امکان سنجی و مکان یابی نقاط مستعد جهت استقرار پنل های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از فرمول های جدید

عقیل شاولی پور [1]* ، علیرضا طاووسی [2]

[1] استادیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر ، a.shavalipour@velayat.ac.ir
[2] استادیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر ، a.tavousi@velayat.ac.ir

چکیده

انرژی خورشیدی منبع محرک برای بسیاری از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در روی کره زمین می باشد. کاربرد انرژی خورشیدی در مهندسی، ساختمان سازی، کشاورزی و غیره نیازمند شناسایی بهترین مکانها برای نصب تجهیزات جهت جذب بالاترین مقدار از این انرژی می باشد. یکی از مهمترین پارامترها در شناسایی این مکانها بدست آوردن میانگین روزانه انرژی خورشیدی کلی برای بلند مدت است. برای مناطقی مانند استان سیستان و بلوچستان که بعلت کمبود امکانات بدست آوردن مقدار دقیق انرژی خورشیدی امکان پذیر نیست یک روش عملی، تخمین میانگین کلی انرژی خورشیدی بصورت روزانه با استفاده از روابط تجربی مناسب برای شرایط آب هوایی گرم وخشک و با استفاده از داده های اندازه گیری شده در آن نقطه می باشد. این روابط مقدار انرژی خورشیدی را براساس داده های هواشناسی موجود و پارامترهای جغرافیایی بدست می آورند. در این مقاله با استفاده از سه مدل پیش بینی مقدار میانگین روزانه انرژی خورشیدی که برای مناطق دارای آب و هوا گرم و خشک بهینه سازی شده به بررسی کارایی این فرمول ها برای شهر زاهدان پرداخته و براساس نتایج بدست آمده بهترین فرمول را بمنظور استفاده دیگر مناطق استان و ترسیم نمودارهای مربوطه انتخاب می نماییم. براین اساس مدل بهینه سازی شده دانشیار بیشترین تطابق را با داده های شهر زاهدان داشته و مقادیر MABE,MPE,MBE,RMSE نیز این مورد را تصدیق می نماید.

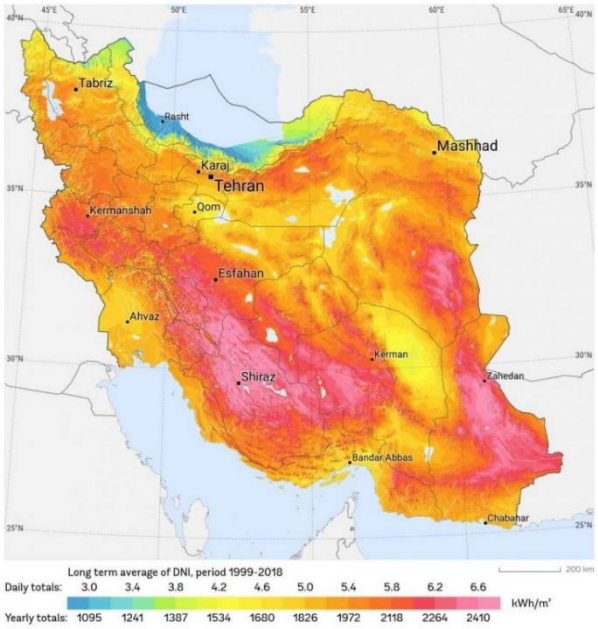
واژه های کلیدی

تابش خورشیدی روزانه ، پالتریج اصلاح شده (MP) ، دانشیار اصلاح شده (MD)، صباغ اصلاح شده (MS)

مقدمه

انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی را در آینده انرژی جهان ایفا خواهند کرد. انرژی خورشیدی یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی است که برروی سیاره زمین به‌وفور یافت می‌شود. هر ذره از نور خورشید حاوی بسته‌های انرژی است این بسته‌های انرژی فوتون نامیده می‌شوند که تامین‌کننده انرژی زمین هستند. فناوری‌های انرژی خورشیدی، از انرژی تولید شده توسط خورشید جهت تولید برق و گرما استفاده می‌کنند. انرژی که از خورشید به سطح زمین می‌رسد با توجه به روز و محل مورد نظر می‌تولند متفاوت باشد. خوشبختانه علی‌رغم اینکه حرکت نسبی خورشید و زمین پیچیده است، اما به دلیل سیستماتیک بودن آن قابل پیش‌بینی است. این امر کمک می‌کند تا برای هر ساعت از هر روز سال قادر به محاسبه محل خورشید باشیم.[1]

برای ارزیابی مناطق مستعد انرژی خورشیدی دو پارامتر شدت تابش خورشید در آن منطقه و مدت زمان آن اهمیت بالایی دارد. کشور ایران با قرارگیری بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی در یکی از مناطق کره زمین با تابش خوب خورشید قرار گرفته است. میزان شدت تابش خورشید در ایران به‌طور متوسط از میانگین جهانی بالاتر است و بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در بیش ۹۰٪ کشور ایران ثبت شده است. استان‌های فارس، کرمان، اصفهان، خراسان جنوبی و رضوی، سیستان و بلوچستان، سمنان، همدان و تهران از جمله استان‌های پر تابش کشور ایران هستند.[2]



شکل 1 – نقشه انرژی خورشیدی سالیانه ایران – سایت SolarGis [3]

تعیین مکان احداث نیروگاههای خورشیدی، به دلیل بالا بودن هزینه های عملیاتی تجهیز، نصب، بهره برداری و نگهداری، یکی از مهمترین عوامل موثر در میزان راندمان این سیستم ها می باشد. بررسی اولویت مناطق به لحاظ شرایط محیطی، هواشناسی و... مورد توجه قرار میگیرد[3] .

در زمینه پتانسیل سنجی برای مکان یابی نیروگاههای خورشیدی در ایران و جهان، مطالعات بسیاری صورت گرفته است؛ محققان انرژی خورشیدی بر اساس این مطالعات روابط تجربی بسیاری را بوجود آورده اند که ارتباط بین انرژی خورشیدی دریافتی و پارامترهای مختلف هواشناسی را بیان می کند. از آنجایی که در دسترس بودن پارامترهای هواشناسی که به عنوان ورودی مدل‌های تابش استفاده می‌شوند، مهم‌ترین کلید برای انتخاب مدل‌های تشعشعی مناسب در هر مکانی است، مدل‌های تجربی را می‌توان بر اساس پارامترهای هواشناسی به کار گرفته شده در چهار دسته طبقه‌بندی کرد. متداول ترین پارامتر برای تخمین میزان انرژی خورشیدی کلی ، تعداد ساعات آفتابی است. تعداد ساعات آفتابی را می توان به راحتی و با اطمینان اندازه گیری کرد و داده های مربوط به این پارامتر به طور گسترده در ایستگاه های هواشناسی در دسترس هستند. در ادبیات پژوهش بسیاری از مدل‌های تخمین انرژی خورشیدی که از این پارامتر استفاده می کنند، فقط از نسبت تابش خورشیدی (S/S0) برای پیش‌بینی مقدار انرژی تابشی ماهانه -میانگین کلی روزانه استفاده می‌کنند. اولین و پرکاربردترین رابطه برای تخمین میانگین ماهانه تابش خورشیدی کلی روزانه براساس ساعات آفتابی توسط آنگستروم [4]پیشنهاد شد. اگرچه معادله آنگستروم [4] می تواند برای تولید نتایج دقیق تر بهبود یابد، اما در بسیاری از منابع از آن به همان صورت اصلی استفاده گردید. برخی از منابع نیز مدل‌های رگرسیون مبتنی بر مدل آنگستروم را گسترش دادند که از آن جمله می توان به مطالعه انرژی خورشیدی دریافتی در طول روز بر اساس ساعات آفتابی در کشور ترکیه توسط باقیرچی [5] اشاره کرد.

ابری بودن هوا و الگوهای آب و هوایی مربوط به آن از مهمترین پدیده های جوی هستند که دسترسی به تابش خورشیدی را در سطح زمین محدود می کنند. هوای ابری به عنوان یک عامل محدود کننده باعث پخش و هدررفت انرژی تابش خورشیدی رسیده به جو می شود و بر میزان تابش دریافتی در سطح زمین تأثیر می گذارد. داده های ابر به طور معمول توسط ماهواره های هواشناسی شناسایی می شوند، بنابراین تعدادی از مدل ها برای تخمین مقدار تابش خورشیدی کلی از طریق بکارگیری مقادیر مختلف لایه های ابر و همچنین نوع ابر توسعه داده شده است [6]. از جمله اولین نویسندگانی که مدل تخمین خود را بر اساس اطلاعات ابرها توسعه دادند می توان به بلک [7] اشاره نمود. پالتریج و پراکتور [8] مدلی را براساس داده های ابر بوجود آوردند که می توانست میزان لحظه ای و کلی انرژی تابشی روزانه در هر نقطه دلخواه را بدست آورد. به دنبال کار پالتریج و پراکتور [8]، دانشیار [9] مدل خود را جهت تخمین انرژی منتشرشده و با تعریف ضرایب جدید برای شرایط آب و هوایی تهران، ایران پیشنهاد کرد. در سال 2008 سبزی پرور [10] مدل اصلاح شده دانشیار را با تغییر در ضریب ثابت خورشید ، فاکتور تصحیح فاصله زمین-خورشید و بکار بردن فاکتور تصحیح ارتفاع برای اطلاعات جغرافیایی شهر تهران بوجود آورد. مشابه روش قبلی، سبزی پرور [10] در سال 2008 همان تغییرات را در روش پالتریج-پراکتور [8] انجام داد. برای مکان هایی که اطلاعاتی از مدت زمان تابش خورشید وجود ندارد، پیش بینی با استفاده ازمدل پالتریج اصلاح شده (سبزی پرور) که فقط به داده های ابری نیاز دارد (داده های ابری به راحتی توسط ماهواره ها و اندازه گیری های زمینی در دسترس هستند) می تواند جایگزین خوبی باشد.

مشاهدات ابری و داده های آفتاب به راحتی برای همه مکان ها در دسترس نیست. بنابراین، توسعه برخی از مدل‌های دقیق تابش خورشیدی که از پارامترهای اندازه‌گیری شده معمول در دسترس مانند دمای هوا استفاده می‌کنند، ضروری است. با توجه به در دسترس بودن حداکثر و حداقل دمای روزانه هوا، چندین روش تجربی برای تخمین انرژی تابشی خورشید با استفاده از این متغیرها، به ویژه برای مکان‌هایی که دمای روزانه هوا تنها داده‌های هواشناسی موجود است، پیشنهاد شده است. مدل‌های مبتنی بر دما فرض می‌کنند که تفاوت در دمای حداکثر و حداقل به طور مستقیم با کسر تشعشعات فرازمینی دریافت‌شده در سطح زمین مرتبط است. با این حال، عوامل دیگری به غیر از تابش خورشیدی وجود دارد که می تولند بر تفاوت دما تأثیر بگذارد، مانند ابری بودن هوا، رطوبت، عرض جغرافیایی مکان، ارتفاع از سطح دریا، توپوگرافی یا نزدیکی به حجم بزرگی از آب (رودخانه، دریاچه و دریا) [11]. آبراها و همکاران[12] در سال 2008 مدل خود را براساس روش استفاده از ماکزیمم و مینیمم دمای روزانه هوا و ایجاد اصلاحات در روش های قبلی توسعه دادند.

برای پیش‌بینی دقیق میزان واقعی تابش خورشید برای یک مکان مشخص به میانگین داده‌های هواشناسی دربازه زمانی بلندمدت نیاز است که هنوز به ویژه برای کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه این اطلاعات کمیاب است. بنابراین همیشه نمی توان میزان تابش خورشید را برای یک مکان خاص پیش بینی کرد. بسیاری از محققان سعی کرده اند از پارامترهای مختلف هواشناسی در دسترس مانند بارش، رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، دمای خاک، تبخیر و فشاردرکنار مدل های تخمین کلاسیک مانند آفتاب، دمای هوا و ابر برای پیش بینی میزان تابش خورشیدی جهانی استفاده کنند. سباق [13] مدلی را برای پیش بینی تابش کلی ماهانه بصورت میانگین

روزانه برای مناطق خشک و نیمه خشک توسعه داد. مدل پیشنهادی فقط مبتنی بر مکان هایی بود که دارای ارتفاع بالاتراز 300 متر از سطح دریا بودند و برای مناطق خشک نیاز به تصحیح داشت.

روش کار (داده ها و روش ها):

جمع آوری داده ها. پس از کنترل کیفی و آزمایش‌های آماری لازم، داده‌های هواشناسی مشاهده شده بصورت ساعتی و روزانه به عنوان ورودی مدل تابش استفاده شد. داده های اندازه گیری شده عمدتا از داده های اداره هواشناسی استان سیستان و بلوچستان گرفته شده است. داده ها شامل موارد زیر است.

میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه (n) توسط دستگاه های ثبت آفتاب کمپبل-استوکس اندازه گیری شد. مجموع تشعشعات روزلنه جهانی خورشید توسط پیرانومترهای Kipp & Zonen (CM5) و یکپارچه‌کننده‌های CC1 در پانزده ایستگاه زمینی اندازه‌گیری شد. انحراف خورشید را می توان به صورت تقریبی زیر تخمین زد:

$$\delta = 23.44^{\circ} \times \left[\frac{360}{365} \times (N + 284)\right] \quad (1)$$

که در آن کسینوس بر روی درجه عمل می کند. N تعداد روزهای سپری شده است. سایر داده های ورودی به شرح زیر تعیین شد: حداکثر ساعات آفتابی (N) از کوپر [8]؛ مجموع تابش خورشید فرازمینی روزانه ($Rext$) و زاویه ساعت (ωs) از اقبال [9]؛ ثابت خورشیدی از موسسه سلطنتی هواشناسی بلژیک. زاویه اوج خورشیدی θ (solar zenith angle) تابعی از زمان، عدد روز و عرض جغرافیایی است. با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$cos\theta = sin\delta \times sin\varphi + cos\varphi \times cos\delta \times cos\omega$$

که در آن δ انحراف خورشید و φ عرض جغرافیایی (در نیمکره شمالی مثبت تعریف شده است) و ω، زاویه ساعت است. عامل ابر (CF)، به طور معمول در سایت های هواشناسی استان سیستان و بلوچستان گزارش نمی شود. این پارامتر را می توان با استفاده از تعداد روزهای ابری در هر ماه و پوشش ابر به دست آورد. پوشش ابری هر سه ساعت یک بار در سه محدوده مختلف مشاهده می شود: (0-2) oktas، (3-6) oktas و (7-8) oktas. برای تبدیل پوشش ابری به CF از رابطه زیر استفاده می شود:

$$CF = \frac{n_1 + 4.5n_2 + 7.5n_3}{8(n_1 + n_2 + n_3)} \quad (2)$$

که در این معادله n1,n2,n3 تعداد کل روزها در هر ماه است، با پوشش ابر به ترتیب 0/8-2/8 , 3/8-6/8 , 7/8-8/8 است.

روش شناسی:

در این مقاله از سه روش استفاده گردیده که شرح آن بصورت زیر میباشد

1- روش(1): صباغ اصلاح شده (SM)

ما دو مدل را برای مدل صباغ ساخته ایم: یک فاکتور اصلاح ارتفاع (HCF)؛ فاصله خورشید و دو اصلاح عامل زمین(Ke).HCF (معادل (3)) برای تابش جهانی بر اساس فرمول وابسته به Angstrom height خطی ارائه شده است.فرمول خود را برای هر مکان اعمال کردیم و تعیین کردیم میانگین HCF برای 11 شهر است. برای این کار سالانه متوسط دو درصدHCF در هر کیلومتر استفاده شد (1.5٪ در هر کیلومتر برای تابستان و 2.5٪ در هر کیلومتر برای زمستان به علت جرم بزرگتر نوری هوا) با فرض HCF ارتفاع زاهدان به عنوان ارتفاع مرجع ğref ¼ 1: 1.3kmÞ تعریف کردیم.

$$\mathrm{HCF} = K_{alt-glob} = \left[1 + 0.02\left(h - h_{ref}\right)\right] \quad (3)$$

برای تغییرات فصلی از فاکتور فاصله زمین تا خورشید استفاده شده است در نتیجه ما برای ارزیابی تابش خورشیدی روزانه در معادله (4) پیشنهاد می شود که همان روش(1) میباشد .

$$R_{sc} = 1.53(K_{\varepsilon})\left(K_{alt-glob}\right) \times K\, exp[L\left(\frac{n}{12} - RH^{0.333}/100 - 1/T_{max}\right)] \quad (4)$$

2- روش(1): دانشیار اصلاح شده (SM)

اصلاح روش دانشیار به شرح زیر است: برای هر ماه میانگین ماهانه تابش کلی توسط اصلاح فاکتور تصحیح فاصله زمین تا خورشید Kε در روش (1) انجام شد. برای استفاده از اثر ارتفاع روی تابش مستقیم و منتشر، همانطور که در روش 1، ارتفاع زاهدان به عنوان مرجع انتخاب شد. برای غرب و شرق شهرستانها، که در آن میانگین سالانه مستقیم به جهانی است تابش حدود 0.7 است، در میانگین سالانه 7٪ (در هر کیلومتر) و10٪ (در هر کیلومتر) به عنوان گرادیان ارتفاع برای (معادله (5)) و نسبت انتشار تابش مستقیم (معادله (6)) است، جایی که ارتفاع محل(h) و ارتفاع مرجع(href) ارتفاع زاهدان است

$$K_{alt-dir} = [1 + 0.07(\mathrm{h} - h_{ref})]\ at\ \lambda = 400nm, \quad (5)$$

$$K_{alt-dif} = [1 - 0.1(h - h_{ref})]\ at\ \lambda = 400nm, (6)$$

مقایسه داده های منتشر شده 5سال (1399_1394) با پیش بینی های ارائه شده توسط دانشیار نشان داد که باید ضرایب معادله به ترتیب به 0.111و 0.163 و9.39. تغییر یابد بنابراین برای برآوردمیانگین ماهانه کل تابش جهانی روزانه توسط روش 2 ما معادله (7) را پیشنهاد می کنیم.

$$R_{sc} = (1.01)(k_\varepsilon)\{((81.738)(1 - CF)(K_{alt-dir}) \times \int_{sunrise}^{sunset}[1 - \exp(-0.075(90 - \theta))]\cos\theta\ dt + (K_{alt-dif}) \times \int_{sunrise}^{sunset}[0.111 + 0.163(90 - \theta) + 9.39CF]dt\} \quad (7)$$

3- روش(3): پالتریج اصلاح شده (PM)

مانند روش 2 ، اصلاحات مشابهی انجام شده است برای روش پالتریج اصلاح شده (روش 3)است. فرمول بندی نهایی ، که برای برآورد روزانه پیشنهاد می شودتابش به شرح زیر است:

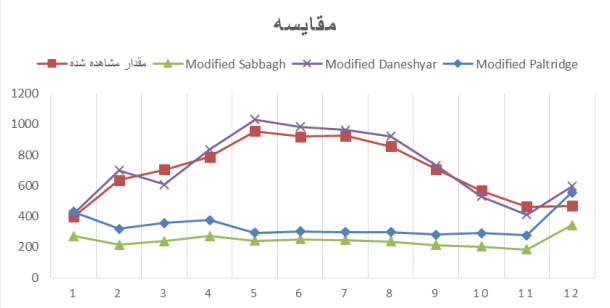
$$R_{sc} = (1.01)(k_\varepsilon)\{((81.738)(1 - CF)(K_{alt-dir}) \times \int_{sunrise}^{sunset}[1 - \exp(-0.075(90 - \theta))]\cos\theta\ dt + (K_{alt-dif}) \times \int_{sunrise}^{sunset}[0.218 + 0.299(90 - \theta) + 17.27CF]dt\} \quad (8)$$

نتایج و بحث:

صحت سنجی نتایج:

تابش خورشیدی روزانه کلی با استفاده از سه روش ذکر شده برای 11 شهر توزیع شده در استان سیستان و بلوچستان محاسبه نتایج مدل ها با استفاده از معادله میانگین محاسبه می شودخطای (MBE)، میانگین خطای متوسط مربع (RMSE)، میانگین درصد خطا (MPE) و میانگین خطای متعصب مطلق(MABE) را ببینید. خطاهابر خلاف روز جهانی تجربی انرژی خورشیدی محاسبه می شودتابش در 10 سایت خورشیدی مشاهده شده است. برای هر سایت،مقایسه تابش اندازه گیری شده با مدل نتایج هر ماه برای هر ساله انجام می شود داده های تابش در دسترس بودند.

به عنوان مثال،پایگاه داده برای تجزیه و تحلیل هر یک از روش 1560ارزش ها [10 (تعداد سایت های خورشیدی)، 5 (سال کل سال مشاهده)، 12 (ماه)]. برای هر یک از شش روش،میانگین اشتباهات (MABE، MBE، RMSE، MPE) محاسبه شده بودو حداقل و حداکثر خطا بودارائه شده (جدول 2). MBE و MPE انحراف را منعکس می کنندبین تابش اندازه گیری شده و شبیه سازی شده و حداقل تا آنجا که ممکن است. شده،همانطور که در جدول 2 نشان داده شده است، روش 3 برآورد برای آب و هوای خشک و نیمه خشک ایران بهترین است.خطای MPE را به طور متوسط کمتر از 4٪ نشان می دهد..این مقادیر خطاهای دیگر (MBE، MABE، RMSE)به دست آمده از روش 2 حداقل هستند. علاوه بر این،تفاوت بین انرژی تابشی خورشیدی پیش بینی شده توسط روش 2 و اندازه گیری های واقعی تقریبا نشان می دهدتوزیع نرمال (در اینجا نشان داده نشده است) نسبت به روش های دیگر در مقابل، روش 3 با خطای MPE ازبیش از 62-٪ بدترین برآورد در میان مدل ها میگذارد.

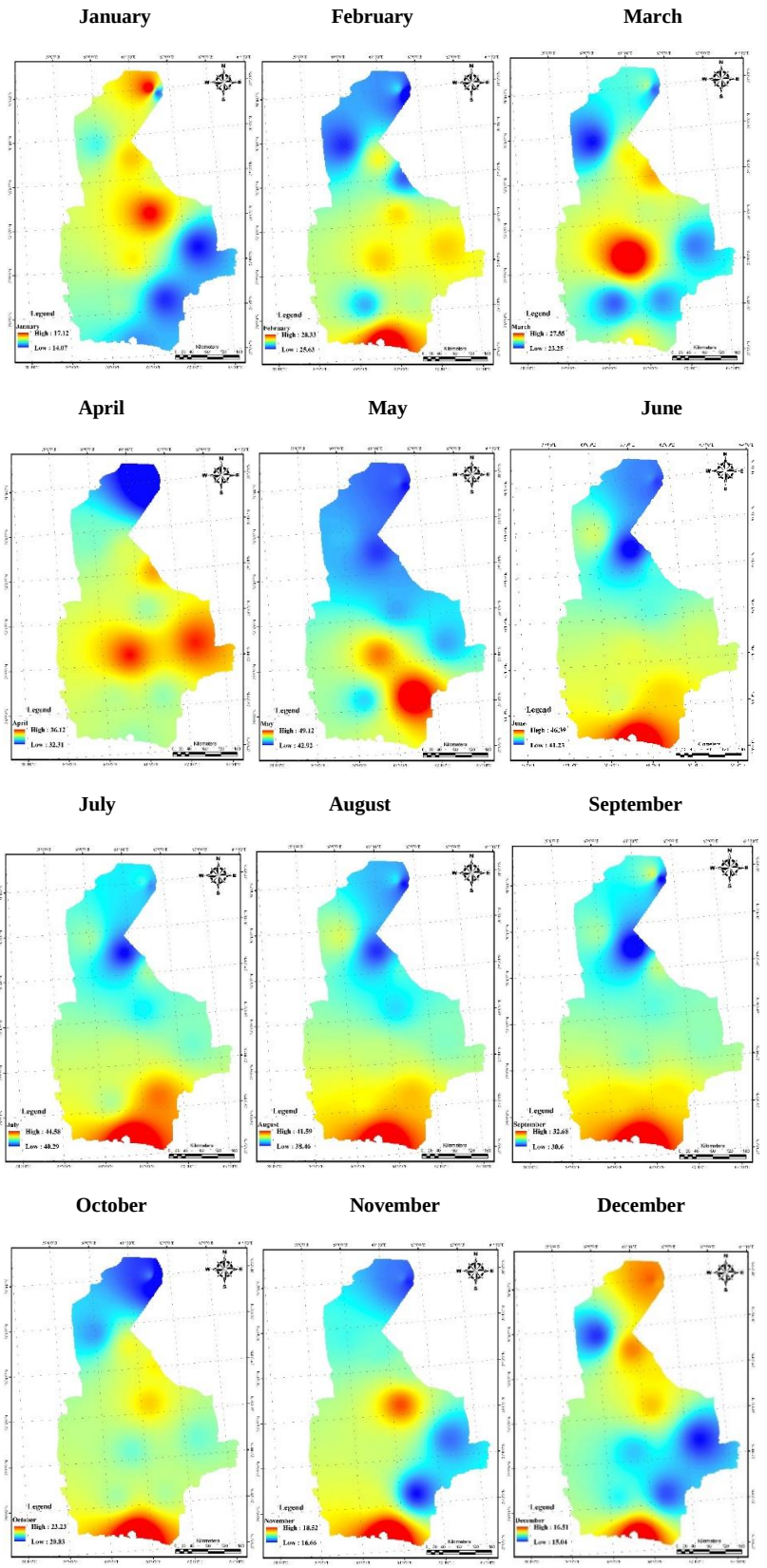


شکل 2 - مقایسه بین 3 روش و داده های مربوط ایستگاه زاهدان با استفاده از سه مدل اندازه گیری شد

جدول1 :خطاهای به دست آمده از 3 روش برای ایستگاه زاهدان

روش محاسبه	MABE	MBE	MPE	RMSE
MS	456/112	-456/112	62/02	495/75
MD	59/31	28/05	3/811	66/37
MP	379/32	-359/41	-45/353	

خطاها محاسبه شده برای روش 3 (پالتریج اصلاح شده)به این نکته اشاره دارد که مدل ها برای برآورد تابش خورشید انرژی در آب و هوای خشک و نیمه خشک مناسب نیستند، عمدتا به دلیل مقداربیش از حد زیاد از اجزای منتشر شده است.نتایج مدل نشان می دهد که



شکل 2 : نقشه میانگین تابش ماهانه تابش خورشیدی برای ماه ژانویه تا دسامبر2020 استان سیستان و بلوچستان

تغییرات به روش2 (دانشـــیار اصـــلاح شـــده) برآورد شـــده به دلیل کالیبراسیون استفاده شده در diffuseتابش ساخته شده است.اگرچه میانگین ارتفاعات در شهرهای شمال استان(جدول 1 را ببینید) بالاتر از شهرهای جنوب استان است؛با این حال، مقایسه اشعه دریافت شده درعرض جغرافیایی غرب و شـرق (نگاه کنید به نقشـه ها)تابش ورودی در جنوب استان چند درصد بیشتر از تابش خورشید در شمال استان است.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که روش های تابش بر اساس کسر ابر (CF) برآوردگر خوبی برای پیش بینی انرژی تابشـی خورشـیدی در مناطق خشـک و نیمه خشـک مانند اسـتان سـیسـتان و بلوچسـتان اسـت. در این کار، میانگین ماهانه مسـتقیم و اشـعه منتشـرشـده با میانگین MPE خطا کمتر از 4٪.به ارتفاع بســـتگی دارد.مقایســـه نتایج با مطالعات قبلی نشان داد که کالیبراسیون ضرایب مدل سازمانی تابش منتشر در برابر داده های تجربی می تولند برآورد تابش خورشـــیدی جهانی را بهبود بخشد.

با این حال،ضـریب آلبیدو در تابش سـطح جهانی که در محدوده این کار نیست با این وجود تغییر در سطح آلبیدو فصلی است، به ویژه در مناطق کوهسـتان ممکن اسـت به دلیل اثر فرآیند پراکندگی چندگانه در بین ابرها وپوشـش برف منجر به نتایج متفاوت شـود . برای ارزیابی تابش جهانی خورشـید در بیابان های خشـک و نیمه خشـک، تحقیقات بیشـــترمورد نیاز اســـت، در چنین مناطق، تعداد ابری روزها کوچکتر اسـت و تعداد روزهای گرد و خاک بسـیار بالاتر از مناطق کوهسـتانی زیاد است

مراجع و منابع

[1] G. BoroumandJazi, B. Rismanchi, and R. Saidur, "Technical characteristic analysis of wind energy conversion systems for sustainable development," Energy conversion and management, vol. 69, pp. 87-94, 2013.

[2] S. Naserpour, H. Zolfaghari, and P. Z. Firouzabadi, "Calibration and evaluation of sunshine-based empirical models for estimating daily solar radiation in Iran," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 42, p. 100855, 2020.

[3] M. Bahrami and P. Abbaszadeh, "An overview of renewable energies in Iran," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 24, pp. 198-208, 2013.

[4] A. Angstrom, "Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 50, no. 210, pp. 121-126, 1924.

[5] K. Bakirci, "Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey," Energy, vol. 34, no. 4, pp. 485-501, 2009.

[6] I. Supit and R. Van Kappel, "A simple method to estimate global radiation," Solar Energy, vol. 63, no. 3, pp. 147-160, 1998.

[7] J. Black, "The distribution of solar radiation over the earth's surface," Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, vol. 7, no. 2, pp. 165-189, 1956.

[8] G. Paltridge and D. Proctor, "Monthly mean solar radiation statistics for Australia," Solar Energy, vol. 18, no. 3, pp. 235-243, 1976.

[9] M. Daneshyar, "Solar radiation statistics for Iran," Sol. Energy;(United States), vol. 21, no. 4, 1978.

[10] A. A. Sabziparvar, "A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran," Renewable energy, vol. 33, no. 5, pp. 1002-1010, 2008.

[11] R. G. Allen, "Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature," Journal of Hydrologic engineering, vol. 2, no. 2, pp. 56-67, 1997.

[12] M. Abraha and M. Savage, "Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations," Agricultural and Forest Meteorology, vol. 148, no. 3, pp. 401-416, 2008.

[13] J. Sabbagh, A. A. Sayigh, and E. El-Salam, "Estimation of the total solar radiation from meteorological data," Sol. Energy;(United States), vol. 19, no. 3, 1977.