

Behavioral Analysis of Micro-Climatic Regions in Central Iran Using Factor Analysis Method

Mahsa kazemi  ¹  | Masoud jalali ²  | Kohzad Raispour ³ 

1- Graduated, Masters Science climatology University of Zanjan

2- Assistant Professor climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Assistant Professor climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:

2023/7/25

Received:

2023/9/6

Accepted:

2023/10/16

Published:

2024/2/4

Keywords:

solar radiation energy,
geostatistics, zoning, Iran

Abstract: In order to use solar energy optimally, the first step is to identify the amount of solar radiation. It is useful to use satellite data to identify the amount of solar radiation in any situation. Therefore, the aim of the current study is to investigate the time-space amount of net short wavelength solar radiation in Iran. Then, in order to check the time of the data on a monthly and seasonal scale, their graphs were drawn, and linear and polynomial regression were used to determine trends. In order to carry out this research, monthly radiation energy data in nc format was prepared from the FLDAS satellite model for the years 1982 to 2021. The result of the long-term linear trend shows that Iran has a stable trend to some extent, but its non-linear trend shows several alternating upward and downward periods. Also, for the spatial analysis of the radiation spread in Iran, zoning was done in the Arc Gis environment. The results showed that the maximum amount of radiant energy in June is 296 watts per square meter and the lowest amount is 101 watts per square meter in December. The highest coefficient of change occurred in January (6.69%) and the lowest in September (1.47%). Therefore, Iran has the same radiation energy in the long term. According to the influencing factors, radiant energy is easily available in Iran, so solar panels can be used instead of fossil fuels.

Cite this article: kazemi , M. jalali, M, Raispour, R (2024). Behavioral Analysis of Micro-Climatic Regions in Central Iran Using Factor Analysis Method. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 2(4), 89-114.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





بررسی زمانی-فضایی میزان تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی با استفاده از

داده‌های مدل جهانی FLDAS در ایران

مهسا کاظمی^۱ | مسعود جلالی^۲ | کوهزاد رئیس پور^۳

۱. دانش آموخته ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان

۲. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳

بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۱۵

پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۴

انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

واژگان کلیدی:

انرژی تابشی خورشید، زمین‌آمار، پهنه‌بندی، ایران

چکیده: به منظور استفاده بهینه از انرژی خورشیدی اولین قدم، شناسایی مقدار تابش خورشیدی می‌باشد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی مقدار تابش خورشیدی در هر موقعیت مفید است. از این رو هدف پژوهش حاضر بررسی زمانی-فضایی میزان تابش خالص طول موج کوتاه خورشید در ایران می‌باشد. جهت انجام این پژوهش ابتدا داده‌های ماهانه انرژی تابشی با فرمت Net از مدل ماهواره‌ای FLDAS برای سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۱ تهیه گردید. سپس جهت بررسی زمانی داده‌ها در مقیاس ماهانه و فصلی نمودارهای آن‌ها رسم شد و برای روندیابی از رگرسیون خطی و چند جمله‌ای استفاده شد. نتیجه روند خطی در طولانی مدت نشان می‌دهد کشور ایران تا حدودی دارای روند ثابتی بوده اما روند غیر خطی آن چند دوره متناوب صعودی و نزولی را به نمایش می‌گذارد. همچنین برای تحلیل فضایی نحوه‌ی گسترش تابش در ایران نیز پهنه‌بندی در محیط Arc Gis انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان انرژی تابشی در ماه ژوئن ۲۹۶ وات بر متر مربع و کم‌ترین مقدار آن ۱۰۱ وات بر متر مربع در ماه دسامبر می‌باشد. بالاترین ضریب تغییرات در ماه ژانویه (۶۶۹ درصد) و کمترین میزان در ماه سپتامبر (۱۰۴۷ درصد) رخ داده است. بنابراین کشور ایران در بلندمدت از انرژی تابشی یکسانی برخوردار است. با توجه به عوامل تاثیر گذار، انرژی تابشی در ایران به راحتی قابل دسترس است در نتیجه می‌توان از پنل‌های خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی استفاده نمود

استناد: کاظمی، مهسا، جلالی، مسعود، رئیس پور، کوهزاد (۱۴۰۲). بررسی زمانی-فضایی میزان تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی با استفاده از داده‌های مدل جهانی FLDAS در ایران. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۲(۴)، ۸۹-۱۱۴. © نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان.



مقدمه

تشدید آلودگی هوا، آب و خاک موجب تشدید گرمایش جهانی خواهد شد (مرادی، ۱۳۸۵). از این رو به کارگیری امکانات آب و هوایی با هدف کمینه سازی هزینه از ملاحظات آب و هواشناسان می باشد (عساکره، ۱۳۹۶). بنابراین جهت برنامه ریزی استفاده مناسب از انرژی تابشی خورشید راهکارهای زیادی ارائه شده است که برآورد تابش خالص طول موج کوتاه خورشید یکی از ابزارهای شناسایی مناطق مستعد انرژی تابشی می باشد. از دیگر روش هایی که در مطالعه انرژی تابشی خورشید می توان از آن بهره جست، داده های سنجنده های ماهواره ها می باشد. عکس ها، داده ها و تصاویر ماهواره ای شدت انرژی تابشی را در طیف های مرئی و مادون قرمز از محدوده های مختلف جو و زمین در قالب تصاویر سیاه و سفید تهیه، ثبت و ارسال می کند (عساکره، ۱۳۹۶). با ارسال داده ها از ماهواره های گوناگون اطلاعاتی از آنها برداشت می شود و برای تعیین پدیده های گوناگون مورد بهره برداری قرار می گیرد. داده هایی که به وسیله سنجنده های ماهواره ای برداشت می شوند، اکثرا شامل باند مرئی و باند

خورشید اساسی ترین تامین کننده انرژی های لازم برای فرآیندهای زندگی بشر روی زمین است (صفائی و همکاران، ۱۳۸۳). جوامع بشری نیز به دنبال صنایع جدیدی از انرژی های تجدیدشونده بوده اند تا به سهولت، ارزان و با قدرت آلاینده گی کم به دست آید (عساکره، ۱۳۹۶). انرژی تابشی خورشید عامل اصلی کنترل آب و هوا و حیات در سطح زمین به شمار می آید. طبق آمار و اطلاعات سازمان انرژی های نو (۱۳۹۳) خورشید در هر ثانیه $1/1 \times 10^{20}$ کیلووات ساعت انرژی از خود گسیل می کند که از این میزان تنها 7×10^{17} کیلووات ساعت به سطح زمین می رسد. درصد استفاده از انرژی های مصرفی رو به فزونی است. بدین صورت که بیش از ۹۵ درصد از کل انرژی مصرفی جهان و بیش از ۸۱ درصد انرژی مصرفی ایران را سوخت های فسیلی تامین می کنند. براساس پیش بینی آژانس بین المللی انرژی تا ۲۰۲۵ مصرف انرژی کشورهای در حال توسعه ۱۰۰ درصد و شرق اروپا ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت. ادامه روند مصرف سوخت های فسیلی علاوه بر

مادون قرمز نزدیک و حرارتی هستند. کشور ایران به علت ویژگی‌هایی همچون گستردگی عرض جغرافیایی، کوهستان‌ها، تغییرات ارتفاعی زیاد و وجود دریاها، دریاچه‌ها و گستره‌های آبی از تنوع اقلیمی فراوانی برخوردار است. توجه به این ویژگی کاملاً طبیعی است زیرا پتانسیل بسیار زیادی برای بهره‌برداری از منابع طبیعی و انرژی‌های خورشیدی و بادی دارد. با توجه به شرایط آب‌وهوایی کشور ایران که حدود ۳۰۰ روز آفتابی دارد. کشور ایران با مساحت تقریبی ۱۶۴۸۱۹۷ کیلومتر مربع متوسط انرژی تابشی دریافتی از خورشید برابر با $5/5 \text{ Kw/m}^2/\text{day}$ است (محمدزاده‌شیشه‌گران، ۱۳۹۹). طبق برآورد بودیکو و سلرز متوسط سالانه انرژی در کشور ایران ۱۴۰ تا ۲۲۰ کالری در سانتی‌متر مربع می‌باشد (خلیل‌زاده، ۱۳۹۶). اما با گذر زمان این آمار با تاثیر گرفتن از عوامل اقلیمی دستخوش تغییر قرار گرفته و مقدار آن روبه فزونی گذاشته است بنابراین ایران جزو کشورهای بسیار غنی در این زمینه است. در ارتباط با انرژی تابشی خورشید مطالعاتی در گذشته

صورت گرفته است. کانت و جاکوب (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای که بر روی انرژی تابشی خورشید و تاثیر اشعه ماوراءبنفش بر روی تشعشعات خورشیدی انجام دادند، دریافتند که از ن ابرها بر نفوذ اشعه ماوراءبنفش تاثیر می‌گذارد. جان‌جای^۱ و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ی خود بر روی ۲۵ ایستگاه پیرانومتری در منطقه گرمسیری تایلند، یک نوع مدل فیزیکی را براساس رابطه‌ی بین آلبدو اتمسفر و زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ضرایب جذب و پراکندگی اتمسفر ارائه داده و دریافتند که میانگین ماهانه تابش سازش خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته اند. فیاض و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی که در منطقه‌های سامرا، حدیثه و بجی عراق با استفاده از مدل شاخص شفافیت و همبستگی خطی بین میانگین ماهانه و روزانه H/H_0 انرژی تابشی خورشید و مدت زمان آفتابی احتمالی n/N انجام داده‌اند نتیجه گرفتند که میزان انرژی تابشی در منطقه حدیثه بالاست. بوراری^۲ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود به تطبیق مقادیر اندازه‌گیری شده

جهت تاسیس نیروگاه خورشیدی، ایستگاه اصفهان معرفی کردند. لطفی (۱۳۹۰) با استفاده از سنجنده‌ی مودیس و تصاویر به دست آمده، میزان تابش خالص خورشید را برآورد کرده است نتیجه به دست آمده نشان داد که تصاویر سنجنده مودیس در برآورد تابش خالص از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. تارزیک بیرجمندی (۱۳۹۳) در پژوهش خود به تخمین میزان تابش خالص طول موج کوتاه خورشید پرداخته است. در این تحقیق با استفاده از تولیدات سنجنده مودیس اقدام به محاسبه تابش خالص و تابش لحظه‌ای نموده است؛ بدین صورت که با محاسبه میزان آلودگی سطحی، تابش طول موج کوتاه تخمین زده شده و مناطق کویری و دشتی شامل بیشترین میزان تابش شناسایی شدند. علیجانی و همکاران (۱۳۹۷) طبق مطالعه‌ای که در زمینه نقش انرژی خورشیدی در توسعه پایدار شهر تهران بر روی مناطق مسکونی داشتند، با بررسی و مقایسه میزان داده‌های مربوط به مصرف انرژی، وضعیت عملکردی شهر تهران و هزینه زیرساخت لازم جهت بهره‌برداری

توسط دستگاه پیرانومتر و تخمین میزان انرژی تابشی خورشید بر اساس مدل آنگستروم- پریسکات در منطقه باوچی نیجریه پرداخته‌اند؛ در این مطالعه موثرترین پارامتر هواشناسی که مورد ارزیابی قرار گرفته، میزان ساعات آفتابی بوده است. اوگونجو^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود به مطالعه‌ی پتانسیل‌های انرژی خورشید در مناطق مختلف نیجریه پرداخته و دریافتند که میانگین توان خروجی ماهانه از سامانه‌های انرژی خورشیدی تحت تاثیر تغییرات فصلی می‌باشد و افزایش دما عامل محدودکننده‌ای برای تولید سلول‌های خورشیدی در نیجریه می‌باشد. همچنین در مطالعات داخلی، خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی که انجام دادند استقرار نیروگاه خورشیدی را در مناطق خشک ایران امکان‌سنجی نموده و ایستگاه یزد را بهترین مکان تعیین نموده‌اند؛ در ادامه ایستگاه‌های مجاور آن همچون اصفهان، کرمان، زاهدان، از نظر رژیم تابش و دیگر عناصر آب و هوایی موثر در استقرار نیروگاه خورشیدی مورد مقایسه قرار گرفته و مشابه‌ترین ایستگاه را به یزد

شمال غرب کشور از پارامتر میزان ساعات آفتابی ۱۶ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی و روش آنگستروم- پریسکات استفاده کردند. ایشان دریافتند که میزان انرژی تابشی در شمال غرب کشور از میزان متوسط انرژی تابشی کشورهای بهره بردار از انرژی خورشیدی در اروپا بیشتر است.

۱. داده‌ها و روش‌ها

طی سال‌های اخیر تکنیک‌های متعددی جهت برآورد انرژی تابشی خورشیدی به کار گرفته شده است. در این میان استفاده از مدل‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای (GLDAS1, MERRA3, NLDAS2, FLDAS) کاربرد بسیار گسترده‌ای داشته است (بهاتارای و همکاران، ۲۰۲۰). داده‌های سنجنده FLDAS جداسازی طیفی و مکانی بسیار مناسبی برای سنجش پدیده‌های فیزیکی و زیستی دارند و جداسازی زیاد این سنجنده آن را برای آشکارسازی بسیاری از پدیده‌های جوی از جمله

سامانه‌های فتوولتائیک نتیجه گرفتند که با توجه به موقعیت جغرافیایی، شهر تهران دارای ظرفیت بالای انرژی خورشیدی بوده و با فعالسازی سامانه‌های فتوولتائیک خورشیدی، سودآوری اقتصادی قابل ملاحظه‌ای برای دستیابی به توسعه پایدار به دست می‌دهد. موغلی و نخعی نژادفرد (۱۳۹۷) در ارتباط با ریزگردهای استان خوزستان به تحلیل فضایی آن‌ها با استفاده از روش درون‌یابی پرداخته و دریافتند که روش وزن‌دهی معکوس با ضریب تعیین ۰.۷۵ بهترین مدل جهت پهنه‌بندی ریزگردها می‌باشد. زندی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ی خود با استفاده از روش تحلیل تابش در محیط GIS، به پهنه‌بندی تابش کل خورشید در سطح ۱۵۹ روستای فعال شهرستان سبزوار پرداختند. نتایج حاکی از آن است که همبستگی بین تابش کل و عامل ارتفاع به مراتب بیشتر از میزان ساعات آفتابی می‌باشد. جلالی و دعائی (۱۳۹۸) در پژوهش خود جهت بهره‌برداری از انرژی تابشی خورشید در

3. Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2 (MERRA-2)

1. Global Land Data Assimilation System (GLDAS)

2. National Climate Assessment - Land Data Assimilation System, or NCA-LDAS

فاصله تا نقطه‌ی مجهول است. بهترین جواب زمانی حاصل می‌شود که نمونه‌برداری متراکم و با توجه به تغییرات محلی باشد. روش IDW براساس قانون اول جغرافیا که مبین شباهت بیشتر به پدیده‌های نزدیک به هم است، می‌باشد. محاسبات IDW به عامل انتخاب توان P در فرمول p $W=(1/d)$ بستگی دارد: بدین ترتیب تمام مراحل لازم برای شناسایی مناطق مستعد برای کاربردهای مختلف انرژی تابشی خورشید مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲. یافته‌ها و نتایج

با توجه به اینکه بررسی انرژی تابشی به عنوان عنصر استراتژیک اقلیم، در مطالعات توسعه‌ای در سطح کشور بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با برآورد میزان انرژی تابشی خالص طول موج کوتاه در منطقه، می‌توان از آن بهره‌برداری نمود. بنابراین با بررسی مشخصات آماری و تحلیل انرژی مورد نظر در کشور ایران، طی دوره‌ی مورد مطالعه می‌توان تصویری عام از ویژگی‌های آماری منطقه به دست آورد.

تابش خورشیدی توانمند ساخته است (شیمل و همکاران، ۲۰۱۷). هدف اصلی این پژوهش نیز تخمین تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی با استفاده از داده‌های مدل FLDAS است. داده‌های تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی این مدل تحت شرایط آسمان صاف و ابری است که در این پژوهش از تولیدات تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی (NSR) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۱ در ۰/۱ و قدرت تفکیک زمانی ماهانه، در شرایط آسمان صاف طی دوره‌ی آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۲-۲۰۲۱) در پهنه‌ی ایران استفاده شده است (مکنالی و همکاران، ۲۰۱۷). تمام مراحل و فرآیندها بر روی پهنه‌ی ایران انجام شده است. برای پهنه‌بندی از روش وزن‌دهی معکوس (IDW) استفاده شده است. این روش فاصله ترکیب خطی از داده‌های موجود برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم پیشنهاد می‌کند که بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط فقط فاصله‌ها را مد نظر قرار دهد. همچنین اعداد به دست آمده محدود به دامنه‌ی اعداد موجود می‌باشند. این روش ایزوتروپیک است، زیرا تاثیر نقطه‌ی ورودی وابسته به

پارامتر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	
میانگین	119/67	149/79	189/54	228/95	263/2	288/67	نمایه‌های مرکزی
میان	118/03	145/54	189/3	228/89	261/58	289/67	
واریانس	64/08	73/4	88/48	80/93	74/14	31/71	
انحراف معیار	8/01	8/57	9/41	9	8/61	5/63	نمایه‌های پراکندگی
ضریب تغییرات	6/69	5/72	4/96	3/93	3/27	1/95	
بیشینه	139/42	165/96	209/42	246/18	283/47	296/58	
کمینه	105/02	130/35	170/87	211/7	247/08	275/07	
چارک اول	113/0	143/0	183/0	222/5	275/0	286/0	آستانه‌ها
چارک سوم	126	158	197/5	237	269	293	
چولگی	0/22	0/24	0/01	0	0/40	-0/78	نمایه‌های توزیع شکل
کشیدگی	0/52	0/67	0/56	0/79	0/28	0/10	

جدول ۱: ویژگی‌های آماری انرژی تابشی خالص ماهانه برحسب وات برمترمربع (۱۹۸۲-۲۰۲۱)

پارامتر	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
میانگین	277/61	261/04	234/15	184/85	138/58	115/03	نمایه‌های مرکزی
میان	278/32	261/92	234/62	186/92	138/92	116/21	
واریانس	25/2	22/69	11/92	47/78	40/45	42/04	
انحراف معیار	5/02	4/76	3/45	6/91	6/36	6/48	نمایه‌های پراکندگی
ضریب تغییرات	1/81	1/82	1/47	3/74	4/59	5/63	
بیشینه	286/57	267/78	243/36	197/23	153/07	130/51	
کمینه	265/95	247/89	225/3	169/14	126/27	101/77	آستانه‌ها
چارک اول	0/۲۷۴	0/۲۵۹	0/۲۳۲	0/۱۷۹	133/5	110/5	
چارک سوم	281/5	264/5	236	190	143	119/5	

-0/02	0/18	-0/61	-0/03	-0/93	-0/26	چولگی	نمایه‌های
-0/34	-0/31	-0/50	1/14	0/44	-0/58	کشیدگی	توزیع
							شکل

جدول (۱) نشان‌دهنده‌ی ویژگی‌های آماری میزان انرژی تابش خالص طول موج کوتاه برحسب وات برمترمربع می‌باشد. با توجه به آمار به‌دست آمده، بالاترین مقدار انرژی تابشی به میزان ۲۸۸/۶۷ وات برمترمربع مربوط به ماه ژوئن و پایین‌ترین میزان برابر ۱۱۵/۰۳ به ماه دسامبر اختصاص دارد. بیشترین مقدار واریانس به میزان ۸۸/۴۸ وات برمترمربع مربوط به ماه مارس و کم‌ترین مقدار آن با ۱۱/۹۳ وات برمترمربع برای ماه سپتامبر می‌باشد. بیشینه‌ی انرژی در ماه ژوئن با مقدار ۲۹۶/۵۸ وات برمترمربع و کمینه‌ی آن با مقدار ۱۰۱/۷ وات برمترمربع در ماه دسامبر اتفاق افتاده است. مقدار چولگی در ماه آوریل صفر و در ماه اوت ۰/۹- است.

جدول ۲: آزمون معناداری رگرسیون خطی انرژی تابشی در ایران در ماه‌های مختلف سال (۲۰۲۱-۱۹۸۲)

ماه	معادله	سطح معناداری ۹۵٪	ماه	معادله	سطح معناداری ۹۵٪
ژوئیه	$y = -0/2097x + 281/9$	بدون معناداری	ژانویه	$y = 0/1782x + 116/02$	بدون معناداری
اوت	$y = -0/0715x + 262/51$	بدون معناداری	فوریه	$y = 0/0574x + 148/61$	بدون معناداری
سپتامبر	$y = -0/1208x + 236/63$	معنادار	مارس	$y = 0/2632x + 184/14$	معناداری
اکتبر	$y = -0/0768x + 186/43$	بدون معناداری	آوریل	$y = -0/1868x + 232/78$	بدون معناداری
نوامبر	$y = -0/0376x + 139/36$	بدون معناداری	می	$y = -0/2055x + 267/41$	بدون معناداری
دسامبر	$y = 0/235x + 110/22$	معنادار	ژوئن	$y = -0/1181x + 291/09$	بدون معناداری

در جدول (۲) آزمون‌هایی برای مدل رگرسیون خطی محاسبه شده است، روند معناداری برای دوره‌ی مورد مطالعه به تفکیک ماه بیان شده است. بدین صورت که: در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، می، ژوئن، اوت، اکتبر و نوامبر غیر معناداری حاکم است. و در ماه‌های مارس، ژوئیه، سپتامبر و دسامبر روند معنادار می‌باشد.

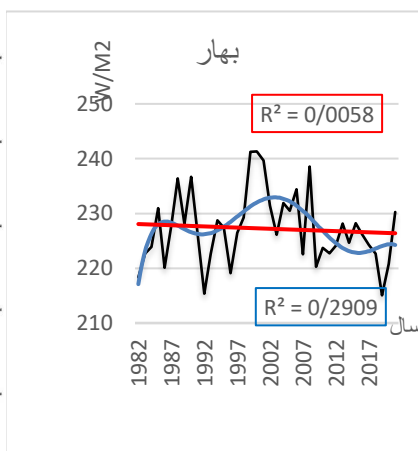
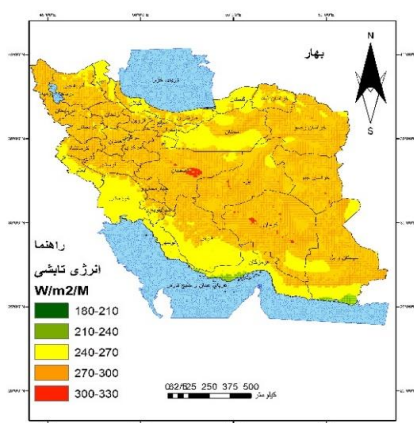
پهنه‌بندی انرژی خالص دریافتی در ایران

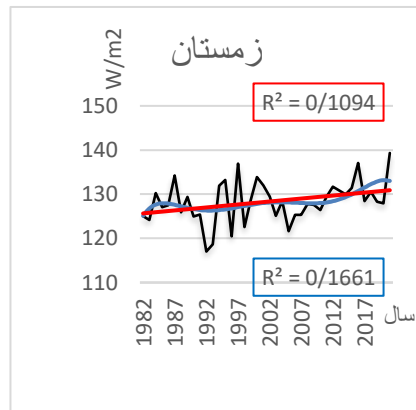
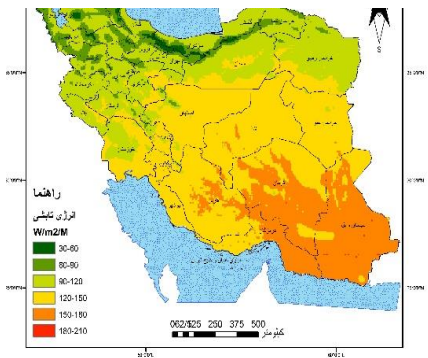
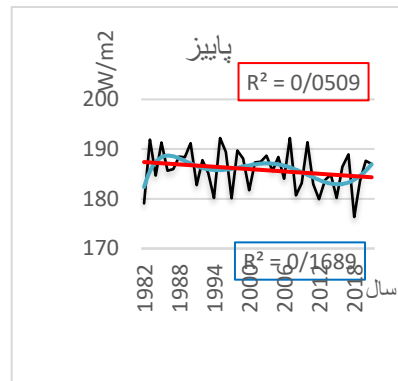
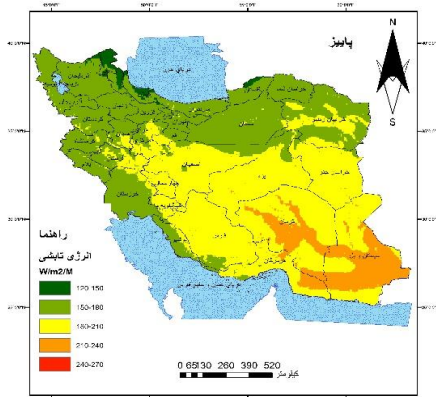
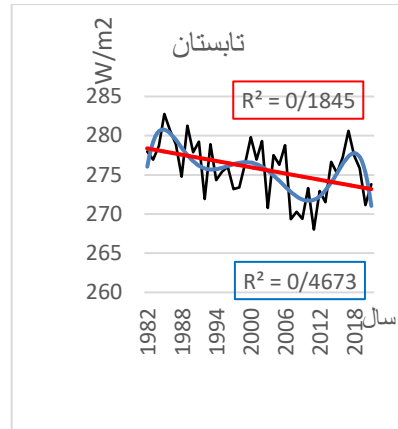
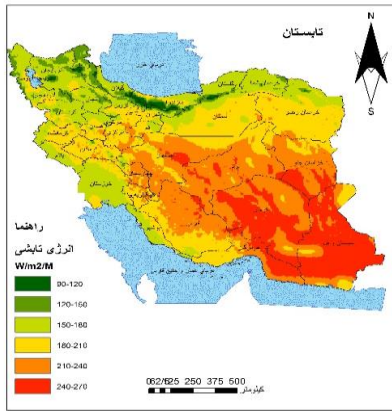
شکل (۱) میزان روند انرژی تابشی و پهنه‌بندی انرژی تابشی خورشید را در چهار فصل سال در ایران نشان می‌دهد. در فصل بهار با شروع فصل گرما و تغییر زاویه و مدت تابش خورشید، مقدار انرژی تابشی نیز دستخوش تغییر قرار می‌گیرد. همانطور که از نقشه پیداست بالاترین میزان دریافت انرژی به اندازه ۳۰۰ تا ۳۳۰ وات بر مترمربع در مناطق کوچکی از مرکز ایران در استان‌های اصفهان و کرمان قرار دارد. به طور گسترده مقدار ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع تقریباً در سرتاسر ایران دریافت می‌شود. تنها بخش‌هایی از استان سمنان، گلستان، گیلان، اردبیل، ایلام، خوزستان، بوشهر، نیمه‌ی غربی فارس و هرمزگان شاهد دریافت انرژی

۲۱۰ تا ۲۴۰ وات بر مترمربع هستند. از نظر روند خطی تقریباً ثابت، با روند غیر خطی با پنج دوره‌ی نزولی و صعودی می‌باشد. در فصل تابستان با اوج انرژی تابشی مناطق جنوب و جنوب‌شرقی تا امتداد مرکز پهنه‌ی مورد مطالعه شاهد دریافت انرژی تابشی بالا با مقدار ۲۴۰ تا ۲۷۰ وات بر مترمربع هستند. در مقابل مناطق شمالی کشور به عنوان مناطق کم تابش میزان ۹۰ تا ۱۲۰ وات بر مترمربع را دریافت می‌کنند. همچنین روند خطی نزولی و دارای روند غیر خطی با هفت دوره متناوب صعودی و نزولی در این فصل حاکم می‌باشد. در فصل پاییز با شروع فصل سرما مقدار انرژی تابشی نیز تغییر کرده و مناطق جنوب‌شرقی (بخش‌هایی از استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان) بالاترین مقدار انرژی یعنی ۲۴۰ تا ۲۷۰ وات بر مترمربع را دریافت می‌کنند. کم‌ترین مقدار نیز مربوط به مناطق شمالی کشور (قسمت‌هایی از استان‌های گلستان، گیلان و اردبیل) با ۱۲۰ تا ۱۵۰ وات بر مترمربع می‌باشد. روند خطی این فصل نزولی بوده و دارای شش دوره‌ی نزولی و صعودی کوتاه مدت می‌باشد. در فصل زمستان با توجه

می‌باشد. مناطق جنوب و جنوب‌شرقی کشور به دلیل نزدیکی به خط استوا و داشتن آسمان نسبتاً صاف در این موقعیت زمانی مقدار انرژی تابشی بیشتری به میزان ۱۸۰ تا ۲۱۰ وات برمترمربع دریافت می‌کنند. البته منطقه‌ی زابل، دشت لوت و جلگه‌ی جازموریان به علت شرایط حاکم بر آن‌ها که ارتفاع کم‌تری نسبت به منطقه دارند و غبارآلود هستند، انرژی کم‌تری را دریافت می‌کنند. همچنین روند خطی صعودی همراه با چهار دوره صعودی و نزولی در روند غیر خطی است.

به این‌که مدت و شدت انرژی تابشی تحت تاثیر فصل کاهش پیدا می‌کند، مناطقی که دورتر از خط استوا هستند انرژی تابشی کم‌تری دریافت می‌کنند. این مناطق شامل استان‌های: خراسان رضوی، خراسان شمالی، گلستان، مازندران، سمنان، گیلان، تهران، البرز، قزوین، زنجان، اردبیل، آذربایجان‌های شرقی و غربی، کردستان، کرمانشاه، لرستان، ایلام، جلگه‌ی خوزستان، مرکزی و همدان هستند که در منطقه‌ی شمال و شمال‌غرب متمرکز شده‌اند. مقدار دریافت انرژی در این مناطق ۳۰ تا ۶۰ وات برمترمربع





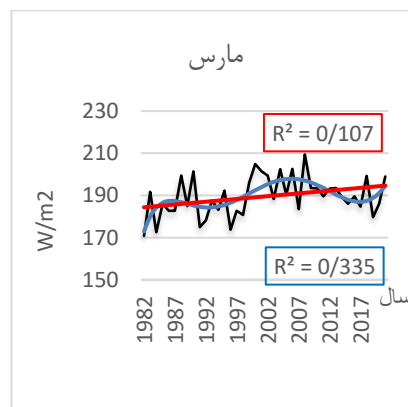
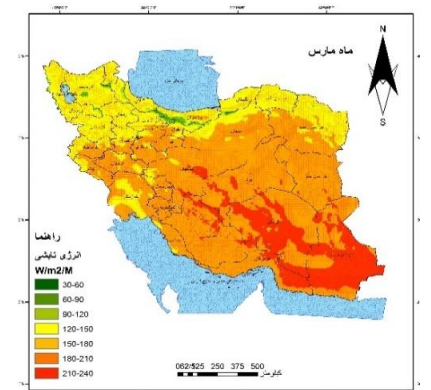
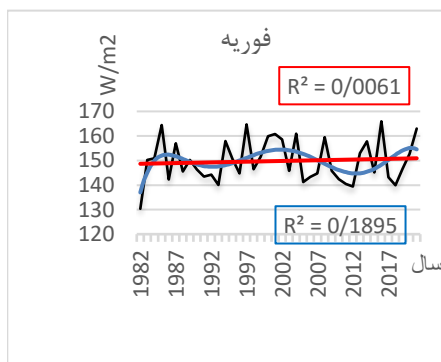
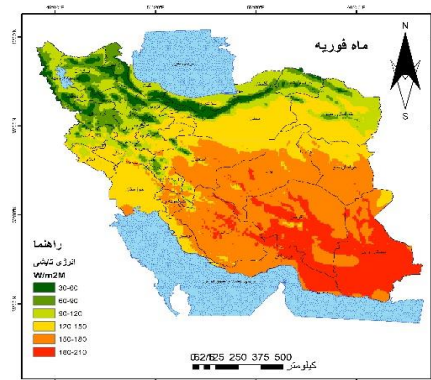
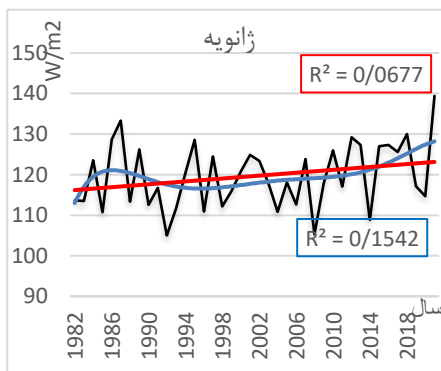
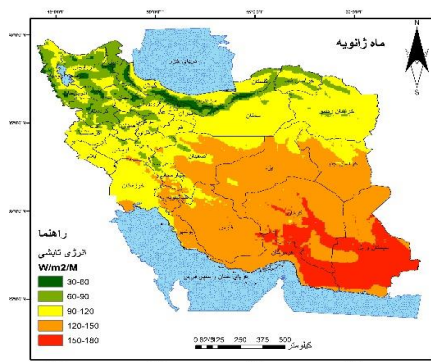
شکل
۱:

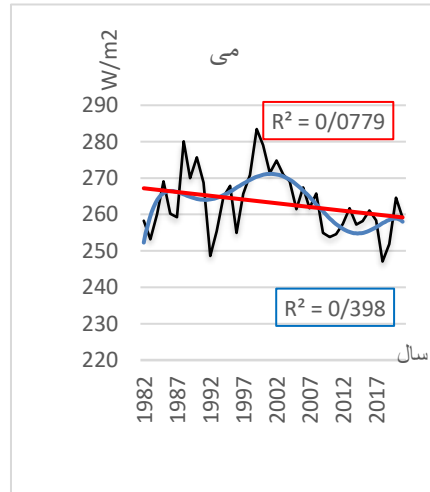
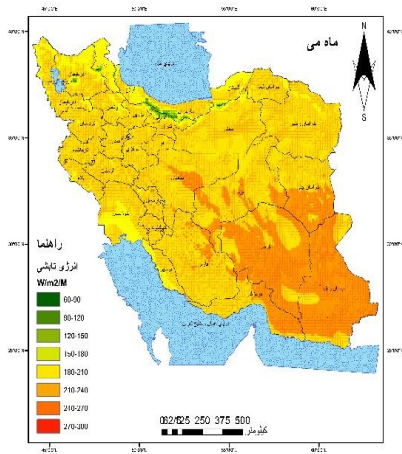
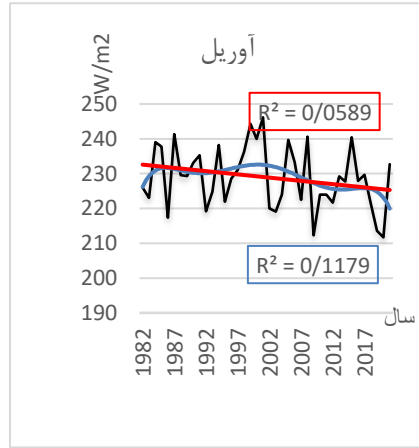
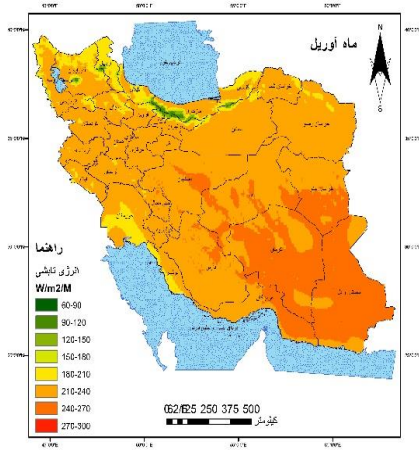
نقشه‌ی پهنه‌بندی و نمودار فصلی انرژی تابشی خورشیدی در ایران (۲۰۲۱-۱۹۸۲)

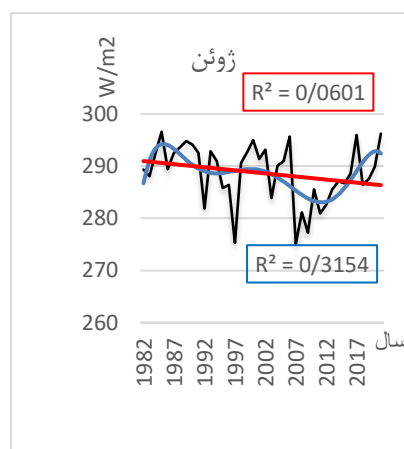
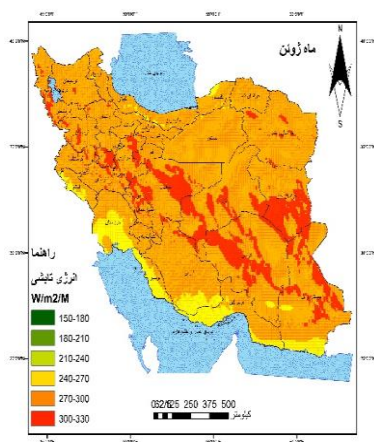
شکل (۲) پهنه‌بندی و نمودارهای انرژی تابشی خالص خورشیدی ایران را در نیمه‌ی اول سال نمایش می‌دهد. در ماه ژانویه که شدت و مدت انرژی تابشی کمتر می‌باشد، مناطق جنوب‌شرقی ایران، به دلیل نزدیکی به خط استوا و شرایط آب‌وهوایی حاکم که عموماً دارای آسمان صاف هستند، بیش‌ترین میزان انرژی تابشی خالص به مقدار ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات برمترمربع را دریافت می‌کنند. استان‌هایی که در این پهنه قرار دارند: قسمت‌هایی از سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان می‌باشند. نکته قابل توجه این است که در منطقه‌ی زابل (وجود رطوبت در منطقه)، جلگه‌ی جازموریان (پست بودن منطقه) و دشت لوت (وجود گرد و غبار) میزان دریافت انرژی تابشی همواره پایین است. مناطق دیگر بنا به دلایلی از جمله: دوری از خط استوا و آسمان ابری، وجود آلاینده‌های شیمیایی در کلان‌شهرها (مناطق شمال و شمال غرب) انرژی تابشی ناچیزی دریافت می‌کنند. کم‌ترین میزان دریافت انرژی تابشی خالص در این پهنه‌ها در طبقه‌ی ۳۰ تا ۶۰ وات برمترمربع قرار دارد که شامل قسمت‌هایی از استان‌های گلستان، مازندران، گیلان، البرز، اردبیل، آذربایجان‌های شرقی و غربی، زنجان و کردستان می‌باشد. روند خطی نیز در طی زمان حالت صعودی را نشان می‌دهد. در حالیکه برآزش رگرسیون چند جمله‌ای برای ماه مذکور دو دوره‌ی صعودی در ابتدا و انتهای سری زمانی و یک دوره‌ی طولانی مدت نزولی را نشان می‌دهد. در ماه فوریه بیش‌ترین مقدار دریافت انرژی در پهنه‌ی جنوب‌شرقی ایران که شامل استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان می‌باشد، اتفاق می‌افتد. مقدار انرژی دریافتی در این منطقه برابر با ۱۸۰ تا ۲۱۰ وات برمترمربع است. (منطقه‌ی زابل، جلگه‌ی جازموریان و دشت لوت بنا به دلایل ذکر شده دارای مقدار کم‌تری از انرژی تابشی هستند). پهنه‌ای با مقدار انرژی ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات برمترمربع پهنه‌ی قبلی را احاطه کرده و استان‌های خراسان جنوبی، یزد، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، مناطقی از چهارمحال و بختیاری و جنوب خوزستان را شامل می‌شود. پهنه‌های شمال و شمال‌غرب کشور نیز بنا به شرایط و دلایل حاکم، شاهد کم‌ترین مقدار انرژی تابشی در منطقه هستند. استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، اردبیل، زنجان، البرز و مازندران مناطقی هستند که مقدار ۳۰ تا ۶۰ وات انرژی برمترمربع را تجربه می‌کنند. روند خطی سیر صعودی میزان تابش و روند غیر خطی آن، پنج دوره متناوب صعودی و نزولی را نشان می‌دهد. در این ماه دوره‌های صعودی به ترتیب در ابتدا، میانه و پایان مشاهده می‌شود.

در ماه مارس با توجه به گذر زمان و تغییر زاویه و مدت تابش میزان دریافت انرژی در پهنه‌ی مورد نظر نیز تغییر می‌کند. همانطور که پیداست سرتاسر کشور، انرژی تابشی با مقدار ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات بر مترمربع را دریافت می‌کنند. تنها مناطق شمال و شمال غربی کشور (شامل استان‌های آذربایجان‌های غربی و شرقی، اردبیل، گیلان، مازندران، زنجان، کردستان، گلستان، قسمت‌هایی از خراسان شمالی و خراسان رضوی) دارای انرژی تابشی کم به مقدار ۳۰ تا ۶۰ وات بر مترمربع هستند. روند خطی نیز صعودی بوده و روند غیر خطی سه دوره‌ی نزولی و دو دوره‌ی صعودی را نشان می‌دهد. در ماه آوریل میزان تابش سیر نزولی گرفته و در مقابل روند خطی دوره‌های صعودی و نزولی تابش آفتاب را در ایران نمایش می‌دهد. در این ماه در ابتدا و انتهای سری زمانی دو دوره‌ی طولانی مدت نزولی و یک دوره در میانه سری حالت صعودی را نشان می‌دهد. در ماه آوریل با گذر از فصل سرما و ورود به فصل گرما میزان دریافت انرژی تابشی با توجه به شرایط حاکم در آن‌ها به مرور بیشتر می‌شود. بالاترین میزان دریافت انرژی در این ماه در طبقه ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع می‌باشد که مناطق جنوب و جنوب شرقی (شامل استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، جنوب خراسان جنوبی، شمال هرمزگان و قسمت‌های کوچکی از شرق اصفهان) آن را دریافت می‌کنند. سراسر ایران تا محدوده‌ی شمال غرب شاهد انرژی تابشی با مقدار ۱۸۰ تا ۲۱۰ وات بر مترمربع هستند. تنها قسمت‌های کوچکی از جنوب گلستان، جنوب مازندران، غرب اردبیل و مرکز آذربایجان شرقی انرژی تابشی ۶۰ تا ۹۰ وات بر مترمربع را تجربه می‌کنند. در ماه می همچنان بالاترین میزان دریافت انرژی ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع می‌باشد که مناطق جنوب و جنوب شرقی (سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، کرمان و هرمزگان) آن را دریافت می‌کنند. کم‌ترین آن نیز مقدار ۶۰ تا ۹۰ وات بر مترمربع می‌باشد که همانند ماه گذشته مناطق شمالی کشور (جنوب گلستان، جنوب مازندران، غرب اردبیل و مرکز آذربایجان شرقی) آن را تجربه می‌کنند. روند خطی نزولی بوده و روند غیر خطی آن نیز سه دوره نزولی و صعودی را نشان می‌دهد. دوره‌های نزولی آن مانند ماه مارس در ابتدا و انتهای سری زمانی بوده و دوره‌ی صعودی در میانه سری زمانی قرار گرفته است. میزان انرژی تابشی ایران در ماه اوت روند خطی تا حدودی ثابت بوده و روند غیر خطی دارای هفت دوره نزولی و صعودی می‌باشد. ابتدای دوره روند نزولی بوده و پس از پنج دوره به ترتیب صعودی و نزولی در

پایان به روند نزولی خاتمه یافته است. ماه سپتامبر نیز مانند ماه‌های مشابه روند خطی نزولی داشته و روند غیر خطی آن پنج دوره صعودی و نزولی را نمایش می‌دهد. در ماه ژوئن با توجه به رخداد انقلاب تابستانی، میزان دریافت انرژی در سرتاسر ایران تحت‌الشعاع قرار می‌گیرد. بالاترین میزان دریافت انرژی (حد نهایی دریافت انرژی تابشی خالص خورشیدی در ایران) مقدار ۳۰۰ تا ۳۳۰ وات برمترمربع می‌باشد که همانند ماه‌های گذشته اولین منطقه مستعد دریافت انرژی جنوب و جنوب‌شرقی می‌باشد با این تفاوت که در این ماه تا مرکز کشور (شمال استان اصفهان) امتداد داشته‌است. مناطق شمال و شمال‌غرب کشور نیز برخلاف ماه‌های گذشته شاهد بیش‌ترین میزان انرژی تابشی برابر با ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات برمترمربع هستند. تنها بخش‌های جنوبی کشور (حاشیه‌ی دریای عمان و خلیج فارس) به علت وجود رطوبت بالای منطقه، دارای انرژی تابشی ۲۱۰ تا ۲۴۰ وات برمترمربع هستند. خط روند نزولی بوده و میزان تابش در سری زمانی این ماه دارای روند غیر خطی با شش دوره‌ی متناوب نزولی و صعودی می‌باشد؛ بدین صورت که با دوره‌ی نزولی شروع شده و با روند صعودی پایان یافته است. دارای سه دوره نزولی و سه دوره‌ی صعودی می‌باشد.







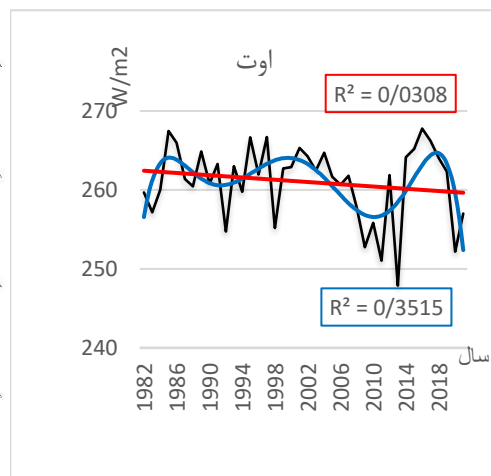
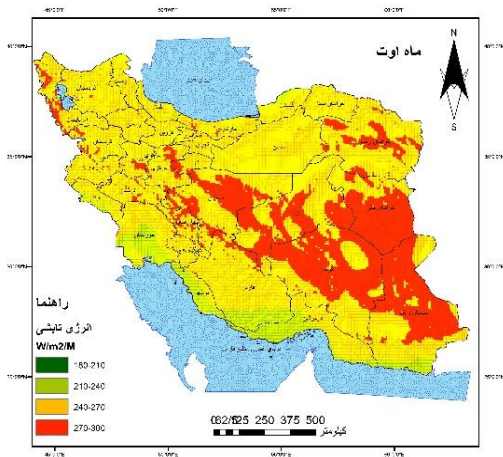
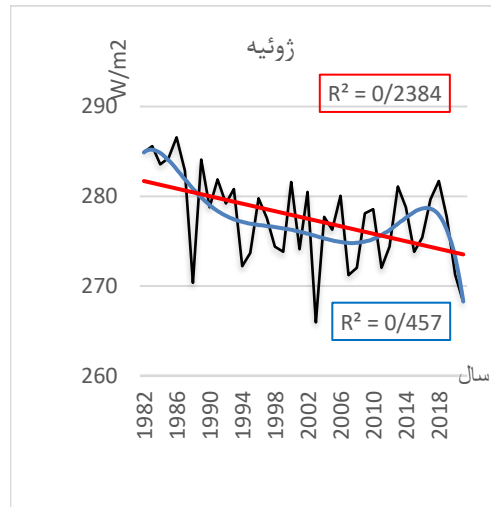
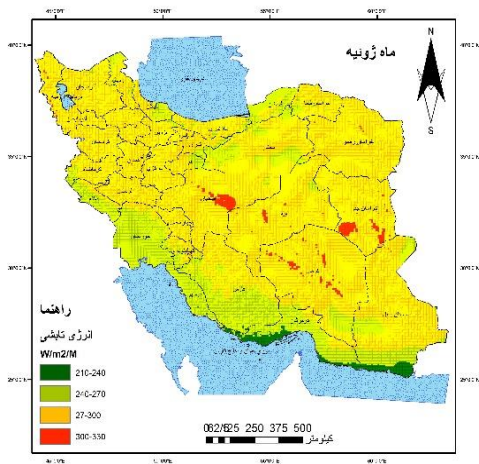
انرژی تابشی خالص به میزان ۲۴۰ تا ۲۷۰ وات بر مترمربع هستند. جلگه‌ی جازموریان و زابل همواره کم‌ترین میزان را دریافت می‌کنند. حاشیه‌ی جنوبی استان هرمزگان در همسایگی دریای عمان نیز کم‌ترین میزان انرژی تابشی خالص به مقدار ۲۱۰ تا ۲۴۰ وات بر مترمربع را داراست. در ماه اوت مقدار انرژی تابشی ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع مختص به منطقه‌ی جنوب‌شرقی بوده و استان‌هایی که در این منطقه قرار دارند عبارتند از: خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، اصفهان، خراسان رضوی و قسمت‌های کوچکی از قم و مرکزی. دیگر مناطق پهنه‌ی مورد نظر دارای مقدار انرژی تابشی ۲۴۰ تا ۲۷۰ وات

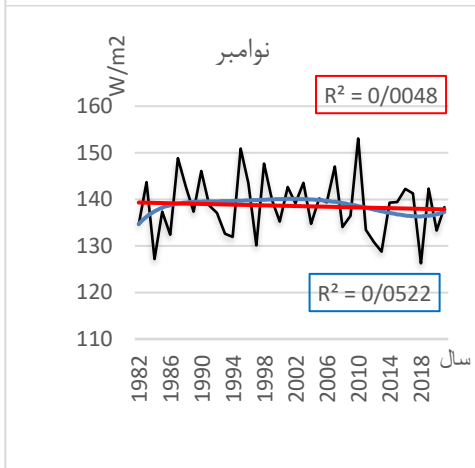
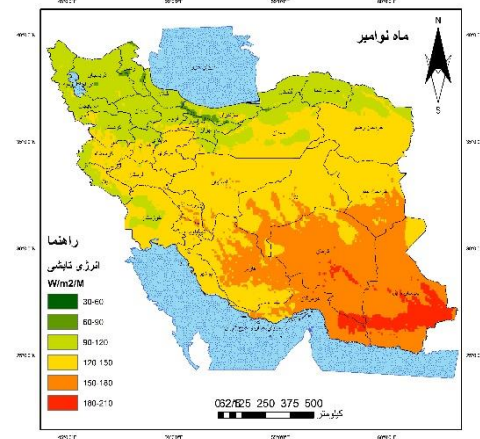
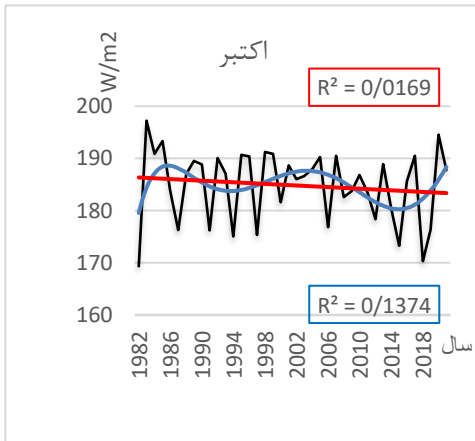
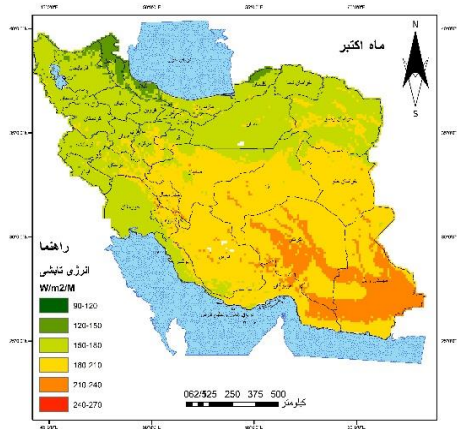
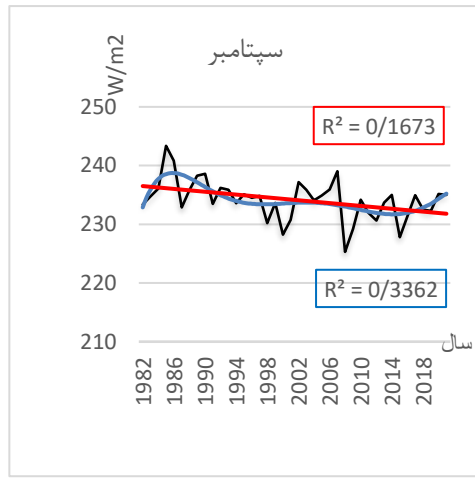
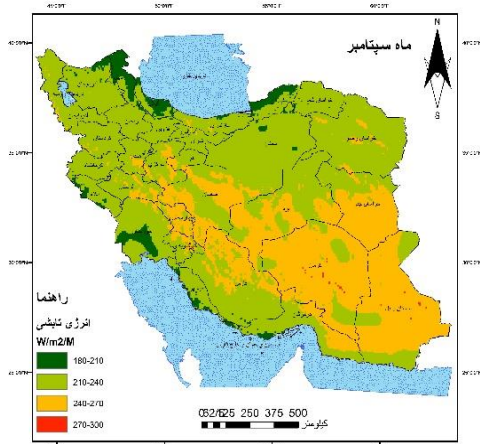
شکل (۳) پهنه‌بندی انرژی تابشی خالص در نیمه‌ی دوم سال را نشان می‌دهد. ماه ژوئیه با توجه به قرار گرفتن در بین ماه‌های گرم سال، تقریباً سراسر ایران شاهد انرژی تابشی بالایی هستند و کل پهنه‌ی مورد نظر را می‌توان در چهار طبقه تقسیم‌بندی نمود. بیش‌ترین میزان دریافت انرژی به مقدار ۳۰۰ تا ۳۳۰ وات بر مترمربع مختص قسمت‌هایی از جنوب خراسان جنوبی، شرق اصفهان و نقاط کوچکی از کرمان می‌باشد. میزان ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع تمام پهنه‌ی ایران را در بر گرفته است. تنها بخش‌هایی از شمال کشور (گلستان، شرق گیلان، جنوب سمنان، ایلام، خوزستان، بوشهر، نیمه‌ی غربی فارس و غرب هرمزگان) دارای

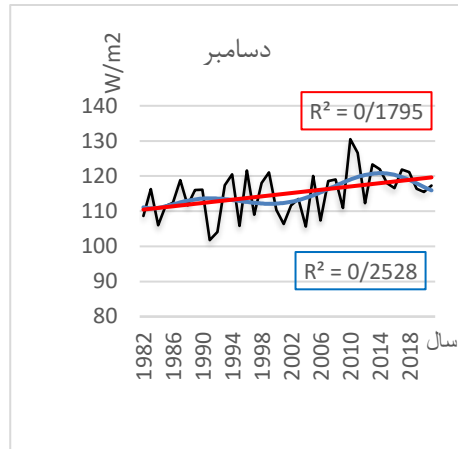
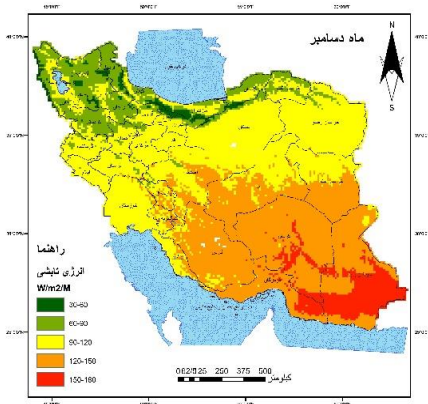
مقدار انرژی تابشی تغییرات چشمگیری داشته است. بدین صورت که مناطق شمال و شمال غربی شاهد کمترین مقدار دریافت انرژی تابشی به میزان ۳۰ تا ۶۰ وات برمترمربع می‌باشند. استان‌هایی که در این منطقه قرار دارند عبارتند از: شمال خراسان رضوی، خراسان شمالی، گلستان، مازندران، گیلان، مناطق پراکنده‌ای از سمنان، تهران، البرز، اردبیل، آذربایجان‌های شرقی و غربی، زنجان، کردستان، شمال همدان، شمال قم، مناطق مرکزی خوزستان، نیمه‌ی غربی ایلام و غرب کرمانشاه. بیشترین میزان دریافت انرژی نیز با ۱۸۰ تا ۲۱۰ وات برمترمربع مربوط به منطقه‌ی جنوب شرقی (استان سیستان و بلوچستان) می‌باشد. مناطق اطراف با مقدار انرژی دریافتی ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات برمترمربع منطقه‌ی پرتابش را احاطه کرده‌اند. در ماه دسامبر با توجه به حاکم بودن فصل سرما انرژی تابشی به حد پایین خود رسیده و تنها مناطق مستعد جنوب شرقی، مقدار ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات برمترمربع انرژی تابشی دریافت می‌کنند. مناطق شمال و شمال غربی نیز همانند شرایط مشابه، همواره کمترین میزان انرژی تابشی با

برمترمربع می‌باشند. نکته قابل توجه قسمتی از شمال غرب کشور می‌باشد که حاشیه‌ی غربی استان آذربایجان غربی نشانگر دریافت انرژی با مقدار ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات برمترمربع می‌باشد. سواحل جنوبی کشور که در مجاورت دریایی عمان و خلیج فارس قرار دارند انرژی تابشی کمتری به میزان ۲۱۰ تا ۲۴۰ وات برمترمربع را دریافت می‌کنند. در ماه سپتامبر با توجه به گذر فصل گرما و کاهش میزان انرژی تابشی، بیشترین مقدار دریافت انرژی ۲۴۰ تا ۲۷۰ وات برمترمربع در مناطق جنوب شرقی می‌رسد. البته نقاط بسیار کوچکی در منطقه مذکور شاهد انرژی تابشی با مقدار ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات برمترمربع هستند که بسیار ناچیز است. در مناطق دیگر کشور تقریباً دریافت انرژی با مقدار ۲۱۰ تا ۲۴۰ اتفاق می‌افتد. کمترین مقدار دریافت انرژی نیز با ۱۸۰ تا ۲۱۰ وات برمترمربع، مربوط به قسمت‌هایی از استان‌های خوزستان و بوشهر و همچنین حاشیه‌ی شمالی دریای خزر می‌باشد که استان‌های گلستان، گیلان و اردبیل در این منطقه قرار دارند. ماه نوامبر، ماه ورود به فصل سرد سال است. همانطور که پیداست

۳۰ تا ۶۰ وات برمترمربع دریافت می کنند.



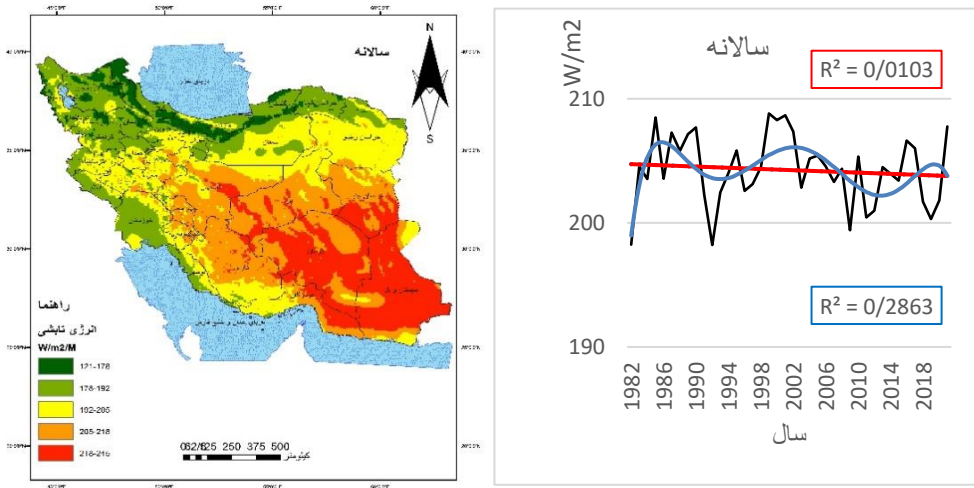




شکل ۳: پهنه‌بندی انرژی تابشی خورشیدی شش ماه دوم سال در ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۱)

میزان تابش را نمایش می‌دهد. همچنین با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه، که در نزدیکی خط استوا قرار گرفته و زاویه تابش در مناطق جنوب و جنوب‌شرقی به طور عمود می‌باشد، ایران در بلند مدت جزء مناطق پرتابش شناخته می‌شود.

شکل (۴) پهنه‌بندی و روند انرژی تابشی خورشید را در بلندمدت در ایران نشان می‌دهد. باتوجه به نمودار، روند خطی حاکم بر مناطق تابشی ایران تا حدودی ثابت بوده اما روند غیر خطی آن ۵ دوره متناوب صعودی و نزولی را به نمایش می‌گذارد. مقدار بالای ضریب تبیین در روند غیر خطی رفتار تصادفی



شکل (۴) پهنه‌بندی انرژی تابشی خالص خورشیدی در بلندمدت ایران (۲۰۲۱-۱۹۸۲)

نتیجه‌گیری

براساس عوامل نزدیکی به خط استوا، وجود دامنه‌های رو به آفتاب و آسمان بدون ابر مناطق جنوب و جنوب شرقی) شامل استان‌های: سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، خراسان جنوبی، هرمزگان، فارس و اصفهان) جزء مناطق پرتابش و مستعد بهره‌برداری هستند. به احتساب اینکه بیشینه تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی به میزان ۲۹۶ وات بر مترمربع در ماه ژوئن و کمینه آن به میزان ۱۰۱ وات بر مترمربع در ماه دسامبر ثبت شده است. فصل تابستان با میزان ۲۷۵ وات بر مترمربع با توجه به شرایط آب و هوایی حاکم پرتابش‌ترین

جهت انجام این پژوهش بعد از اخذ داده‌ها، عملیات پیش‌پردازش بر روی آن‌ها در نرم افزار Anclim انجام شد. در ادامه برای نمایش سری زمانی میزان انرژی تابشی موج کوتاه خورشید در مقیاس ماهانه و فصلی نمودارهای مربوطه در محیط Excel ترسیم شد. سپس با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مدل FLDAS، نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط ArcGis برحسب ماهانه، فصلی و سالانه درازمدت رسم گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که

فصل سال شناسایی شده است. در مقابل کمترین میزان دریافتی به میزان ۱۲۸ وات برمتر مربع در فصل زمستان بوده است. به طور کلی میزان انرژی تابشی در بلندمدت نیز ۲۲۰ وات برمتر مربع در پهنه‌ی ایران می‌باشد. بنابراین در مقایسه با آمار به دست آمده در

مطالعات دیگران، از جمله: خلیل‌زاده (۱۳۹۶) که ایشان نیز متوسط سالانه انرژی تابشی خورشید را در کشور ایران ۱۴۰ تا ۲۲۰ گالری در سانتی‌متر مربع به دست آورده‌اند می‌توان درستی اطلاعات به دست آمده در پژوهش حاضر را تایید نمود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

پایدار شهر تهران
مطالعه موردی: ساختمان مسکونی.

منابع

- خلیل‌زاده ناز. (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل و کاربردهای انرژی خورشیدی در استان آذربایجان غربی. پایان‌نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.
- خوش‌اخلاق و رشن و برنا (۱۳۸۷). مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در شهر یزد. نشریه انرژی ایران. دوره سیزدهم. شماره ۱.
- جلالی مسعود و دعایی ابوالفضل. (۱۳۹۸). بررسی توان‌های اقلیمی شمال غرب کشور جهت استفاده از انرژی خورشیدی. دومین همایش ملی اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی. زنجان: <https://civilica.com/doc/1348968>
- زندى رحمان و صفایی محمدجواد و خسرویان مریم. (۱۳۹۸). پتانسیل‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی مطالعه موردی: شهرستان سبزوار. پایان‌نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد. <https://civilica.com/doc/1017>. 563.
- عساکره حسین. (۱۳۹۶). مبانی پژوهش در آب و هواشناسی. زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان. چاپ اول. فصل دوم.
- علیچانی بهلول و سلیقه محمد و شفائی گیگلو صابر. (۱۳۹۷). نقش انرژی خورشید در توسعه
- محمدزاده شیشه‌گران مریم. (۱۳۹۹). امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنسور از دور و الگوریتم سبال مطالعه موردی: منطقه مغان. پایان‌نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد. اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی
- مرادی اسحق. (۱۳۸۵). تهیه اطلس تابش خورشیدی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره meteosat. رساله برای اخذ مدرک دکتری. تهران: دانشگاه تربیت معلم خوارزمی.
- موغلی مرضیه و نخعی نژاد فرد. (۱۳۹۷). تحلیل آمار فضایی ریزگردهای استان خوزستان. فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران. دوره‌ی جدید. سال شانزدهم. شماره ۵۶.
- Bhattarai, N., Mallick, K., Stuart, J., Vishwakarma, B. D., Niraula, R., Sen, S., and Jain, M.: An automated multi model evapotranspiration mapping framework using remotely sensed and reanalysis data,

- Satellite Data in the Tropics. *Applied Energy* 86. 9.1450-1457
- McNally, A., Arsenault, K., Kumar, S., Shukla, S., Peterson, P., Wang, S., Funk, C., Peters-Lidard, C. D., and Verdin, J. P.: A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications, *Scientific Data*, 4, 170012, <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.12>, 2017.
 - S T Ogunjo, Obafaye A B Rabi. (2020). Solar Energy Potentials in Different Climatic Zones of Nigeria. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*
 - Schimel, D., Famiglietti, J. S., Stephens, G., and Wood, E. F.: The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources, *Water Resources Research*, 53, 2618-2626, <https://doi.org/10.1002/2016wr020175>, 2017.
 - Remote Sensing of Environment, 229, 69-92, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.026>, 2019.
 - Burari F.W& Abdul’Azeez & A.1 & Medugu D. W. (2010). Pelagia Research Library Comparative Studies of Measured and Estimated Values of Global Solar Radiation using a Constructed Reliable Model Pyranometer and Angstrim-Prescott Model at Bauchi. Nigeria.
 - Fayadh M& Abed Al-Dulaimy Ph.D.& Ghazi-Yousif-Mohammed Al-Shahery D.Sc. (2010). Estimation of Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces over haditha. Samara, and Beji. Iraq. *The Pacific Journal of Science and Technology*. Volume 11. Number 1.
 - Knut Stamnes & Jakob J. Stamnes. *Transport of Solar Radiation through the Atmosphere: Aspects Relevant for Health*. (2008). The Norwegian Academy of Science and Letters.
 - Janjai S, P. Pankaew J. Laksanaboonsong. 2009. A Model for Calculating Hourly Global Solar Radiation from