

تحلیل فضایی تابش خالص طول موج کوتاه ورودی بر گستره ایران زمین

نفیسه رحیمی^{۱*}، عبدالله فرجی^۲، سید حسین میرموسوی^۳، کوهزاد رئیس پور^۴

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه زنجان، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان.

۲- ۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان.

۴- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان.

چکیده

تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در تبادلات انرژی میان زمین و جو نقشی کلیدی دارد. از اینرو واکاوی آن و آگاهی از رفتار و تغییرات طولانی مدت آن موضوع مهمی می‌باشد. بنابراین جهت برآورد تابش طول موج کوتاه ورودی در گستره جغرافیایی ایران زمین، از داده‌های ماهواره مبنای ماهانه تابش طول موج کوتاه ورودی مدل جهانی FLDAS طی بازه زمانی ۱۹۸۴-۲۰۲۳ استفاده گردید. در گام نخست، همگنی داده‌ها به کمک آزمون الکساندرسون مورد بررسی قرار گرفت و به ترسیم نقشه‌های توزیع فضایی در محیط نرم افزار Arc GIS اقدام شد. سپس توزیع فضایی روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد به کمک رگرسیون خطی بررسی شد. در ادامه به منظور تحلیل فضایی (لکه‌های داغ) از شاخص موران جهانی و موران محلی (شاخص انسلین) استفاده شد. یافته‌ها حاکی از آن بود که داده‌ها با سطح اطمینان ۹۹ درصد همگن‌اند و بیشترین مقدار طول موج کوتاه تابش ورودی در ماه ژوئن و کمترین آن در ماه دسامبر بوده است، همچنین بررسی توزیع مکانی میانگین نشان داد که بیشینه‌ی تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در عرض‌های جنوبی کشور و کمینه آن در عرض‌های شمالی کشور بوده است. توزیع فضایی معنی‌داری روند نیز بیانگر آن بود که در ماه آوریل و دسامبر در هیچ یک از نقاط کشور توزیع فضایی دارای روند معنی‌دار نبود. اما در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، دسامبر بخش‌هایی از نیمه شمالی کشور، روند فضایی افزایشی و در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر در بخش‌هایی از نیمه‌ی جنوبی کشور روند فضایی منفی معنی‌دار حاکم بوده است. این شرایط بیانگر وجود تغییرات در مؤلفه‌های اثرگذار بر پراکندگی و جذب طول موج کوتاه تابش ورودی از جمله، ترکیبات جوی، مقدار ابرناکی، بارش و ریزگردهای موجود در جو طی بازه زمانی مورد مطالعه در این مناطق بوده است. نتایج حاصل از موران جهانی و محلی نیز مبین این امر بود که بیشترین و کمترین میزان خودهمبستگی فضایی به ترتیب مربوط به ماه دسامبر و ژوئن با الگوی خوشه‌ای بوده است.

کلید واژه‌ها: تابش خالص، طول موج کوتاه، تحلیل فضایی، روند، شاخص موران، ایران.

مقدمه

تابش خورشیدی سرچشمه اصلی انرژی سطح زمین و راننده فرآیندهای طبیعی، زیستی، آبشناختی، چرخه‌های فیزیکی و بیولوژیکی شناخته شده بر روی زمین است (مسعودیان ۱۴۰۲)، که ویژگی‌های آب و هوایی سامانه‌ی زمین و فراهم شدن شرایط زندگی در بخش زیست کره به صورت سرنوشت ساز با آن گره خورده است. تابش خورشیدی دامنه پیوسته‌ای از طیف الکترومغناطیسی از پرتوهای کوتاه گاما و ایکس تا طول موج‌های بلند رادیویی است که از ستاره‌ی خورشید سرچشمه می‌گیرد و بعد از ورود به جو زمین، تابش فراجوی نامیده می‌شود (Ma et al, 2014, P2). لذا نقطه‌ی شروع برای محاسبه تابش در سطح، شار تابش خورشیدی در بالای اتمسفر است که بیش از ۹۰ درصد آن در باند طیفی ۰/۲ تا ۱۰۰ میکرومتر قرار دارد. بخشی از این تابش که به تابش خالص معروف است بدلیل عدم انعکاس و برگشت به جو زمین وارد می‌شود، اما بخشی دیگر به سبب پراکندگی و جذب در اتم‌ها و یون‌های گازی موجود در جو به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد افت پیدا می‌کند (سلیمیان‌ریزی و همکاران، ۱۳۹۶). باند طیفی خورشیدی ۰/۴ تا ۰/۷ میکرومتر طول موج کوتاه نامیده می‌شود که نقش بسزایی در سیستم آب و هوای زمین، فرآیندهای دینامیکی و ترمودینامیکی جو و اقیانوس‌ها، فتوسنتز گیاهان، چرخه هیدرولوژیکی برف و تبخیر و تعرق دارد (Ma et al, 2014, P3). براین اساس تغییرات مکانی و زمانی در بودجه تابش امواج کوتاه می‌تواند به طرق مختلف برای انسان و اکوسیستم و کل زیست کره پیامدهایی به همراه داشته باشد. لذا اندازه‌گیری و مدل‌سازی دقیق آن برای درک و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف، از جمله تغییرات دمای سطح دریا، انرژی سطح زمین و بودجه آب، پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی ضروری است و عمدتاً بوسیله‌ی مدل‌های تابش تجربی، ابزار و اطلاعات ماهواره‌ای صورت می‌گیرد (سلیمیان‌ریزی و همکاران، ۱۳۹۶). از بین روش‌های مذکور، مشاهدات ماهواره‌ای بدلیل وضوح زمانی و مکانی بالا امکان شبیه‌سازی دقیق‌تر و درک فرآیندهای مختلف سیستم زمین را فراهم می‌سازد. لذا محصولات اخذ شده از ماهواره برای ارزیابی بودجه تابش طول موج کوتاه ورودی بدلیل قابلیت منحصربه‌فرد نسل جدید ماهواره‌ها، دارا بودن دقت و وضوح بالا با پوشش زمانی و مکانی پیوسته و ارتقای الگوریتم‌های تخمین برای انواع مدل‌ها منجر شده است و به یک جایگزین قابل

اعتماد و ارزشمند برای سنجش تابش خالص موج کوتاه (DSR) در سطح جهانی تبدیل گردد (Hao et al, 2020, P2210). از اینرو، امروزه با ارتقاء الگوریتم‌های تخمین و نسل جدید ماهواره‌ها همچون هیماواری (AHI) (Letu et al, 2020) و مدل‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای همچون (GLDAS, NLDAS, MERRA, FLDAS) دقت محصولات جهانی تابش خالص موج کوتاه افزایش یافته‌است (Bhattarai et al, 2020, P 72). مقایسه داده‌های اخذ شده از ایستگاه زمینی با SURFRAD، NOAA، ASR و CERES حکایت از آن دارند که این محصولات در بیشتر مواقع دقت قابل قبولی داشته به نحوی که هم داده‌های ساعتی و هم داده‌های روزانه با بایاس کم و خطاهای ریشه میانگین مربعات پایین‌اند و با مشاهدات زمینی سازگارتر هستند (Hao et al, 2020, P2210). بنابراین محققین مختلفی در ایران و جهان با تکیه بر روش‌های پیش گفته در بالا به تخمین تابش خورشیدی در مقیاس مکانی و زمانی طولانی پرداخته‌اند که از جمله مهمترین آنها می‌توان به موارد پیش رو اشاره نمود. اوکوندافیو و نزیاکو (۲۰۱۰) با تکیه بر مدل‌های تجربی مبتنی بر دما و تخمین انرژی تابشی خورشید، در تحقیقی با استفاده از داده‌های اقلیمی نیجریه یک مدل تجربی را توسعه دادند. مقادیر به دست آمده تابش (۰/۰۲۳ - ۰/۰۴۲۹) MBE برای مناطق ژئوپولیتیکی نیجریه بیانگر این بود که مدل‌های پیشنهادی نمایانگر خوبی از میزان انرژی تابشی در بلندمدت می‌باشد. هوانگ و همکاران (۲۰۱۲) با بکارگیری مدل توسعه یافته بانگ به همراه محصول سطح دو و سه عمق اپتیکی هواویز (MOD04/MOD08)، بخار آب (MOD05) و آزون (MOD07) تابش خالص طول موج کوتاه ورودی را برای شرایط بدون ابر برآورد نمودند. همچنین زائو و همکاران (۲۰۱۳) به کمک روش‌های تجربی با کمک اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های شبکه تابش‌سنجی و داده‌های آلودگی هوا، ۹ ایستگاه در چین را بر مبنای رابطه آنگستروم-پرسکات در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۱ آنالیز کردند و نتیجه گرفتند که از بین مدل‌های خطی، نمایی و لگاریتمی، مدل‌های لگاریتمی بهترین عملکرد را در برآورد تابش خورشیدی دارند. یائو و همکاران (۲۰۱۷) نیز با تکیه بر مدل‌های تجربی اصلاحی تابش خورشیدی روزانه (۲۰۱۳-۱۹۵۷)، با استفاده از داده‌های ۵۵ ساله تابش پراکنده و داده‌های آلودگی هوا، تابش پراکنده را برآورد کردند و نشان دادند که مدل‌های اصلاحی مبتنی بر

داد مدل MRE-UNet پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد برای پیش‌بینی فضایی-زمانی تشعشع خورشیدی باشد. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) به کمک هفت مدل رایج به برآورد تابش طول موج کوتاه خورشیدی برای شهر مشهد طی بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳-۱۹۸۰ پرداختند و این نتایج حاصل شد که مدل آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو، مناسب‌ترین مدل برای برآورد تابش خورشیدی در این منطقه می‌باشد. جوادنیا و آبکار (۱۳۹۷)، برای محاسبه‌ی تابش طول موج کوتاه فرودی در سطح برای شرایط غیر ابری از مدل پارامتری یانگ استفاده نمودند. آنها داده‌های حاصل از عمق اپتیکی هواپیزهای سنجنده مادیس و مدل زمینی ایستگاه چیتگر شهر تهران را طی یک دوره‌ی سه ماهه بررسی نمودند که نتایج نشان داد، دقت تابش طول موج کوتاه برآورد شده براساس عمق اپتیکی هواپیز SARA نسبت به محصولات عمق اپتیکی هواپیز مادیس از دقت بالاتری برخوردار است. در پژوهشی دیگر فلاح و همکاران (۱۳۹۸) ضمن بررسی تغییرات زمانی و مکانی تابش ورودی طول موج کوتاه در سطح زمین، دقت داده‌های حاصل از مدل جهانی GLDAS را در حوضه‌ی آبریز دریای خزر مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که اعتبارسنجی داده‌های GLDAS حاکی از تطابق خوب این داده‌ها با داده‌های تابش خورشیدی دیده‌بانی ایستگاه‌های زمینی در مناطق مرطوب است. جوانمرد و خزانه-داری (۱۳۹۹) به منظور بررسی پارامتر تابش در سطح زمین طی یک دوره‌ی زمانی ۳۰ ساله، با بکارگیری مدل جهانی GLDAS با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه در مقیاس ماهانه و سالانه، به این نتایج رسیدند که تابش طول موج کوتاه ورودی از شرق به غرب و از جنوب به شمال کاهشی، تابش بلند ورودی در شمال و شمال غرب بیشینه و جنوب شرق کمینه، تابش طول موج کوتاه خالص در شمال کمینه و تابش بلند خالص در شمال و جنوب بیشینه بوده است. شریفی و همکاران (۱۴۰۰) با ارزیابی توانایی مدل‌های هوشمند که شامل مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) بود، به برآورد تابش کل خورشیدی ماهانه با پوشش زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۱ برای ایستگاه سینوپتیک تبریز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که (ANN) بهترین مدل برای برآورد تابش کل ماهانه می‌باشد. زینالی و محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۱) به منظور تخمین تابش خورشیدی (طول موج کوتاه

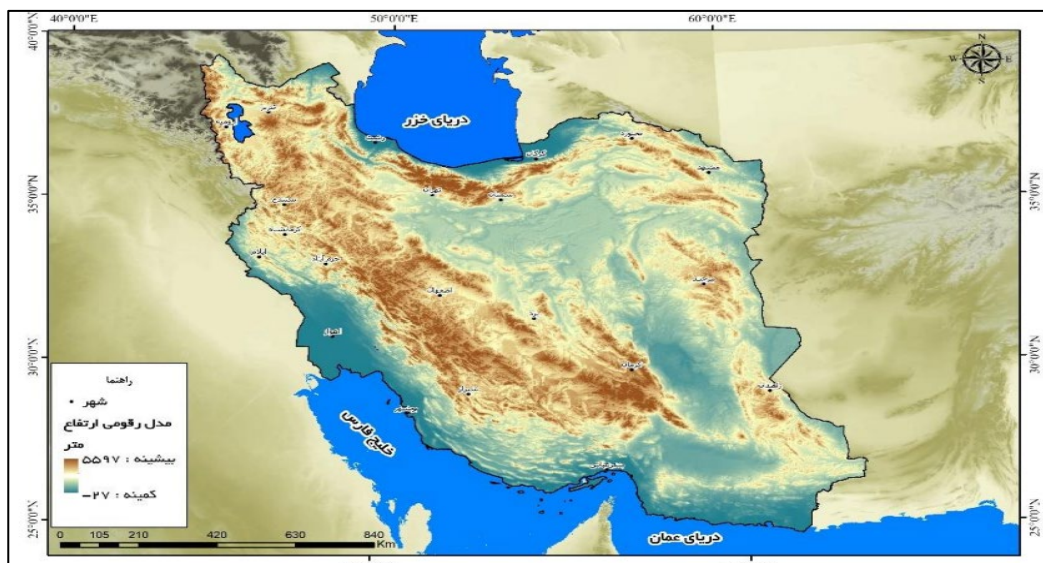
شاخص آلودگی هوا نسبت به مدل‌های معمولی عملکرد بهتری دارند. یانگ و همکاران (۲۰۱۷) به کمک مدل‌های مناسبی همچون CN05.1، CMFD4 و CN05.1، CMFD4 به واکاوی تابش طول موج کوتاه و بارش طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۸ در کشور چین پرداختند. نتایج مطالعات آنها بیانگر این بود که تخمین مدل‌های CLDAS و GLDAS نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده دقیق‌تر بود. چوکووجیندور (۲۰۱۷) نیز با بکارگیری مدل‌های تجربی شدت تابش را برای قاره آفریقا برآورد نمود. نتایج تحقیقات وی نشان داد که مدل‌های مبتنی بر طول ساعات آفتابی جهت برآورد شدت تابش برای این منطقه مناسب می‌باشد. با توجه به توانایی و قابلیت شبیه‌سازی تکنیک‌های هوش مصنوعی آلینا و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعه‌ی خود بر روی منطقه سوئیس برای تخمین واریانس و محاسبه عدم قطعیت تابش خورشید از روش ماشین‌بردار پشتیبان استفاده کرده‌اند. بدین صورت که با ارائه مدل ماشین‌بردار پشتیبان برای هر مکان و زمان خاص و با در نظر گرفتن میزان نویز آماری برای داده‌ها به پیش‌بینی آنها پرداخته‌اند. همچنین ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه همبستگی بین تابش خورشیدی و شاخص کیفیت هوا (AQI) با استفاده از داده‌های هواشناسی طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ به این نتیجه رسیدند که میزان کاهش تابش خورشیدی در روزهای آفتابی همراه با آلودگی هوا در مقایسه با روزهای ابری بیشتر بوده است. یانگ و همکاران (۲۰۲۲) نیز تابش خورشیدی را برای شش شهر چین در شرایط آسمان صاف (بدون ابر) طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها بیانگر این بود که بالاترین کاهش تابش آن شش شهر به ترتیب در فصول بهار، پاییز، زمستان، تابستان بوده است. همچنین پکن با ۶/۰۳ درصد، شانگهای با ۴/۲۱ درصد، ونجیانگ با ۴/۱۵ درصد، شن‌یانگ با ۳/۲۸ درصد، ووهان با ۳/۱۴ درصد، و گوانگژ با ۱/۳۲ درصد کمترین کاهش را داشته‌اند که این کاهش با آلودگی هوا همبستگی بالایی داشته است. روان و همکاران (۲۰۲۳) با تکیه بر مدل قدرتمند و پیشرفته شبکه عصبی MRE-Unet با بررسی توزیع تابش خورشیدی در هر دو بعد مکانی و زمانی به طور همزمان با مدل شبکه عصبی MRE-Unet برای استان هیلونگجیانگ با در نظرگیری ابر و نویزهای مختلف، تابش را پیش‌بینی کردند و نتایج پیش‌بینی آنها نشان

ورودی و تابش خالص) از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸ و سنجنده TIRS و الگوریتم سبال برای شهرستان کرج استفاده کردند. نتایج حاصله بیانگر این بود که بیشترین و کمترین تابش طول موج کوتاه ورودی به ترتیب به میزان ۹۱۸ وات بر مترمربع و ۳۷۰ وات بر مترمربع بوده است. مسعودیان (۱۴۰۲) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مقدار تابش دریافتی در سطح زمین را در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹ برای کل ایران برآورد نموده و به این نتیجه رسیدند که میانگین مقدار تابشی که به بام جو ایران می‌رسد ۳۵۶ وات بر مترمربع است و جو فراز ایران حدود ۳۰ درصد از تابش را فرو می‌کاهد. شایسته و همکاران (۱۴۰۲) نیز تغییرات زمانی- مکانی تابش ورودی طول موج کوتاه خورشیدی و طول موج بلند خروجی ایران زمین را به کمک داده‌های ورودی و خروجی تابش در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۶-۱۹۵۱ انتخاب و همبستگی و مقدار نوسان تابش را در مناطق مختلف ایران محاسبه کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین و کمترین انرژی طول موج کوتاه ورودی به سطح زمین به ترتیب در ماه اوت و نوامبر و بیشترین و کمترین انرژی طول موج بلند خروجی به ترتیب در ماه اوت و ژانویه بوده است. خوشخو (۱۴۰۲) برای برآورد شدت تابش کلی خورشید از سه مدل تجربی با پوشش زمانی ۱۹۹۷-۲۰۲۱ برای ایستگاه سینوپتیک سنندج استفاده کرد. نتایج یافته‌های وی حاکی از آن بود که مدل آنگستروم عملکرد بهتری در برآورد تابش کلی خورشید داشته است. کاظمی و همکاران (۱۴۰۳) نیز در پژوهشی ضمن معرفی مدل جهانی FLDAS تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی را برای کل ایران با پوشش زمانی ۲۰۲۱-۱۹۸۲ بررسی کردند. نتایج تحقیقاتشان بیانگر این بود که کشور ایران در بلندمدت از انرژی تابشی یکنواختی برخوردار بوده و روند معناداری در آن مشاهده نشده است. با توجه به نقش کلیدی تابش خالص موج کوتاه رو به پایین (NDSR) بر فعل و انفعالات در جو- سطح و تأثیر آن بر سیستم‌ها و فرآیندهای مختلف اقلیمی،

بررسی آن یک نیاز اساسی برای بسیاری از مطالعات است. با این وجود علیرغم اهمیت آن، با توجه به کارهای فوق در داخل کشور که عمدتاً توزیع زمانی- مکانی تابش را با تکیه بر مدل‌های مختلف بررسی کرده‌اند، تحقیق جامعی در مورد تغییرات توزیع فضایی داده‌ها صورت نگرفته است. از این رو، در پژوهش مذکور تلاش خواهد شد تا با استفاده از روش‌های زمین آمار، ضمن بررسی توزیع زمانی- مکانی، تغییرات فضایی تابش خالص طول موج کوتاه خورشیدی مبتنی بر داده‌های مدل ماهواره مبنای FLDAS طی دوره زمانی ۲۰۲۳-۱۹۸۴ در راستای دستیابی به شناخت کامل تری از رفتار تابش خالص طول موج ورودی در گستره جغرافیایی ایران مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

با توجه به ماهیت و اهداف پژوهش و در راستای حصول نتیجه‌ی مناسب از آن، محدوده‌ی مورد مطالعه در این تحقیق کل کشور ایران با مساحتی بالغ بر ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در نظر گرفته شده است. کشور ایران یکی از کشورهای وسیع جهان است که در نیمکره‌ی شمالی، نیمکره‌ی شرقی در قاره‌ی آسیا و در قسمت غربی فلات ایران در محدوده‌ی ۲۵ درجه و سه دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۴ درجه و پنج دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه‌ی طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). از نظر آب‌وهوایی این محدوده جغرافیایی یک منطقه انتقالی است که بین رژیم‌های حاره‌ای و برون‌حاره‌ای قرار دارد و در بیشتر اوقات شرایط انتقالی بر آن حاکم است (سلیقه، ۱۳۹۵). دما در ایران با پیکربندی ناهمواری‌ها ارتباط مستقیم دارد و کمینه‌ی آن در تمامی فصول در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالا قرار دارد. میانگین بارش سالانه نیز کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است، لذا جزء کشورهای خشک و کم- بارش محسوب می‌شود (مسعودیان، ۱۳۹۱).



شکل ۱: محدوده‌ی جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

کارایی سنجنده‌های ماهواره‌ای، با قدرت تفکیک مکانی چند کیلومتری با استفاده از رادیومترهای فضایی و طیف‌سنج‌ها به منظور سنجش فراسنج‌های مختلف در وردسپهر ارتقا یافته است (Veefkind et al, 2007, P 46). بدین دلیل محققین عمدتاً برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف اقلیمی از قبیل تابش، از پایش ماهواره‌ای استفاده می‌کنند. هرچند ایستگاه‌های زمینی قادرند تغییرات تابش را به کمک تکنیک‌های مختلف مورد بررسی قرار دهند، ولی پایش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای جابه‌جایی افقی و عمودی تابش را برای دوره‌های طولانی و کوتاه مدت بهتر می‌توانند الگوسازی و پیش‌بینی نمایند. همچنین سامانه‌های ماهواره‌ای قادرند اطلاعاتی را در مورد تابش ورودی و خروجی برای مناطقی که فاقد ایستگاه‌های زمینی سنجش تابش‌اند، یا محدودیت دسترسی به داده وجود دارد، فراهم کنند (Engel-Cox, 2004, P 1362). نظر به موارد فوق، در این پژوهش نیز، به منظور سنجش تابش خالص طول موج کوتاه ورودی خورشیدی در پهنه ایران زمین، از داده‌های ماهواره مبنای تابش مدل جهانی *FLDAS* طی بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۳ استفاده گردید. مدل *FLDAS* توسط دفتر ادغام و مدل‌سازی جهانی (*GMAO*) عرضه می‌شود و داده‌های آن از طریق وبگاه (*Giovanni*) و از طریق لینک <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni> که توسط مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات علوم زمین گدارد ناسا

(GES DISC) طراحی شده است، قابل دستیابی است. داده‌های این مدل بدلیل جداسازی طیفی و مکانی بسیار مناسب در سنجش پدیده‌های فیزیکی و زیستی، جزء یکی از قابل اعتمادترین مدل‌ها برای سنجش تابش خالص طول موج کوتاه ورودی به شمار می‌رود (Chimel et al, 2017, P 2618)، که با تفکیک مکانی بالا (۰/۱ در ۰/۱ درجه و به طور تقریبی معادل ۱ کیلومتر) و قدرت تفکیک زمانی روزانه و ماهانه طراحی شده است. روش مطالعه در این پژوهش تحلیلی-فضایی است. بدین منظور درگام نخست داده‌های تابش خالص طول موج کوتاه ورودی با فرمت *NetCDF* از وبگاه مربوطه استخراج گردید و قبل از انجام هرگونه اقدامی همگنی و جهش داده‌ها با استفاده از آماره آزمون الکساندرسون (موسوم به نمایه آزمون همگنی استاندارد نرمال (*SNHT*)) با سطح اطمینان ۹۹ درصد بررسی شد. سپس به بررسی توصیفی داده‌های اخذ شده اقدام گردید. بدین منظور به کمک نمودار جعبه‌ای که از جمله روش‌های آمار توصیفی است، تحلیل توصیفی داده‌ها صورت گرفت. در گام دوم، پس از انجام عملیات پیش‌پردازش، به منظور تحلیل رفتار متغیر مذکور در بازه‌ی زمانی مورد نظر، نقشه‌ی توزیع مکانی میانگین و توزیع فضایی روند و ضریب تغییرات با عملیات آماری به صورت ماتریسی بر روی هر یاخته اعمال شد تا دید بهتری از رفتار متغیر مورد نظر بدست آید. در گام سوم خودهمبستگی فضایی داده‌ها با استفاده از

آماره‌های فضایی همچون خودهمبستگی فضایی شاخص موران جهانی و شاخص انسپلین محلی موران تحلیل شد، تا تفاوت‌های فضایی واکاوی گردد.

فضایی روند از روش رگرسیون خطی استفاده شد. در این روش براساس رابطه (۴) متغیر تشریحی Y مدل رگرسیون خطی است که در آن a و β پارامترهای نامعلوم مدل‌اند که باید برآورد شود، x_i مقادیر معلوم متغیر مستقل و ϵ_i متغیر تصادفی است (برارخانپور و همکاران، ۱۳۹۹)، فرض صفر در این آزمون مبنی بر نبود رابطه خطی معنادار بین زمان و پارامترهای هواشناسی است. سطح معناداری در این پژوهش ۵ درصد است.

$$Y_i = a + \beta x_i + \epsilon_i \quad (4)$$

در ادامه به منظور شناخت یکنواختی یا پراکندگی تابش ورودی در طی دوره آماری مورد نظر از ضریب تغییرات استفاده شد تا امکان مقایسه پراکندگی تابش برحسب ماه‌ها ایجاد شود. در این پژوهش نسبت انحراف معیار هر یاخته به میانگین ماهانه‌ی تابش طول موج کوتاه ورودی هر یاخته به درصد براساس رابطه ۵ بیان می‌شود (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۵):

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (5)$$

آگاهی از الگوها در بررسی داده‌های فضایی امر بسیار مهمی است (Waage petersenand & Schweder, 2006, P. 269). لذا قبل از هر اقدامی در تحلیل نقشه‌های آمار فضایی باید مشخص گردد که متغیرهای مورد بررسی به چه نحو توزیع یافته‌اند و از چه الگو و قاعده‌ای تبعیت می‌کنند. به عبارت دیگر، مدل‌سازی فضایی تغییرات ناشی از اثر متغیرهای توضیحی را در ساختار میانگین و تغییرات ناشی از وابستگی فضایی را مدل‌سازی می‌کند (حسینی صدیق و همکاران، ۱۴۰۰). خود همبستگی فضایی موران جهانی یکی از روش‌های مدل‌سازی فضایی است که در آن شاخص عددی با عنوان نمره استاندارد یا Z -score بیان می‌شود و از طریق آن درجه پراکنده بودن یا متمرکز بودن عوارض یا داده‌های فضایی در فضا اندازه‌گیری می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴)، و از طریق رابطه ۷ قابل محاسبه است. در این رابطه، Z_i برابر با تفاضل یا اختلاف بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن است و $W_{i,j}$ وزن موجود بین عارضه i و j تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه استفاده شده و S جمع کل وزن‌های فضایی است. امتیاز استاندارد Z_i برای آماره موران با رابطه ۶ به طور جداگانه محاسبه می‌شود:

آزمون همگنی نرمال استاندارد مطلق (SNHT)

این روش قادر است، زمان ایجاد ناپیوستگی و یا بروز ناهمگنی را در سری داده‌ها یافته و گزارش کند، فرض اولیه این آزمون، نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها است. براساس رابطه زیر، سری Q_i با انجام محاسبات به سری استاندارد Z_i با میانگین صفر و انحراف معیار واحد تبدیل می‌شود:

$$Z_i = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\sigma_Q} \quad (1)$$

که در آن: \bar{Q} و σ_Q به ترتیب میانگین و انحراف معیار سری Q_i هستند، برای یک تغییر ناگهانی در میانگین سری داده‌ها مورد نظر، فرض صفر و فرض یک به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شوند:

$$H_0: Z_i \sim N(0,1) \quad \text{for } i=1, \dots, n \text{ and} \quad (2)$$

$$H_1: \begin{cases} Z_i \sim N(\mu_1, 1) & \text{for } i=1, \dots, a \\ Z_i \sim N(\mu_2, 1) & \text{for } i=a+1, \dots, n \end{cases}$$

که در آن، N معرف توزیع نرمال با پارامترهای مربوطه (میانگین و انحراف معیار) است. الکساندر و مومبرگ (۲۰۰۶) برای آزمون درستی هر یک از فرض‌های صفر و یک مسئله، یک روش آماری براساس نسبت راستی‌آزمایی ارائه کردند و نسبت احتمال درستی H_0 و H_1 برای سری داده Z_i مشاهده شده براساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$1 \leq a \leq n - 1 \quad (3)$$

$$T_0 = \max \{ aZ_1^2 + (n-a)Z_2^2 \quad a=1, 2, \dots, n$$

که در آن، Z_1 و Z_2 مقادیر میانگین Z_i قبل و بعد از تغییر هستند. مقدار α نیز محتمل‌ترین زمان بروز تغییر ناگهانی در داده‌ها است. اگر مقدار آماره از مقدار بحرانی آزمون برای سطح بحرانی مشخص بیشتر باشد، آنگاه فرض همگنی صفر در سطح اطمینان مربوطه رد می‌شود (رحیمی، ۱۴۰۰).

در ادامه به منظور بررسی شکل توزیع داده‌های ثبت شده برای تابش طول موج کوتاه از نمودار جعبه‌ای استفاده شد. از مزایای نمودار جعبه‌ای این است که می‌تواند توزیع آماری داده‌ها، مقادیر فرین، تقارن شکل توزیع و دامنه تغییرات داده‌ها را مشخص کند (عساکره، ۱۴۰۰). برای بررسی توزیع

(High-Low) یا ارزش بالا به وسیله ارزش پایین (High-Low) احاطه شده است (بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳). مقدار S_i^2 از رابطه (۱۱) بدست می‌آید که در آن n برابر با تعداد کل عارضه‌ها است. امتیاز استاندارد ZI_i بصورت رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n W_{i,j} - \bar{X}^2}{n-1} \quad (11)$$

$$Z_{ii} = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{V(I_i)}} \quad (12)$$

در نهایت رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$E[I] = -\frac{\sum_{j=1}^n j \cdot i \cdot V(I)}{n-1} = E[I_1^2] - E[I_1^2] \quad (13)$$

نتایج و بحث

طبق جدول (۱) نتایج برازش آزمون همگن نرمال استاندارد مطلق بر روی سری زمانی میانگین تابش خالص طول موج کوتاه ورودی سالیانه طی دوره مورد مطالعه نشان داد که با توجه به مقادیر بحرانی یک درصد برای آماره آزمون (SNHT) که برابر با ۱۱/۰۱ می‌باشد، در طی دوره مورد مطالعه توزیع داده‌های تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در گستره ایران زمین برای ۱۲ ماه با سطح معناداری یک درصد (با ۹۹ درصد اطمینان) همگن بوده است.

$$I = \frac{n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \sum_{j=1}^n W_{i,j} z_{i,j}}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (6)$$

$$Z_i = \frac{i - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (7)$$

$$E[I] = -\frac{1}{n_1} \quad (8)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (9)$$

در رابطه ۹، $V[I]$ واریانس داده‌هاست. به طور کلی، اگر مقدار شاخص موران به عدد +۱ نزدیک باشد، داده‌ها دارای خود همبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است و اگر مقدار شاخص موران به عدد -۱ نزدیک باشد، داده‌ها از هم گسسته و پراکنده است. در ادامه به منظور نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا از شاخص انسلین محلی موران استفاده شد که بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد و در آن براساس Z و P-value در مورد معناداری شاخص محاسبه شده داوری می‌شود.

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (10)$$

که در آن x_i ویژگی عارضه i و \bar{X} میانگین ویژگی مربوط و $W_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد. li مثبت بیانگر این است که مناطق با ارزش بالا به وسیله مناطق با ارزش بالا (High-High) و مناطق با ارزش پایین به وسیله مناطق با ارزش پایین (Low-Low) محصور شده‌اند، li منفی نیز بیانگر این است ارزش پایین به وسیله ارزش بالا (Low-

جدول ۱- معناداری همگنی تابش خالص طول موج کوتاه ورودی ماهانه برحسب وات بر مترمربع (۱۹۸۴-۲۰۲۳).

ماه	مقادیر T_0	وضعیت همگنی با سطح معنی داری یک درصد	ماه	مقادیر T_0	وضعیت همگنی با سطح معنی داری یک درصد
ژانویه	$T_0 = 4/94$	همگن	ژوئیه	$T_0 = 9/91$	همگن
فوریه	$T_0 = 1/67$	همگن	اوت	$T_0 = 3/79$	همگن
مارس	$T_0 = 10/3$	همگن	سپتامبر	$T_0 = 10/64$	همگن
آوریل	$T_0 = 5/06$	همگن	اکتبر	$T_0 = 2/84$	همگن
می	$T_0 = 10/95$	همگن	نوامبر	$T_0 = 3/27$	همگن
ژوئن	$T_0 = 7/58$	همگن	دسامبر	$T_0 = 10/66$	همگن

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

می‌دهد. براساس این شکل بیشترین و کمترین میانگین تابش متعلق به ماه ژوئن و دسامبر می‌باشد. بررسی تقارن توزیع داده‌ها (میزان اریب بودن) نسبت به میانگین با استفاده از خط میانه بیانگر این است که ماه‌های آوریل، اوت، نوامبر دارای

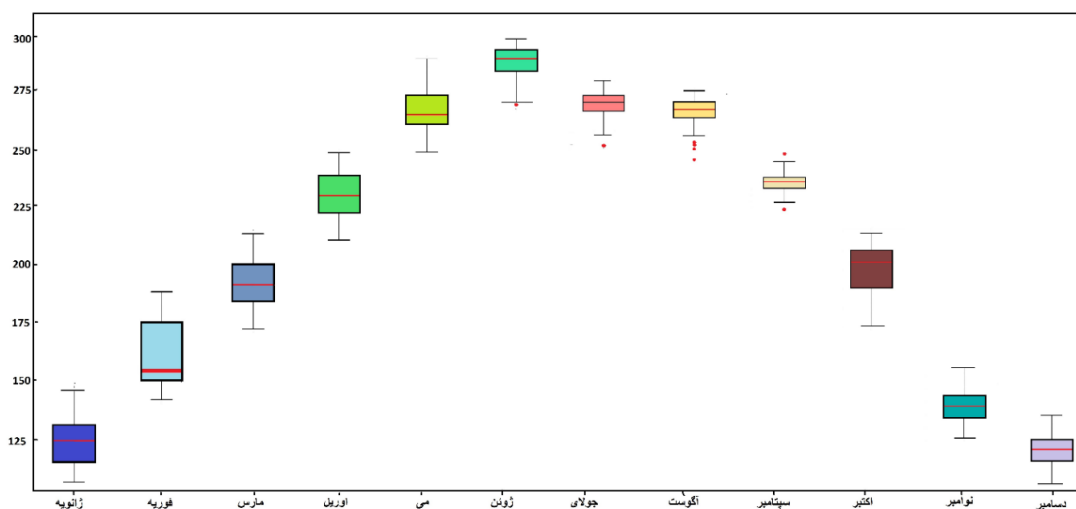
شکل ۲ توزیع آماری داده‌ها، مقادیر فرین، تقارن شکل توزیع، پراکندگی و دامنه تغییرات داده‌ها را برای سری زمانی میانگین تابش خالص طول موج کوتاه ورودی ماهانه در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۸۴-۲۰۲۳) به کمک نمودار جعبه‌ای نمایش

تغییرپذیری بالایی برخوردارند. بررسی پراکندگی داده‌ها به کمک شکل مستطیل‌ها نشان داد که ماه‌های سپتامبر، ژوئیه و اوت دارای کمترین پراکندگی و ماه فوریه دارای بیشترین مقدار پراکندگی می‌باشند. همچنین مقادیر پرت، در خارج از مرز مقادیر فرین در کران پایین ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت (۴ مورد)؛ و کران بالا و پایین در ماه سپتامبر دیده شد.

-۱

توزیع متقارن و نرمال‌اند، اما در ماه‌های فوریه، مارس و می توزیع داده‌ها دارای چولگی مثبت و در ماه‌های ژانویه، ژوئن، ژوئیه، سپتامبر، اکتبر و دسامبر دارای چولگی منفی با دامنه‌ی تغییرات بسیار کوچک می‌باشند. همچنین بررسی دامنه‌ی تغییرات نشان داد که در ماه‌های سپتامبر، اوت، ژوئن و ژوئیه با توجه به اندازه فاصله بین چارک‌های اول و سوم دامنه تغییرات پایین است، در صورتی که در ماه‌های ژانویه فوریه و مارس آوریل داده‌ها در دامنه بزرگ‌تری نوسان دارند و از

-۲



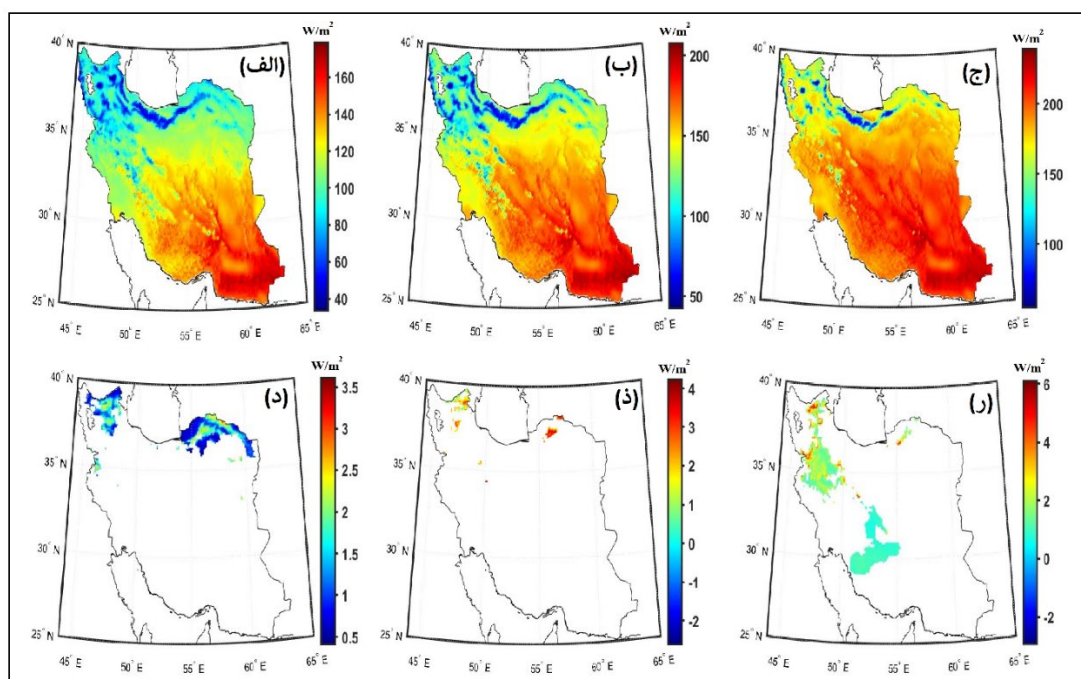
شکل ۲: نمودار جعبه‌ای داده‌های تابش خالص طول موج کوتاه ورودی ماهانه بر حسب وات بر متر مربع در بازه زمانی مورد مطالعه (۲۰۲۳-۱۹۸۴)؛ (منبع: نویسنندگان، ۱۴۰۳)

زابل بدلیل وجود رطوبت در منطقه و چاله جازموریان بدلیل شرایط خاص توپوگرافی میزان دریافت انرژی تابشی همواره پایین است. کمینه تابش خالص نیز در ماه ژانویه با ۳۰ تا ۶۰ وات بر مترمربع در نیمه شمالی کشور می‌باشد. برسی موقعیت جغرافیایی این مناطق حاکی از آن است که عواملی از قبیل دوری از خط استوا، آسمان ابری، وجود آلاینده‌های شیمیایی در کلان‌شهرها (مناطق شمال و شمال‌غرب) منجر شده است که این مناطق انرژی تابشی کمتری دریافت کنند. وضعیت تابش کمینه و بیشینه در ماه فوریه شباهت زیادی با ماه ژانویه دارد (۳-ب). بررسی توزیع فضایی روند تابش خالص طول موج کوتاه ورودی با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای این دو ماه طبق شکل ۳(د-ذ) حاکی از آن است که در ماه ژانویه در بخش‌هایی از خراسان شمالی، خراسان رضوی، گلستان و آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و کردستان و در ماه فوریه نیز بخش‌هایی از خراسان شمالی، گلستان، اردبیل

براساس نقشه توزیع مکانی میانگین تابش خالص موج کوتاه ورودی حاصله از مدل ماهواره مبنای FLDAS (شکل ۳ الف)، در ماه ژانویه شدت و مدت انرژی تابشی کمتر از ماه‌های فوریه و مارس می‌باشد، اما بررسی تغییرات مکانی تابش ایران در ماه ژانویه همانند ماه فوریه نشان‌دهنده‌ی بالا بودن میزان تفاوت مکانی تابش ورودی در نواحی شمالی و جنوبی کشور است، بطوری که آنومالی بیشینه‌ی تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در جنوب شرق ایران با ۱۷۰ وات بر متر مربع در قسمت‌هایی از سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان است. موقعیت جغرافیایی این استان‌ها یعنی نزدیکی به خط استوا و پایین بودن ارتفاع از سطح دریا و صاف بودن آسمان منجر شده است که این پهنه‌ها به مرکز تمرکز تابش خالص طول موج کوتاه ورودی ایران در ماه ژانویه تبدیل شوند. هر چند در قسمت‌هایی از این مناطق همچون دشت لوت احتمالاً "بدلیل وجود گرد و غبار، منطقه

تابشی با مقدار ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات بر مترمربع را دریافت می‌کنند. تنها مناطق شمال و شمال‌غربی کشور دارای انرژی تابشی کم به مقدار ۳۰ تا ۶۰ وات بر مترمربع هستند. که این امر نشان دهنده‌ی این است که با نزدیک شدن به نیمه‌ی گرم سال از تفاوت مکانی دما در کشور کاسته می‌شود و انرژی دریافتی در سراسر ایرن زیاد است (۳-ج). بررسی نقشه‌ی توزیع فضایی روند برای این ماه نشان داد که بخش‌هایی از شمال‌غرب کشور و قسمت‌های از نواحی مرکزی (بوشهر، فارس، یزد) توزیع فضایی روند مثبت معناداری داشته است. با توجه به کاهش توزیع فضایی روند رطوبت نسبی و بخار آب در فصل زمستان در مناطق ذکر شده (کتیرایی بروجردی و همکاران، ۱۳۹۰) و ارتباط تنگاتنگ آنها با تشکیل ابر، مه و بارش، افزایش توزیع فضایی روند موج کوتاه ورودی در این مناطق بی‌ارتباط با این عوامل نیست.

و آذربایجان شرقی روند مثبت معناداری را تجربه کرده‌اند. با توجه به اینکه در ماه ژانویه و فوریه قسمت‌های نیمه‌ی شمالی ایران تحت تأثیر پرفشار سیبری، ابرناکی و پربارشی است (مسعودیان، ۱۳۹۱)، در سال‌های اخیر با کاهش روند بارش در شمال غرب (ساری‌صراف و همکاران، ۱۳۹۴) و کاهش ابرناکی در نیمه‌ی شمالی (رئیس‌پور و همکاران، ۱۳۹۹) و با توجه به همبستگی بالای بین تابش با ابرناکی و بارش (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ پراساد و همکاران، ۲۰۰۰) می‌توان افزایش معنادار توزیع فضایی روند تابش خالص طول موج کوتاه را در این نواحی با این عوامل مرتبط دانست. نقشه‌ی توزیع مکانی میانگین تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در ماه مارس حاکی از آن است که تفاوت انرژی دریافتی نواحی شمالی و جنوبی کشور ایران با توجه به گذر زمان و تغییر زاویه و مدت تابش کاهشی می‌باشد و انرژی دریافتی در سراسر ایران زیاد است. در این ماه اغلب مناطق کشور، انرژی



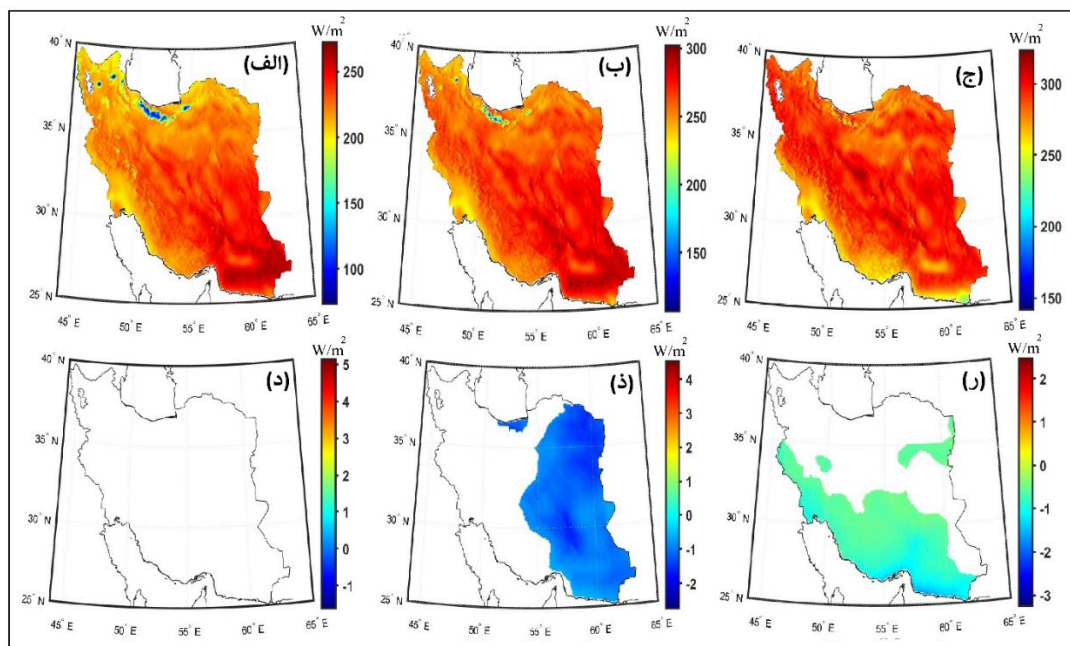
شکل ۳: نقشه‌ی توزیع مکانی میانگین تابش خالص طول موج کوتاه ورودی ماه‌های ژانویه (الف)، فوریه (ب)، مارس (ج)؛ نقشه‌ی توزیع فضایی روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای ماه‌های ژانویه (د)، فوریه (ذ)، مارس (ر) در ایران (۱۹۸۴-۲۰۲۳) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳).

میانگین ۴ (الف) در شکل ۴ پیداست، تفاوت انرژی دریافتی نواحی شمالی و جنوبی کشور کاهش یافته است و انرژی دریافتی در سراسر ایران افزایش داشته‌است. در این زمان تنها قسمت‌های کوچکی از جنوب گلستان، جنوب مازندران،

در ماه آوریل با توجه به تغییر زاویه و مدت تابش خورشیدی و نزدیک شدن به نیمه‌ی گرم سال میزان دریافت تابش خالص طول موج کوتاه ورودی نسبت به ماه‌های قبل دستخوش تغییراتی قرار گرفته است. همانطور که از نقشه‌ی توزیع مکانی

غرب اردبیل و مرکز آذربایجان شرقی کمینه انرژی تابشی با ۶۰ تا ۹۰ وات بر متر مربع را تجربه کرده‌اند. همچنین میزان تفاوت مکانی تابش ورودی در این ماه کاسته شده است. توزیع فضایی روند معناداری در بازه زمانی ۴۰ ساله برای متغیر مذکور در ماه آوریل دیده نشد (۴-د). توزیع تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در شکل ۴ (ب) در ماه می همانند ماه آوریل بوده است. بررسی توزیع فضایی روند آن نیز حاکی از آن بود که نیمه شرقی کشور به همراه سواحل دریای خزر (بخش‌هایی از استان مازندران) دارای توزیع فضایی روند منفی معنادار بوده است (۴-ذ). در این ماه با افزایش نقش مونسون‌ها در سال‌های اخیر در نیمه شرقی کشور، همچنین افزایش توزیع فضایی روند طوفان‌های گردو غباری نیمه شرقی کشور (یارمادی و همکاران، ۱۳۹۷) و افزایش بخار آب و رطوبت نسبی در کرانه دریای خزر (کتیرایی و همکاران، ۱۳۹۰)، در منفی بودن توزیع فضایی روند تابش طول موج کوتاه ورودی تأثیرگذار بوده است. در ماه ژوئن با توجه به رخداد انقلاب تابستانی، میزان دریافت انرژی در سرتاسر ایران تحت الشعاع قرار گرفته است. بطوری که تفاوت مکانی میانگین تابش دریافتی در نواحی شمالی و جنوبی به حداقل مقدار خود رسیده است و انرژی دریافتی در سراسر ایران زیاد است. با این وجود بیشینه انرژی دریافتی ثبت شده با مقدار ۳۰۰ تا ۳۳۰ وات بر مترمربع همانند ماه‌های گذشته در جنوب و جنوب شرقی کشور بوده است. از سوی دیگر، کمینه انرژی تابش دریافتی تنها بخش‌های

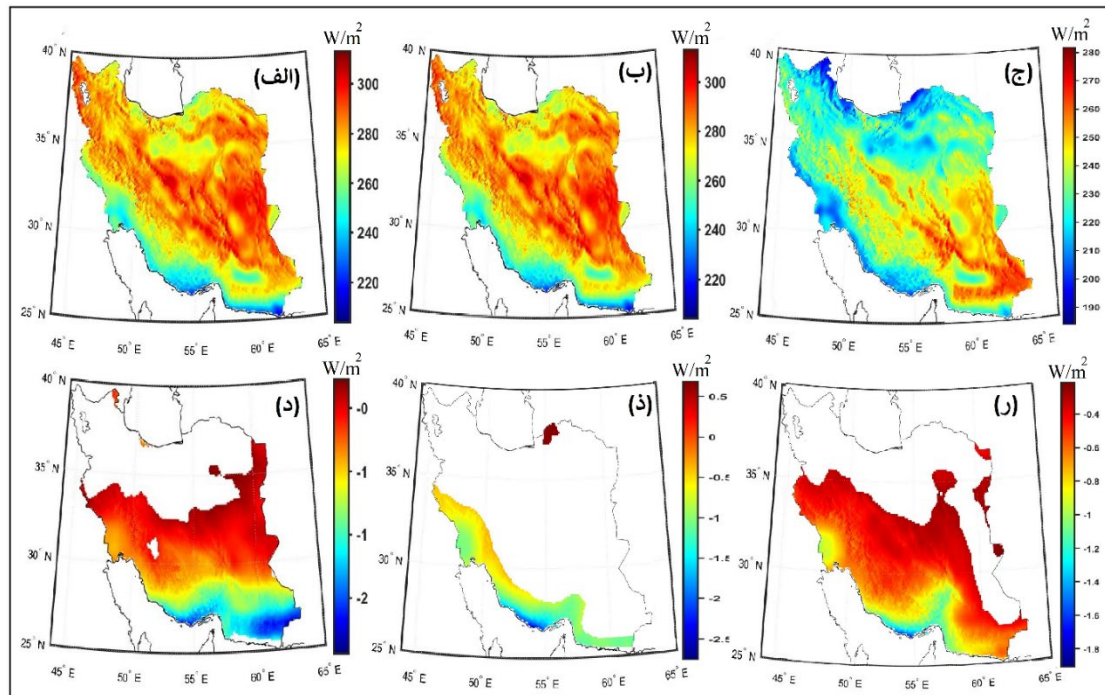
جنوبی کشور (حاشیه دریای عمان و خلیج فارس) و قسمت‌های بسیار محدودی از حاشیه دریای خزر به علت وجود رطوبت بالای منطقه، با مقدار ۲۱۰ تا ۲۴۰ وات بر مترمربع می‌باشد (۴-ج). طبق نقشه توزیع مکانی میانگین (۵ الف) در شکل ۵، ماه ژوئیه هم تا حدودی شرایط مشابه را نشان می‌دهد. بررسی معنی‌داری توزیع فضایی روند برای ماه ژوئن و ژوئیه نشان داد که متغیر مذکور در نیمه جنوبی کشور توزیع فضایی روند منفی داشته است. با توجه به اینکه نیمه جنوبی و جنوب شرقی کشور که سطح آن عمدتاً متشکل از مناطق خشک و نیمه خشک است، در ماه ژوئن و ژوئیه طی ۵۰ سال اخیر با افزایش توزیع فضایی روند گردوغبار برخاسته از بادهای ۱۲۰ روزه (پودینه و همکاران، ۱۳۹۷) و افزایش توزیع فضایی روند رطوبت نسبی تحت تأثیر فعالیت موسمی‌های هندوستان (خدّام و همکاران، ۱۳۹۳) روبرو بوده‌اند. عمدتاً گردوغبارهای برخاسته از این سطح (مناطق خشک و نیمه خشک) که یکی از مهمترین نوع ریزگردهای معلق در جواند، در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته‌اند (بیرانوند و همکاران، ۱۴۰۲؛ داداشی، ۱۳۹۹)، این گرد و غبارها با پراکندگی و جذب طول موج کوتاه ورودی (علیزاده چوبری و همکاران، ۲۰۱۴؛ داداشی، ۱۳۹۹)، در معنی‌داری روند منفی نیمه جنوبی کشور موثر بوده‌اند (۴-ز؛ ۵-د).



شکل ۴: نقشه‌ی توزیع مکانی میانگین تابش خالص طول موج کوتاه ورودی ماه‌های آوریل (الف)، می (ب)، ژوئن (ج): نقشه‌ی توزیع فضایی روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد ماه‌های آوریل (د)، می (ذ)، ژوئن (ر) در ایران (۲۰۲۳-۱۹۸۴) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳).

آئروسول‌هاست (۵-ذ). پراکندگی میانگین تابش ورودی طول موج کوتاه در ماه سپتامبر با توجه به گذر فصل گرما بیانگر کاهش میزان انرژی تابشی به کشور است، با این وجود مناطق جنوب شرق کشور دارای بیشینه‌ی تابش دریافتی با مقدار انرژی ۲۴۰ تا ۲۷۰ وات بر مترمربع است. در این ماه پهنه‌هایی از استان‌های خوزستان و بوشهر و قسمت‌هایی از استان‌های گلستان، گیلان و اردبیل کمینه مقدار دریافت انرژی با ۱۸۰ تا ۲۱۰ وات بر متر مربع، را دارا می‌باشند (۵-ج). توزیع فضایی روند این ماه نیز همانند ماه اوت منفی بود با این تفاوت که بخش‌هایی بیشتری از ایران همچون قسمت‌های خشک ایران مرکزی حوالی ایستگاه‌های طبس، کاشان و یزد روند منفی را تجربه کردند. به نظر می‌رسد فقر رطوبتی جو این مناطق (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷) و افزایش ریزگردها در معناداری منفی آن بی‌تاثیر نبوده است (۵-ر).

نقشه توزیع مکانی میانگین در ماه اوت حاکی از آن است که بیشینه‌ی انرژی دریافتی در بخش‌هایی از استان خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، اصفهان، خراسان رضوی و محدوده بسیار کوچکی از قم و استان مرکزی با مقدار انرژی دریافتی در حدود ۲۷۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع و کمینه‌ی آن به میزان ۲۱۰ تا ۲۴۰ وات بر مترمربع مربوط به سواحل جنوبی کشور در مجاورت دریای عمان و خلیج فارس می‌باشد (۵-ب). در این ماه پراکندگی تابش دریافتی نسبت به ماه قبل بیشتر بوده است. بررسی توزیع فضایی روند این ماه بیانگر وجود روند منفی به صورت نواری شکل از غرب تا جنوب شرق و وجود روند مثبت در بخش‌هایی از استان گلستان است. بیشترین کاهش توزیع فضایی روند نیز در سواحل خلیج فارس بود، همچنین قسمت‌هایی از استان گلستان توزیع فضایی روند مثبتی را تجربه کرده است، معنی‌داری مثبت و منفی توزیع فضایی روند در این مناطق معلول تغییراتی در ترکیبات جوی همچون رطوبت و

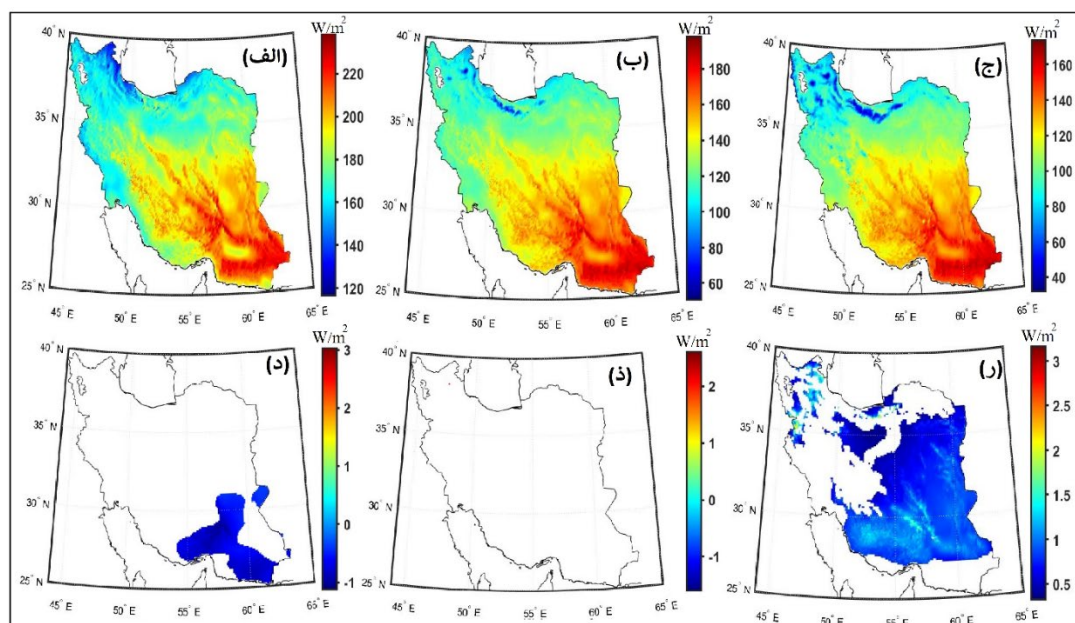


شکل ۵: نقشه توزیع مکانی میانگین تابش خالص موج کوتاه ورودی ماه‌های ژوئیه (الف)، اوت (ب)، سپتامبر (ج): نقشه‌ی توزیع فضایی روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد ماه‌های ژوئیه (د)، آگوست (ذ)، سپتامبر (ر) در ایران (۱۹۸۴-۲۰۲۳) (منبع، نویسندگان، ۱۴۰۳).

همانند ماه قبلی احتمالاً ناشی از تغییر در ترکیبات جوی است (۶-د). بررسی پراکندگی تابش طول موج کوتاه ورودی در ماه نوامبر نشان داد که این ماه مشابه ماه اکتبر بوده است، بدین صورت که بعضی از مناطق شمال و شمال غربی شاهد کمترین مقدار دریافت انرژی تابشی به میزان حداقل ۳۰ تا ۶۰ وات بر مترمربع می‌باشند و به سمت جنوب شرق مقدار انرژی دریافتی ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات بر مترمربع به حداکثر خود رسیده است (۶-ب). بررسی نقشه‌ی توزیع فضایی روند هم نشان داد که در این ماه متغیر مذکور روند معنی‌داری نداشته است (۶-ذ). نقشه توزیع مکانی میانگین ماه دسامبر نشان داد که در این ماه با توجه به حاکم بودن فصل سرما انرژی تابشی به کمترین مقدار خود رسیده و تنها مناطق مستعد جنوب شرقی، مقدار ۱۵۰ تا ۱۸۰ وات بر متر مربع انرژی تابشی دریافت می‌کنند. مناطق شمال و شمال غربی نیز همانند شرایط ماه‌های قبل، همواره کمترین میزان انرژی تابشی با تفاوت مکانی انرژی دریافتی نواحی شمالی و جنوبی کشور نسبت به ماه قبل افزایش داشته است (۶-ج). بررسی نقشه‌ی توزیع فضایی روند هم نشان داد که بخش‌هایی از نیمه‌ی

در ماه‌های سرد سال با توجه به رخداد انقلاب زمستانی در این دوره و کاهش شدت و مدت انرژی تابشی ناشی از تغییر زاویه‌ی تابش خورشید خصوصاً در عرضهای شمالی کشور و همچنین ورود توده هوای مرطوب و ابرناکی بیشتر، انرژی تابشی کمتری دریافت می‌کنند. این مناطق در ماه اکتبر شامل قسمت‌هایی از استان‌های اردبیل، گیلان و گلستان می‌باشد که در منطقه شمال و شمال غرب متمرکز شده‌اند. مقدار دریافت انرژی در این مناطق ۱۲۰ تا ۹۰ وات بر متر مربع می‌باشد. مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور به دلیل نزدیکی به خط استوا و داشتن آسمان نسبتاً صاف در این موقعیت زمانی مقدار انرژی تابشی بیشتری به میزان ۲۴۰ تا ۲۱۰ وات بر مترمربع دریافت می‌کنند. بیشینه‌ی تابش دریافتی شامل قسمت‌هایی از سیستان بلوچستان، هرمزگان و کرمان می‌باشد، همانطور که از نقشه پیداست تفاوت انرژی دریافتی نواحی شمالی و جنوبی کشور در این ماه از سال افزایش داشته است (۶-الف). بررسی نقشه توزیع فضایی روند نیز بیانگر این بود که در این ماه تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در بخش‌هایی از سیستان بلوچستان، هرمزگان، کرمان و فارس توزیع فضایی روند منفی داشته است که

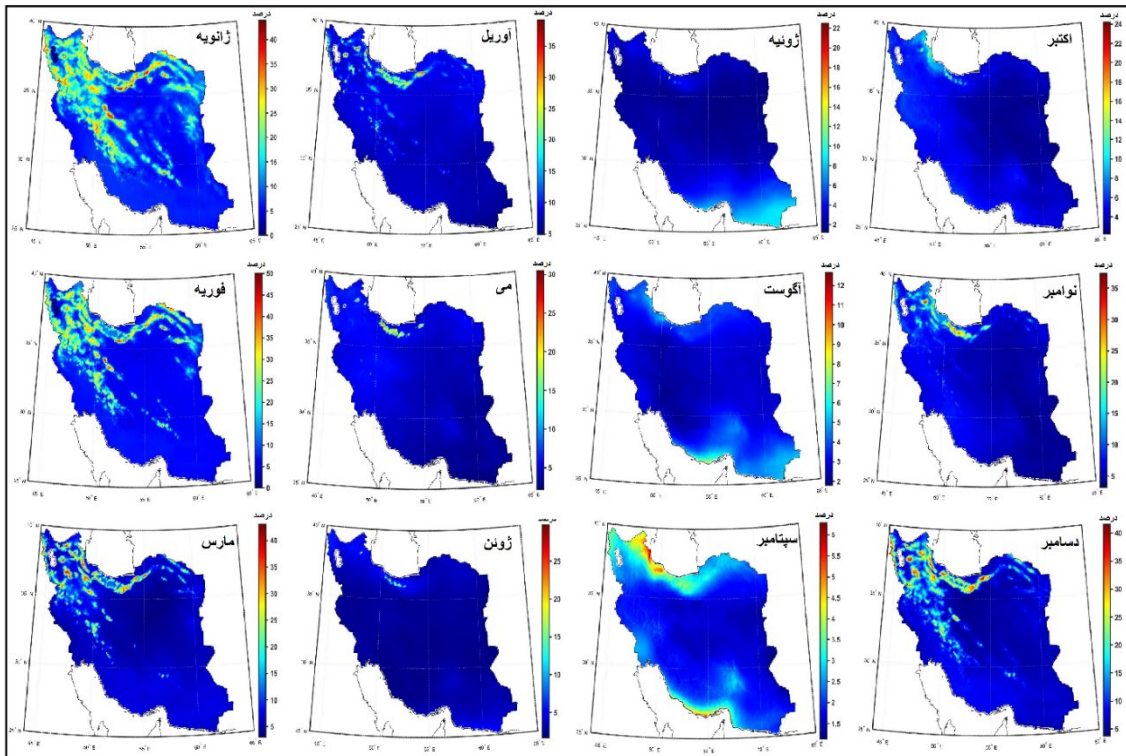
شرقی، جنوبی، مرکزی، شمال‌غرب کشور به صورت پراکنده دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده است که احتمالاً معلول تغییر در شرایط جوی همچون رطوبت و ابرناکی بوده است (۶-ر).



شکل ۶: نقشه توزیع مکانی میانگین تابش خالص موج کوتاه ورودی ماه‌های اکتبر (الف)، نوامبر (ب)، دسامبر (ج)؛ نقشه‌ی توزیع فضایی روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد ماه‌های اکتبر (د)، نوامبر (ذ)، دسامبر (ر) در ایران (۱۹۸۴-۲۰۲۳) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳).

بالایی را دارا بودند. در ماه می ارتفاعات البرز، سبلان و سهند، در ماه ژوئن استان‌های واقع در ارتفاعات البرز و سبلان همچون بخش‌هایی از گیلان، مازندران، البرز و اردبیل بیشترین ضریب تغییرات را داشتند و بقیه نواحی کشور دارای کمینه تغییرات بودند. ضریب تغییرات در ماه آوریل همانند ماه نوامبر بود با این تفاوت که در ماه آوریل علاوه بر استان‌های حاشیه رشته‌کوه البرز و بخش‌هایی از ارتفاعات شمال غرب کشور، ارتفاعات اطراف رشته‌کوه زاگرس و نواحی مرکزی نیز ضریب تغییرات بالایی داشتند. در ماه‌های ژوئن، می، آوریل (بجز بخش‌هایی از ارتفاعات زاگرس و نواحی مرکزی) نواحی مرکزی و نیمه‌ی جنوبی کشور دارای ضریب تغییرات کمتر از ۵ درصد بودند. در ماه اکتبر بیشینه ضریب تغییرات منحصر به شمال و شمال‌غرب کشور یعنی بخش‌هایی از استان اردبیل و استان گیلان بود و و سایر نواحی ضریب تغییرات بسیار کمی را تجربه کرده بودند.

در ادامه به منظور پی بردن به درصد توزیع پراکندگی موج کوتاه ورودی در ماه‌های مختلف سال نسبت به میانگین از ضریب تغییرات استفاده کردیم، براساس شکل ۷، نتایج حاکی از آن بود که در ماه ژانویه و فوریه و دسامبر و مارس بیشینه ضریب تغییرات مربوط به استان‌های حاشیه رشته کوه‌های البرز و زاگرس همچون اصفهان، البرز، اردبیل، قزوین، فارس و سمنان، خراسان‌شمالی و بخش‌های از ارتفاعات شمال‌غرب و شمال‌شرق کشور بود. با این وجود در هر چهار ماه ذکر شده نیمه جنوبی کشور بویژه جنوب شرق کمینه ضریب تغییرات را داشتند، لذا پراکندگی تابش طول موج کوتاه در این مناطق در حول میانگین کمتر است و داده‌ها یکدست‌ترند. اما در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر بخش‌هایی از جنوب و جنوب‌شرقی کشور دارای بالاترین میزان ضریب تغییرات بودند، هرچند در ماه سپتامبر علاوه بر بخش‌هایی از هرمزگان (کرانه‌های خلیج فارس)، قسمت‌های از استان اردبیل (بویژه جلگه مغان) و گیلان ضریب تغییرات



شکل ۷: نقشه ضریب تغییرات ماهانه تابش خالص طول موج کوتاه ورودی برحسب درصد در ایران (۱۹۸۴-۲۰۲۳) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳).

بسیار بالا تبعیت می‌کند. لذا فرضیه صفر رد و فرضیه یک که دلالت بر وجود خودهمبستگی فضایی بین داده‌هاست تایید می‌شود. بیشترین و کمترین میزان خود همبستگی فضایی با توجه به شاخص موران جهانی به ترتیب مربوط به ماه دسامبر و ژوئن بوده است. طبق جدول (۲) چنانچه شاخص موران جهانی برابر با مقدار -۰.۰۰۰۰۶۳ بود، تابش خالص موج کوتاه ورودی در فضا به طور نرمال پخش می‌شد.

تحلیل خودهمبستگی فضایی تابش خالص طول موج کوتاه ورودی به کمک شاخص موران جهانی صورت گرفت. با بررسی فرضیه صفر و یک براساس خروجی گرافیکی و آماره Z (قدرمطلق آن) و مقادیر p -value در جدول (۲) نتایج حاکی از آن است که آماره Z برای هر ۱۲ ماه بین ۲۳۴ تا ۲۸۲ می‌باشد، بنابراین براساس بالا بودن مقدار Z موران جهانی و قرار گرفتن در خارج از محدوده اطمینان و همچنین کوچک بودن مقادیر p -value می‌توان استنباط نمود که تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در کشور از الگوی خوشه‌ای

جدول ۲: نتایج الگوی موران جهانی برای تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در گستره ایران (۱۹۸۴-۲۰۲۳).

ماه	شاخص موران	شاخص مورد انتظار	واریانس	z-score	p-value	مفهوم سازی رابطه فضایی	روش اندازه گیری
ژانویه	۰/۹۲۶۳۰۰	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۸۲/۲۰۱۳۳۱	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
فوریه	۰/۹۱۴۱۲۷	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۷۸/۵۰۲۳۰۹	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
مارس	۰/۸۸۲۳۵۶	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۶۷/۹۰۷۲۹۶	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
آوریل	۰/۸۴۲۳۰۲	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۵۵/۷۹۸۷۱۹	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
می	۰/۸۲۴۰۷۸	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۵۰/۲۴۱۹۱۲	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
ژوئن	۰/۷۷۱۶۹۷	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۳۴/۲۹۱۲۴۱	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی

ژوئیه	۰/۸۱۶۳۹۷	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۴۷/۸۵۰۲۱۳	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
اوت	۰/۸۱۳۵۹۴	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۴۶/۹۹۲۶۵۱	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
سپتامبر	۰/۸۴۵۳۰۹	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۵۶/۶۱۴۸۹۴	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
اکتبر	۰/۹۱۰۹۸۴	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۷۶/۵۵۰۰۵۳	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
نوامبر	۰/۹۲۵۴۳۱	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۱	۲۸۰/۹۳۶۸۸	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی
دسامبر	۰/۹۴۳۲۳۶	-۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۱۳	۲۵۶/۸۹۰۰۸۱	۰	معکوس فاصله	اقلیدسی

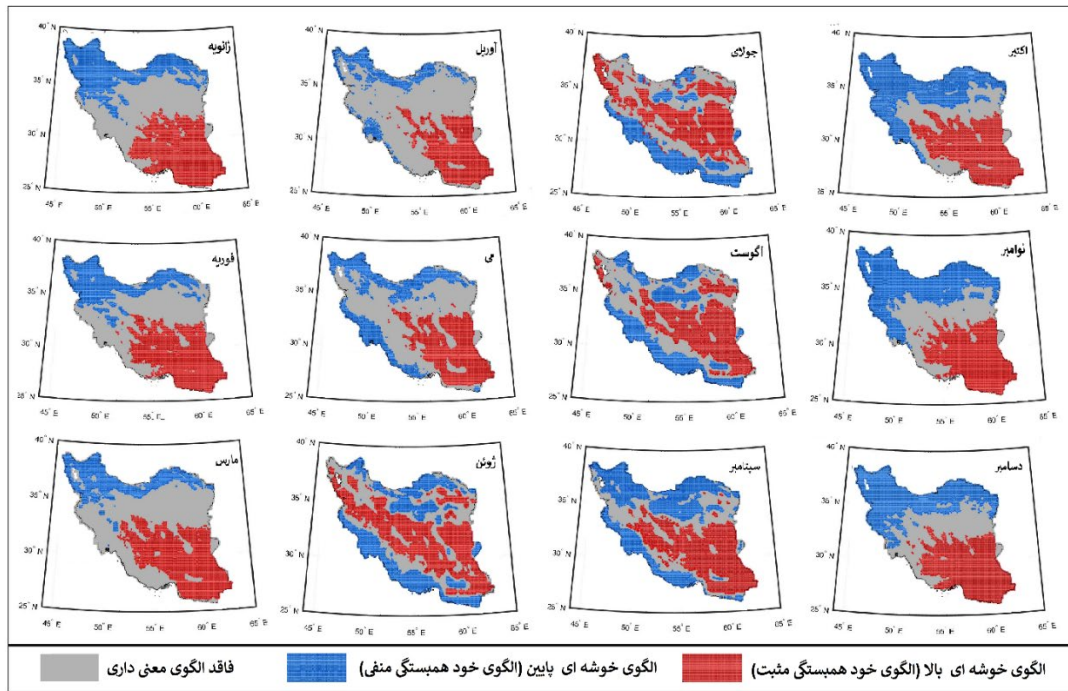
منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

مناطق اطراف در حدود فاصله اطمینان ذکر شده نباشد. حدفصل بین مناطق دارای لکه‌های داغ و سرد به صورت مناطق خنثی بودند. الگوی خودهمبستگی فضایی در ماه آوریل همانند ماه می است، بطوریکه الگوی خوشه‌ای مثبت با اطمینان ۹۰ تا ۹۹ درصد در مناطق جنوب‌شرقی تا مرکز ایران و الگوهای خوشه‌ای منفی از مناطق شمال‌شرق تا شمال غرب و قسمت‌هایی از غرب و به صورت محدود در بخش‌هایی از جنوب شرق کشور کشیده شده است. تفاوت جزئی که در الگوی خودهمبستگی در این دو ماه وجود دارد می‌توان به خود همبستگی فضایی منفی در بخش‌هایی از استان سمنان، بخش‌های جنوبی استان فارس و هرمزگان و بخش کوچکی از جنوب استان سیستان و بلوچستان اشاره کرد که رخداد ریزگردها در مناطقی همچون جلگه‌ی خوزستان و سیستان و بلوچستان در این امر بی‌تأثیر نبوده است. بقیه مناطق نیز فاقد معناداری بودند. در ماه ژوئن الگوی خود همبستگی فضایی مثبت از جنوب شرقی تا شمال غربی به صورت پراکنده کشیده شده است. الگوی منفی نیز در در نیمه غربی کشور بصورت خط موازی از غرب تا جنوب شرقی کشور و در بقیه نواحی بویژه چاله جازموریان، زابل و جنوبی‌ترین منطقه سیستان و بلوچستان بصورت پراکنده دیده می‌شود. ماه ژوئیه همانند ماه ژوئن دارای پراکندگی الگوهای خوشه‌ای مثبت و منفی در تمام پهنه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. با این تفاوت که درصد رخداد همبستگی مثبت در استان خراسان رضوی بیش‌تر شده است. در ماه اوت شرایط حاکم در این ماه، همانند ماه ژوئیه بوده و تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود. در ماه سپتامبر با توجه به گذر از فصل گرما، به مرور میزان الگوهای خوشه‌ای مثبت از قسمت شمالی کشور پسروی کرده و مجدد در قسمت‌های جنوب شرقی و مرکزی کشور متمرکز می‌گردد. در مقابل الگوهای

نتایج حاصل از بررسی همبستگی با موران جهانی تنها بیانگر نوع الگو است لذا به منظور پی بردن به نوع توزیع فضایی (خوشه‌ای، تصادفی، پراکنده) الگوی حاکم بر پراکنش تابش خالص موج کوتاه ورودی در ایران از شاخص موران محلی استفاده شد تا براساس مقادیر I در مورد چگونگی توزیع تصمیم‌گیری شود. نتایج حاصل از شاخص موران محلی در شکل ۷ آمده است براساس این شکل، مناطق دارای خود همبستگی فضایی مثبت و منفی در سطح ۹۹ درصد به ترتیب با رنگ قرمز (HH) و آبی (LL) و مناطق فاقد معنی‌داری آماری با رنگ خاکستری نشان داده شده است که در آن هیچ نوع الگویی حاکم نبوده، بنابراین فاقد الگوی خود همبستگی فضایی‌اند (جدول ۳). الگوی خودهمبستگی فضایی سه ماه ژانویه، فوریه، مارس بسیار مشابه هم هستند بطوری که بالاترین و پایین‌ترین میزان خودهمبستگی فضایی به ترتیب در نیمه جنوبی (بویژه جنوب شرق) و نیمه شمالی ایران با سطح اطمینان ۹۹ درصد دیده شد. به نظر می‌رسد که در مثبت و منفی بودن همبستگی فضایی و تجانس منطقه‌ای نقش ارتفاعات و نزدیکی به خط استوا و زاویه تابش خورشیدی دخیل بوده است. در بین خوشه‌بندی مثبت در ژانویه قسمت‌هایی از کرمان و مازندران، در فوریه قسمت‌هایی از مناطق زابل، بخش‌های کوچکی از شمال و مرکز استان کرمان و در مارس قسمت‌هایی از نیمه‌ی شمالی کشور (بخش‌هایی از مازندران، زنجان، ارومیه)، مناطق زابل و جلگه‌ی جازموریان و قسمتی از شمال استان کرمان، جزء مناطق خنثی و فاقد معنای آماری هستند. از موارد تأثیرگذار بر این شرایط می‌توان به رخداد طوفان‌های شن در دشت لوت کرمان و ارتفاع پایین چاله‌ی جازموریان، زابل و دشت لوت، دمای پایین و آسمان ابری و مه‌آلود بودن منطقه باعث شده است که مقادیر دریافت انرژی در این محدوده به نسبت

برآن‌ها جزء مناطق خنثی محسوب می‌شوند. پراکندگی الگوهای خودهمبستگی فضایی در ماه نوامبر و دسامبر نیز با تفاوت جزئی همانند ماه اکتبر می‌باشد. در مجموع توزیع تابش خالص موج کوتاه در ایران در سه ماه نخست (میلادی) و سه ماه آخر سال دارای الگوهای مشابهی هستند.

خوشه‌ای منفی جایگزین آن شدند. در ماه اکتبر همانند ماه قبلی با توجه به کاهش دما و میزان و مدت تابش، مناطق دارای خود همبستگی مثبت و منفی به ترتیب به دو قسمت شمال غربی و جنوب شرقی تقسیم شده و مناطق میانی نقاط خنثی را تشکیل می‌دهند. همچنین منطقه زابل، دشت لوت و جلگه جازموریان طبق روال ماه‌های سرد و شرایط حاکم



شکل ۷: نقشه شاخص موران محلی برای تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در گستره ایران (۱۹۸۴-۲۰۲۳) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳).

جدول ۳: درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص موران محلی

موران محلی	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه
الگو HH	۳۱/۱۲	۲۹/۷۲	۳۲/۰۵	۲۶/۵۲	۲۶/۵۱	۲۶/۱۷	۲۶/۳۷	۲۵/۴۸	۲۳/۱۴	۳۰/۱۱	۳۰/۵۶	۲۹/۳۰
الگو LL	۳۱/۳۶	۳۵/۹۳	۳۴/۳۳	۲۰/۵۲	۲۰/۵۵	۱۷/۶۷	۲۰/۰۶	۲۰/۳۲	۱۰/۲۲	۱۵/۵۰	۲۰/۵۵	۲۴/۱۰
الگو HL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
الگو LH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
فاقد الگو	۳۷/۵۲	۳۴/۳۵	۳۳/۶۲	۵۲/۹۶	۵۲/۹۴	۵۶/۱۶	۵۳/۵۷	۵۴/۲۰	۶۶/۶۴	۵۴/۳۹	۴۸/۸۹	۴۶/۶۰

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

واکای این پارامتر مهم جوی با استفاده از داده‌های ماهواره مبنای مدل FLDAS با پوشش زمانی ۴۰ ساله اقدام به بررسی آن گردید. ابتدا بعد از بررسی همگنی داده‌ها و تأیید همگنی آن به کمک آزمون نرمال استاندارد مطلق، معناداری توزیع فضایی روند هر یاخته با روش رگرسیون خطی مورد آزمون قرار گرفت و مشخص شد که در ماه‌های آوریل و

نتیجه‌گیری

نوسان تابش خالص طول موج کوتاه ورودی تأثیر چشمگیری بر تبخیر، رشد گیاهان، توازن گرمایی آب‌های سطحی زمین، گرمای هوا و خاک، تبخیر و تعرق، فتوسنتز و غیره می‌گذارد. از اینرو آگاهی از رفتار و تغییرات طولانی مدت آن بسیار حائز اهمیت است. جهت آشکارسازی و

- 1- Alina, W., Castelloa, R., Mohajeri, N., Guignar, F., Kanevski, M., Scartezzini, J., (2019). Spatio-Temporal Modelling and Uncertainty Estimation of Hourly Global Solar Irradiance Using Extreme Learning Machines. International Conference on Applied Energy. 22-25 August. Hong Kong. China.
 - 2- Alizadeh choobari, O. (2017). Numerical investigation of aerosol indirect effects on shortwave and longwave radiation and longwave radiation: a case study. *Journal of the earth and space physics*, 43(2), 441-450. SID: <https://sid.ir/paper/80325/en>
 - 3- Baliani, Yadollah; Hakim Doost, Seyed Yaser (2014). Principles and Fundamentals of Spatial Data Processing, Tehran: Azadpeema.
 - 4- Bararkhanpour, S., Ghorbani, K., Salari Jazi, M. and Rezaei Ghaleh, L. (2020). Study of Seasonal and Annual Rainfall Changes with Quantile regression method (Case Study: Gorgan Hashem-Abad Station. *Journal of Climate Research*, 1398(39), 89-104
 - 5- Beyranvand, A., Azizi, G. and Alizadeh, O. (2024). Analyzing the role of thermal and dynamic cyclone in dust storms at western Iran. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 11(2), 165-182. doi: 10.22034/grd.2024.21230.1609
 - 6- Bhattarai, N., Mallick, K., Stuart, J., Vishwakarma, B. D., Niraula, R., Sen, S., and Jain, M. (2019). An automated multi model evapotranspiration mapping framework using remotely sensed and reanalysis data, *Remote Sensing of Environment*, 229, 69-92, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.026>, 2019.
 - 7- Chimel, D., Famiglietti, J. S., Stephens, G., and Wood, E. F. (2017). 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.
 - 8- Chukwujindu, N.S. (2017). A comprehensive review of empirical models for estimating global solar radiation in Africa. *Renewable and sustainable energy reviews*, 78, 955-995.
 - 9- Dadashi-Roudbari, Abbas Ali. (2019). Spatial-temporal analysis of vertical and horizontal patterns of dust and assessment of its climatic feedbacks in Iran, PhD thesis in Meteorology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University.
 - 10- Engel-Cox, J.A., Hoff, R.M., Haymet, A.D.J., (2004). Recommendations on the use of satellite remote-sensing data for urban air
- نوامبر در هیچ کجای ایران توزیع فضایی روند معناداری وجود ندارد. نقشه‌های توزیع فضایی روند نشان داد که در ماه‌های سرد سال (ژانویه، فوریه، مارس، دسامبر) تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در بخش‌های نیمه شمالی کشور روند افزایشی با سطح اطمینان ۹۵ درصد داشت، از موارد تأثیرگذار بر این شرایط می‌توان به کاهش روند ابرناکی و بارش در این مناطق اشاره کرد که باعث شده مقادیر دریافت تابش خالص طول موج کوتاه ورودی در طولانی مدت نسبت به مناطق اطراف افزایش داشته باشد. با این وجود در ماه‌های گرم سال (ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر) عمدتاً نیمه جنوبی کشور، می‌نیمه شرقی و در اکتبر جنوب شرق توزیع فضایی روند منفی با سطح اطمینان ۹۵ درصد بود. با توجه به اینکه نیمه‌ی جنوبی کشور عمدتاً متشکل از مناطق خشک و نیمه خشک است افزایش روند گرد و غبارهای برخاسته از این سطوح می‌تواند جز موارد تأثیرگذار بر پراکندگی و جذب تابش موج کوتاه ورودی در طولانی مدت بر این مناطق باشد. در نتیجه در این مناطق روند متغیر مذکور کاهش یافته است. بررسی ضریب تغییرات بیانگر آن بود که در بیشتر ماه‌ها بیشینه ضریب تغییرات مربوط به استان‌های حاشیه رشته کوه‌های البرز و زاگرس و بخش‌های از ارتفاعات شمال غرب و شمال شرق کشور بود. تحلیل خودهمبستگی فضایی تابش خالص طول موج کوتاه ورودی به کمک شاخص موران جهانی حاکی از آن است که بیشترین و کمترین میزان خودهمبستگی فضایی به ترتیب مربوط به ماه دسامبر و ژوئن بوده است و از الگوی خوشه‌ای بسیار بالا تبعیت می‌کند. بررسی نوع توزیع فضایی (خوشه‌ای، تصادفی، پراکنده) حاکم بر پراکنش تابش خالص طول موج کوتاه ورودی نشان داد که عمدتاً بالاترین و پایین‌ترین میزان خودهمبستگی فضایی به ترتیب در نیمه‌ی جنوب ایران و نیمه‌ی شمالی ایران با سطح اطمینان ۹۹ درصد دیده شد که شرایط توپوگرافی، نزدیکی به خط استوا و زاویه‌ی تابش خورشیدی می‌توانند در این امر تأثیرگذار باشند. نتایج این یافته همسو با نتایج کاظمی و همکاران (۱۴۰۳)، حسینی صدیقی و همکاران (۱۴۰۰) می‌باشد.

- stations in Iran in period 1976-2005. *Journal of marine science and technology research*, 6(2), 19-30. SID. <https://sid.ir/paper/173980/en>
- 20- Kazemi, M., jalali, M. and Raispour, K. (2024). Temporal-spatial investigation of net short wavelength solar radiation using FLDAS global model data in Iran. (e714738). *Climate Change and Climate Disaster*, 2(4), e714738
- 21- Khoddam, N., Irannejad, P. and Ahmadi-Givi, F. (2015). A study of the impact of Indian Monsoon on summer climate of Iran. (e33583). *Iranian Journal of Geophysics*, 9(2), e33583
- 22- Khoshkho, Younes (1402). The capability of some global solar radiation empirical models as the input of the other hydro-climatic processes. *Physics of Earth and Space*: 49(1), 137-152, DOI: 10.22059/jesphys.2022.338970.1007404
- 23- Ma, Y., He, T., Aguilar, C., Pimentel, R., (2024). "Evaluating Topographic Effects on Kilometer-Scale Satellite Downward Shortwave Radiation Products: A Case Study in Mid-Latitude Mountains," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 62, pp. 1-16, 2024, Art no. 5609816, DOI: 10.1109/TGRS.2024.3365865.
- 24- Mafakheri, O., Saligheh, M., Alijani, B. and Akbary, M. (2017). Zonation of temporal changes and uniformity of rainfall in Iran. *Physical Geography Research*, 49(2), 191-205. doi: 10.22059/jphgr.2017.62841
- 25- Masoodian, S. A. (2023). Estimation of Surface Solar Energy Budget over Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(2), 503-516. doi: 10.22059/jesphys.2023.348599.1007457
- 26- Masoudian, Abolfazl (2012), Iran's Climate, Mashhad Publications: Sharia Toos. First edition.
- 27- Mousavi Baygi, M., Ashraf, B. and Miyanabady, A. (2010). Investigating different solar radiation estimation models in order to introduce the most appropriate model in a semi-arid climate. *Water and Soil*, 24(4), -. doi: 10.22067/jsw.v0i0.3908
- 28- Okundamiya M.S & Nzeako A. (2010). Empirical Model for Estimating Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces for Selected Cities in the Six Geopolitical Zones in Nigeria. Maxwell Scientific Organization.
- 29- Poudineh, e., SALAHL, B., KHOSRAVI, M., & Hamidianpour, m. (2018). Trend analysis of maximum wind speeds of Sistan 120-days wind using Mann-Kendall and Sens Estimators slope tests. RESEARCHES IN quality. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 54, 1360–1371.
- 11- Entezari, A., Dadashi rudbari, A. and Asadi, M. (2016). Assessing the autocorrelation of spatial-temporal temperature change in heat islands of Khorasan Razavi Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 4(4), 125-146. doi: 10.22067/geo.v4i4.41698
- 12- Fallah Karami, Reyhaneh; Vazgazi Doost, Majid; Abedini, Yousef Ali; Pirmoradian, Nader (2019). Study of the spatial distribution of the temporal and spatial changes in shortwave radiation at the Earth's surface resulting from the Global Data Assimilation Model GLDAS, Sixth Regional Conference on Climate Change, Tehran, <https://civilica.com/doc/1002833>.
- 13- H. Letu et al., (2019). "High-resolution retrieval of cloud microphysical properties and surface solar radiation using Himawari-8/AHI next-generation geostationary satellite," *Remote Sens. Environ.*, vol. 239, Mar. 2020, Art. No. 111583, doi: 10.1016/j.rse.2019.111583.
- 14- Hao, D., Asrar, Gh., Zeng, Y., Zhu, Q., Wen, J., Xiao, Q., Chen, M., (2020). DSCOVR/EPIC-derived global hourly and daily downward shortwave and photosynthetically active radiation data at 0.1 times 0.1 resolution," *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 12, no. 3, pp. 2209–2221, Sep. 2020, doi: 10.5194/essd-12-2209-2020.
- 15- Hosseini Seddigh, S. M., Jalali, M., alimohammadi, M., Jafarie, T. and Rasouli, M. (2022). Decadal variations and spatial patterns Outgoing longwave Radiation Iran. *Journal of Climate Research*, 1400(48), 125-142.
- 16- Huang, G., Liu, S., Liang, S., (2012). "Estimation of net surface shortwave radiation from MODIS data," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, pp. 804-825.
- 17- Javadnia E. Development and evaluation of Downward Surface Shortwave Radiation based on SARA AOD using MODIS data under cloud-free conditions. *jgit* 2018; 6 (3) :139-162
URL: <http://jgit.kntu.ac.ir/article-1-621-fa.html>
- 18- Javanmard, S. and khazanedari, L. (2020). Climatic study of radiation parameters at surface using GLDAS model over Iran during 30 years (1981-2010). *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 3(2), 98-112. doi: 10.22034/jmas.2021.273450.1124
- 19- Katiraie, P.S., Arkian, F., & Rezaei Farkosh, R. (2011). Trend of humidity in synoptic

- clustered line transect data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11:264–279.
- 41- Yang, F., Lu, H., Yang, K., He, J., Wang, W., Wright, J.S., Li, C.W., Han, M.L., Li, Y.S., (2017). Evaluation of multiple forcing data sets for precipitation and shortwave radiation over major land areas of china. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2017, 21, 5805–5821.
- 42- Yang, L., GAO, X., Li, Z., Jia, D., (2022), Quantitative effects of air pollution on regional daily global and diffuse solar radiation under clear sky conditions. *Energy Reports*, Volume 8, November 2022, Pages 1935-1948, 10.1016/j.egyr.2021.12.081
- 43- Yao, W; Zhang, Ch., Wang, X, Shang, J, Zhu, Y, Zhang, S. (2017). The research of new daily solar radiation models modified by air quality index (AQI) in the region with heavy fog and haze. *Energy conversion and management*. 140 -150.
- 44- Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Karampour, M. and Mohamadi, G. (2019). Analysis and Clustering of Dust Storms in Eastern of Iran. *Desert Management*, 6(12), 75-88. doi: 10.22034/jdmal.2019.34758
- 45- Zeynali, B. and Mohammadzadeh, M. (2023). Feasibility study of using solar radiation energy using remote sensing and SEBAL algorithm (Case study: Alborz Plain). *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 6802-6815. doi: 10.22034/jess.2022.352813.1832
- 46- Zhang C., Shen C., Yang Q., Wei S., Lv G., Sun C. (2020), An investigation on the attenuation effect of air pollution on regional solar radiation *Renew. Energy*, 161 (2020), pp. 570-578.
- 47- Zhao, N., Zeng, X., Han, Sh. (2013). Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China. *Energy conversion and Management*. 846 -851.
- EARTH SCIENCES, 9(34), 0-0. SID. <https://sid.ir/paper/366863/en>
- 30- Prasad, K.P. and Bansod, S.D. (2000). Interannual Variations of Outgoing Longwave Radiation and Indian Summer Monsoon Rainfall. *International Journal of climatology*. No. 20.
- 31- Rahimi, N. (2021). Analyzing the Role of Polar Vortex on Daily Extreme Precipitation in the Northwest of Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4), 59-82. doi: 10.22126/ges.2022.6844.2437
- 32- Raispour, K. and Razmi, R. (2020). Estimation of Cloud Fraction in the Atmosphere of Iran Using Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR). *Iran-Water Resources Research*, 16(3), 257-271.
- 33- Ruan, Z., Sun, W., Yuan, Y., Tan, H., (2023), accurately forecasting solar radiation distribution at both spatial and temporal dimensions simultaneously with fully-convolutional deep neural network model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume Elsevier, vol. 184(C). DOI: 10.1016/j.rser.2023.113528.
- 34- Saligheh, Mohammad (2016). *Synoptic Meteorology of Iran*. Tehran: Samt Publications.
- 35- Salimiyan Rizi, T., Mostajeran Goortani, B. and Kermani Alghorayshi, T. (2017). Conventional Methods of Defining of the Intensity of Solar Radiation on Horizontal Surface. *Journal of Renewable and New Energy*, 4(1), 16-21.
- 36- Sari, B., Rostamzadeh, H., Darand, M. and Skandari, O. (2022). Spatial analysis of outgoing longwave radiation trend in Iran. *Physical Geography Research*, 53(4), 573-595. doi: 10.22059/jphgr.2021.330036.1007643
- 37- Sharifi, S. S., Rezaverdinejad, V., Nourani, V. and Behmanesh, J. (2021). Evaluation of the Capability of Intelligent Models in Estimating Monthly Global Solar Radiation. *Water and Soil Science*, 31(2), 13-26. doi: 10.22034/ws.2021.11636
- 38- Shayesteh F, saligheh M, alijani B, fathnia A. (2023). Temporal and spatial changes of incoming solar short-wave wavelength and long-wave wavelength in the region of Iran. *Jgs*. 23(70),: 1 doi:10.61186/jgs.23.70.1 URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3177-fa.html>
- 39- Veeffkind, P., Van Oss, R.F., Eskes, H., Borowiak, A., Dentner, F., Wilson, J., (2007). The Applicability of Remote Sensing in the Field.
- 40- Waage petersenand, R., and Schweder, T. (2006). Likelihood-based inference for