دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

سال سیزدهم، شماره‌ی ۴۳
پاییز ۱۳۹۲، صفحات ۶۳-۳۹

دکتر محمود خسروی[۱]
دکتر سعید جهانبخش اصل[۲]
جعفر درخشی[۳]

برآورد و پهنه بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS مطالعه‌موردی: استان آذربایجان‌شرقی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۱۰/۱٤

چکیده

تابش خورشید رسیده به زمین به عنوان یکی از عوامل مورد نیاز برای مطالعات منابع آب، محیط زیست، کشاورزی و پوشش های نباتی، معماری همساز با اقلیم، طراحی سیستم‌های استفاده از انرژی‌های پاک و موارد متعدد دیگر، کاربرد گسترده‌ای دارد. این عامل در تمام ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شود و از این رو روش های تجربی زیادی برای برآورد آن با استفاده از پارامترهای هواشناسی، نجومی و جغرافیایی ارائه شده است. هدف از این مطالعه برآورد میزان تابش کل رسیده به سطح افقی با استفاده از عناصر اقلیمی (کمینه، بیشینه و میانگین دما، کمینه رطوبت، ابرناکی آسمان و ساعات آفتابی) و پهنه بندی آن در گستره استان آذربایجان شرقی می باشد. بدین منظور از داده‌های ماهانه تابش خورشید اندازه‌گیری شده در ایستگاه تبریز طی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰٦ برای مدل سازی و برای برآورد میزان تابش هم از داده‌های اقلیمی ٦ ایستگاه سینوپتیک در سطح استان طی سال های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ استفاده شد. با به دست آوردن ضرایب رگرسیون چند متغیره به آزمون صحت مدل و بررسی خطاهای آن پرداخته شد. پس از اطمینان از صحت مدل، لایه های مورد نیاز در محیط GIS ایجاد و با اعمال ضرایب مدل رگرسیون در لایه های ایجاد شده، میزان تابش کل رسیده به سطوح افقی در سطح استان مورد محاسبه قرار گرفت. با توجه به

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان E -mail: Khosravi@hamoon.usb.ac.ir
۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز E -mail: S-jahan@tabrizu.ac.ir
۳- کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان E -mail: J_derakhshi60@yahoo.com

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نقشه‌های توزیع تابش ماهانه در سطح استان، الگوی تابش در استان به چهار مقطع زمانی، فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز تقسیم گردید. نتایج نشان داد که کمترین میزان تابش مربوط به ماه ژانویه و بیشترین میزان آن مربوط به ماه ژوئن می‌باشد. توزیع تابش سالانه استان از جنوب غربی به شمال و شمال شرقی روند کاهشی نشان می‌دهد. میانگین تابش سالانه در استان، ٤٢٤٤ وات بر متر مربع در روز برآورد گردید. دامنه تغییرات تابش سالانه استان ٤٤٣ وات بر متر مربع در روز و ضریب تغییر پذیری مکانی آن ۲ درصد می باشد.

کلید واژه ها: تابش خورشیدی، پهنه بندی، عناصر اقلیمی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، آذربایجان شرقی.

مقدمه

بشر از دیرباز با به کارگیری انرژی‌های فراوان و در دسترس طبیعت، در پی گشودن دریچه‌ای تازه به روی خویش بود تا از این رهگذار، بتواند افزون بر آسانتر کردن کارها، فعالیت‌های خود را با کمترین هزینه و بالاترین سرعت به انجام رساند و گامی برای آسایش بیشتر بردارد. نخستین انرژی به کار رفته توسط بشر، انرژی خورشید بود. امروزه عوامل بسیاری از جمله گسترش فزاینده‌ی نیاز به انرژی، محدودیت منابع فسیلی، فاجعه‌ی آلودگی زیست‌محیطی ناشی از سوخت مواد فسیلی، گرم شدن هوا و اثر گلخانه‌ای و بسیاری از دیگر عوامل، سبب رویکرد دوباره‌ی علم به انرژی‌های تجدیدپذیر طبیعی شده؛ با این تفاوت که پیشرفت علم و فناوری، فصلی تازه در به کارگیری و تبدیل و مهار این انرژی‌ها گشوده است. تابش خورشید منبع اصلی انرژی سیاره زمین و عامل اصلی کنترل حیات و آب و هوا در سطح زمین به شمار می آید و تمام پدیده های روی زمین که در زندگی انسان مؤثر هستند در قلمرو مطالعه و تحقیق علم جغرافیا قرار می گیرند. پهنه بندی تابشی یکی از ابزارهای شناسایی بشر از ویژگی های نواحی اقلیمی است تا بتواند با برنامه ریزی مناسب با استفاده از این انرژی به توسعه پایدار برسد. افزایش روز افزون تقاضای انرژی، به کارگیری تمهیداتی جهت بهره برداری بهینه از منبع سرشار انرژی خورشیدی در کشورمان امری ضروری به نظر می رسد. برنامه ریزی جهت بهره برداری بهینه از انرژی خورشیدی، نیازمند برآورد پتانسیل آن در مناطق مختلف کشور می باشد. در حال حاضر بیش از ۸۱ درصد از کل انرژی مصرفی جهان و بیش از ۹۵ درصد انرژی مصرفی در ایران را سوخت‌های فسیلی تامین می کنند. ادامه روند مصرف سوخت های فسیلی، علاوه بر تشدید آلودگی هوا، آب و زمین، موجب تشدید گرمایش جهانی خواهد شد. بر اساس پیش بینی آژانس بین المللی انرژی تا سال ۲۰۲۵ مصرف انرژی کشورهای در حال توسعه ۱۰۰ درصد و شرق اروپا ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت (مرادی، ۱۳۸۵).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

برای برآورد انرژی تابشی خورشید در یک منطقه، مدل های ریاضی متعددی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی پیشنهاد شده است که اکثر این مدل ها بر اساس آمارهواشناسی تدوین گردیده‌اند. آنگسترم اولین فیزیکدانی است که برای تخمین تشعشع کل، مدلی را به صورت QS/QO=A+B.n/N ارائه داده که در آن QS تابش متوسطه روزانه در یافتی از خورشید بر سطح افقی در سطح زمین، QO تابش متوسطه روزانه دریافتی از خورشید بر سطح افقی دربالای جو، n مدت متوسط تابش حقیقی آفتاب (برحسب ساعت)، N طول حقیقی روز یا طول روز نجومی (برحسب ساعت)، A و B ضرایب خط رگرسیون می باشند و به ثابت‌های آنگسترم معروف هستند. آنگسترم(۵۰-۱۲۱: ۱۹۲٤)[1]. این مدل توسط پرسکات (۱٤٤- ٦٤: ۱۹٤۰)[2] و بعداً به وسیله پیج (۱۹٦٤)[3] اصلاح گردید. دانشیار (۹- ۳٤٥ : ۱۹۷۸)[4]، با استفاده از داده های هواشناسی و تشعشع سنجی تهران ضرایب ثابت موجود در مدل پالتریج را اصلاح و آن را برای ایران بخصوص برای شهرهای بزرگ ارائه و تعمیم داد. داگویی[5](۳۵۷-۳۳۹ :۱۹۹۳)، روش‌های مختلف محاسبه مولفه های پراکنده، مستقیم و بازتابی تابش در مناطق شیب دار و کوهستانی را بررسی نمود. او در محاسبات خود توپوگرافی‌ها و موانع جغرافیایی را در نظر گرفته و بر این نکته تاکید نموده که در صورتی که این عوارض در نظر گرفته نشود خطای زیادی ایجاد می شود. صمیمی[6] (۹-٤۰۱ :۱۹۹٤)، با استفاده از یک اصول کلی مدلی را برای پیش بینی تابش خورشید در شهرهای ایران برحسب ارتفاع ارائه داد. مقادیر پیش بینی شده در این مدل برازش خوبی با داده های اندازه گیری شده در یک دوره ۱۷ ساله در تهران و همچنین با دوره‌های کوتاه مدت سایر شهرها نشان داد. الیس[7] و همکاران (٤۷۵-٤۸۵ :۱۹۹۵)، مدلی را برای محاسبه تابش خورشید روی توپوگرافی ها و پهنه بندی تابش خورشید ارائه کردند. سوزن[8] و همکاران (۲۰۰٤) در مقاله‌ای، پتانسیل تابش خورشیدی در ترکیه را به وسیله شبکه های عصبی مصنوعی برآورد کردند. آنان در مطالعه خود از داده های هواشناسی و جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ماه، میانگین ساعت آفتابی و میانگین دما) ۱۷ ایستگاه ترکیه به مدت سه سال برای ورودی مدل خود بهره گرفتند. ال ـ صبایی و ترابیا[9] (۲۰۰۵) در پژوهشی میزان تابش خورشید در سطح افقی را برای مصر به دست آوردند. آنان پنج نقطه از مصر که دارای شرایط اقلیمی متفاوت داشتند و سه تا از این نقاط در شمال و یکی در مرکز و پنجمی هم در جنوب مصر قرار داشت انتخاب کردند. با استفاده از مدل های

1 - Angstrom
2 - Prescott
3 - Page
4 - Daneshyar
5 - Duguay
6 - Samimi
7- Olseth
8 - Sozen
9 - El - Sebaii and Trabea

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

درجه اول، دوم و سوم آنگسترم برای هر یک از نقاط، میزان تابش خورشید را برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که روابط دوم و سوم آنگسترم از دقت تخمین بیشتری برای مصر برخوردار نبوده، ولی رابطه اول را برای برآورد تابش خورشید پیشنهاد و آن را برای سایر نقاط مصر معرفی کردند. آلن[1] و همکاران (۵۵-۷۳ :۲۰۰۶) در پژوهشی جهت بر آورد تابش خورشید در روی دامنه ها و سطوح شیب دار مدلی را ارائه کردند که در آن از پارامترهای هواشناسی از قبیل رطوبت نسبی و دمای هوا استفاده کرده و به نتایج قابل توجهی دست یافتند از جمله این که مقادیر برآورد شده توسط مدل با مقادیر اندازه گیری شده در زوایای مختلف برای هر دو مکان مورد مطالعه در شرایط آسمان صاف درطول تمام سال مطابقت خوبی دارد. راماچندرا[2](۱۰۱-۱۱٤ :۲۰۰۷) در مقاله ای تحت عنوان تعیین پتانسیل انرژی خورشیدی با استفاده از GIS چنین بیان می کند که پتانسیل انرژی های تجدید پذیر و قابلیت دسترسی به این منابع نیاز به بررسی دارد که سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (RS) در مقیاس‌های مکانی و زمانی و تقاضا از منابع تجدید پذیر و برنامه ریزی برای آن کمک می کند. وی با استفاده از GIS نقشه پتانسیل انرژی خورشید را در ایالت کارانتکا در هند برای بهره برداری از این انرژی تهیه کرد. ایشان ضمن تجزیه و تحلیل نقشه های به دست آمده، مناطق و نواحی مستعد را شناسایی و میزان تابش رسیده به آنها را به دست آورد. خلیلی و رضایی صدر (۳۵-۱۵ :۱۳۷٦)، با استفاده از داده های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی (سینوپتیک، کلیماتولوژی) تابش کلی خورشید را در گستره ایران برآورد کردند. آنان ضمن واسنجی ضرایب آنگسترم برای ایران مقادیر A و B را برای شبکه تشعشع سنجی بجز ایستگاه جاسک و زاهدان در سایر ایستگاه ها در سطح ۰/۰۱ معناداری به دست آوردند و با استفاده از ۱٦ ایستگاه تابش سنجی انرژی تابشی خورشید را در سطح کشور به ۱٦ منطقه تقسیم و پهنه بندی کردند. صفایی و همکاران (۲۷-۱۳۸٤:۳٤) در یک کار تحقیقی از ۲۱ ایستگاه تشعشع سنجی کشور ۹ ایستگاه که داده های تشعشع سنجی آنها که دوره آماری ۵ تا ۱۱ ساله داشته استفاده کردند. برای تخمین میانگین ماهانه تابش کلی روزانه در سطح افقی سه مدل: آنگسترم - پرسکات، روش حداکثر احتمال و مدل هیبرید را به کار بردند و نتیجه گرفتند که مدل هیبرید مناسب‌تر از دو مدل دیگر است. با استفاده از مدل هیبرید دوازده نقشه مربوط به میانگین ماهانه تابش کلی روزانه خورشیدی بر واحد سطح افقی در هر ماه و چهار نقشه برای فصل‌های مختلف سال و یک نقشه مربوط به مجموع انرژی تابشی کلی رسیده به واحد سطح افقی به مدت یک سال برای نقاط مختلف ایران ترسیم کردند. قویدل حیدری و همکاران (٦۳-٦۱ :۱۳۸۵) با استفاده از مدل سودا[3] میزان تابش خورشید را در استان سیستان و بلوچستان برآورد کردند و الگوی تابش در استان را به دو دوره عمده

1 - Allen
2 - Ramachandra
3 - Soda

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تابش فصل گرم و تابش فصل سرد و در حد فاصل آنها دو دوره گذار فصل گرم به سرد و فصل سرد به گرم تقسیم کردند. که در دوره گرم از شمال شرق به جنوب غرب از میزان تابش کاسته می شود. در فصل سرد سال مراکز کم تابش و پر تابش در سطح استان کاملاً تغییر می کند. میزان تابش از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می یابد. در دوره گذار گرم به سرد تغییرات زیادی در الگوی تابش استان به وجود می‌آید اما تغییرات گذار سرد به گرم به دلیل اعتدال در تابش آفتاب و طول روز در میزان تابش کمتر است. در کل توزیع تابش سالانه در استان از جنوب به شمال و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. از نظر مقدار تابش میانگین سالانه، تمام ایستگاه‌های استان را دارای چولگی منفی ارزیابی کردند. حیدری نبی و همکاران (۱۳۸٦)، در پژوهشی به بررسی برخی از مدل های یک یا چند متغیره آماری مبتنی بر نظریه همبستگی و قابلیت شبکه های عصبی مصنوعی در برآورد تابش روزانه خورشید پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در بین هشت مدل مورد بررسی در مناطق مختلف، شبکه های عصبی مصنوعی در ردیف سه روش دارای کمترین خطا دربرآورد قراردارد. ابراهیم پور و همکاران (۱۹-۱۸ :۱۳۸۸) در یک پژوهشی میزان تابش کلی را با روش‌های مختلف و یک روش پیشنهادی جدید مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از محاسبات انجام شده توسط این روش‌ها با داده های ماهانه و روزانه اندازه گیری شده توسط سازمان هواشناسی کشور برای شهرهای منتخب ایران مقایسه و به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی جدید و روش واتانابه[1] بهتر است. در صورتی که ضریب هوا از روش کولارس[2] محاسبه گردد، نتایج روزانه روش جدید به نتایج اندازه گیری شده بسیار نزدیکتر بوده و نتایج را با دقت بیشتری ارائه می کند. علیزاده و خلیلی (۲۳۸-۲۲۹ :۱۳۸۸) معادله آنگسترم ـ پرسکات که یکی از متداول ترین روش‌های تخمین تابش واقعی خورشید است، برای منطقه مشهد واسنجی و اعتبار سنجی کرده و ضرایب این معادله را با روش بهینه سازی حداقل مربعات خطا تعیین نمودند. همچنین یک رابطه رگرسیونی چند متغیره با در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی شامل ساعات آفتابی، دمای حداقل و حداکثر، میانگین درصد رطوبت نسبی و بارش برای برآورد تابش منطقه مشهد به کار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که معادله چند متغیره نسبت به رابطه آنگسترم ـ پرسکات کمی از دقت بالاتر برخوردار است. با انجام آزمون t بر روی این دو معادله در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده کردند که اختلاف معناداری بین این دو معادله وجود ندارد. لذا توصیه کردند که می توان بدون صرف هزینه و زمان لازم برای جمع آوری داده های هواشناسی و تنها با داشتن داده های ساعات آفتابی و محاسبه تابش فرا زمینی، تابش واقعی خورشید را با ضرایب به دست آمده برای معادله آنگسترم ـ پرسکات این معادله را به کار برد. در این پژوهش سعی بر برآورد و پهنه بندی انرژی تابش کل

1 - Watanabe
2 - Collares

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

خورشیدی رسیده به سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS در گسترهٔ استان آذربایجان شرقی می باشد. به دلیل اینکه تابش کل خورشید بجز در ایستگاه تبریز در سایر ایستگاههای استان سنجش و اندازه گیری نمی شود، هدف این تحقیق برآورد تابش افقی رسیده به سطح زمین در محدوده کل استان می‌باشد.

مواد و روش ها

داده های این پژوهش را اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک استان تشکیل داده است. داده های حداکثر دما، حداقل دما، میانگین دما، حداقل رطوبت، ساعات آفتابی و حداکثر مقدار ابر (ابرناکی) به صورت ماهانه برای ٦ ایستگاه سینوپتیک در استان آذربایجان شرقی که بالای ۲۰ سال آمار داشتند به مدت ۲۱ سال آمار مشترک بین ایستگاه‌ها (از سال ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۷) و داده های متوسط ماهانه تابش کل روزانه انرژی خورشیدی برای یک دوره ٦ ساله (از سال ۲۰۰۱ الی ۲۰۰٦) انتخاب شد. علت انتخاب این بازه زمانی در داده های تابش برای ساخت مدل وجود خلأ های آماری بسیار زیاد و داده های مشکوک و پرت در سال های ماقبل آن می باشد.

برای تکمیل داده های مفقود یک ماتریس همبستگی بین پارامترهای مذکور و بین ایستگاه‌ها به صورت ماهانه تشکیل شد. سپس با توجه به ضریب همبستگی بالا میان آنها، مدل رگرسیونی متناسب که بالاترین مقدار R (R=90 و بالاتر) را داشت انتخاب و به بازسازی داده های مفقود و شناسایی داده های مشکوک و پرت پرداخته شد. نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگراف اسمیرونوف و همگن بودن داده ها با آزمون ران تست ارزیابی و تائید شد.

برای بررسی نتایج مدل تست های آماری، میانگین خطا (MBE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAB)، میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)، میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE)، درصد میانگین قدر مطلق خطا (MADEV) مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین میزان تابش خورشید در سطح زمین چهار روش وجود دارد که به شرح زیر است:

- اندازه گیری مستقیم مولفه های تابش

- روشهای مبتنی بر محاسبه مولفه های تابش مستقیم و پراکنده خورشید در یک لحظه معین از زمان و انتگرال گیری از این مولفه ها برای تمامی روز و متعاقباً برآورد میانگین های ماهانه و سالانه آن ها، بدیهی است تابش کل از جمع این مولفه ها حاصل می گردد.

- برآورد مولفه های تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشید بر اساس ویژگی‌های فیزیکی پدیده تضعیف تابش در عبور آتمسفر و برآورد تابش کلی در سطح زمین.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

– برآورد مولفه های تابش با روش‌های تجربی مبتنی بر تحلیل‌های آماری، در این قسمت عمده ترین کارهای انجام شده روی میزان انرژی کلی دریافتی بوده نه مولفه های تابش مستقیم و پراکنده که در این تحقیق هم از این روش استفاده شده است.

روش تحقیق

پس از انجام مراحل کنترل کیفیت داده ها، مدل های مختلف رگرسیونی برای برآورد تابش مورد بررسی قرار گرفت و ضرایب هر یک از مدل ها با استفاده از داده های موجود در ایستگاه تبریز در نرم افزار SPSS محاسبه گردید. چون هدف اصلی پژوهش این بوده که بیشتر از پارامترهایی که در تمام ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح استان اندازه‌گیری می شود برای برآورد تابش استفاده گردد. با توجه به این اصل که در بررسیهای جغرافیایی و اقلیمی، روابط و اثرات پدیده ها بر روی پدیده‌های دیگر مورد توجه قرار می گیرد، به همین علت است که در مطالعات جغرافیایی یکی از مسائل مطالعه و بررسی میزان روابط و اثرات پدیده ها و تعیین همبستگی و برآورد و عملکرد یک پدیده از روی پدیده دیگر که بر روی آن اثر معناداری را دارد می باشد. این مفهوم در جغرافیای کمی به عنوان یک اصل مورد توجه اندیشمندان جغرافی قرار دارد. مطالعهٔ پدیده های مرتبط و تخمین و یا برآورد یک عامل از عامل و یا عوامل دیگر در پژوهش های جغرافیایی و اقلیمی موضوع کاربرد رگرسیون می باشد (مهدوی و طاهر خانی، ۱۳۸۵: ۲۰۶).

در رگرسیون به دنبال برآورد رابطه‌ای ریاضی و تحلیل آن هستیم، به طوری که بتوان به کمک آن کمیت یک متغیر مجهول را با استفاده از متغیرهایی معلوم، تعیین کرد. با فرض این که رابطه علت و معلولی بین دو متغیر کمی وجود داشته باشد و این رابطه به صورت خطی باشد، رگرسیون به شکل رابطه شماره (۱) تعریف می‌شود که به رگرسیون خطی ساده مشهور است. یا به عبارت دیگر مقدار متغیر وابسته به کمک متغیر مستقل برآورد می شود.

$$Y = a + bx \qquad (۱)$$

وقتی تعداد متغیرها افزایش می یابد رابطه فوق به یک رابطه خطی چند جمله ای به صورت زیر تبدیل می گردد:

$$Y = a + b_1 x1 + b_2 x_{2 + \ldots +} b_n x_n \qquad (۲)$$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در رابطه فوق: $b1_{2, \ldots}$ ضرایب رگرسیون و $x_{1,2}$ پارامترهای مستقل موثر در مسئله و Y متغیر وابسته که در اینجا میزان تشعشع یا انرژی تابش خورشیدی می باشد.

همبستگی میان پارامترهای مورد مطالعه آورده شده است. با توجه به جدول (۱) تمام پارامترهای مورد استفاده در مدل همبستگی بسیار بالایی با میزان تشعشع دارند و بالاترین مقدار همبستگی ۰/۹۲۸ با ساعات آفتابی می‌باشد. روش های مختلفی برای ورود متغیرها به مدل ورودی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از: Enter,Stepwise, Forward,Backward,Removed.

جدول ۱- همبستگی متغیرهای اقلیمی با میزان تشعشع خورشیدی

	عناصر اقلیمی	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین دما	حداقل رطوبت	ابرناکی	ساعات آفتابی	میزان تشعشع
میزان تابش	Pearson Correlation	۰/۸۸۰**	۰/۸۸٤**	۰/۸۸۳**	-۰/۸۲٤**	-۰/٦۸۳**	۰/۹۲۸**	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
	N	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).								

در این مقاله با توجه به ماهیت تحقیق جهت برآورد دقیق تابش ورودی به سطح زمین از دو روش مرسوم تر استفاده گردید.

- روش ورود (Enter): در این روش کلیه متغیرها در یک مرحله وارد و در پیش بینی متغیر تابع شرکت می کنند.
- روش گام به گام (Stepwise): در این روش متغیرها به ترتیب نقشی که در تبیین تغییرات متغیر تابع دارند به صورت مرحله ای وارد مدل می شوند و موثرترین عوامل شناسایی می شوند.

یافته ها

متغیرها به روش Enter وارد مدل شدند. متغیرهای مورد استفاده در مدل رگرسیونی عبارتند از: ساعات آفتابی (SH)، حداکثر دما (Tmax)، حداقل دما (Tmin)، میانگین دما (Tmean)، حداقل رطوبت نسبی (RH) و ابرناکی آسمان (C) که در کل مدل دارای ٦متغیر مستقل و ضرایب آنها به صورت زیر می باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$Y = a + (b_1.SH) + (b_2.Tmax) + (b_3.\ Tmin) + (b_4.Tmean) + (b_5.RH) + (b_6.\ C) \quad (۳)$$

(٤)

Y(میزان تشعشع)=(-٦٩٠٦/٥٨)+(٩٣١×SH)+(٧٠٢×Tmax)+(-١٠٤×Tmin)+(٢٥١×Tmean)+(-١/٣٦×RH)+(٧٠٢×C)

در معادله فوق a عرض از مبداء یا ضریب ثابت رگرسیون و مقادیر b_1 تا b_6 وزن هریک از متغیرها موجود در مدل می باشد. در جدول شماره ۲ متغیرهای ورودی به مدل، ضرایب و وزن هریک از آنها نشان داده شده است. با توجه به آزمون T دو متغیر ساعات آفتابی و ابرناکی موثرترین متغیرها در مدل می باشند (با توجه به سطح معنی داری آزمون).

در جدول (۳) خلاصه مدل رگرسیون نشان داده شده است که در آن R یا ضریب همبستگی برابر ۰/۹۸۱ و R Square یا ضریب تبیین برابر ۰/۹٦۱ می‌باشد. این عملاً بدان معنی است که۹٦/۱ درصد تغییرات تابش رسیده به عنوان متغییر وابسته به وسیله ٦ متغیر ورودی تبیین می شود.

جدول شماره ۲- ضرایب رگرسیون متغیرهای ورودی در مدل به روش Enter

متغیرها	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	آماره T	سطح معنی داری
	B	Std. Error	Beta		
ضریب ثابت مدل	-٦٩٠٦/٥٨٠	١٠٢٣/٤٩٦		-٦/٧٤٨	۰/۰۰۰
حداقل دما	-١٠٣/٥٦٧	١٢٧/٠٢٩	-۰/٥٥٧	-۰/٨١٥	۰/٤١٨
حداکثر دما	-١٤٠/٢٤٤	١٠٩/٢١٣	-۰/٩٢٦	-١/٢٨٤	۰/٢۰٤
میانگین دما	٢٥٠/٥٣٤	٢٠٨/٧٦٢	١/٥۰٦	١/٢	۰/٢٣٤
حداقل رطوبت نسبی	-١/٣٦١	٨/١١٤	-۰/۰١١	-۰/١٦٨	۰/٨٦٧
ابرناکی	٧۰١/٩٦٩	٥٧/٦٨٧	۰/٦٨١	١٢/١٦٨	۰/۰۰۰
ساعات آفتابی	٩٣۰/٩٨٩	٥٥/٥١٩	١/٥۰٤	١٦/٧٦٩	۰/۰۰۰

جدول ۳ - خلاصه شاخص های مدل رگرسیونی به روش Enter

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
١	۰/٩٨١	۰/٩٦١	۰/٩٥٨	٣٣٥/٣۰٣١١	١/٨۰٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٤حاوی تحلیل واریانس رگرسیون به منظور بررسی قطعیت وجود رابطه خطی بین متغیرها ست. چون سطح معنی‌داری برابر صفر است و از سطح آلفای ۰/۰۵ و۰/۰۱ کمتر می باشد، بنابراین فرض خطی بودن رابطه بین متغیرها تایید می گردد. یا به عبارتی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل رابطه خطی وجود دارد. همچنین در جدول، سطر Regression بیانگر میزان تغییرات متغیر وابسته است که از طریق متغیرهای مستقل تبیین می شود. سطر Residual یا باقیمانده ها بیانگر میزان تغییرات متغییر وابسته است که توسط سایر عوامل تبیین می شود.

جدول ٤ - تحلیل واریانس رگرسیون

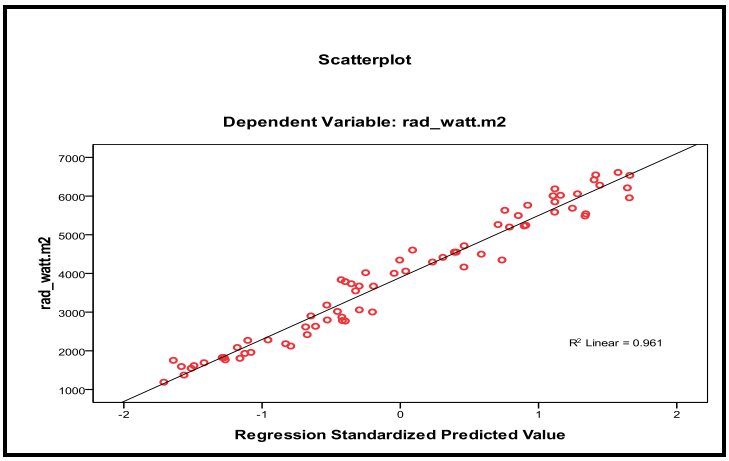
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
۱	Regression	۱۸۲۳۸۸٦۹۸/۹۳۸	٦	۳۰۳۹۸۱۱٦/٤۹۰	۲۷۰/۳۷۸	۰/۰۰۰
	Residual	۷۳۰۷۸۳۱/۳۹۹	٦٥	۱۱۲٤۲۸/۱۷٥		
	Total	۱۸۹٦۹٦٥۳۰/۳۳۷	۷۱			

شکل (۱) پراکنش داده های اندازه گیری شده را نسبت به برآورد شده نشان می دهد. یکی از مفروضات رگرسیون آن است که خطاها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر می باشد. با توجه به شکل (۲ و ۳) و جدول ۵ ملاحظه می-شود که باقی مانده ها دارای توزیع نرمال می باشند ولی روند خاصی ندارد و میانگین خطاها نیز برابر صفر می‌باشد بنابراین می‌توان از رگرسیون استفاده کرد.

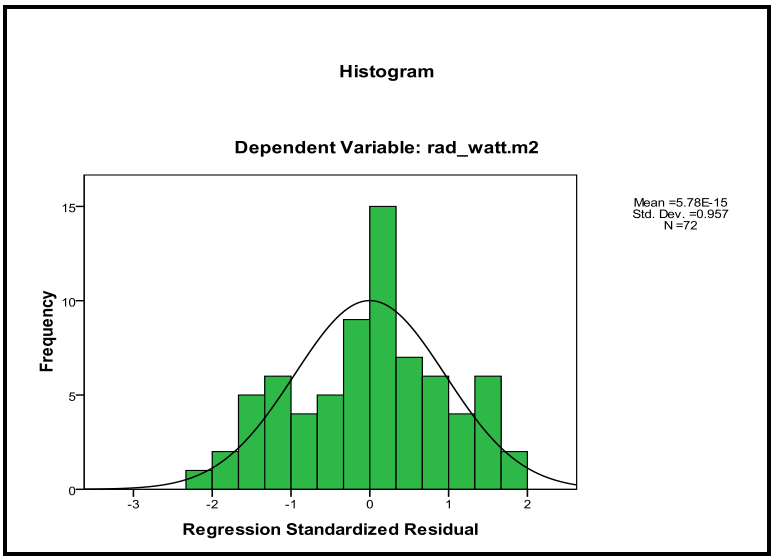
جدول ۵- میانگین و انحراف معیار باقیمانده ها

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	تعداد
Predicted Value	۱۱٥٤/٤۲۲۱۲	٦٥٥٦/۹۰۰۸۸	۳۸۹٦/۲۲۹۹۱	۱٦۰۲/۷٦٤۷۷۲	۷۲
Residual	-۷۲۷/۹۹۱٥۷۷	٦۲۷/۲۱۹۷۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰	۳۲۰/۸۲۲٦۹۷	۷۲
Std. Predicted Value	-۱/۷۱۱	۱/٦٦۰	۰/۰۰۰	۱	۷۲
Std. Residual	-۲/۱۷۱	۱/۸۷۱	۰/۰۰۰	۰/۹٥۷	۷۲

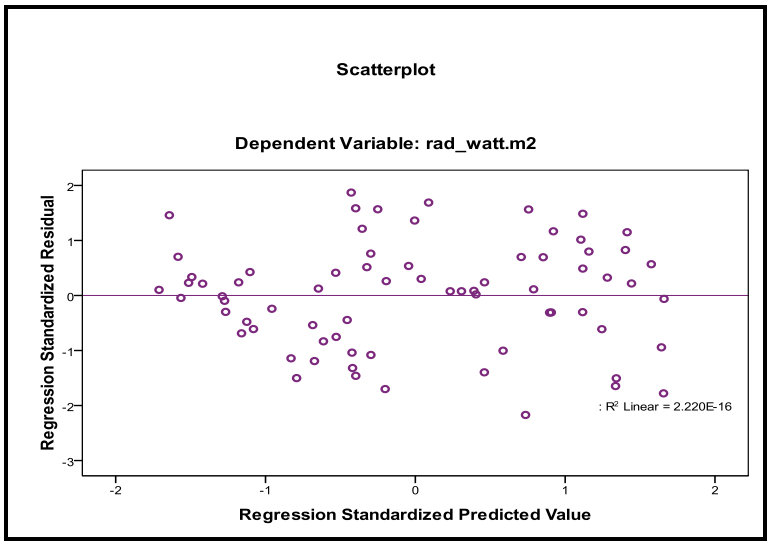
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱- پراکندگی داده های اندازه گیری شده نسبت به برآورد شده



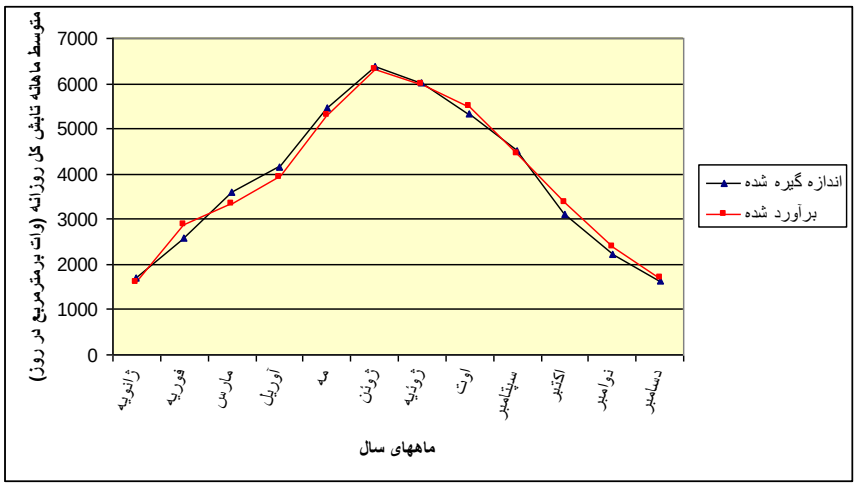
شکل۲- نمودار توزیع نرمال باقیمانده ها



شکل ۳- پراکندگی باقی ماندهها نسب به برآورد شده ها

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در شکل (٤) و جدول ٦ مقادیر به دست آمده از مدل با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه تبریز به صورت متوسط ماهانه مقایسه شده است. با توجه به شکل و جدول مذکور مقادیر برآورد شده تطابق خوبی با داده های اندازه گیری دارد.



شکل ٤- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده تشعشع با مقادیر برآورد

جدول ٦- مقایسه نتایج به دست آمده توسط مدل با مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر خطاها (شدت کل تابش خورشیدی w/m2/Day)

ماه	متوسط مقدار اندازه گیره شده	متوسط مقدار برآورد شده
ژانویه	۱۷۰۲/۸٦	۱٥۹٥/۸۱
فوریه	۲٥۹۸/٦٦	۲۸۷۷/۰۳
مارس	۳٦۰۰/٥٦	۳۳٤۲/٥٥
آوریل	٤۱٦۳/۲۱	۳۹۳۳/٦
مه	٥٤٦۷/٤۱	٥۳۰۳/٦۸
ژوئن	٦۳۷٤/٦٦	٦۳۲۷/٦۷
ژوئیه	٦۰۱۲/٥۷	٥۹۷۱/٤۱
اوت	٥۳۳۹/۸٤	٥٤۹٦/٤٤
سپتامبر	٤٥۱۳/٥٥	٤٤٤۰/٤٦
اکتبر	۳۱۰۸/۲٦	۳۳٦٦/۹٦
نوامبر	۲۲۲۳/٥۱	۲۳۹۰/۹٤
دسامبر	۱٦۴۹/٦۸	۱۷۰۸/۲٦
-۰/۰۰۲٦۹		MBE(w/m2)
۱۲/۷۷۳۰۴		MAB(w/m2)
۱۷۴/۹۲		RMSE(w/m2)
۳/۰۹۸		RRMSE
۰/۴۰۳۱		MADEV(%)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

یکی از سیستم های اطلاعاتی که در سال های اخیر استفاده از آن رواج روزافزون یافته و در زمینه هایی از علوم گوناگون کاربرد پیدا نموده است سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد. پس از ساخت و به دست آوردن ضرایب مدل در محیط نرم افزار SPSS به تحلیل خطاهای آن پرداخته شد. پس از کسب اطمینان که می توان از مدل برای برآورد استفاده کرد. جهت پهنه بندی میزان انرژی تابش خورشیدی رسیده به سطح افق از نرم افزار ARCGIS استفاده گردید. ابتدا داده‌ها وارد نرم افزار شد و یک پایگاه اطلاعات داده در آن تشکیل و تمام لایه های مورد نیاز ایجاد گردید. سپس از روش‌های میانیابی، روش فاصله معکوس وزنی IDW[1] جهت تبدیل داده های نقطه ای ایستگاهها به ساختار سلولی (رستری) در سطح استان انتخاب شد. جهت کاهش خطاها در محیط نرم افزار GIS از داده های برآورد شده برای تک تک ایستگاه‌ها استفاده نشد بلکه با میانیابی متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در مدل برای فصول مختلف، لایه های جدید رستری با اندازه پیکسل‌های مشخص۲۰۰×۲۰۰متر ایجاد گردید. سپس با استفاده از محاسبه‌گر رستری[2] در تحلیل های فضایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه های رستری ایجاد شده را با اعمال ضرایب به دست آمده از مدل برای تک تک لایه ها، آنها را باهم تلفیق و میزان انرژی تابش خورشیدی برآورد و نهایتاً نتیجه به صورت نقشه هم تابش برای فصول مختلف و یک نقشه هم به صورت سالانه تهیه وترسیم شد.

بحث

میانگین مجموع سالانه ساعت آفتابی برای استان ۲۷۹۹ ساعت به دست آمده که در مقایسه با استان های جنوبی کشور مثل ایستگاه کرمان با مجموع متوسط سالانه ساعت آفتابی ۳۱۷٤، ایستگاه یزد ۳۲۲۳ و ایستگاه زاهدان با ساعت آفتابی ۳۲۵۸، یک رقم قابل توجهی به شمار می رود. ضریب ساعت آفتابی استان به کل ساعات روشنایی (طول روز) بیش از ٦٤ ٪ می‌باشد. تفاوت های قابل توجهی از نظر ساعت آفتابی بین نواحی مختلف استان وجود دارد. چون در این پژوهش هدف برآورد میزان انرژی تابش خورشید در سطح افق بوده و بیشتر از پارامترهای اقلیمی استفاده گردیده، نهایتاً شرایط توپوگرافی در نقشه‌های به دست آمده جلوه نمی‌کند. الگوی تابش در استان به چهار مقطع زمانی، فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

1 - Ivverse Distance Weighted
2 - Raster Calculator

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تابش فصل زمستان

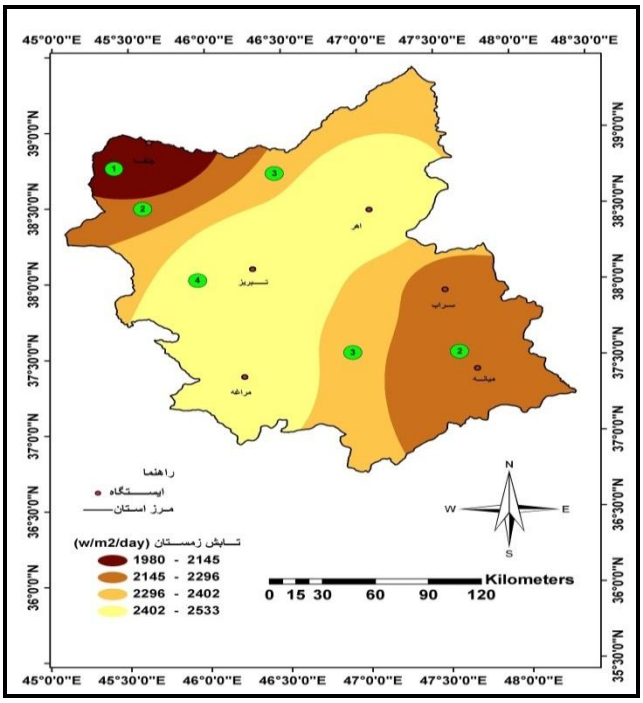
شکل (۵) پهنه تابش فصل زمستان را نشان می‌دهد. در این فصل هسته پرتابش روی ایستگاه‌های اهر، تبریز و مراغه و هسته کم‌تابش بر روی ایستگاه جلفا متمرکز گردیده است. میانگین تابش دریافتی این فصل ۲۳٤۹/۳ وات بر متر مربع با انحراف معیار ۱۱٤/٤ و دامنه تغییرات تقریباً ۵۵۳ وات بر متر مربع و با ضریب تغییر تقریباً ۵ درصد به دست آمده است. بر اساس جدول (۷) بیشترین مساحت استان مربوط به ناحیه تابشی سه، معادل ۱۹۳۵۷ کیلومتر مربع و کمترین مقدار آن معادل ۲۳۰۱ کیلومتر مربع مربوط به ناحیه اول است. ضریب تغییرات ناحیه اول بیشتر از سایر نواحی تابشی در این فصل می باشد.

جدول ۷- میزان تابش کل رسیده به سطح افق در فصل زمستان در نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی

نواحی تابشی		مساحت به کیلومترمربع	حداقل تابش $w/m^2/day$	حداکثر تابش $w/m^2/day$	دامنه تغییرات	میانگین تابش $w/m^2/day$	انحراف معیار	ضریب تغیرات به درصد
فصل زمستان	ناحیه یک	۲۳۰۰/۹۲	۱۹۸۰/٦	۲۱٤۵	۱٦٤/٤	۲۰۵۷/۳	٤۸/۳	۲/۳۵
	ناحیه دو	۱۱۹۳۲/۳	۲۱٤۵	۲۲۹٦	۱۵۱	۲۲۳٦/۵	۳۸/۲	۱/۷۱
	ناحیه سه	۱۱۷٦٦/۹	۲۲۹٦	۲٤۰۲	۱۰٦	۲۳۵۵/۹	۳۰/۸	۱/۳۱
	ناحیه چهار	۱۹۳۵٦/٤	۲٤۰۲	۲۵۳۳/٤	۱۳۱/٤	۲٤٤۹/۷	۲۸/۵	۱/۱٦
	کل استان	٤۵۳۵۷/۵	۱۹۸۰/٦	۲۵۳۳/٤	۵۵۲/۸	۲۳٤۹/۳	۱۱٤/٤	٤/۸۷

چگونگی پوشش سطح زمین در میزان تابش کل اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی‌های متعدد در شرایط پوشش بخش-های وسیعی از سطح زمین با برف با توجه به توان انعکاس (آلبدو) شدیدی که برف دارد، ایجاد انعکاس مکرر سطح زمین و سطح زیرین ابر موجب افزایش میزان تابش کلی می‌شود. در چنین شرایطی که مقدار تابش کلی در مناطق قطبی، در قیاس با مناطق مشابه که در آنها پوشش برف حاکم نباشد تا سه برابر افزایش می‌یابد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۹).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۵- توزیع میانگین تابش فصل زمستان در سطح استان آذربایجان شرقی

بر اساس آمار روزهای برفی ایستگاه های مورد مطالعه و ویژگی‌ها و شرایط طبیعی استان و نقشه تابشی فصل زمستان مطالب فوق تایید می‌گردد. تعداد روزهای برفی در زمستان برای ایستگاه اهر حدود ٢٤ روز، ایستگاه تبریز ۲۵ روز، ایستگاه مراغه حدود ۲۱ روز، ایستگاه میانه ۱۷ روز، ایستگاه سراب ۲۷ روز و برای ایستگاه جلفا ۱۳ روز گزارش شده، با توجه به آمار موجود کمترین روز برفی برای ایستگاه جلفا می باشد که هسته کم‌تابش را به خود اختصاص داده است. ایستگاه‌های تبریز، اهر و مراغه که هسته پرتابش بر این ایستگاه‌ها متمرکز شده بعد از سراب روزهای برفی بالاتری را دارند. ایستگاه سراب به دلیل ارتفاع بالای آن نسبت به سایر ایستگاه ها و حالت بادپناهی آن موجب شده که این ایستگاه با توجه به تعداد روزهای یخبندان بالا در هسته پرتابش قرار نگیرد.

تابش فصل بهار

هسته کم تابش در این فصل به مرکزیت اهر در شمال شرقی استان قرار دارد. با توجه به جدول (۸) و شکل (٦) میانگین میزان تابش دریافتی در این فصل ۵۸٤۸/۸ وات بر متر مربع در روز می باشد. بیشترین مساحت استان متعلق به ناحیه تابشی سه، که حداقل تابش دریافتی آن ۵۸٦۲ و حداکثر ٦۰۰٤ وات بر متر مربع می باشد. دامنه تغییرات در سطح استان در این دوره ۷۵۵ وات بر متر مربع در روز است که بیشترین تغییر مربوط به ناحیه اول می باشد. ضریب تغییرات در این فصل کم و حدود ۲/٦ به دست آمده است. ابرناکی آسمان در میزان تابش کلی بر سطح زمین اهمیت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

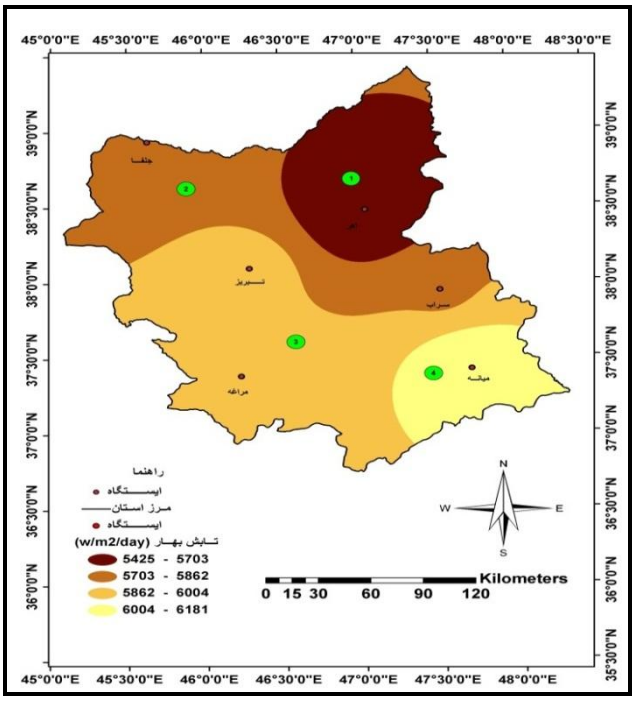
بسیار زیاد دارد. بخصوص با توجه به توان انعکاس تابش مستقیم در برخورد به سطح که حدود ۷۵ درصد است، آشکارتر می‌شود؛ بنابراین در آسمان ابری، در مقایسه با آسمان بدون ابر، تنها ۲۰ تا ۲۵ درصد از تابش قادر به نفوذ تا سطح زمین است. لذا ابرناکی و مقدار بخار آب در مناطق مختلف تعیین کننده مقدار انرژی تابش رسیده به سطح زمین محسوب می‌شوند. بارش های بهاره بیشتر در منطقه آذربایجان اتفاق می‌افتد یا به عبارتی روزهای بارندگی بهاره آذربایجان بیشتر از سایر مناطق کشور است. به این دلیل که؛ در فصل بهار بادهای غربی هنوز از منطقه خارج نشده‌اند و از طرف دیگر بر اثر تابش عمودی آفتاب به دامنه‌های آفتابگیر سطح زمین بسیار گرمتر از آتمسفر مجاور شده و همرفت دامنه‌ای و نهایتاً ناپایداری شدید را سبب می شود. چون رطوبت هم هنوز توسط بادهای غربی از دریای مدیترانه می‌رسد و پایداری زمستان هم وجود ندارد تعداد روزهای بارندگی افزایش می‌یابد. میانگین ابرناکی ایستگاه اهر در این فصل ٦/٥ اکتاس است که مفهوم آن این است که ٦/٥ قسمت از ٨ قسمت آسمان در این دوره ابری بوده است.

جدول ۸- میزان تابش کل رسیده به سطح افق در فصل بهار در نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی

نواحی تابشی		مساحت به کیلومترمربع	حداقل تابش $w/m^2/day$	حداکثر تابش $w/m^2/day$	دامنه تغییرات	میانگین تابش $w/m^2/day$	انحراف معیار	ضریب تغیرات به درصد
فصل بهار	ناحیه یک	۸۲۷۵/۲٤	٥٤٢٥/٨	٥٧٠٣/١	٢٧٧/٣	٥٦٠٠/١	٧٥	١/٣٤
	ناحیه دو	١٢٩٩٥	٥٧٠٣/١	٥٨٦٢/٤	١٥٩/٣	٥٨٠٧	٣٩/٥	٠/٦٨
	ناحیه سه	١٨٩٥٦/٨	٥٨٦٢/٤	٦٠٠٤	١٤١/٦	٥٩٢١	٣٠/٧	٠/٥٢
	ناحیه چهار	٥١٣٠/٥٦	٦٠٠٤	٦١٨١	١٧٧	٦٠٨٩/٤	٤٧/٩	٠/٧٩
	کل استان	٤٥٣٥٧/٥	٨٥٤٢٥	٦١٨١	٧٥٥/٢	٥٨٤٨/٨	١٥٠/٥	٢/٥٧

این میزان در ایستگاه اهر از سایر ایستگاه‌ها بیشتر می باشد. کمترین میزان آن هم برای ایستگاه میانه با رقم ۵/۵ گزارش شده، علاوه بر آن تعداد روزهای بارندگی اهر در این فصل با رقم ٤١ روز نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده و کمترین مقدار روزهای بارندگی مربوط به ایستگاه میانه با رقم۳۲ روز گزارش شده است. با توجه به آمار موجود و نقشه همتابش فصل بهار چنین استنباط می شود که میزان تابش رسیده به سطح در این فصل بیشتر از ابرناکی، رطوبت و بخار آب موجود در آتمسفر تاثیر می‌پذیرد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٦- توزیع میانگین تابش فصل بهار در سطح استان آذربایجان شرقی

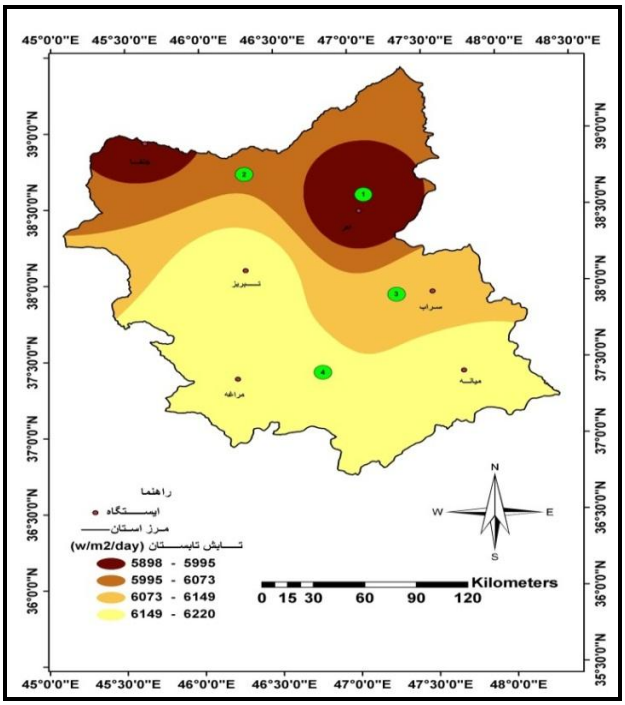
تابش فصل تابستان

در فصل تابستان از جنوب به شمال استان از میزان تابش کاسته می‌شود. هسته پرتابش در جنوب در ماه ژوئن بر روی ایستگاه میانه، در ماه ژوئیه بر روی میانه و مراغه و درماه اوت علاوه بر دو ایستگاه قبلی بر روی تبریز نیز متمرکز شده است. براساس جدول (۹) این فصل از ضریب تغییر بسیار ناچیزی برخوردار است. ضریب تغییر تابش استان در این دوره حدود ۱/۵ درصد و دامنه تغییرات ۳۲۳ وات برمتر مربع در روز می باشد.

جدول ۹- میزان تابش کل رسیده به سطح افق فصل تابستان در نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی

نواحی تابشی		مساحت به کیلومترمربع	حداقل تابش $w/m^2/day$	حداکثر تابش $w/m^2/day$	دامنه تغییرات	میانگین تابش $w/m^2/day$	انحراف معیار	ضریب تغیرات به درصد
فصل تابستان	ناحیه یک	٥٧٠٣/٦٤	٥٨٩٧/٩	٥٩٩٥	٩٧/١	٥٩٦١/٧	٢٥/٧	٠/٤٣
	ناحیه دو	٨٦٤٤/٠٤	٥٩٩٥	٦٠٧٣	٧٨	٦٠٢٨/٤	٢١	٠/٣٥
	ناحیه سه	٩٩٤٥/٦٤	٦٠٧٣	٦١٤٩	٧٦	٦١١٨/٩	٢٠/٨	٠/٣٤
	ناحیه چهار	٢١٠٦٤/٢	٦١٤٩	٦٢٢١	٧٢	٦١٨٠/٤	١٧/٨	٠/٢٩
	کل استان	٤٥٣٥٧/٥	٥٨٩٧/٩	٦٢٢١	٣٢٣/١	٦١١٠/٤	٨٢/٢	١/٣٥

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۷- توزیع میانگین تابش فصل تابستان در سطح استان آذربایجان شرقی

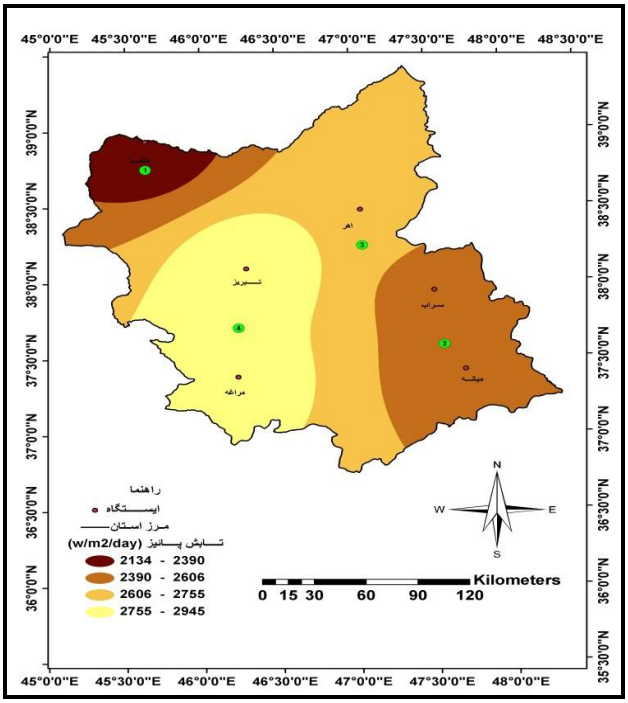
میانگین تابش دریافتی در این دوره برابر با ٦١١٠ وات بر متر مربع در روز و در مقایسه با سایر فصول از تابش زیادی برخوردار است. با بررسی آمار ساعات آفتابی و نقشه همتابش فصل تابستان شکل (۷) و آمار میانگین دمای این دوره که به شرح ذیل به دست آمده، اهر (ساعت آفتابی۱۰ و دما ۲۱)، مراغه (۱۱/۸و ۲۵)، میانه (۱۱/۵ و ۲٦/۱)، سراب (۱۱/۳ و ۱۹/۱)، تبریز (۱۱/۲ و ۲۵/٤)، جلفا (۱۰/۵ و ۲۷/۵) مشاهده می شود، میزان تابش در عرض های پایین استان بیشتر از عرض‌های شمالی است. میزان تابش رسیده به سطح در فصل تابستان بیشتر متاثر از ساعت آفتابی و زاویه تابش خورشید است. از طرفی در تابستان ورود عوامل بیرونی مانند توده های هوا تقریباً قطع می‌شود و پرفشارهای جنب حاره‌ای بر منطقه حاکم می‌گردد؛ از طرف دیگر زاویه تابش در عرض‌های جنوبی استان بیشتر و ضخامت آتمسفر کمتر از عرض‌های شمالی است. مقدار تضعیف تابش در حین عبور از اتمسفر به طول مسیری (ضخامت آتمسفر) در آن می پیماید بستگی دارد. زیرا پوشش گازی زمین بخش مهمی از تابش های خورشید را جذب می کند و بخش مهم دیگری را به اطراف پخش می کند. این عامل علاوه بر کاهش کمیت نور بر کیفیت آن نیز اثر دارد. مقدار تضعیف تابش در اتمسفر تابع قانون بیر است (حیدری نبی و همکاران، ١٣٨٦). بنابرین میزان تابش رسیده به سطح در عرض‌های پایین به دلیل ضخامت کم آتمسفر افزایش می‌یابد. ایستگاه سراب ساعت آفتابی بیشتر و عرض جغرافیایی پایین‌تری نسبت به ایستگاه تبریز دارد ولی در ناحیه پرتابش قرار نگرفته، علت این امر را باید در ارتفاع ایستگاه و حالت بادپناهی آن جستجو نمود، زیرا سراب در ارتفاع بالاتر و بین رشته کوه‌های قوشه داغ

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

و سبلان در شمال و رشته بزغوش در جنوب قرار گرفته و حالت باد پناهی دارد. دمای گزارش شده این ایستگاه همیشه پایین‌تر از سایر ایستگاه‌ها گزارش شده است.

تابش فصل پاییز

در این فصل ضریب تغییرات مکانی تابش بیشتر از سایر فصول درسطح استان می باشد. براساس جدول (۱۰) ضریب تغییر در این دوره تقریباً ٦ درصد با دامنه تغییرات تقریباً ۸۱۱ وات بر متر مربع در روز به دست آمده است. بیشترین مساحت استان با رقم ۱۷۳۵۵ کیلومتر مربع در ناحیه تابشی سه قرار دارد. پایین‌ترین مقدار تابش در این ناحیه ۲٦۰٦ و بالاترین مقدار آن ۲۷۵۵ وات بر متر مربع می باشد. ماه سپتامبر الگوی تابشی دوره گرم را دارد فقط با این تفاوت که هسته تابش در آن فقط در ایستگاه تبریز متمرکز است. با توجه به شکل (۸) الگوی تابشی این فصل بیشتر شبیه الگوی ماه نوامبر می‌باشد. که در آن هسته کم تابش به مرکزیت جلفا قرار دارد. ناحیه دوم تابشی هم در جنوب شرق استان و هم در شمال غرب استان متمرکز شده است. از جنوب غرب استان به سمت شمال شرق از میزان تابش کاسته می‌شود. یا به عبارتی هسته تابش در روی ایستگاه‌های تبریز و مراغه (ناحیه تابشی ٤) و به سمت شمال شرق (ناحیه تابشی ۳) از میزان آن کاسته می‌شود.



شکل۸- توزیع میانگین تابش فصل پاییز در سطح استان آذربایجان شرقی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در اواخر سپتامبر بیشتر شمال استان تحت تاثیر بادهای غربی است و در نوامبر تأثیر این بادها به قسمت های جنوبی هم می‌رسد. رطوبت سیکلون‌های فرعی، ایستگاه های میانه و سراب را تحت تاثیر قرار می‌دهد و رطوبت جو باعث جذب و انعکاس تابش خورشید می‌گردد. نهایتاً با وجود اینکه این ایستگاه‌ها در عرض جغرافیایی یکسانی با ایستگاه‌های تبریز و مراغه دارند، ولی تابش کمتری دریافت می‌کنند.

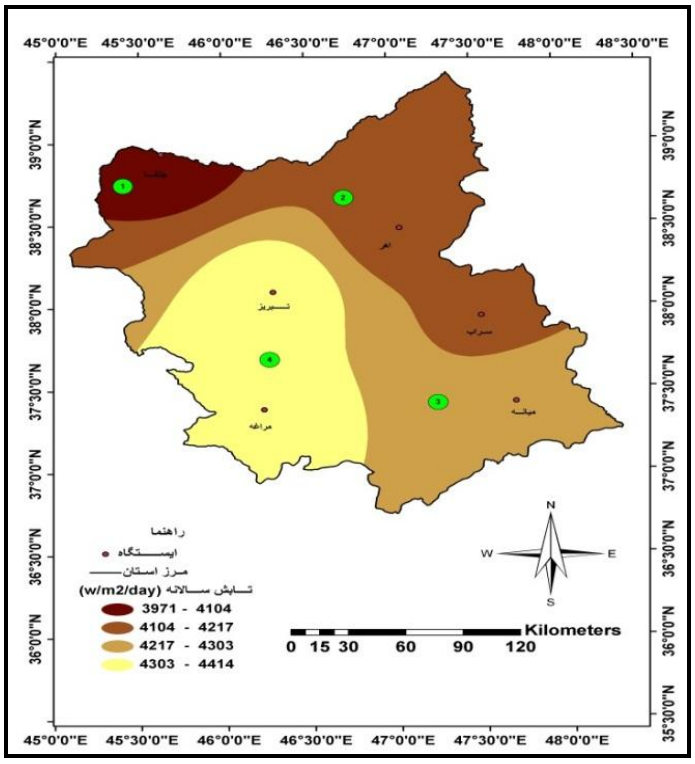
جدول ۱۰- میزان تابش کل رسیده به سطح افق در فصل پاییز در نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی

نواحی تابشی		مساحت به کیلومترمربع	حداقل تابش $w/m^2/day$	حداکثر تابش $w/m^2/day$	دامنه تغییرات	میانگین تابش $w/m^2/day$	انحراف معیار	ضریب تغیرات به درصد
فصل پاییز	ناحیه یک	۲۵۱۵/۳۶	۲۱۳٤/۱	۲۳۹۰	۲۵۵/۹	۲۲۵۳/۵	۷۵/۳	۳/۳٤
	ناحیه دو	۱۲٦۸۱/۲	۲۳۹۰	۲٦۰٦	۲۱٦	۲۵۳۱/٦	۳۹/۳	۱/۵۵
	ناحیه سه	۱۷۳۳۵/۸	۲٦۰٦	۲۷۵۵	۱٤۹	۲٦۸٤/۸	٤۰/۹	۱/۵۲
	ناحیه چهار	۱۲۸۲۵/۲	۲۷۵۵	۲۹٤٤/۸	۱۸۹/۸	۲۸۲۸/۹	٤۱/۸	۱/٤۸
	کل استان	٤۵۳۵۷/۵	۲۱۳٤/۱	۲۹٤٤/۸	۸۱۰/۷	۲٦۵۸/۸	۱۵٤/۸	۵/۸۲

تابش سالانه

توزیع تابش سالانه استان از جنوب غربی به شمال و شمال شرقی روند کاهشی دارد. بر اساس جدول (۱۱) میانگین تابش سالانه در استان، ٤۲٤٤ وات بر متر مربع در روز می باشد. ضریب تغییر پذیری مکانی تابش سالانه تقریباً ۲ درصد می باشد که یک رقم پایینی است. دامنه تغییرات تابش سالانه استان ٤٤۳ وات می باشد. البته این دامنه تغییرات پایین، به دلیل برآورد تابش در سطح افق و عدم استفاده از ارتفاع در مدل می باشد. با توجه به شرایط توپوگرافی گوناگون استان، در صورت دخالت دادن ارتفاع در مدل قطعاً دامنه تغییرات، متفاوت از آنچه که به دست آمده خواهد بود. تابش سالانه متأثر از ساعات آفتابی، ارتفاع محل، رطوبت هوا و ابرناکی و زاویه تابش خورشید می باشد. متوسط مجموع سالانه ساعات آفتابی ایستگاه‌ها به ترتیب مراغه ۲۹۳۲، میانه ۲۸۹۸، تبریز ۲۸۵۰، سراب ۲۸۳۹، جلفا ۲٦۷۱ و اهر ۲٦۰٦ ساعت گزارش شده است. با توجه به آمار ساعات آفتابی، رطوبت و شکل (۹)، مشاهده می‌شود که حداکثر تابش سالانه در ایستگاه مراغه و تبریز و حداقل آن در ایستگاه جلفا متمرکز می باشد. علت عدم قرارگیری میانه در ناحیه پرتابش را می‌توان به ارتفاع ایستگاه مربوط دانست که نسبت به تبریز و مراغه در ارتفاع پایین‌تری قرار دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۹- توزیع میانگین تابش سالانه در سطح استان آذربایجان شرقی

جدول۱۱- میزان تابش کل سالانه رسیده به سطح افق در نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی

نواحی تابشی		مساحت به کیلومترمربع	حداقل تابش $w/m^2/day$	حداکثر تابش $w/m^2/day$	دامنه تغییرات	میانگین تابش $w/m^2/day$	انحراف معیار	ضریب تغیرات به درصد
سالانه	ناحیه یک	۲۵۸٤/۳٦	۳۹۷۱/۱	٤۱۰٤	۱۳۲/۹	٤۰۳۳	۳۹/۲	۰/۹۷
	ناحیه دو	۱۵۲۱۳/۹	٤۱۰٤	٤۲۱۷	۱۱۳	٤۱۷۸/۸	۲۰/۹	۰/۵
	ناحیه سه	۱٤۹۸۱	٤۲۱۷	٤۳۰۳	۸٦	٤۲۵۷/٦	۲۱/٦	۰/۵۱
	ناحیه چهار	۱۲۵۷۸/۲	٤۳۰۳	٤٤۱٤/٤	۱۱۱/٤	٤۳۵۰/۷	۲٤/۹	۰/۵۷
	کل استان	٤۵۳۵۷/۵	۳۹۷۱/۱	٤٤۱٤/٤	٤٤۳/۳	٤۲٤٤/۲	۸۸	۲/۰۷

با این تفسیر ضخامت آتمسفر در این ایستگاه نسبت به دو ایستگاه مورد اشاره بیشتر بوده و در نهایت تابش دریافتی کمتری دارد. همچنین ایستگاه جلفا هم با توجه دمای بالای خود در ناحیه کم تابش قرار گرفته علت آن را هم می توان در ارتفاع محل جستجو کرد. ایستگاه سراب با اینکه در ارتفاع بالاتر از سایر ایستگاه قرار دارد در ناحیه دوم تابش همراه با ایستگاه اهر قرار گرفته است علت آن را می توان در رطوبت نسبی آنها و سازند آتمسفری که توضیح

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

آن در صفحه ۵۳ به طور اجمالی ارائه شده، جستجو کرد. حداقل رطوبت نسبی گزارش شده سالانه برای ایستگاه اهر ٤١ درصد و برای سراب ۳۹ درصد می‌باشد که بیشتر از سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه است. نقش رطوبت یا بخار آب در تبادلات انرژی بین سطح زمین و آتمسفر بسیار چشمگیر است و یکی از عوامل مهم بیلان انرژی سیاره زمین محسوب می شود. اثر حذف اتمسفری در تابش مستقیم خورشید، در هوای مرطوب بیش از هوای خشک است.

نتیجه گیری

استان آذربایجان شرقی با وجود اینکه در دیدگاه ماکروکلیمایی بطور یکپارچه تحت تأثیر شرایط همدیدی خاص قرار می‌گیرد، اما عوامل اقلیمی موثر در آن باعث شده که از خرده اقلیم‌ها و نواحی نامتجانس اقلیمی برخوردار باشد. ساعات آفتابی با رقم ۰/۹۲۸ بیشترین ضریب همبستگی را با تشعشع خورشیدی دارد. لذا ساعات آفتابی استان به کل ساعات روشنایی (طول روز) به بیش از ٦٤٪ می‌رسد و تفاوت‌های چشمگیری از نظر ساعات آفتابی بین نواحی مختلف استان وجود دارد. بطوری که ایستگاه اهر با ۲٦۰٦ساعت میانگین مجموع ساعات آفتابی سالانه کمترین میزان و ایستگاه مراغه ۲۹۳۲ ساعت دارای بیشترین ساعت آفتابی را در استان به خود اختصاص داده است. باتوجه به اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل با داده های واقعی به دست آمده در ایستگاه سینوپتیک تبریز به عنوان مرجع ملاحظه گردید که مقادیر برآورد شده تطابق خوبی با داده های اندازه گیری دارد؛ بنابراین مدل رگرسیون خطی چند متغییره روش مناسبی برای برآورد میزان تابش خورشید می‌باشد. فصل زمستان بیشتر منطبق با ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه می‌باشد، هسته پرتابش روی ایستگاه‌های اهر، تبریز و مراغه و هسته کم‌تابش بر روی ایستگاه جلفا متمرکز گردیده است. میانگین تابش دریافتی در این دوره ۲۳٤۹/۳ وات بر متر مربع با انحراف معیار ۱۱٤/٤ و دامنه تغییرات تقریباً ۵۵۳ وات بر متر مربع و با ضریب تغییر تقریباً ۵ درصد به دست آمده است. تعداد روزهای برفی در دوره سرد بیشتر تعیین کننده میزان تابش رسیده به سطح زمین می باشد. در طول فصل بهار هسته کم تابش به مرکزیت اهر در شمال شرقی استان قرار دارد. میانگین میزان تابش دریافتی در این دوره ۵۸٤۸/۸ وات بر متر مربع در روز می باشد. دامنه تغییرات در سطح استان در این دوره ۷۵۵ وات بر متر مربع در روز و ضریب تغییرپذیری در این دوره کم و حدود ۲/٦ به دست آمده است. ابرناکی و مقدار بخار آب در مناطق مختلف تعیین کننده مقدار انرژی تابش رسیده به سطح زمین محسوب می‌شوند. در فصل تابستان از جنوب به شمال استان از میزان تابش کاسته می‌شود. هسته پرتابش در جنوب در ماه ژوئن بر روی ایستگاه میانه، در ماه ژوئیه بر روی میانه و مراغه و در ماه اوت علاوه بر دو ایستگاه قبلی بر روی تبریز نیز متمرکز شده است. میزان تابش رسیده به سطح در فصل تابستان بیشتر متاثر از ساعات آفتابی و زاویه تابش خورشید است. زاویه تابش در عرضهای جنوبی استان بیشتر و ضخامت آتمسفر کمتر از

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

عرضهای شمالی است بنابراین میزان تابش رسیده به سطح افزایش می‌یابد. ضریب تغیرات مکانی تابش فصل پاییز درسطح استان بیشتر از سایر فصول می باشد. ضریب تغییرپذیری در این فصل ٦ درصد با دامنه تغییرات ۸۱۱ وات بر متر مربع در روز به دست آمده است. در فصل پاییز بادهای غربی ابتدا از آذربایجان وارد می شوند و با توجه به اینکه این بادها سیستم‌های رطوبت‌زا را با خود به همراه دارند، بنابراین رطوبت و بخار آب جو تعیین کننده میزان تابش رسیده به سطح زمین در گستره استان می باشد. توزیع تابش سالانه استان از جنوب غربی به شمال و شمال شرقی روند کاهشی دارد. تابش سالانه متأثر از ساعات آفتابی، ارتفاع محل، رطوبت هوا و ابرناکی و زاویه تابش خورشید می باشد. نقش رطوبت یا بخار آب در تبادلات انرژی بین سطح زمین و آتمسفر بیسار چشمگیر است و یکی از عوامل مهم بیلان انرژی سیاره زمین محسوب می شود. اثر حذف اتمسفری در تابش مستقیم خورشید، در هوای مرطوب بیش از هوای خشک است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

- ابراهیم پور، عبدالسلام؛ معرفت، مهدی؛ نیری، هادی (۱۳۸۸)، «ارائه‌ی یک رابطه جدید برای تخمین میزان تابش کل در اقلیم‌های مختلف ایران»، ***فصلنامه فضای جغرافیایی***، شماره‌ی ۲۵، صص ۲۹-۱۸.

- اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، (۱۳۸۷)، داده های ماهانه عناصر اقلیمی طی سال های (۲۰۰۷-۱۹۸۷).

- حیدری نبی، مهران (۱۳۸٦)، «برآورد تابش روزانه خورشید با استفاده از متغیرهای هواشناسی (مقایسه یافته های شبکه های عصبی مصنوعی با سایر مدل ها)»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه ت

- خلیلی، علی، رضایی، صدر (۱۳۷٦)، «برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده های اقلیمی»، ***فصلنامه تحقیقات جغرافیایی***، صص ۳۵-۱۵.

- صفائی، بتول؛ خلجی اسدی، مرتضی؛ تقی زاده، حبیب؛ جیلاوی، افسانه؛ طالقانی، گیتی؛ دانش، ماندانا (۱۳۸٤)، «برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن»، ***مجله علوم و فنون هسته ای***، شماره ۳۳، صص ۳٤-۲۷.

- علیزاده، امین؛ خلیلی، نجمه (۱۳۸۸)، «تعیین ضرایب معادله آنگسترم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه موردی: منطقه مشهد)»، ***مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)***، شماره ۱، صص ۲۳۸-۲۲۹.

- قویدل حیدری، ی (۱۳۸۵)، «بررسی توان بالقوه انرژی خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- کاویانی، محمد رضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۷۹)، «***مبانی آب و هواشناسی***»، تهران، انتشارات سمت.

- مرادی، اسحق (۱۳۸۵)، «تهیه اطلس تابش خورشیدی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره Meteosat»، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم (خوارزمی) تهران.

- مهدوی، مسعود؛ طاهرخانی، مهدی (۱۳۸۵)، «**کاربرد آمار در جغرافیا**»، تهران، انتشارات نشر قومس.

- Allen G. Richard, Ricardo Trezza, Masahiro Tasumi, (2006), "Analytical integrated functions for daily solar radiation on slopes", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 139: 55–73.

- Angstrom A, (1924), "Solar and terrestrial radiation", ***Quart J Roy Meteor Soc***,41: 50-121.

- Daneshyar M. (1978), "Solar Radiation Statistics for Iran". ***Solar Energy*** ,21:345-9.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Duguay, C.R, (1993), "Radition modeling in mountainous terrain review and status","***Mountain Res***. Dev, 13: 339-357.

- El-Sebaii.A. A and Trabea.A. A, (2005), "Estimation of Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces over Egypt", ***Egypt. J. Solids***, 28 (1):129-136.

- Olseth, J.A, Skartveit, A. Zou, H. (1995). "Spatially continuous mapping of solar resources in a complex high latitude topography", ***Solar Energy***, 55(6): 475- 485.

- Page JK. (1964), "The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitude 40 ON-40 OS," In: Proceedings of UN Conference on New Sources of Energy.

- Prescott JA, (1940), "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation", ***Trans Roy Soc South Austr***,29: 64-114.

- Ramachandra.T. V, (2007), "Solar energy potential assessment using GIS", Energy Education Science and Technology Volume(issue) 18(2): 101-114.

- Samimi, J, (1994), "Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the Solar climate of Iran", ***Solar Energy***, 52: 401-409.

- Sozen Adnan, Erol Arcaklio, Mehmet Ozalp, (2004), "Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data", ***Energy Conversion and Management***, 45: 3033–3052.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]