

تحلیل میانگین درازمدت تابش بلند زمینی ایران با داده‌های سنجش از دور

امیدرضا کفایت مطلق^۱

محمود خسروی^۲

سید ابوالفضل مسعودیان^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۲/۳۰

چکیده

خورشید منبع اصلی انرژی و حیات در سطح زمین است و بدون تابش خورشید هیچ فرآیند جوی و اقلیمی در سطح کره زمین وجود نخواهد داشت. حیات گیاهی، جانوری و انسانی در سیاره زمین، وابسته به انرژی خورشید است. تابش موج کوتاه از جهت استفاده آن در فرایندهای زیست‌شناختی بخصوص فتوسنتز و ادامه حیات بشری دارای اهمیت زیادی است و تابش موج بلند زمینی که حاصل پرونداد گرمایش سطح زمین است، در تعادل گرمایی سیاره زمین با توجه به وجود گازهای گلخانه‌ای نقشی بسیار حیاتی دارد. بخشی از تابش موج بلند زمینی^۴ از طریق پنجره‌های جوی خارج می‌شود و بخش عمده‌ای از آن توسط گازهای گلخانه‌ای به صورت تابش بلند برگشتی به سطح زمین بازگشت داده می‌شود که به‌ویژه در طی شب‌ها و فصل زمستان نقش مهمی در تعادل دمایی کره زمین بازی می‌کند. برآورد تابش بلند زمینی کاری دشوار است و سنجش از دور می‌تواند برای ارزیابی آن در مقیاس سیاره‌ای و منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این پژوهش تحلیل میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی ایران به کمک داده‌های مرکز ملی هوا و اقیانوس‌شناسی^۵ می‌باشد. در این پژوهش نخست داده‌های میانگین روزانه OLR در بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ با پوشش مکانی ۱ درجه‌ی قوسی، در مقیاس جهانی از پایگاه ثبت داده‌های آب و هوایی^۶ برداشت شد. سپس بر مبنای نزدیک به ۱ میلیارد یاخته، میانگین بلندمدت OLR جهان و ایران محاسبه گردید. یافته‌ها در مقیاس سیاره‌ای نشان داد که بیشینه‌ی تابش بلند زمینی در منطقه‌ی خاورمیانه و شمال آفریقا با مقادیر بیش از ۲۹۰ وات بر مترمربع رخ می‌دهد که ایران نیز بخشی از آن به حساب می‌آید. از این میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی ایران ۴۳ وات بیش از میانگین بلندمدت جهانی است که مهم‌ترین دلیل آن زاویه‌ی عمود تابش (همجواری با مدار راس‌السرطان) ناچیز بودن پوشش سطحی و خشکی زمین به ویژه در نیمه‌ی جنوبی و شرقی ایران می‌باشد. تحلیل فضایی الگوهای تمرکز نقاط داغ و سرد با استفاده از آماره GI* بر روی ایران نشان داد که نزدیک به ۴۳ درصد از گستره ایران از نظر تابش بلند زمینی لکه‌های سرد (در سطح اطمینان ۹۰ درصد)، ۴۰ درصد لکه‌های داغ (در سطح اطمینان ۹۰ درصد) و ۱۸ درصد خنثی است که متأثر از عرض جغرافیایی و تنوع پوشش زمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: میانگین درازمدت، تابش بلند زمینی، پایگاه ثبت داده‌های آب و هوایی، نقاط داغ، ایران.

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران o.kefayatmotlagh@gmail.com

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (نویسنده مسئول) Khosravi@Gep.usb.ac.ir

۳- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

4- Outgoing Long wave Radiation

5- National Oceanic and Atmospheric Administration

6- Climate Data Record

۱- مقدمه

پیشرفت فناوری ماهواره‌ای در سال‌های گذشته این امکان را برای کارشناسان علوم زمین فراهم نموده است که سیاره‌ی زمین را با دقت بیشتر و به صورت همه‌جانبه مطالعه نمایند. از جمله کارهای مهمی که می‌توان با استفاده از سنجش‌ازدور انجام داد مطالعه تابش خورشید است که مهم‌ترین منبع انرژی برای زمین و عامل اصلی توزیع زمانی و مکانی عناصر دما، فشار، رطوبت و در نتیجه باعث ایجاد ویژگی‌های اقلیمی در مناطق مختلف سطح کره‌ی زمین می‌باشد.

علت این توانایی آن است که گسیل انرژی در سرتاسر طیف الکترومغناطیسی صورت می‌گیرد و نشر و انتقال این انرژی به هر دو حالت موجی و ذره‌ای (تشکیل شده از ذرات ریز انرژی به نام کوانتوم) انجام می‌شود. نظریه‌ی موجی تابش الکترومغناطیس را ماکسول^۱ در اوایل قرن نوزدهم عرضه کرد. بر اساس این نظریه، انرژی خورشید به صورت امواج پیوسته و پی‌درپی منتشر می‌شود. امواج انرژی الکترومغناطیسی طول‌موج‌های متفاوتی از خیلی کوچک تا خیلی بزرگ دارند که طیف الکترومغناطیسی را به وجود می‌آورند. سرعت انتشار این امواج ثابت و برابر با ۳۰۰ هزار کیلومتر در ثانیه (سرعت نور) است. تعداد امواجی که در یک ثانیه از یک نقطه می‌گذرند، بسامد موج نامیده می‌شود. بین بسامد و طول‌موج رابطه‌ی (۱) برقرار است (کاوینی و علیجانی، ۱۳۹۵: ۶۰).

رابطه (۱)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

در این رابطه، λ طول موج برحسب متر؛ c ، سرعت نور برحسب متر در ثانیه و f ، بسامد موج برحسب هرتز است. در اوایل قرن بیستم، ماکس پلانک^۲ نظریه‌ی ذره‌ای تابش خورشیدی را ارائه کرد. طبق این نظریه، انتشار تابش خورشید به صورت بارشی از ذرات ریز صورت می‌گیرد که

1- Maxwell

2- Max Planck

توزیعی یکنواخت بر روی یک سطح ندارند و کم و زیاد می‌شوند، به طوری که در صورت تداوم تابش، به بارش یاد شده حالت موجی می‌دهند. می‌توان گفت که ذرات کوانتا در بستر این موج‌ها حرکت می‌کنند. مقدار انرژی که هر ذره حمل می‌کند از رابطه‌ی وبر^۳ به دست می‌آید:

$$E = hf \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، E ، مقدار انرژی؛ $h = 6.625 \times 10^{-34}$ ثانیه بر ژول (ضریب پلانک) و f ، بسامد موج است. از ترکیب رابطه‌ی ۱ و ۲ رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

رابطه (۳)

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

از رابطه‌ی فوق نتیجه می‌شود که مقدار انرژی تابشی امواج کوتاه (مانند اشعه ایکس و گاما) بیش از امواج بلند (مانند مادون قرمز) است. از این رو اگرچه تابش خورشید در سرتاسر طیف الکترومغناطیس صورت می‌گیرد، اما بیشتر این تابش در محدوده‌ی خاصی از ۰/۲ میکرون تا ۴ میکرون قرار دارد. در مجموع ۹ درصد این انرژی در باند ماورای بنفش، ۴۵ درصد در باند مرئی و ۴۶ درصد در باند مادون قرمز توزیع می‌شود (بوشر^۴، ۱۹۷۵). حداکثر طول موج تابش خورشیدی از قانون جابجایی (انحراف وین^۵)، به‌قرار زیر است:

رابطه (۴)

$$\lambda m = \frac{A}{T}$$

در این رابطه λm ، طول موج حداکثر تشعشع برحسب میکرون؛ A ، عددی ثابت و برابر با ۲۸۹۸ و T ، دمای سطح خارجی جسم برحسب کلوین است. از این رو حداکثر طول موج تابش خورشیدی (با میانگین دمای سطحی ۶۰۰۰ کلوین) حدود ۰/۴۸ میکرون و حداکثر طول موج بلند زمینی (با میانگین دمای سطحی ۳۰۰ کلوین) حدود ۹/۷ میکرون

3- Weber

4- Boucher

5- Wein

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۳)

تحلیل میانگین درازمدت تابش بلند زمینی ایران ... / ۲۰۱

روندی مشاهده نشده است.

میانگین روزانه دما طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۷ دارای روند افزایشی بوده است. پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که از دهه ۵۰ میلادی تاکنون با توجه به پیوند نیرومند ساعات آفتابی و تابش و عملکرد متضاد یکدیگر به وضعیت بارش، ابرناکی در دشت‌های کانادا نقش عمده‌ای در تابش دریافتی سطح زمین دارد. از سویی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب کاهش ابرناکی و از سوی دیگر افزایش غلظت هواویزها باعث افزایش ابر و ایجاد بارندگی می‌شود (کاتفورس و جودیچ، ۲۰۰۷).

برخی از پژوهشگران تابش بلند زمینی را به عنوان یکی از فرایندهای آماده‌سازی زلزله شناختند و معتقدند که پیش از رخداد زلزله، تابش بلند زمینی افزایش چشمگیری دارد (اوزونو و همکاران، ۲۰۰۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۰؛ ونکاتان و همکاران، ۲۰۱۴). در این راستا، چاکرابورتی و همکاران^۹ (۲۰۱۸) در پژوهشی اثر تابش بلند زمینی بر روی زلزله ۷/۳ ریشتری ۱۲ می ۲۰۱۵ در منطقه نپال را بررسی کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که میانگین تابش بلند زمینی ماه می به‌طور چشمگیری افزایش یافته است.

شرایط لحظه‌ای و بلندمدت جوی در یک منطقه، اثر قابل توجهی در نوع و مقدار تابش حقیقی خورشید در آن منطقه دارد. هوای ابری باعث می‌شود که مقدار چشمگیری از تابش حقیقی خورشید به خارج از جو منعکس گردد. ذرات آب، بخار و دود، همچنین ذرات معلق دیگر در هوا باعث جذب یا پراکنده شدن تابش می‌گردند. در روزهای آفتابی ۱۵ درصد اشعه خورشید به‌صورت پراکنده به زمین می‌رسد، اما در روزهای ابری این مقدار ممکن است به ۱۰۰ درصد هم برسد (سنجل، ۱۳۸۴؛ مرادی، ۱۳۸۴). تابش کل خورشیدی پارامتر هواشناسی است که بر بسیاری از فرآیندهای آب و خاک مانند رشد گیاهان، تبخیر و ذوب

خواهد بود. محدوده‌ی تابش بلند زمینی، بیرون از باند مرئی است و در نتیجه با چشم انسان دیده نمی‌شود. بیشتر انرژی بلند زمینی در محدوده‌ی ۴ تا ۱۰۰ میکرون (طول موج بلند)، منتشر می‌شود (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۹۵: ۶۵-۵۹).

اندازه‌گیری بلندمدت تابش بلند زمینی برای درک کمی از شرایط آب و هوایی از نظر بودجه انرژی تابشی در مدل‌های تعادل انرژی و مدل‌های گردش عمومی ضروری است (کرولی و نورس، ۱۹۹۱).

تابش بلند زمینی به‌طور گسترده‌ای به عنوان یک محرک برای انتقال گرما و بارش استوایی، به‌ویژه در تشخیص و درک تغییرات درون فصلی به درون سالانه و موسمی استوایی مورد استفاده قرار گرفته است (چلیاه و آرکین، ۱۹۹۲؛ ژو و آرکین، ۱۹۹۶؛ چپودی و هاریسون، ۲۰۱۰). تابش کلی به تلاطم^{۱۰} جرم جو در بالای نقاط اندازه‌گیری و تمرکز ذرات و مواد آلاینده بستگی دارد. تابش کلی خورشید توسط شبکه‌ای از ایستگاه‌های زمینی در سراسر دنیا جمع‌آوری می‌شود (الاوادی، ۲۰۰۵). پینکر و همکاران در سال ۲۰۰۵ تغییر ناچیزی از تابش در سطح زمین و تغییرات روشنی در روند، روی سطح اقیانوس مشاهده کردند که نشان‌دهنده‌ی افزایش ناچیز تابش در مقیاس جهانی در سطح کره زمین بود. استانهیل و کوهن^{۱۱} (۲۰۰۵) نشان دادند که روند تغییرات ساعات آفتابی در آمریکا، شواهد کمی از معنی‌داری در انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین در قرن بیستم دارد. آن‌ها نتیجه گرفتند که وضعیت ابرناکی و هواویزها^{۱۲} به‌گونه‌ای است که تحلیل آن‌ها، اطلاعات بیشتری از این متغیرها را نیاز دارد. تغییرات انرژی خورشیدی در دشت‌های کانادا در تابش خورشیدی روزانه از سال ۱۹۵۰ تا حال دچار روند کاهشی بوده است درحالی‌که در ساعات آفتابی روزانه

1- Crowley & North

2- Chelliah & Arkin

3- Xie & Arkin

4- Chiodi & Harrison

5- Turbulence

6- Al-Awadhi

7- Stanhill and Cohen

8- Aerosol

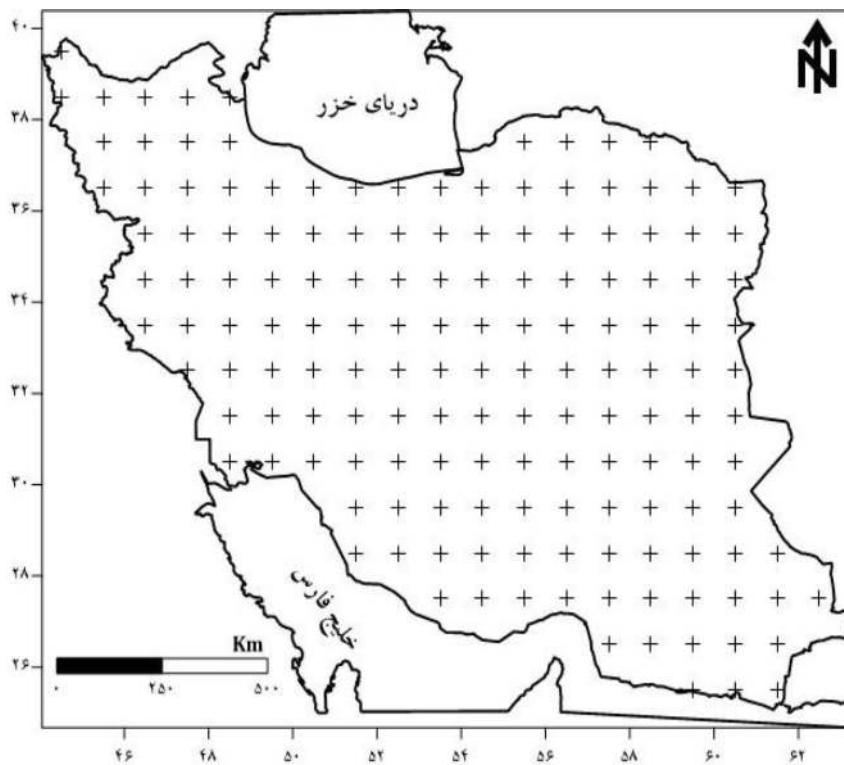
9- Cutforth & Judiesch

10- Ouzounov et al

11- Chen et al

12- Venkatanathan & Natyaganov

13- Chakraborty et al



نگاره ۱: پراکنش مکانی داده‌های
 مورد استفاده با قدرت تفکیک ۱
 درجه‌ی قوسی در ایران (کفایت مطلق
 و خسروی، ۱۳۹۷)

از ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ میلادی محاسبه کرده و با روند سالانه جهان راستی‌آزمایی کردند. یافته‌های این پژوهش در مقیاس سیاره‌ای نشان داد که روند تابش بلند زمینی کره زمین در هر دهه ۰/۴ وات بر متر مربع در حال افزایش است. در حالی که روند تابش بلند زمینی ایران در هر دهه بیش از ۳ برابر روند جهانی است بطوری که به ازای هر دهه ۱/۴ وات بر متر مربع افزایش می‌یابد. این افزایش چشمگیر ناشی از زاویه‌ی عمود تابش (همجواری با مدار راس السرطان)، ناچیز بودن پوشش سطحی و خشکی زمین در ایران زمین می‌باشد. همچنین یافته‌های ایشان نشان داد که روند افزایش تابش بلند زمینی ایران در دوره دوم (۲۰۱۶-۲۰۰۲) نسبت به دوره نخست (۲۰۰۲-۱۹۸۷) دو برابر میانگین جهانی می‌باشد. بطوری که میانگین تابش بلند زمینی ایران در دوره نخست ۲۶۴/۸۲ وات بر متر مربع و در دوره دوم ۲۶۶/۷۸ وات بر متر مربع است که روند چشمگیری را نشان می‌دهد. برخی از پژوهشگران از آن به‌عنوان یکی از پارامترهای الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده کردند

برف اثر می‌گذارد. اما با وجود اهمیت تابش خورشیدی، اندازه‌گیری آن به‌طور محدود انجام می‌شود (سبزی پرور، ۱۳۸۴). در ایران متأسفانه ایستگاه تابش خورشیدی به تعداد کافی وجود ندارد و در برخی موارد اندازه‌گیری‌ها از کیفیت مطلوب برخوردار نیست و تفاوت زیاد عرض جغرافیایی در ایران عامل مهمی در تفاوت قابل ملاحظه تابش خورشیدی در گستره کشور می‌باشد (صفایی و همکاران، ۱۳۸۴). میزان تابش کل رسیده به روی یک سطح افقی در ایران اندازه‌گیری شده، اما میزان تابش پراکنده یا مستقیم به‌صورت اندازه‌گیری در سطح کشور موجود نیست (ابراهیم پور و همکاران، ۱۳۸۱). کوچکی و همکاران (۱۳۸۰) با استفاده از مدل گردش عمومی دریافتند که با این شرایط اقلیمی تا سال ۱۴۰۰ خورشیدی میزان تابش ورودی ۲/۲ درصد افزایش می‌یابد. در ایران پژوهش جامعی بر روی تابش بلند زمینی انجام نشده است. تنها پژوهش جامعی که انجام شده می‌توان به کار کفایت مطلق و خسروی (۱۳۹۷) اشاره کرد که روند سالانه تابش بلند زمینی ایران را طی ۳۰ سال

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (پژ)

تحلیل میانگین درازمدت تابش بلند زمینی ایران ... / ۲۰۳

بلندمدت تابش بلند زمینی در مقیاس سیاره‌ای برای محدوده کشور ایران استخراج گردید. سری ماهواره‌های نوآ توسط سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و جوی ایالات متحده آمریکا به فضا پرتاب شده‌اند. ماهواره نوآ-۱۹ در ۶ فوریه ۲۰۰۹ توسط راکت دلتا ۲ از پایگاه نیروی هوایی وندنبرگ به فضا پرتاب شد و در هر شبانه‌روز دو بار به دور زمین در یک مدار قطبی می‌چرخد (تارنمای سازمان هوا و اقیانوس‌شناسی ملی آمریکا، نوآ). این ماهواره مدار قطبی در هر شبانه روز ۱۴ بار زمین را دور می‌زند و امکان دوبار مشاهده کامل زمین در شبانه روز را فراهم می‌کند. این ماهواره دارای ۷ سنجنده و ابزار اندازه‌گیری می‌باشد و داده‌های مربوط به جو زمین از جمله تابش و اطلاعات زیست‌محیطی را گردآوری می‌کند (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۳). از آنجایی که هدف از پژوهش کنونی تحلیل میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی ایران با داده‌های نوآ می‌باشد، نخست داده‌های میانگین روزانه OLR در بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ به مدت ۱۳۸۸۰ روز در مقیاس جهانی با تفکیک ۱ درجه‌ی قوسی از پایگاه ثبت داده‌های آب و هوایی (CDR) برداشت شد. سپس بر مبنای نزدیک به ۱ میلیارد یاخته، میانگین بلندمدت OLR جهانی و ایران محاسبه شد. با توجه به این که داده‌های بکار گرفته شده خارج از گستره‌ی ایران را نیز در برمی‌گرفت، به کمک تابع این پلیگون^۲ در نرم‌افزار Matlab، تنها داده‌هایی که درون مرز جغرافیایی ایران را پوشش می‌داد، استخراج گردید. نگاره (۱) پراکنش مکانی داده‌های مورد استفاده با قدرت تفکیک ۱ درجه‌ی قوسی در ایران را نشان می‌دهد. تابش بلند زمینی، به دما و گسیلابی سطح آن وابسته است و از رابطه (۵) برآورد می‌شود.

$$OLR = \epsilon_0 \sigma T_0^4 \quad \text{رابطه (۵)}$$

ϵ_0 ضریب گسیلندگی سطحی (معیاری از قابلیت انتشار جسم که برای اجسام سیاه کامل، یک و برای اجسام

(رشید نیقی، ۱۳۹۳؛ کندچینی، ۱۳۹۵).

برخی دیگر از پژوهشگران از آن به عنوان مؤلفه‌ای از شار گرمایی جهت شناسایی چشمه‌های ریزگرد بهره گرفتند (بورزو، ۱۳۹۳). همچنین در پژوهشی موقری (۱۳۹۴) از آستانه بهینه تابش بلند زمینی ۲۶۰ وات بر مترمربع جهت شناسایی ابرهای همرفتی عمیق، در منطقه همگرایی میان حاره‌ای استفاده نموده است. مقادیر کمتر از این آستانه نشان‌دهنده منطقه بیشینه همرفت و منطبق بر کمربند همگرایی میان حاره‌ای می‌باشد. با توجه به اهمیت اثر تغییر اقلیم بر نوسانات تابشی کوتاه و بلند سطح زمین و ارتباط آن با اقلیم منطقه، تحقیق روی این مسئله، لازم به نظر می‌رسد. از آنجایی که این موضوع در کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته است و بیشتر پژوهشگران به یافتن ضرایب و معادلات پیرامون دستیابی به برآورد تابش دریافتی خورشیدی توسط پارامترهای دیگر هواشناسی پرداخته‌اند، توجه به کاربردی شدن مطالعات پراکنده قبلی و پژوهش روی تغییرات تابش بلند زمینی ایران و جهان ضروری به نظر می‌رسد.

تابش بلند زمینی بخش مهمی از بودجه انرژی زمین به حساب می‌آید و تابش کل بازتابی از سطح زمین، اقیانوس و جو به فضا را شامل می‌شود. این تابش آینه‌ی پوشش سطحی است و بر حیات زیست‌بوم‌های گیاهی و حیوانی نقش چشمگیری دارد. برای شناخت بیشتر آن، در این پژوهش به پرسش‌های زیر پاسخ داده شده است. میانگین بلندمدت تابش ایران نسبت به میانگین جهانی چگونه است؟ بیشینه و کمینه‌ی تابش بلند زمینی جهان و ایران کجاست؟ میانگین کدام عرض جغرافیایی بیشینه است؟ الگوی فضایی پراکنش تابش بلند زمینی چگونه است؟ اصلی‌ترین عوامل پدیدآورنده‌ی تابش بلند زمینی کدامند؟

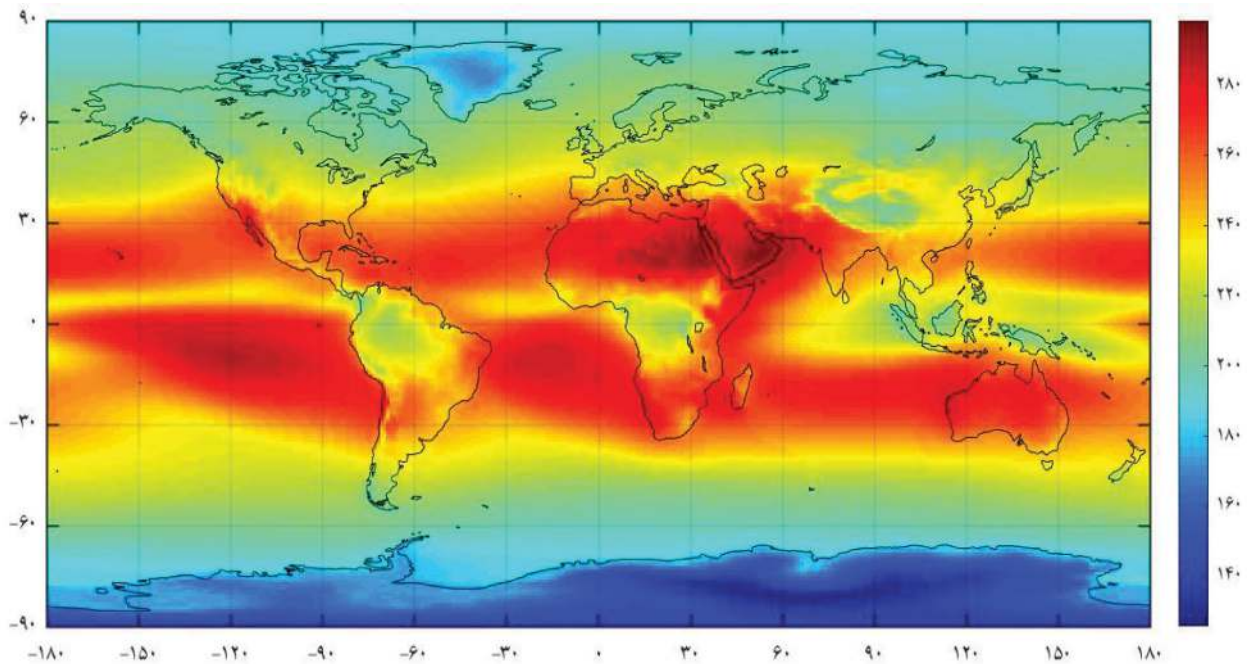
۲- داده‌ها و روش‌ها

۲-۱- داده‌ها

داده‌های این مقاله از سنجنده تخمین‌گر تابش مادون‌قرمز با پوشش بالا (HIRS) ماهواره نوآ برای تحلیل میانگین

1- <https://www.ncdc.noaa.gov>

2- Inpolygon



نگاره ۲: میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی بر حسب وات بر مترمربع در بازه‌ی ۱۹۷۹-۲۰۱۶

می‌باشد. در حالی که مقادیر پایین انحراف معیار، خوشه‌ای بودن مقادیر غیر متشابه را نشان می‌دهد. در صورتی که ضریب G ، نزدیک صفر باشد نشان‌دهنده‌ی حداقل رابطه مکانی است. پارامترهای آماری مکانی مهم‌ترین ابزاری هستند که در توصیف و تجزیه و تحلیل اشکال مختلف جغرافیایی بکار می‌روند. به علاوه، از پارامترهای آماری مکانی می‌توان برای توصیف الگوهای مکانی حاصل از مجموعه اشکال جغرافیایی بهره جست و آن‌ها را با الگوهای سایر مناطق مقایسه نمود (گیتس و اورد^۵؛ اولند^۶، ۱۹۸۸).

این تحلیل نشان می‌دهد که در چه مناطقی خوشه‌بندی مکانی رخ داده است. در مواقعی که هدف درک دلایل اصلی تشکیل خوشه‌بندی باشد، توجه به مکان آنها بسیار مهم است. با استفاده از آمار عمومی G می‌توان نقاط داغ و سرد کل منطقه مورد مطالعه را تفکیک کرد، نقاط داغ و سرد به تمرکزهای مکانی معروف هستند. این تحلیل بیان می‌کند که در چه موقعیتی عوارض با ارزش خوشه‌بندی مکانی بالا یا پایین وجود دارند. یک عارضه با ارزش بالا جالب توجه است

خاکستری، کمتر از یک است. خورشید به عنوان جسم سیاه^۱ در نظر گرفته می‌شود اما زمین و پوشش روی آن جسم خاکستری است و مقدار گسیلندگی در آن بین $0/6$ تا $0/9$ متغیر است؛ T_0 ، دمای سطحی و σ ، ثابت استفان بولتزمن^۲ است که برابر با $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W.m^{-2}.^{\circ}K^{-4}$ می‌باشد (فلاح‌قاهری، ۱۳۹۰).

۲-۲- تحلیل شاخص G_i^* یا لکه‌های داغ^۳

یکی از شاخص‌های خود همبستگی فضایی شاخص G_i^* (جی استار) می‌باشد. این شاخص نقاط توزیع داده‌های مکان محور را با توجه به نوع داده و تحلیل‌های همبستگی فضایی به صورت عدد نمره استاندارد نمایش می‌دهد (بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳). برای هر پدیده جغرافیایی، مطالعه الگوهای مکانی و فرایندهای مکانی مربوطه لازم است. مقدار بالای انحراف معیار^۴ به معنای خوشه‌ای بودن مقادیر مشابه

۱- جسمی که تمام انرژی تابیده به خود را جذب و دوباره گسیل می‌کند.

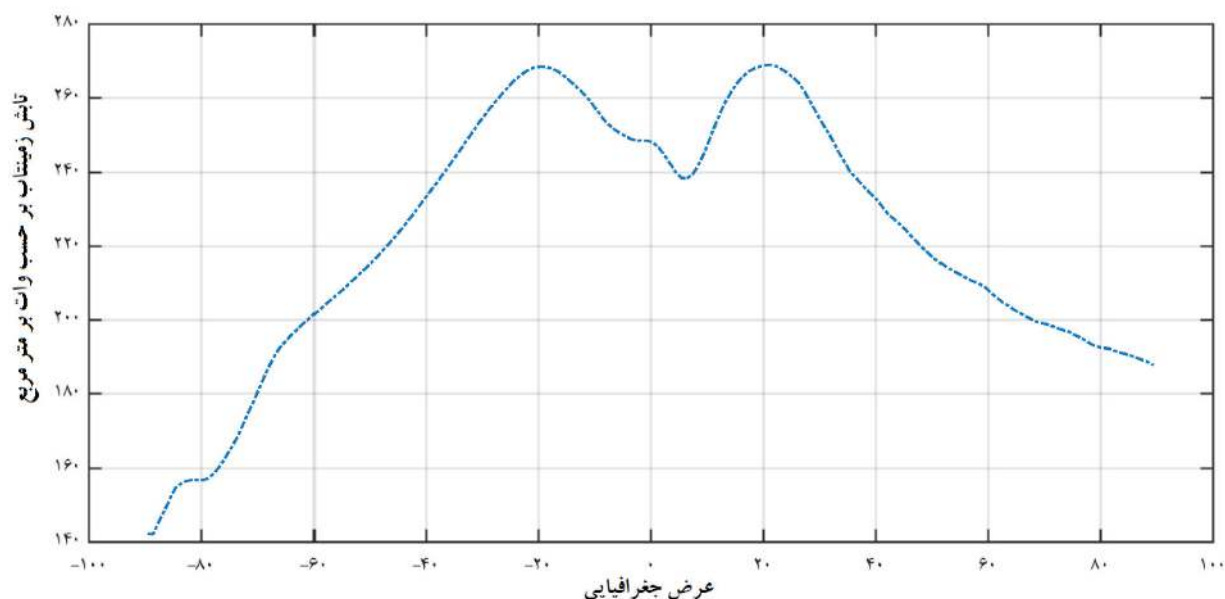
2- Stefan Boltzmann

3- Hot Spot

4- Z-score

5- Getis and Ord

6- Odland



نگاره ۳: میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی در عرض‌های مختلف جغرافیایی

۳- نتایج و بحث

مقدار تابش دریافتی تا اندازه‌ای به عرض جغرافیایی، ابرناکی، شفافیت جو، بخار آب جو و سپیدایی وابسته است. اثر مجموعه این عوامل تا حد زیادی در تعداد ساعات آفتابی خود را نشان می‌دهد. از آنجایی که کشور ایران در منطقه‌ی استوایی و کمربند رأس‌السرطان قرار دارد، آفتاب‌گیری بیشتر متأثر از عرض جغرافیایی و ابرناکی است. از این رو بسیاری از مناطق ایران در سال تقریباً ۳۰۰ روز آفتابی دارند و زمین‌های بایر فراوانی برای نصب تجهیزات خورشیدی جهت استفاده از این انرژی وجود دارد، لذا برآورد تابش خورشیدی در مناطق مختلف کشور راهگشای استفاده هر چه بهتر از این انرژی پاک و فناپذیر خواهد بود. بررسی پژوهشگران داخلی بر روی تابش بلند زمینی بسیار ناچیز و در مقیاس محلی و با بازه‌ی زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد. از این رو برای نخستین بار در این پژوهش میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی ایران بررسی شده است.

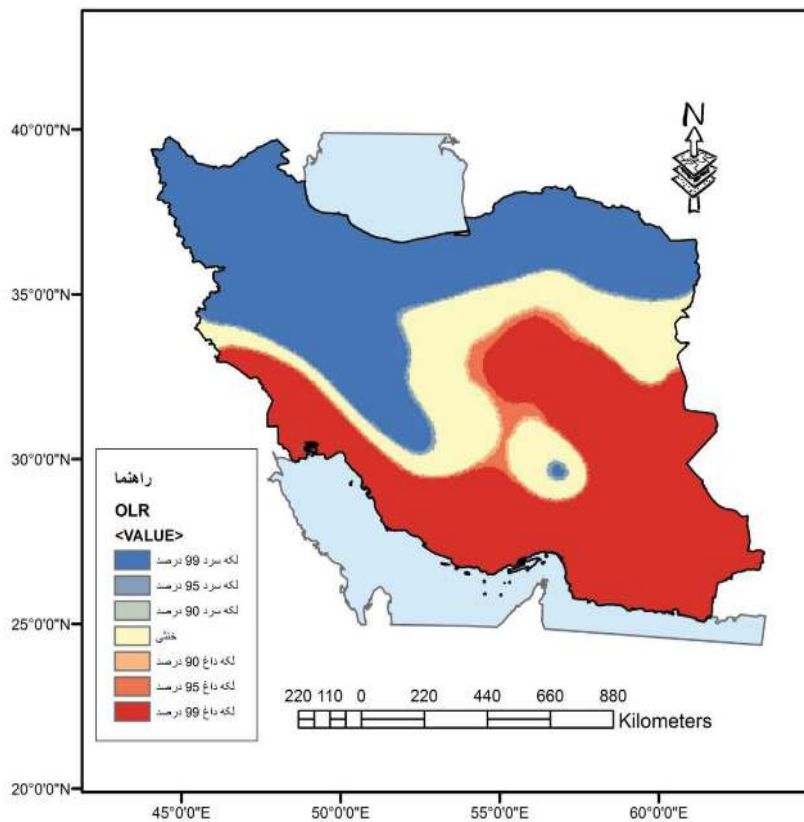
نگاره ۲ میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی سیاره‌ای در بازه‌ی ۱۹۷۹/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱۲/۳۱ به مدت ۱۳۸۸۰ روز را نشان می‌دهد. به‌طور کلی بیشینه‌ی تابش بلند زمینی بین

اما ممکن است از نظر آماری معنادار نباشد، به این دلیل که یک نقطه داغ معنادار آماری باید گذشته از داشتن ارزش بالا، توسط دیگر عوارض با ارزش بالا احاطه شده باشد، این امر توسط احتمال تصادفی بودن و انحراف معیار بیان می‌شود. آمار عمومی G از رابطه‌ی (۶) به دست می‌آید. در این رابطه x_j ارزش عارضه j می‌باشد، w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j است و n تعداد کل عوارض است، میزان انحراف معیار برابر با S می‌باشد (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۷-۷۸).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۸)}$$



نگاره ۴: توزیع فضایی تابش بلند زمینی ایران بر اساس تحلیل لکه‌های داغ

سطحی متفاوتی نیز دارند. از این رو طبیعی است که اختلاف بین بالاترین و پایین‌ترین تابش بلند زمینی در کره‌ی زمین نزدیک به ۱۷۳ وات بر مترمربع باشد. البته گفتنی است که این اختلاف بیشتر متأثر از دماست تا پوشش سطحی. چرا که در رابطه‌ی تابش بلند زمینی، دما با توان چهارم نقش دارد.

نگاره (۳) میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی در عرض‌های مختلف جغرافیایی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نیمکره‌شمالی ۵۰ وات بیش از نیمکره‌ی جنوبی تابش بلند دارد که یکی از دلایل اصلی آن وجود پهنه‌های وسیع یخ در قطب جنوب می‌باشد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که در عرض‌های جغرافیایی ۲۰ درجه دو نیمکره، به دلیل وجود مدار رأس‌السرطان و رأس‌الجدی (عمود بودن زاویه تابش)، تابش بلند زمینی بیشینه و در قطبین کمینه است.

نگاره ۴ توزیع فضایی تابش بلند زمینی ایران بر اساس

عرض جغرافیایی ۳۰ درجه‌ی شمالی و جنوبی است و بخصوص در خاورمیانه و شمال آفریقا است که ناشی از زاویه تابش و پوشش سطحی زمین می‌باشد.

یافته‌ها در مقیاس جهانی نشان داد که در طول دوره‌ی مورد مطالعه میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی ۲۲۲ وات بر مترمربع می‌باشد. حال آنکه مناطق یاد شده بیش از ۲۸۰ وات بر مترمربع بازتابش دارند. همچنین یافته‌ها نشان داد که بیشینه‌ی تابش بلند زمینی در بیابان ربع‌الخالی (جنوب غرب عربستان) ۲۹۹ وات بر مترمربع و کمینه‌ی آن در کوه‌های یخی قطب جنوب به مقدار ۱۲۶ وات بر مترمربع می‌باشد. این دو نقطه از سطح زمین به ترتیب جزء گرم‌ترین و سردترین مناطق کره‌ی زمین به شمار می‌روند و پوشش

۱- در اینجا منظور میانگین حسابی است. در حالی که میانگین وزنی تابش بلند زمینی ۲۳۷ وات بر متر مربع می‌باشد. این افزایش از آن جهت است که یاخته‌های عرض‌های پایین مساحت بیش تری از یاخته‌های عرض‌های بالا دارند از این رو میانگین وزنی از میانگین حسابی بزرگتر خواهد شد.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (پژوه)

تحلیل میانگین درازمدت تابش بلند زمینی ایران ... / ۲۰۷

جدول ۱: گستره‌ی تابش بلند زمینی ایران بر اساس تحلیل لکه‌های داغ

ردیف	توصیف	مساحت	درصد
۱	لکه‌های داغ بالای ۹۹٪	۶۲۰۳۹۱	۳۷/۶۴
۲	لکه‌های داغ ۹۹٪ - ۹۵٪	۲۱۱۰۳	۱/۲۸
۳	لکه‌های داغ ۹۵٪ - ۹۰٪	۸۰۶۰	۰/۴۹
۴	خشتی	۲۹۱۱۹۹	۱۷/۶۷
۵	لکه‌های سرد ۹۵٪ - ۹۰٪	۱۹۲۳۵	۱/۱۷
۶	لکه‌های سرد ۹۹٪ - ۹۵٪	۴۳۳۰۶	۲/۶۳
۷	لکه‌های سرد بالای ۹۹٪	۶۴۴۹۰۲	۳۹/۱۳

۴- نتیجه‌گیری

در این نوشتار برای بررسی میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی جهان و ایران، داده‌های متوسط روزانه‌ی تابش بلند زمینی ماهواره‌ی NOAA-HIRS در فاصله‌ی زمانی ۱۹۷۹/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱۲/۳۱ با تفکیک مکانی ۱ درجه‌ی قوسی از پایگاه ثبت داده‌های آب و هوایی برداشت شد. پس از پردازش داده‌ها، بر مبنای نزدیک به ۱ میلیارد یاخته، میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی جهان و ایران محاسبه گردید. یافته‌ها در مقیاس جهانی نشان داد که میانگین تابش بلند زمینی کره‌ی زمین ۲۲۲ وات بر مترمربع می‌باشد و عرض جغرافیایی ۲۰ درجه‌ی شمالی و جنوبی کمربند بیشینه‌ی تابش بلند کره‌ی زمین می‌باشند چراکه در این کمربند متوسط تابش بلند به ۲۷۰ وات بر مترمربع می‌رسد که می‌توان آن را ناشی از همجواری با مدار رأس السرطان و راس‌الجدی (عمود بودن زاویه‌ی تابش) دانست. همچنین یافته‌ها بر روی ایران نشان داد که میانگین تابش بلند زمینی ایران (۲۶۵ وات بر مترمربع) ۱۹ درصد بیش از میانگین بلندمدت جهانی است.

هرچند که بیشینه‌ی تابش بلند زمینی جهان در بیابان ربع‌الخالی عربستان به مقدار ۲۹۹ وات بر مترمربع می‌باشد اما ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی و پوشش سطحی ناچیز در شمار کشورهای پربازتاب به حساب می‌آید.

تحلیل لکه‌های داغ در بازه‌ی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ میلادی را نشان می‌دهد. در نگاه نخست، پیوند نیرومندی میان تابش بلند و دما دیده می‌شود چراکه تابش بلند زمینی متأثر از دما و پوشش سطحی زمین است که این پیوند در نگاره ۴ به‌طور آشکار نشان داده شده است.

یافته‌ها در مقیاس منطقه‌ای نشان داد که میانگین بلندمدت تابش بلند زمینی ایران ۲۶۵ وات بر مترمربع می‌باشد که نسبت به میانگین جهانی نزدیک به ۴۳ وات بر مترمربع (۱۹ درصد) بیش‌تر است. همچنین یافته‌ها نشان داد که بیشینه تابش بلند زمینی در غرب منطقه‌ی پُشتی شهرستان کنارک در استان سیستان و بلوچستان به مقدار ۲۸۸/۵۷ وات بر مترمربع و کمینه‌ی آن در کوه‌های آرات در شمال غرب ایران نزدیک به ۲۳۵ وات بر مترمربع است.

این ۵۰ وات بر مترمربع اختلاف، ناشی از تفاوت عرض جغرافیایی و ارتفاع دو مکان یادشده است که نقش دما را به‌طور چشمگیری در میزان بلند زمینی نشان می‌دهد.

با توجه به رابطه تابش بلند زمینی (رابطه ۳)، که نقش دما را با توان چهارم نسبت به ضریب گسیلندگی که نشان‌دهنده‌ی پوشش سطحی است نشان می‌دهد، می‌توان درک بهتری از یافته‌های فوق به دست آورد. بر اساس روش تحلیل نقاط داغ در سطح ۹۹ درصد نیز ایران به ۳ کمربند تقسیم شد.

کمربند پایینی ۳۷، میانی ۱۸ و بالایی ۴۰ درصد گستره‌ی ایران را تشکیل می‌دهند که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی لکه‌های داغ، خشتی و سرد می‌باشد.

جدول ۱ نیز گستره‌ی تابش بلند زمینی ایران بر اساس تحلیل لکه‌های داغ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بیشترین گستره‌ی ایران را لکه‌های سرد در سطح ۹۹ درصد پوشش می‌دهد که نزدیک به ۴۰ درصد است و پس از آن لکه‌های گرم در سطح ۹۹ درصد با ۳۷ درصد و مناطق خشتی با ۱۸ درصد قرار دارد که به‌طورکلی این سه منطقه نزدیک به ۹۵ درصد گستره‌ی کشور را پوشش می‌دهد.

به طوری که مناطق وسیعی از نیمه‌ی جنوبی کشور با تابش بلند بیش از ۲۸۰ وات بر مترمربع جزء مناطق مازاد انرژی به حساب می‌آید و در گرمایش محیطی نقش بسزایی دارد. تحلیل فضایی الگوهای تمرکز نقاط داغ و سرد، سطح بالای ۹۰ درصد، نشان داد که نزدیک به ۴۰ درصد از گستره ایران لکه‌های داغ، ۱۷ درصد خنثی و ۴۳ درصد لکه‌های سرد می‌باشد که الگوی آن متأثر از تفاوت در عرض جغرافیایی و تنوع پوشش زمینی متفاوت می‌باشد. یافته‌های این پژوهش نتایج برآورد موقری (۱۳۹۴) در استفاده از تابش بلند زمینی در تعیین آستانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای را تأیید می‌کند.

منابع و مأخذ

- ۱- ابراهیم‌پور، معرفت، نیری؛ عبدالسلام، مهدی، هادی، ۱۳۸۸، ارائه یک رابطه جدید برای تخمین میزان تابش کل در اقلیم‌های مختلف ایران، مجله علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۵، صص ۲۲-۱.
- ۲- برزو، فرزانه، ۱۳۹۳، بررسی تغییرات زمانی و مکانی شار گرمایی در ایران به منظور شناسایی چشمه‌های ریزگرد، حسن ذوالفقاری، رساله‌ی دکتری رشته آب و هواشناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، سال ۱۳۹۳.
- ۳- بلیانی، حکیم‌دوست؛ یدا...و یاسر، ۱۳۹۳، اصول و مبانی پردازش داده‌های مکانی (فضایی) با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی، انتشارات آزادپیمان، تهران، صص ۳۸۴.
- ۴- رشید نیقی، علی، ۱۳۹۳، تخمین مکانی و زمانی توده گیاهی و تبخیر- تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، امیر حسین ناظمی و علی اشرف صدرالدینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، سال ۱۳۹۳.
- ۵- سبزی پرور، علی اکبر، ۱۳۸۴، مدل‌سازی تابش کشور با استفاده از داده‌های زمینی، اطلاعات ماهواره‌ای و مدل‌های فیزیکی، طرح سازمان هواشناسی کشور، صص ۱۸۱.
- ۶- سنجل، یونس، ۱۳۸۴، گرمایش و سرمایش رویکردی نو، ترجمه کوروش امیر اصلانی، شرکت تولیدی و صنعتی انرژی کشور، تهران، صص ۳۳-۲۷.
- ۷- صفایی، خلجی اسدی، تقی‌زاده، جیلاوندی، طالقانی، دانش؛ بتول، مرتضی، حبیب، افسانه، گیتی، ماندانا، ۱۳۸۴، برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلسی تابشی آن، مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۳۳، صص ۳۴-۲۷.
- ۸- فاطمی، رضائی؛ سید باقر و یوسف، ۱۳۹۳، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، تهران، چاپ چهارم، صص ۲۹۶.
- ۹- فلاح‌قاهری، غلام‌عباس، ۱۳۹۰، اصول و مبانی و هواشناسی، انتشارات پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد، چاپ اول، صص ۶۲۶.
- ۱۰- کاویانی، علیجانی؛ محمدرضا و بهلول، ۱۳۹۵، مبانی آب‌وهواشناسی، انتشارات سمت، تهران، چاپ نوزدهم، صص ۶۰۰.
- ۱۱- کندچینی، ملیکا، ۱۳۹۵، برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره لندست در استان گیلان، غلام‌عباس فلاح‌قاهری و کاظم علی‌آبادی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه حکیم سبزواری، سال ۱۳۹۵.
- ۱۲- کفایت مطلق، خسروی؛ امید رضا و محمود، ۱۳۹۷، واکاوی روند سالانه تابش زمینتاب ایران و جهان با داده‌های دورسنجی، دومین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی ایران، ۱۹ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷، دانشگاه فردوسی مشهد، مجموعه مقالات کنفرانس.
- ۱۳- کوچکی، نصیری محلاتی، شریفی، زند، کمالی؛ علی‌رضا، مهدی، حمیدرضا، اسکندر، غلامعلی، ۱۳۸۰، شبیه‌سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در مشهد، مجله بیابان، جلد ۶، شماره ۲، صص ۱۲۷-۱۱۷.
- ۱۴- مرادی، ساسان، ۱۳۸۴، تنظیم شرایط محیطی، تهران، انتشارات آشیان، صص ۱۹۲.
- ۱۵- محمدیاری، توکلی، اقدر؛ فاطمه، مرتضی، حسین، ۱۳۹۵، ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ کشاورزی با روش‌های زمین‌آمار، فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره‌ی ۴، صص ۸۳-۷۱.
- ۱۶- موقری، علیرضا، ۱۳۹۴، بررسی تغییر مکانی پدیده

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

تحلیل میانگین درازمدت تابش بلند زمینی ایران ... / ۲۰۹

earthquake. Current Science, 1291-1297.

27. Getis, A. and Ord, J. K(1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics, Geography analysis 24(3):189-207.

28. Odland, J(1988). Spatial autocorrelation. Sage, Newbury Park.

29. Stanhill, G., Cohen, S(2005). Solar Radiation Changes in the United States during the Twentieth Century, Journal of climate, Vol. 18, pp. 1503-1512.

30- Xie, P., & Arkin, P. A. (1996). Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. Journal of climate, 9(4), 840-858.

31. http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page.

32. <https://www.ncdc.noaa.gov>.

33. <https://www.ncdc.noaa.gov/cdr>.

منطقه همگرایی میان حاره‌ای و نوسان مادن-جولین برگردش عمومی جو منطقه و اقلیم ایران، محمود خسروی و بهلول علیجانی، رساله‌ی دکتری رشته آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، سال ۱۳۹۴.

17. Al-Awadhi, S.A(2005). in regime and transfer function models of global solar radiation in Kuwait, Environmental modeling & Software 20, pp.1167-1174.

18. Boucher, K(1975), Global Climates. New York: Jun Wiley & Sons.

19. Chakraborty, S., Sasmal, S., Chakrabarti, S. K., & Bhattacharya, A. (2018). Observational signatures of unusual outgoing longwave radiation (OLR) and atmospheric gravity waves (AGW) as precursory effects of May 2015 Nepal earthquakes. Journal of Geodynamics, 113, 43-51.

20- Chelliah, M., & Arkin, P. (1992). Large-scale interannual variability of monthly outgoing longwave radiation anomalies over the global tropics. Journal of Climate, 5(4), 371-389.

21. Chen, Y., Shen, X., Jing, F., & Xiong, P. (2010). Application of outgoing longwave radiation data for earthquake research. In 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (Vol. 2, pp. 46-48). IEEE.

22- Chiodi, A. M., & Harrison, D. E. (2010). Characterizing warm-ENSO variability in the equatorial Pacific: An OLR perspective. Journal of Climate, 23(9), 2428-2439.

23- Crowley, T. J., & North, G. R. (1991). Paleoclimatology.

24. Cutforth, H. W., and Judiesch, D(2007). Long-term changes to incoming solar energy in Canadian prairie, Agricultural and Forest Meteorology, 145, pp.167-175.

25. Ouzounov, D., Liu, D., Chunli, K., Cervone, G., Kafatos, M., & Taylor, P. (2007). Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes. Tectonophysics, 431(1-4), 211-220.

26. Venkatanathan, N., & Natyaganov, V. (2014). Outgoing longwave radiations as pre-earthquake signals: preliminary results of 24 September 2013 (M 7.7)

