May 2024 Revised: 02 July 2024 Accepted: 30 July 2024 ePublished: 22 September 2024

1. Introduction

Global solar radiation (GSR) is an important parameter for designing and developing different solar energy systems (Tris et al., 1997). The concept of solar radiation means that during a certain period of time, how much solar energy is absorbed by a horizontal surface in an area (Almoroux and Hontoria, 2004; Wang et al., 2011). Iran is a sunny country, and, the optimal utilization of solar energy can be necessary for future energy development (Jafarkazemi and Mardi, 2019).

2. Methodology

In the present study, solar radiation was investigated in five climates. In this way, the two stations of Ramsar and Rasht represent the very humid cool warm climate, the three stations of Kermanshah, Mashhad and Shiraz represent the very hot semi-arid climate, the three stations of Tabriz, Zanjan and Urmia represent the semi-arid climate. Cold-warm, Birjand, Kerman and Isfahan stations were investigated as representatives of warm dry climate and Ahvaz, Booshehr and Bandar Abbas stations as representatives of warm dry temperate climate.

Daily measured data of wind speed (U), maximum temperature (Tmax), minimum temperature (Tmin), average air temperature (Tave), average relative humidity (RH), sunshine hour (N) and precipitation (R) As independent variables and the amount of solar radiation (RS) as a dependent variable, for each of the mentioned stations, it was prepared from the National Meteorological Organization during the years 1986 to 2010.

After preparing the data and their quality control, solar radiation was estimated using multivariate linear regression fitting under SPSS software. Empirical relationships were calculated for each climate separately. In order to determine the correlation between solar radiation and other meteorological parameters, the following multivariate linear correlation equation was considered between the dependent variable (Y) and independent variables (x):

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

where Y is the predictor variable, x1, x2 and xn are predictor variables and a1, a2 and an are constant correlation coefficients. After determining the coefficients of each model, the coefficients of the equations were optimized in order to improve the results. For this purpose, by applying the ranges, restrictions and characteristics of radiation, regression analysis was performed in the Solver environment of Excel software.

In order to evaluate the research, the results were measured based on the error measurement indices of the mean squared normal error (nRMSE) and mean bias (MBE).

3. Results and discussion

According to Table (2), the meteorological parameters of maximum, minimum and average temperatures, hours of sunshine and wind have a positive correlation with solar radiation, that is, with the increase of each parameter, the amount of radiation also has an increasing trend, except precipitation and relative humidity, which have a negative correlation with radiation. It shows the reverse relationship between these two parameters with solar radiation. The highest correlation between relative humidity and solar radiation (-0.485) and the lowest correlation between precipitation and radiation with a value of -0.048 is in the hot dry climate. The best regression equations obtained from meteorological parameters using SPSS software for different climates are given in Table (3). in which the amount of error between the available parameters has been calculated for each of the stations.

The relationships presented for five climates show that the maximum amount of error based on nRMSE and MBE index in hot dry climate is 11% and -1.15 megajoules per square centimeter per day, respectively. On the other hand, the lowest amount of error based on the two mentioned indicators is in the hot and cold semi-arid climate, which is 8.5% and 0.50 megajoules per square centimeter per day, respectively. To estimate the regression equation in hot and cold semi-arid climates, as the results show, the variables included in the best regression equation in hot and cold semi-arid climates were: maximum temperature, precipitation, minimum temperature, sunshine hour, wind speed and average temperature. In hot dry cool climate, the maximum, minimum and average temperature, relative humidity, sunshine hour and wind speed were used. Precipitation, minimum temperature, wind speed and solar hour are used in very hot semi-arid climate, in hot dry climate, maximum and minimum and average temperature, relative humidity, wind speed and solar hour are used, finally in moderately hot dry climate. Precipitation, maximum and average temperature along with wind speed, sunshine hour and relative humidity were used. In very humid, cool, hot, semi-dry, very hot, and dry, moderately hot climates, it is observed that the accuracy of radiation estimation between meteorological parameters is almost within the same interval of change (about 9%). From the MBE index provided between the meteorological parameters, we find that the minimum overestimation value is 0.02 megajoules per square centimeter per day in very humid, cool, hot climates, and the maximum value is (0.50) in the semi-arid, cold, hot climates. Figure (3) shows the time series graphs of the investigated stations during the relevant statistical period. In general, the estimation of solar radiation using regression equations based on the investigated error measurement indices, which has the least amount of error and, conversely, the highest amount of accuracy, is in the semi-arid, cold, hot climate, because the accuracy is 8.5% based on the nRMSE index. The high accuracy of the equation is used to estimate the radiation, and its MBE value is 0.50, which proves the overestimation of the presented equation.

Meteorological parameters were examined on a daily basis to obtain the regression equation in the years 1986 to 2010 in a very humid cool hot climate as mentioned in Table (4), and in the time series graph, the observed radiation values are more than Radiation values are estimates from regression relationships. The very hot semi-arid climate shows that the estimated radiation values have almost a constant range of changes and its maximum value is approximately 2000 megajoules per square centimeter per day, but the observed radiation value is more than this value. According to the diagram and table (4), the semi-arid, cold and hot climate has MBE value of -0.501 MJ/cm²/day among the parameters, and the estimated amount of radiation has not exceeded 2000 MJ/cm². In some statistical years, the observed value is more than the estimated value. The time series of the hot and cold semi-arid climate is the same as the rest of the climates and it is higher than the mentioned value, and in the cool and hot dry climate, which has MBE with a value of -1.15 MJ/cm²/day, it is among the meteorological parameters. It is also mentioned in Table (4), and in some of the investigated periods, the amount of observations is more than the estimate, and there is a large fluctuation between the amount of radiation estimated and observations, and the estimated amount is up to about 4000 megajoules per square centimeter per day. Finally, the hot temperate dry climate with MBE, -0.558 megajoules per square centimeter per day indicates the underestimation of solar radiation in this climate.

4. Conclusions

It is necessary to investigate the energy of solar radiation as it is important and influential parameter on the processes on earth, including water resources. In this research, using the equations obtained from the regression model, the amount of solar radiation reaching the earth's surface was estimated in five different climates in the country, which includes 14 meteorological stations. It was seen that the amount of observed radiation in three climates, semi-arid, very hot, dry, cool, hot, and dry, moderately hot, is lower than the observed amount, and in two climates, very humid, cool, hot, and semi-arid, cold, hot, it is higher than the estimated amount of radiation. According to the regression equations, the amount of error obtained in the hot and cold semi-arid climate has the lowest amount of error and the warm and dry climate has the highest amount of error. The changes in the error percentage of the solar radiation estimation of the other three climates are not large and are about 9%. The meteorological parameters used in the semi-arid, cold, hot climate were temperature, precipitation, sunshine hours, and wind speed. Considering the limitation of measuring solar radiation in the country, the importance of estimating this meteorological parameter is essential in order to use it in the management of water resources by managers.

5. References

- Alizadeh, A., & Khalili, N. (2009). Estimation of Angstrom Coefficient and Developing a Regression Equation for Solar Radiation Estimation (Case study: Mashhad). *Journal of Water and Soil*, 23(1), 229-238. <http://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.1554> [In Persian]
- Almorox, J. Y., & Hontoria, C. J. E. C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1529-1535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2003.08.022>
- Bloch, S. C. (2000). Analysis Toolpak: Fourier Analysis. *Excel for Engineers and Scientists*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1-11. <https://www.wiley.com/en-au/Fourier+Analysis-p-9781118165515>
- Bristow, K. L., & Campbell, G. S. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and forest meteorology*, 31(2), 159-166. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90017-0)
- Ebrahimipour, A., Marefat, M., & Nayeri, H. (2009). Presenting a new relationship for estimating the amount of total radiation in different climates of Iran. *Scientific-research journal of geographical space*, 9(27), 1-22. <https://ensani.ir/fa/article/124821/> [In Persian]
- Ehnberg, J. S., & Bollen, M. H. (2005). Simulation of global solar radiation based on cloud observations. *Solar Energy*, 78(2), 157-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.016>
- Hejazizadeh, Z., Karbalaee, A., & Karbalaee, M. R. (2018). Estimating the Received Solar Radiation by Bird and Hulstrom Model in Isfahan Province. *Geography and Development*, 16(51), 159-174. <https://doi.org/10.22111/gdj.2018.3851> [In Persian]
- Irajpoor, A.A., & Esmeili, H. (2021). Estimation of spatio-temporal changes of net radiation received in Darab city using remote sensing and geographic information system. *Geography and human relations*, 4(3), 184-204. <http://dx.doi.org/10.22034/gahr.2021.305704.1612> [In Persian]
-

-
- Kazemi, J., & Mardi, H. (2012). An Investigation of Solar Radiation Data in Islamic Azad University, South Tehran Branch Weather Station. *Mechanical Engineering*, 20(80), 68-75. <https://www.researchgate.net/publication/234056107> [In Persian]
- Khalili, A. & Rezaei Sadr, H. (1997). Estimation of global solar radiation over Iran based on climatological data, *Geographical Research journal*, 35-15. <https://www.researchgate.net/publication/330350308> [In Persian]
- Khosravi, M., Jahanbakhshasl, S., & Derakhshi, J. (2013). Estimating and Classification Solar Radiation On Horizontal Surfaces Using Climatic Parameters in GIS (Case Study: East Azarbaijan province). *Journal of geographic space*, 43(13), 39-63. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-657-en.html> [In Persian]
- Liengme, B. V. (1997). A guide to Microsoft Excel for scientists and engineers. <https://bayanbox.ir/view/8346939337370487254/Liengme-2015>
- Mishra, T., Rabha, A., Kumar, U., Arunachalam, K., & Sridhar, V. (2020). Assessment of solar power potential in a hill state of India using remote sensing and Geographic Information System. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100370. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100370>
- Moieni, S., Javadi, S., Kokabi, M., & Nanshadi, M. (2010). Estimating the Solar Radiation in Iran by Using the Optimal Model. *IJE*, 13 (2), 1-10. <http://necjournals.ir/article33-1fa.html> [In Persian]
- Moradi, A. (2006). Preparation of solar radiation atlas of Iran using Meteosat satellite images, Ph.D thesis, Tarbiat Moalem University (Kharazmi), Tehran. [In Persian]
- Sabziparvar, A. A., & Shetaee, H. (2007). Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran. *Energy*, 32(5), 649-655. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.05.005>
- Safaii, B., Khalajiasadi, M., Taghizadeh, H., Jilavi, A., Taleghani, G., & Danesh, M. (2005). Estimating Solar Energy Potential in Iran and Related Radiation Atlas. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 33, 27-34. https://jonsat.nstri.ir/article_723.html?lang=en [In Persian]
- Safaripour, M. H., & Mehrabian, M. A. (2011). Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data. *Heat and mass transfer*, 47(12), 1537-1551. <http://doi.org/10.1007/s00231-011-0814-8>
- Tazik, E., Rezaei, A. A., Abkar, A., Alavipanah, S. K., Jahantab, Z., & Rahmati, A. (2015). Estimation of the instantaneous short wavelength solar radiation using satellite images of MODIS (Case study: Central regions of Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1), 17-30. <https://sanad.iau.ir/en/Article/903043?FullText=FullText>
- Tiris, M., Tiris, C., & Erdalli, Y. (1997). Water heating systems by solar energy. Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-COATING, Gebze, Kocaeli, Turkey.
- Wang, J., Xie, Y., Zhu, C., & Xu, X. (2011). Daily Solar Radiation Prediction Based on Genetic Algorithm Optimization of Wavelet Neural Network. *International Conference on Electrical and Control Engineering*, September, Yichang, China, 16-18. <https://doi.org/10.1109/ICECENG.2011.6057583>
- Zhang, Y., Ren, J., Pu, Y., & Wang, P. (2020). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. *Renewable Energy*, 149, 577-586. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.071>

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Fasihi, R., Bayatvarkeshi, M., & Taheri Tizro, A. (2024). Daily estimation of solar radiation in some climatic samples of Iran using meteorological data, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(3), 61-75. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10737.1126

Publisher: Razi University

© The Author(s).





برآورد روزانه تابش خورشیدی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی

روژین فصیحی^۱، مریم بیات ورکشی^۲، عبدالله طاهری تیزرو^۳

^۱ دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: rojin.fasihi@yahoo.com

^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: m.bayat.v@gmail.com

^۳ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران. رایانامه: ttizro@Basu.ac.ir

چکیده

با توجه به اهمیت مقدار تابش در کاربرد انرژی خورشیدی و وجود مشکلات فراوان در ثبت این پارامتر، لزوم برآورد مناسب تابش خورشیدی در مناطق مختلف کشور به‌ویژه نقاط فاقد اندازه‌گیری ضروری می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از پارامترهای هواشناسی سرعت باد، دما (حداکثر، حداقل و میانگین)، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و بارندگی، روابط تجربی برآورد مقدار تابش خورشیدی در پنج اقلیم مختلف کشور پیشنهاد شد. روابط تجربی با استفاده از رگرسیون‌های چند متغیره بین تابش خورشیدی به‌عنوان متغیر وابسته و بقیه متغیرهای روزانه هواشناسی (به‌عنوان متغیرهای مستقل) استخراج و بر حسب معیارهای آماری دسته‌بندی شدند. بررسی انجام شده نشان داد که اقلیم نیمه خشک سرد گرم دارای بالاترین دقت بر اساس شاخص $nRMSE = 0/085$ در بین دیگر اقلیم‌ها می‌باشد و اقلیم خشک گرم با مقدار $MBE = -1/15$ مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز و $nRMSE$ معادل $0/11$ دارای بیش‌ترین خطا بین پارامترهای هواشناسی و ضعیف‌ترین برآورد در بین ۵ اقلیم مورد بررسی می‌باشد. در اقلیم نیمه خشک سرد گرم که بهترین برآورد تابش خورشیدی صورت گرفت از پارامترهایی از جمله دما (حداکثر، حداقل و میانگین)، بارش، ساعت آفتابی و سرعت باد استفاده شد. تاثیر پارامترهای مذکور در برآورد تابش خورشیدی یکسان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، تابش، رگرسیون، پارامتر هواشناسی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ اصلاح: ۱۲ تیر ۱۴۰۳ پذیرش: ۰۹ مرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ مهر ۱۴۰۳

استناد: فصیحی، ر.، بیات ورکشی، م.، و طاهری تیزرو، ع. (۱۴۰۳). برآورد روزانه تابش خورشیدی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۴(۳)، ۶۱-۷۵. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10737.1126



مقدمه

تابش خورشیدی کل^۱ (GSR) پارامتری مهم به منظور طراحی و توسعه سیستم‌های مختلف انرژی خورشیدی می‌باشد (تریس و همکاران^۲، ۱۹۹۷). مفهوم تابش خورشیدی به این معناست که در طول یک دوره زمانی خاص، چه مقدار از انرژی خورشید در برخورد با یک سطح افقی در یک منطقه جذب می‌شود (آلموروکس و هونتوریا^۳، ۲۰۰۴، و وانگ و همکاران^۴، ۲۰۱۱). ایران کشوری آفتابی است و با توجه به کمبود منابع فسیلی، بهره‌برداری بهینه انرژی خورشیدی امری ضروری به نظر می‌رسد (جعفر کاظمی و مردی، ۱۳۹۰). در حال حاضر بیش از ۸۱ درصد از کل انرژی مصرفی جهان و بیش از ۹۵ درصد انرژی مصرفی در ایران را سوخت‌های فسیلی تامین می‌کنند. ادامه استفاده از سوخت‌های فسیلی موجب تشدید آلودگی هوا، آب و زمین و موجب تشدید گرمایش جهانی خواهد شد (مرادی، ۱۳۸۵). مطالعه وسیع و کاربردی درباره انرژی خورشید از دهه ۱۹۷۰ در اکثر نقاط آغاز و با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی مناطق مختلف، مدل‌های مناسبی ارائه گردید (صفایی و همکاران، ۱۳۸۴). به دلیل کمبود دستگاه‌های اندازه‌گیری و هزینه بالای دستگاه‌های تابش‌سنج، اطلاعات زیادی از میزان انرژی خورشیدی در دسترس نمی‌باشد. بنابراین، ارائه روش‌های آماری و تجربی که قادر به ارائه نتایج قابل قبول در برآورد تابش خورشیدی باشد، می‌تواند راه حل مناسبی برای برآورد این متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری باشد (معینی و همکاران، ۱۳۸۹). در حالت کلی مدل‌های تجربی برآورد تابش خورشیدی در سه دسته مبتنی بر ساعات آفتابی (علیزاده و خلیلی، ۱۳۸۸)، مبتنی بر دمای هوا (بريستو و کمپیل^۵، ۱۹۸۴) و مبتنی بر ابرناکی (انبرگ و بولن^۶، ۲۰۰۵) قرار می‌گیرند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تحقیقات بسیاری در داخل و خارج از کشور جهت محاسبه تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین انجام گرفته است. از جمله این تحقیقات ایرج پور و اسمعیلی (۱۴۰۰)، تغییرات مکانی و زمانی تابش شهرستان داراب استان فارس را با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برآورد نمودند. نتایج گواه آن بود که بیشترین تابش دریافتی متعلق به ماه فروردین می‌باشد. حجاری‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از دو مدل برد و هول استروم تابش خورشیدی دریافتی استان اصفهان را برآورد نمودند. نتایج نشان داد که این مدل توانایی خوبی در برآورد تابش دارد همچنین ماه جولای بیشترین تابش مستقیم را داشته است. تازیک و همکاران (۱۳۹۴) تابش لحظه‌ای طول موج کوتاه تابش خورشید را با استفاده از سنجنده مودیس برای استان‌های قم، اصفهان، تهران و سمنان برآورد نمودند. نتایج دقت مدل با شاخص خطاسنجی بررسی گردید و دقت بالای روش به کار برده شده را نشان داد. از دیگر مطالعات صورت گرفته در ایران می‌توان به پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۹۲) در برآورد میزان تابش کل رسیده به سطح افقی در گستره استان آذربایجان شرقی با یک مدل رگرسیونی با به‌کارگیری عناصر اقلیمی شامل دماهای کمینه، بیشینه و میانگین، رطوبت کمینه، ابرناکی آسمان و ساعات آفتابی اشاره کرد. نتایج مطالعه نشان داد توزیع تابش سالانه استان آذربایجان شرقی از جنوب غرب به شمال و شمال شرق روند کاهشی دارد. ابراهیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸)، با بررسی شدت تابش کل بر روی صفحه افقی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده سازمان هواشناسی کشور در یک دوره ۱۴ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۲) برای برخی از شهرهای کشور، یک روش جدید برای برآورد میزان تابش کل خورشیدی ارائه دادند. علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸)، رابطه‌ای برای برآورد شدت تابش کل خورشید بر روی سطح افقی برای شهر مشهد معرفی نمودند. میثرا و همکاران^۷ (۲۰۲۰) پتانسیل دریافت انرژی تابشی خورشید کشور هلند را با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل، بررسی نمودند. آن‌ها علاوه بر تهیه نقشه کاربری اراضی مورد مطالعه، میزان تابش خورشیدی دریافت شده توسط هریک از طبقات کاربری را مشخص کردند. در پژوهش ژانگ و همکاران^۸ (۲۰۲۰) که در کشور چین انجام شد پتانسیل دریافت مقدار انرژی تابشی خورشید را از سه جنبه جغرافیایی، اقتصادی و فناوری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد قسمت‌های غربی چین پتانسیل بیشتر جهت دریافت انرژی تابشی خورشید دارد. صفاری پور و مهراپیان (۲۰۱۱) با استفاده از مدل رگرسیون خطی و تاثیر ۷ پارامتر هواشناسی تابش خورشیدی روزانه را برآورد نمودند. سبزی پرور و شتایی (۲۰۰۷) با استفاده از پارامترهای هواشناسی، ساعت آفتابی، ابرناکی، رطوبت نسبی و میانگین حداکثر دما و قرار دادن پارامترها در مدل‌های تجربی متفاوت، مقدار میانگین روزانه انرژی خورشیدی را برای شهرهای مختلف ایران بدست آوردند. حق پرست و همکاران

¹ Global Solar Radiation

² Tiris et al

³ Almorox and Hontoria

⁴ Wang et al

⁵ Bristow and Campbell

⁶ Ehnberg and Bollen

⁷ Mishra

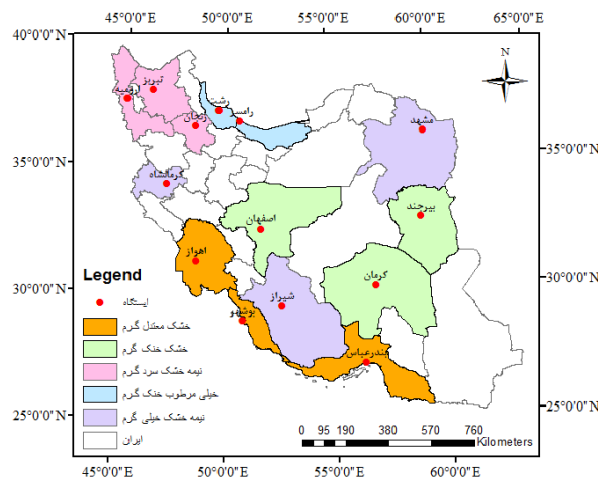
⁸ Zhang et al

(۲۰۰۷) با استفاده از اطلاعات هواشناسی ۲۲ ایستگاه سینوپتیک کشور مدلی بهینه جهت محاسبه میزان تابش کلی دریافتی از خورشید را ارائه نمودند

با توجه به این که تابش خورشیدی فقط در برخی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور اندازه‌گیری می‌گردد و در پاره‌ای از موارد نیز دارای خلاهای آماری است، تعیین آن در نقاط فاقد ایستگاه در بسیاری از مطالعات از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق، بر اساس داده‌های روزانه موجود در ۱۴ ایستگاه در یک دوره ۲۴ ساله، معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی در پنج اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم، نیمه خشک خیلی گرم، نیمه خشک سرد گرم، خشک خنک گرم و خشک معتدل گرم ارائه گردید. در این مقاله تلاش شد تا ضمن کسب اطلاع از وضعیت تابش خورشیدی اقلیم‌های مختلف، با تکنیک بهینه‌سازی به‌توان با دقت بالا به مقدار تابش خورشیدی مناطق مختلف دست یافت.

روش پژوهش

در مطالعه حاضر، تابش خورشیدی در پنج اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. تمامی ایستگاه‌ها طبق اقلیم نمای یونسکو دسته‌بندی شدند. بدین صورت که دو ایستگاه رامسر و رشت به‌عنوان نماینده اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم، سه ایستگاه کرمانشاه، مشهد و شیراز به‌عنوان نماینده اقلیم نیمه خشک خیلی گرم، سه ایستگاه تبریز، زنجان و ارومیه به‌عنوان نماینده اقلیم نیمه خشک سرد گرم، ایستگاه‌های بیرجند، کرمان و اصفهان به‌عنوان نماینده اقلیم خشک خنک گرم و ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و بندرعباس به‌عنوان نماینده اقلیم خشک معتدل گرم مورد بررسی قرار گرفتند. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی

داده‌های روزانه اندازه‌گیری شده سرعت باد (U)، دمای حداکثر (T_{max})، دمای حداقل (T_{min})، میانگین دمای هوا (T_{ave})، میانگین رطوبت نسبی (RH)، ساعت آفتابی (N) و بارش (R) به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقدار تابش خورشیدی (RS) به‌عنوان متغیر وابسته، برای هریک از ایستگاه‌های ذکر شده از سازمان هواشناسی کل کشور طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ تهیه گردید. جدول (۱) مشخصات پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۰

اقلیم	ایستگاه	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	دمای میانگین (°C)	رطوبت نسبی (%)	ساعت آفتابی (hr)	بارش (mm)	باد (m/s)	تابش خورشیدی (MJ.cm ⁻² .day ⁻¹)
خیلی مرطوب	رامسر	۱۹/۹۷	۱۳/۸۸	۱۶/۹۲	۹۷/۸۳	۴/۴۰۷	۳/۳۹	۱/۶۷	۱۵۲۰/۸۶
خنک گرم	رشت	۲۰/۷۹	۱۲/۰۶	۱۶/۴۲	۸۳/۴۳	۴/۷۰	۴/۱۹	۱/۷۲	۱۶۶۲/۵۲
نیمه خشک	کرمانشاه	۲۳/۷۹	۷/۰۳	۱۵/۳۹	۴۴/۰۸	۸/۰۸	۱/۱۴	۳/۰۶	۱۲۹۶/۱۶
خیلی گرم	مشهد	۲۱/۷۲	۸/۸۰	۱۵/۲۶	۵۲/۱۶	۸/۰۳	۰/۶۷۴	۲/۳۵	۱۴۲۰/۳۸
	شیراز	۲۵/۹۳	۱۰/۴۶	۱۸/۱۹	۴۰/۱۸	۹/۱۵	۰/۸۲۰	۱/۸۲	۱۴۲۲/۶۲
نیمه خشک	تبریز	۱۹/۵۷	۸/۳۰	۱۳/۹۱	۵۰/۳۴	۷/۹۸	۰/۶۵۶	۴/۲۷	۱۳۴۶/۸۶
سرد گرم	زنجان	۱۷/۷۶	۳/۷۶	۱۰/۷۶	۵۴/۰۳	۷/۹۴	۰/۷۷۲	۲/۷۲	۶۴۱/۵۵
	ارومیه	۱۷/۷۵	۵/۳۱	۱۱/۵۳	۵۸/۹۶	۷/۹۹	۰/۸۰۸	۲/۱۹	۵۸۳/۲۷
خشک خنک	بیرجند	۲۴/۵۳	۸/۴۵	۱۳/۵۷	۳۵/۵۴	۹/۰۰۱	۰/۴۷۷	۲/۸۳	۱۹۳۷/۰۳
گرم	کرمان	۲۵/۴۲	۷/۴۱	۱۶/۴۲	۳۱/۹۶	۹/۱۳	۰/۳۳۸	۳/۲۷	۱۷۲۲/۵۶
	اصفهان	۲۴/۲۸	۹/۹۷	۳۵/۶۲	۳۵/۶۲	۹/۱۰	۰/۳۲۷	۱/۷۲	۱۰۶۸/۴۲
خشک معتدل	اهواز	۳۲/۷۰	۱۸/۸۴	۲۵/۵۸	۴۲/۷۴	۸/۶۳	۰/۶۷۳	۳/۱۹	۱۸۴۱/۷۴
گرم	بوشهر	۳۰/۰۲	۲۰/۰۷	۲۵/۰۵	۶۳/۸۵	۸/۲۵	۰/۵۸۶	۳/۰۷	۴۶۱/۴۶
	بندرعباس	۳۲/۲۲	۲۱/۸۱	۲۷/۰۱	۶۵/۰۱	۸/۷۹	۰/۷۱۹	۲/۸۹	۸۲۴/۸۰

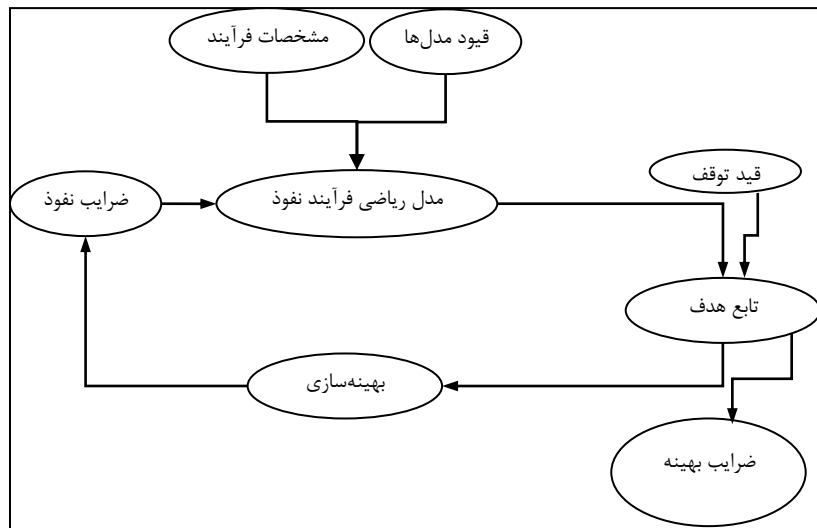
پس از تهیه اطلاعات و کنترل کیفی آن‌ها، با استفاده از برازش رگرسیون خطی چند متغیره تحت نرم‌افزار SPSS اقدام به برآورد تابش خورشیدی گردید. روابط تجربی برای هر اقلیم جداگانه محاسبه شد. جهت تعیین همبستگی بین تابش خورشیدی و دیگر پارامترهای هواشناسی، معادله همبستگی خطی چند متغیره زیر، بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل (X) در نظر گرفته شد:

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

که در آن، Y متغیر پیش‌بینی شونده، x_1 ، x_2 و x_n متغیرهای پیش‌بینی کننده و a_1 ، a_2 و a_n ضرایب ثابت همبستگی‌اند. پس از تعیین ضرایب هر یک از مدل‌ها، به‌مطور بهبود نتایج اقدام به بهینه‌سازی ضرایب معادلات شد. بدین منظور با اعمال محدوده‌ها، قیود و ویژگی‌های تابش به‌روش تحلیل رگرسیونی در محیط Solver نرم‌افزار Excel انجام شد. Micro Soft Excel همراه با Visual Basic یک نرم‌افزار چند منظوره با ابزار مربوط به کارهای ریاضی و آماری است (بلاچ^۱، ۲۰۰۰، و لانگمی^۲، ۱۹۹۷). بهینه‌سازی تابش برآوردی مطابق شکل (۲)، در سه بخش مدل ریاضی تابش، تابع هدف و روش بهینه‌سازی انجام شد.

¹ Bloch

² Liengme



شکل ۲. ساختار روش بهینه‌سازی مورد استفاده

در بخش مدل ریاضی، سلول هدف هر یک از پنج مدل به همراه قیدهایی محدود کننده در یک صفحه کاری تعریف شد. به طوریکه پارامتر دما می‌تواند مقدار منفی داشته باشد اما سایر پارامترهای مورد بررسی باید مثبت باشند و مقدار منفی ندارند. نتایج اجرای اول برنامه به عنوان مقادیر ضرایب اولیه غیر بهینه‌سازی لحاظ شد که Solver Excel از آن‌ها در ادامه فرآیند بهینه‌سازی بهره گرفت. فرآیند بهینه‌سازی، در واقع سلول‌های تغییر یافته هستند که با تغییر ضرایب معادلات جدول (۱)، سلول هدف بهینه می‌گردد. در نهایت نتایج به صورت جداول برای کاربر آماده‌سازی می‌شود. با بروز هر گونه تغییر در متغیرهای ورودی، حل مساله براساس تابع هدف (سلول هدف) و ارضاء، شرط توقف الگوریتم است. شرط توقف برای خاتمه فرآیند بهینه‌سازی ضرایب در Solver Excel حداقل سازی اختلاف تابش خورشیدی تجمعی مشاهداتی با برآوردی به روش حداقل مربعات خطا مطابق رابطه (۱)، بود.

$$f = \min [\text{SUM}(I_a - I_p)^2] \quad (2)$$

که f نشان دهنده اختلاف بین مقادیر مشاهداتی (I_a) و برآوردی تابش (I_p) است.

در صورت عدم ارضاء شرط توقف در رابطه (۱)، الگوریتم با ایجاد یک حلقه تکرار مناسب نسبت به بهینه‌سازی خودکار بر روی همان صفحه کاری عمل می‌نماید. تکرار عملیات تا زمان عدم بهبود و تغییر در ضرایب پیشنهادی ادامه می‌یابد.

به منظور ارزیابی پژوهش انجام شده مقایسه نتایج بر مبنای شاخص‌های خطاستجی مجذور میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE) و میانگین سوگیری (MBE) طبق روابط (۳) و (۴) انجام شد. در این پژوهش از شاخص ضریب همستگی (r) طبق رابطه (۵) نیز استفاده شد.

$$nRMSE = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\text{mean}(e_i^2)}, i = 1, n; \text{ and}$$

$$e_i = (Y_i - X_i) \quad \dots \quad (3)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - Y_i)}{n} \quad (4)$$

$$r = \frac{(\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}))^2}{(\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2)(\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2)} \quad (5)$$

که در این روابط: \bar{y} : ضریب نرمال سازی، که معمولاً برابر با حداکثر مقدار مشاهداتی در افق پیش‌بینی یا تفاوت بین مقادیر حداکثر و حداقل است. ضریب نرمال سازی را می‌توان در کل بازه زمانی یا افق زمانی یا بازه کوتاه مدت مشاهده محاسبه کرد. X مقدار مشاهداتی در زمان i مقدار برآوردی در زمان i است. \bar{X} و \bar{Y} میانگین X و Y و n تعداد کل داده‌ها است.

یافته‌ها

مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین پارامترهای هواشناسی در پنج اقلیم مورد بررسی در جدول (۲) آورده شده است. میانگین تابش خورشیدی بیرجند با ۱۹۳۷/۰۳ مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز و بوشهر با ۴۶۱/۴۶ مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را در بین ایستگاه‌های موجود ثبت کرده‌اند. رامسر با ۴/۴۰۷ ساعت کمترین و شیراز با ۹/۱۵ ساعت بیش‌ترین میانگین ساعت آفتابی را دارد. حداقل میانگین رطوبت نسبی به کرمان با ۳۱/۹۶ درصد و حداکثر آن به رامسر با ۸۳/۹۷ درصد تعلق دارد. بندر عباس با ۲۱/۸۱

درجه سانتی گراد بیشترین میانگین حداقل دما و کمترین آن را زنجان با $3/76$ درجه سانتی گراد داراست. بیشترین دمای حداکثر در اهواز ($32/70$ درجه سانتی گراد) و ارومیه با $17/75$ درجه سانتی گراد کمترین حداکثر دما را دارد. در جدول (۲) همبستگی بین پارامترهای هواشناسی (دمای حداکثر، حداقل و میانگین، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، بارش و باد) اقلیم‌های مورد بررسی با تابش خورشیدی آورده شده است. تمامی پارامترهای ذکر شده در سطح ۹۹ درصد با تابش خورشیدی همبستگی معنی‌دار داشتند.

جدول ۲. ضریب همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و تابش خورشیدی اقلیم‌های مورد بررسی

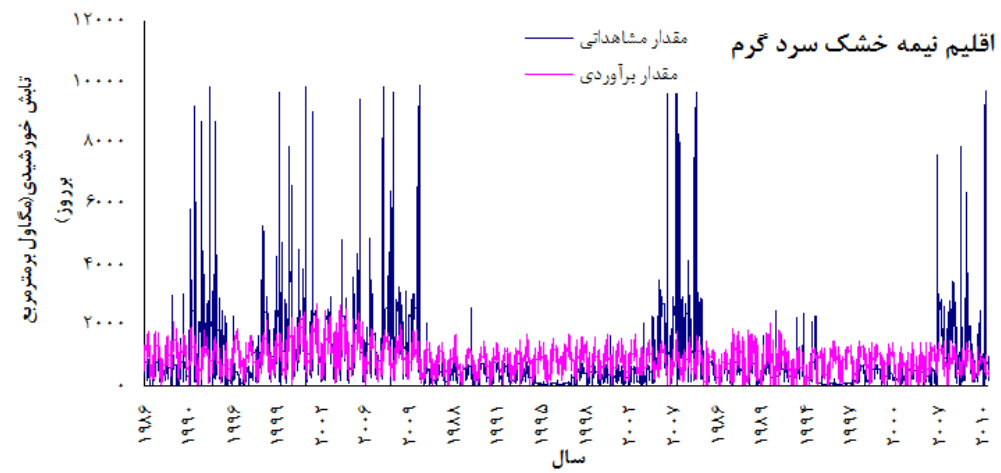
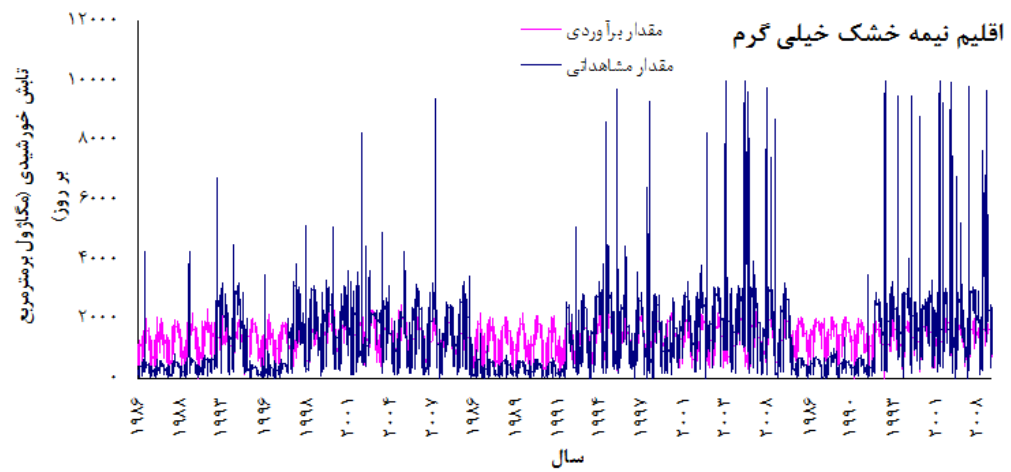
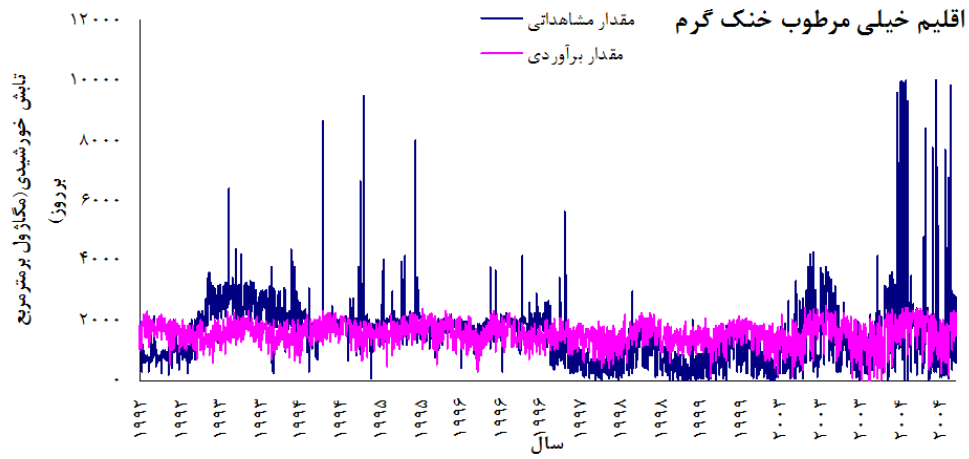
تابش خورشیدی (مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز)					
پارامتر هواشناسی	اقلیم خیلی مرطوب	اقلیم نیمه خشک	اقلیم نیمه خشک	اقلیم خشک	اقلیم خشک
دمای حداکثر ($^{\circ}C$)	خنک گرم	خیلی گرم	سرد گرم	خنک گرم	معتدل گرم
دمای حداقل ($^{\circ}C$)	۰/۱۷۶	۰/۳۵۷	۰/۳۲۲	۰/۲۹۶	۰/۳۴۱
دمای میانگین ($^{\circ}C$)	۰/۰۹۵	۰/۳۲۳	۰/۳۲۴	۰/۲۱۹	۰/۱۷۳
رطوبت نسبی (%)	۰/۱۴۱	۰/۳۵۲	۰/۳۲۹	۰/۱۳۴	۰/۲۶۹
ساعت آفتابی (hr)	-۰/۰۷۴	-۰/۳۳۱	-۰/۲۹۴	-۰/۲۶۸	-۰/۴۸۵
بارش (mm)	۰/۲۷۳	۰/۳۵۱	۰/۲۸۰	۰/۲۶۸	۰/۲۲۸
باد (m/s)	-۰/۱۰۹	-۰/۱۳۶	-۰/۰۹۰	-۰/۰۹۱	-۰/۰۴۸
	-۰/۲۳۱	۰/۱۴۹	۰/۲۹۲	۰/۰۸۳	۰/۲۱۵

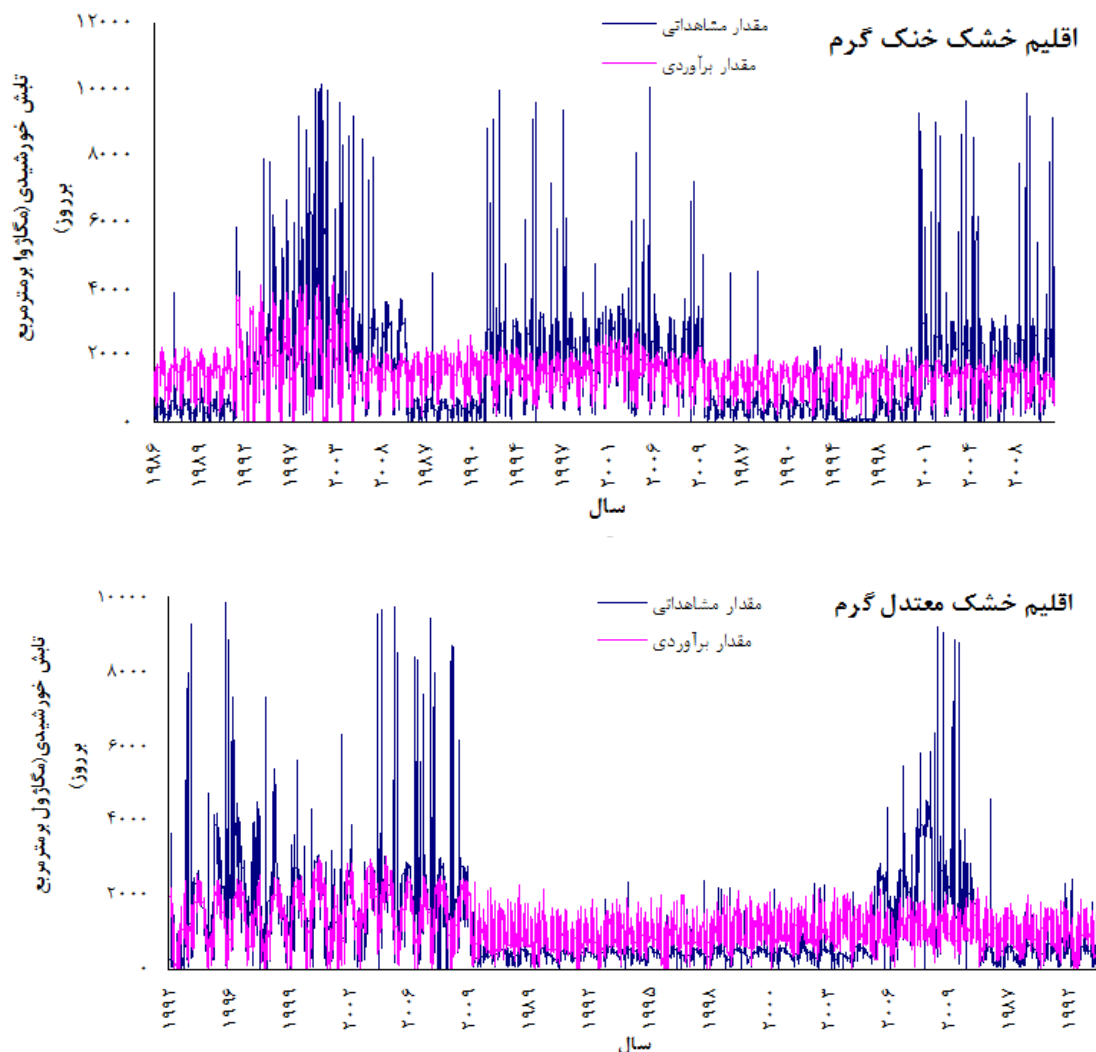
بهترین معادلات رگرسیونی به‌دست آمده از پارامترهای هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای اقلیم‌های مختلف در جدول (۳) آورده شده است. که در آن برای هر یک از ایستگاه‌ها میزان خطا بین پارامترهای موجود محاسبه شده است.

جدول ۳. مدل رگرسیونی تابش و پارامترهای هواشناسی در اقلیم‌های مورد مطالعه

اقلیم	معادلات مدل رگرسیونی	MBE ($MJ.cm^{-2}.day^{-1}$)	nRMSE (-)
خیلی مرطوب خنک گرم	$RS = -7/551 RH + 11/053 Tmax - 169/063 U + 54/583 N + 1918/268$	۰/۰۲	۰/۰۹۹
نیمه خشک خیلی گرم	$RS = -8/219 R + 21/495 Tmin + 71/222 U + 72/044 N + 417/452$	-۰/۰۶	۰/۰۹۳
نیمه خشک سرد گرم	$RS = 29/066 Tmax - 8/336 R + 54/562 Tmin + 41/76 N + 97/293 U - 63/869 Tmean + 152/962$	۰/۵۰	۰/۰۸۵
خشک خنک گرم	$RS = 9/36 Tmin + 3/88 RH + 37/829 U + 53/966 N - 79/720 Tmean + 88/951 Tmax - 197/056$	-۱/۱۵	۰/۱۱
خشک معتدل گرم	$RS = 3/456 R - 53/259 Tmean + 61/718 Tmax + 70/30 U + 17/94 N - 19/018 RH + 1233/79$	-۰/۸۴	۰/۰۹۱

بررسی دقت معادلات رگرسیونی به‌دست آمده با استفاده از دو شاخص MBE و nRMSE مورد ارزیابی قرار گرفت، تا به‌توان بهترین معادله رگرسیونی جهت برآورد تابش خورشیدی را در بین ۵ اقلیم مورد بررسی تخمین زد. نمودار سری زمانی مقادیر مشاهداتی و برآوردی تابش خورشیدی ۵ اقلیم طی دوره آماری مورد بررسی در شکل (۳) ارائه شده است.





شکل ۳. نمودارهای سری زمانی اقلیم‌های مورد بررسی

پارامترهای هواشناسی به صورت روزانه برای به دست آوردن معادله رگرسیونی در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت در اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم همان گونه که در جدول (۴) نیز ذکر شد و در نمودار سری زمانی آن مقادیر تابش مشاهده‌ای بیش از مقادیر تابش برآوردی از روابط رگرسیونی می‌باشد.

بحث

طبق اطلاعات به دست آمده از جدول (۲) پارامترهای هواشناسی دماهای بیشینه، کمینه و میانگین، ساعت آفتابی و باد با تابش خورشیدی همبستگی مثبت داشته یعنی با افزایش هر پارامتر مقدار تابش نیز روند افزایشی را دارا بوده به جز بارش و رطوبت نسبی که همبستگی آن‌ها با تابش منفی بوده که نشان از رابطه عکس بین این دو پارامتر با تابش خورشیدی می‌باشد. بیشترین همبستگی بین رطوبت نسبی و تابش خورشیدی ($-0/485$) و کمترین همبستگی بین بارش و تابش با مقدار $-0/048$ در اقلیم خشک معتدل گرم است. رابطه‌های ارائه شده در جدول (۳) برای پنج اقلیم نشان می‌دهد بیشترین میزان خطا بر اساس شاخص $nRMSE$ و MBE در اقلیم خشک خنک گرم به ترتیب ۱۱ درصد و $-1/15$ مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز می‌باشد. نتایج خطاسنجی این اقلیم همسو با نتایج پژوهش جهانتیغ و پیری (۱۴۰۲) می‌باشد که ایستگاه کرمان در این اقلیم را بررسی کردند و نشان دادند مقدار شاخص $NRMSE$ (معادل ۱۵ درصد) نزدیک به ارزیابی این پژوهش می‌باشد. در مقابل کمترین میزان خطا بر اساس دو شاخص مذکور در اقلیم نیمه خشک سرد گرم است که به ترتیب $8/5$ درصد و $0/50$ مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز است. برای برآورد معادله رگرسیونی در اقلیم نیمه خشک سرد گرم همانطور که نتایج نشان می‌دهد متغیرهای وارد شده در بهترین معادله رگرسیون در اقلیم نیمه خشک سرد گرم به ترتیب عبارت بودند از: دمای حداکثر،

بارش، دمای حداقل، ساعت آفتابی، سرعت باد و دمای میانگین. کاربرد معادلات رگرسیونی در پژوهش فصیحی و بیات ورکشی (۱۳۹۵) برای ایستگاه تبریز واقع در اقلیم ذکر شده ارائه گردید و از پارامترهای مشابه استفاده نمودند که همسو با نتایج این پژوهش است. همچنین خسروی و همکاران (۱۳۹۲) برای ایستگاه تبریز در اقلیم نیمه خشک سرد گرم استفاده از معادله رگرسیونی را برای برآورد تابش روش مناسبی معرفی نمودند. در اقلیم خشک خنک گرم از دمای حداکثر و حداقل و میانگین، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و سرعت باد استفاده گردید. بارش، دمای حداقل، سرعت باد و ساعت آفتابی در اقلیم نیمه خشک خیلی گرم کاربرد داشته، در اقلیم خشک خنک گرم دمای حداکثر و حداقل و میانگین، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی مورد استفاده قرار گرفته در نهایت در اقلیم خشک معتدل گرم بارش، از دمای حداکثر و میانگین همراه سرعت باد، ساعت آفتابی و رطوبت نسبی استفاده شد. در اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم، نیمه خشک خیلی گرم و خشک معتدل گرم ملاحظه می‌شود که میزان دقت برآورد تابش بین پارامترهای هواشناسی تقریباً در یک بازه تغییر می‌باشد (حدود ۹ درصد). از شاخص MBE ارائه شده بین پارامترهای هواشناسی می‌توان دریافت که حداقل مقدار بیش برآورد با مقدار 0.2 مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز در اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم و حداکثر آن در اقلیم نیمه خشک سرد گرم (0.50) می‌باشد. شکل (۳) نمودارهای سری زمانی ایستگاه‌های بررسی شده را در طول دوره آماری مربوطه نشان می‌دهد. در کل برآورد تابش خورشیدی با استفاده از معادلات رگرسیونی بر اساس شاخص‌های خطاسنجی مورد بررسی که کم‌ترین میزان خطا و متقابلاً بیشترین مقدار دقت را داشته باشد در اقلیم نیمه خشک سرد گرم است زیرا دقت $8/5$ درصد بر اساس شاخص nRMSE نشان دهنده دقت بالای معادله جهت برآورد تابش است و مقدار MBE آن نیز 0.50 می‌باشد و بیش برآورد معادله ارائه شده را اثبات می‌کند.

اقلیم نیمه خشک خیلی گرم طبق نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد که مقادیر تابش برآوردی تقریباً دارای بازه تغییرات ثابتی بوده و حداکثر مقدار آن تقریباً 2000 مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز می‌باشد اما مقدار تابش مشاهداتی بیشتر از این مقدار می‌باشد. اقلیم نیمه خشک سرد گرم طبق نمودار و جدول (۴) میزان MBE، 0.501 - مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز را بین پارامترها داراست و مقدار و مقدار تابش برآوردی از 2000 مگاژول بر سانتی‌متر مربع فراتر نرفته است. در برخی از سال‌های آماری مقدار مشاهداتی بیش از مقدار برآوردی است. اقلیم نیمه خشک سرد گرم نیز سری زمانی آن مانند باقی اقلیم‌ها بوده و از مقدار ذکر شده بالاتر نرفته و در اقلیم خشک خنک گرم که دارای MBE با مقدار $1/15$ - مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز بین پارامترهای هواشناسی می‌باشد که در جدول (۴) نیز ذکر گردیده و در برخی از دوره‌های بررسی شده مقدار مشاهداتی از برآوردی بیش‌تر است و نوسان زیادی بین مقدار تابش برآوردی و مشاهداتی نمایان است و مقدار برآوردی آن تا حدود 4000 مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز می‌باشد. در نهایت اقلیم خشک معتدل گرم نیز با MBE، 0.558 - مگاژول بر سانتی‌متر مربع بر روز نشان دهنده کم برآورد تابش خورشیدی در این اقلیم است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه انرژی تابش خورشیدی به‌عنوان پارامتری مهم و تاثیرگذار بر فرآیندهای روی زمین از جمله منابع آب است، بررسی آن ضروری می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از معادلات به دست آمده از مدل رگرسیونی مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در پنج اقلیم مختلف در سطح کشور که شامل ۱۴ ایستگاه می‌باشد، برآورد گردید. رویت شد که مقدار تابش مشاهداتی در ۳ اقلیم نیمه خشک خیلی گرم، خشک خنک گرم و خشک معتدل گرم کمتر از مقدار مشاهداتی و در دو اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم و نیمه خشک سرد گرم بیشتر از مقدار تابش برآوردی است. طبق معادلات رگرسیونی میزان خطای به دست آمده در اقلیم نیمه خشک سرد گرم کمترین میزان خطا و اقلیم خشک خنک گرم بیشترین مقدار خطا را دارد. تغییرات درصد خطای برآورد تابش خورشیدی سه اقلیم دیگر نسبت به یکدیگر زیاد نیست و حدود ۹ درصد است. پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در اقلیم نیمه خشک سرد گرم دما، بارش، ساعت آفتابی و سرعت باد بود. با توجه به محدودیت اندازه‌گیری تابش خورشیدی در سطح کشور، اهمیت برآورد این پارامتر هواشناسی به‌منظور استفاده از آن در مدیریت منابع آبی توسط مدیران ضروری می‌باشد.

منابع

- ابراهیم پور، عبدالسلام، معرفت، مهدی، و نیری، هادی. (۱۳۸۸). ارائه یک رابطه جدید برای تخمین میزان تابش کل در اقلیم های مختلف ایران. فصلنامه فضای جغرافیایی، ۹(۲۷)، ۲۲-۱. <https://ensani.ir/fa/article/124821>
- جهانتیغ، نبی، و پیری، جمشید. (۱۴۰۲). تخمین میزان تابش خورشیدی در اقلیم های مختلف ایران با استفاده از روش های هیبریدی یادگیری ماشین. علوم کاربردی و محاسباتی در مکانیک، ۳۵(۲)، ۵۴-۳۷. <https://doi.org/10.22067/jacsm.2022.79378.1144>
- حجازی زاده، زهرا، کربلائی درئی، علیرضا، و کربلائی، محمد رضا. (۱۳۹۷). برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان اصفهان با مدل برد و هول استورم. نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۶(۵۱)، ۱۷۴-۱۵۹. <http://dx.doi.org/10.22111/gdij.2018.3851>
- خسروی، محمود، جهانبخش اصل، سعید، و درخشی، جعفر. (۱۳۹۲). برآورد و پهنه بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی. فضای جغرافیایی، ۴۳(۱۳)، ۶۳-۳۹. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-657fa.html>
- خلیلی، علی، و رضایی صدر، حسن. (۱۳۷۶). برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده های اقلیمی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴۶، ۳۵-۱۵. <https://www.researchgate.net/publication/330350308>
- صفایی، بتول، خلجی اسدی، مرتضی، تقی زاده، حبیب، جیلاوی، افسانه، طالقانی، گیتی، و دانش، ماندانا. (۱۳۸۴). برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن. مجله علوم و فنون هسته ای، ۲۵(۱)، ۳۴-۲۷. https://jonsat.nstri.ir/article_723.html?lang=en
- علیزاده، امین، و خلیلی، نجمه. (۱۳۸۸). تعیین ضرایب مدل آنگستروم و توسعه یک مدل رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه موردی: منطقه، مشهد). مجله علوم و صنایع کشاورزی (آب و خاک)، ۲۳(۱)، ۲۸۳-۲۲۹. <http://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.1554>
- فصیحی، روزین، و بیات ورکشی، مریم. (۱۳۹۵). برآورد تابش خورشیدی با مدل های رگرسیونی در دواقلیم مختلف. اولین کنفرانس بین المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ۸-۱. <http://www.icwesd.ir>
- مرادی، اسحق. (۱۳۸۵). تهیه اطلس تابش خورشیدی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره Meteosat، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم (خوارزمی) تهران، تهران، ایران.
- معینی، سام، جوادی، شهرام، کوبی، محسن، و دهقان منشادی، محسن. (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل پهنه. نشریه انرژی ایران، ۱۳(۲)، ۱۰-۱. <http://necjournals.ir/article33-1fa.html>

References

- Alizadeh, A., & khalili, N. (2009). Estimation of Angstrom Coefficient and Developing a Regression Equation for Solar Radiation Estimation (Case study: Mashhad). Journal of Water and Soil, 23(1), 229-238. <http://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i0.1554> [In Persian]
- Almorox, J. Y., & Hontoria, C. J. E. C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Energy Conversion and Management, 45(9-10), 1529-1535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2003.08.022>
- Bloch, S. C. (2000). Analysis Toolpak: Fourier Analysis. Excel for Engineers and Scientists. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1-11. <https://www.wiley.com/en-au/Fourier+Analysis-p-9781118165151>
- Bristow, K. L., & Campbell, G. S. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and forest meteorology, 31(2), 159-166. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90017-0)

- Ebrahimpour, A., Marefat, M., & Nayeri, H. (2009). Presenting a new relationship for estimating the amount of total radiation in different climates of Iran. *Scientific-research journal of geographical space*; 9(27), 1-22. <https://ensani.ir/fa/article/124821/> [In Persian]
- Ehnberg, J. S., & Bollen, M. H. (2005). Simulation of global solar radiation based on cloud observations. *Solar Energy*, 78(2), 157-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.016>
- Fasihi, R., & Bayatvarkeshi, M. (2016). Estimation of solar radiation with regression models in two different climates. 1st international conference on water, environment and sustainable development, Department, Technical Faculty of Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. 1-8. <http://www.icwesd.ir> [In Persian]
- Hejazizadeh, Z., Karbalaee, A., & karbalaee, M. R. (2018). Estimating the Received Solar Radiation by Bird and Hulstrom Model in Isfahan Province. *Geography and Development*, 16(51), 159-174. <https://doi.org/10.22111/gdij.2018.3851> [In Persian]
- Irajpoor, A.A., & Esmeili, H. (2021). Estimation of spatio-temporal changes of net radiation received in Darab city using remote sensing and geographic information system. *Geography and human relations*. 4(3), 184-204. <http://dx.doi.org/10.22034/gahr.2021.305704.1612> [In Persian]
- Jahantigh, N., & Piri, J. (2023). Estimation of solar radiation in different climates of Iran using hybrid machine learning methods. *Journal Of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, 35(2), 37-54. <https://doi.org/10.22067/jacsm.2022.79378.1144> [In Persian]
- Kazemi, J., & Mardi, H. (2012). An Investigation of Solar Radiation Data in Islamic Azad University, South Tehran Branch Weather Station. *Mechanical Engineering*, 20(80), 68-75. <https://www.researchgate.net/publication/234056107>
- Khalili, A. & Rezaei Sadr, H. (1997). Estimation of global solar radiation over Iran based on climatological data, *Geographical Research journal*, 46, 35-15. <https://www.researchgate.net/publication/330350308> [In Persian]
- Khosravi, M., Jahanbakhshasl, S., & Derakhshi, J. (2013). Estimating and Classification Solar Radiation On Horizontal Surfaces Using Climatic Parameters in GIS (Case Study: East Azarbaijan province). *Journal of geographic space*, 43(13), 39-63. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-657-en.html> [In Persian]
- Liengme, B. V. (1997). A guide to Microsoft Excel for scientists and engineers. <https://bayanbox.ir/view/8346939337370487254/Liengme-2015>
- Mishra, T., Rabha, A., Kumar, U., Arunachalam, K., & Sridhar, V. (2020). Assessment of solar power potential in a hill state of India using remote sensing and Geographic Information System. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100370. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100370>
- Moieni, S., Javadi, S., Kokabi, M., & Nanshadi, M. (2010). Estimating the Solar Radiotion in Iran by Using the Optimal Model. *IJE*, 13(2), 1-10. <http://necjournals.ir/article33-1fa.html> [In Persian]
- Moradi, A. (2006). Preparation of solar radiation atlas of Iran using Meteosat satellite images, Ph.D thesis, Tarbiat Moalem University (Kharazmi), Tehran, Tehran, Iran. [In Persian]
- Sabziparvar, A. A., & Shetaee, H. (2007). Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran. *Energy*, 32(5), 649-655. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.05.005>
- Safaii, B., Khalajiasadi, M., Taghizadeh, H., Jilavi, A., Taleghani, G., & Danesh, M. (2005). Estimating Solar Energy Potential in Iran and Related Radiation Atlas. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 25(1), 27-34. https://jonsat.nstri.ir/article_723.html?lang=en [In Persian]

- Safaripour, M. H., & Mehrabian, M. A. (2011). Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data. *Heat and mass transfer*, 47(12), 1537-1551. <http://doi./ 10.1007/s00231-011-0814-8>
- Tazik, E., Rezaei, A. A., Abkar, A., Alavipanah, S. K., Jahantab, Z., & Rahmati, A. (2015). Estimation of the instantaneous short wavelength solar radiation using satellite images of MODIS (Case study: Central regions of Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1), 17-30. <https://sanad.iau.ir/en/Article/903043?FullText=FullText>
- Tiris, M., Tiris, C., & Erdalli, Y. (1997). Water heating systems by solar energy. Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-COATING, Gebze, Kocaeli, Turkey. <https://books.akademisyen.net/index.php/akya/catalog/download/1431/1464/33193?inline=1>
- Wang, J., Xie, Y., Zhu, C., & Xu, X. (2011). Daily Solar Radiation Prediction Based on Genetic Algorithm Optimization of Wavelet Neural Network. *International Conference on Electrical and Control Engineering*, September, Yichang, China. 16–18. <https://doi.org/10.1109/ICECENG.2011.6057583>
- Zhang, Y., Ren, J., Pu, Y., & Wang, P. (2020). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. *Renewable Energy*, 149, 577-586. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.071>