



## برآورد پتانسیل انرژی خورشیدی بر روی سطح افق و شیب‌دار در استان کرمانشاه

لیلا ندرلو<sup>۱\*</sup>، لیدا دهلقی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه

\* ایمیل نویسنده مسئول: [lnaderloo@razi.ac.ir](mailto:lnaderloo@razi.ac.ir)

### چکیده

یکی از عوامل لازم در مطالعات طراحی سیستم‌های استفاده کننده از انرژی‌های پاک که امروزه اهمیت گسترده‌ای دارد، تابش خورشیدی رسیده به زمین می‌باشد. در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از داده‌های ساعات آفتابی شهرستان‌های مختلف استان کرمانشاه، میزان تابش ماهانه و همچنین میانگین سالانه تابش خورشید بر سطح افقی و شیب‌دار تخمین زده شود. اطلاعات لازم از سازمان هواشناسی استان برای نه ایستگاه شامل ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، روانسر، سرآرود، سرپل ذهاب، سنقر، قصر شیرین، کرمانشاه، کنگاور و گیلان غرب گرفته شد. نتایج حاصل از محاسبه تابش روی سطح افقی و شیب‌دار نشان داد که تابش در سطح افقی در شهرستان سرپل ذهاب بیشترین مقدار است که بیانگر پتانسیل خوب این شهرستان جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در صنعت، کشاورزی و مصارف خانگی است. همچنین میزان تابش روی سطح شیب‌دار در شهرستان سنقر بیشترین بود. کمترین تابش روی سطح افقی و شیب‌دار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود.

**واژه‌گان کلیدی:** انرژی خورشیدی، تابش، سطح افقی، سطح شیب‌دار، کرمانشاه.

## مقدمه

وابستگی شدید و نیاز روز افزون جهان به منابع انرژی که از عوامل اساسی رشد و فعالیت‌های اقتصادی محسوب می‌شود از یک طرف و محدود بودن ذخایر نفتی و سایر سوخت‌های فسیلی از طرف دیگر، مجامع علمی را به فکر استفاده از منابع انرژی جایگزین واداشته است. انرژی خورشیدی به‌عنوان منبعی پاک و بی‌پایان و تجدید پذیر و رایگان، یکی از این منابع است که امروزه در جوامع مختلف به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشور ایران روی کمربند خورشیدی جهان قرار گرفته و از تابش نور خورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار است. از مصارف انرژی خورشیدی می‌توان به گرم‌کننده‌ها، دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن و الکتروسیته خورشیدی اشاره کرد (توفیق، ۱۳۹۰). استان کرمانشاه دارای پتانسیل بالایی برای بهره‌مندی از انرژی خورشیدی است و در زمره استان‌های متوسط و بالاتر از متوسط کشور است که سالانه بیش از ۳۰۰ روز آفتابی دارد و از این انرژی می‌توان در صنعت، مصارف خانگی و مصارف کشاورزی استفاده کرد. به‌طور مثال با استفاده از انرژی خورشیدی می‌توان مورد نیاز موتور یک الکتروپمپ را تأمین کرد (لهونیان، ۱۳۸۵). از میان عوامل مؤثر در رویش محصولات زراعی، تابش از فاکتورهای اصلی است. با آگاهی از میزان تابش و نحوه توزیع زمانی و مکانی آن در یک منطقه مشخص می‌توان گیاهان زراعی مناسب و سازگار با آن منطقه را شناسایی کرد (عرفانیان و بابایی حصار، ۱۳۹۲). با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده ساعات آفتابی می‌توان میزان دقیق تابش خورشیدی را محاسبه کرد. میزان تابش روزانه مستقیم و پراکنده بر سطح افقی زمین با استفاده از ضریب ابر و زاویه سمت‌الرأس خورشیدی در یک مدل تجربی محاسبه شد (Paltridg and Proctor, 1976). با بهره‌گیری از مدل پالتریج میزان تابش خورشیدی برای تهران و سایر شهرهای ایران توسط دانشیار به دست آمد (Daneshyar, 1978). چهار مدل متفاوت توسط جعفرپور و یعقوبی برای تخمین میزان تابش ماهانه و سالانه در شیراز استفاده شد (Jafarpur and Yaghoubi, 1989). از مطالعات دیگری که میزان انرژی خورشیدی روی سطح افقی را در نقاط مختلف جهان با استفاده از ساعات آفتابی تخمین زده است می‌توان به مدل تسدیمیراوغلو و سور اشاره کرد که میزان تابش کل را در ترکیه محاسبه نموده‌اند (Tasdemiroglu and Sever, 1989). با استفاده از دو مدل دانشیار و برد هولستروم (Bird and Hulstrom, 1981) نیز میزان انرژی خورشیدی برای چند منطقه خاص ایران محاسبه شده است (Ashjaee et al., 1993). محقق دیگری از مدل ارائه شده توسط ماینل و ماینل (Meinel and Meinel, 1977) استفاده کرد و ضرایب آن را برای شهرهای ایران به دست آورد. او معتقد به وابستگی بالای تابش به ارتفاع بود (Samimi, 1994). همچنین می‌توان به روابط ارائه شده در تحقیقات (Suehrcke, 2000; Al-Mohammad, 2004; Almorox et al., 2005; zhou et al., 2005) اشاره کرد که با استفاده از مدل آنگستروم میزان تابش کل را بر سطح افقی زمین بررسی نموده‌اند. میزان میانگین روزانه انرژی خورشیدی با استفاده از عوامل مختلفی از جمله ساعات آفتابی، ضریب ابر، رطوبت نسبی و میانگین ماکزیمم دما و قرار دادن پارامترها در مدل‌های تجربی مختلف توسط سبزی پرور و شتایی برای شهرهای مختلف ایران محاسبه شد (Sabziparvar and Shetaee, 2007).



تابش خورشید رسیده به زمین به عنوان یکی از عوامل مورد نیاز برای مطالعات منابع آب، محیط‌زیست، کشاورزی و پوشش‌های 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 این‌رو روش‌های 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 و سطح شیب‌دار با استفاده از میزان ساعات آفتابی در گستره استان کرمانشاه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### اخذ داده‌های هواشناسی

داده‌ها جهت برآورد میزان تابش خورشید از سازمان هواشناسی استان کرمانشاه دریافت شدند. در این تحقیق سعی شد تا ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که داده‌های ساعت آفتابی آن‌ها طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۲ کامل باشد. بدین منظور از آمار میانگین ماهانه ساعت آفتابی نه ایستگاه شامل ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، روانسر، سرآرود، سرپل ذهاب، سنقر، قصر شیرین، کرمانشاه، کنگاور و گیلان غرب استفاده شد. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها از سایت هواشناسی استان بررسی شد.

### برآورد تابش کل خورشید روی سطح زمین

اولین مدلی که بر اساس پارامتر ساعات آفتابی، میزان تابش را بر روی سطح افقی برآورد کرد، رابطه تجربی آنگستروم و پریسکات بود (Angstrom, 1924; Prescott, 1940).

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b\left(\frac{\bar{n}}{N}\right) \quad (1)$$

$\bar{H}_0$  بیانگر تابش اندازه‌گیری شده در خارج از جو،  $\bar{H}$  بیانگر میانگین تابش کل روزانه در هر ماه می‌باشد. برای محاسبه آن می‌توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم (Duffie and Beckman, 1992).

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{SC}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta\right] \quad (2)$$

$G_{SC}$  ثابت تشعشی خارج از جو است و مقدار آن در این مقاله ۱۳۷۳ وات بر مترمربع در نظر گرفته شده است.  $\phi$  عرض جغرافیایی محل مورد نظر،  $\delta$  زاویه میل خورشیدی نسبت به استوا بر حسب درجه ( $3,45 \leq \delta \leq 23,45$ ) می‌باشد که مقدار آن را می‌توان از معادله تقریبی کوپر (Cooper, 1969) محاسبه نمود.  $\omega_s$  زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه می‌باشد و مقدار آن از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (4)$$

$\bar{n}$  میانگین ماهانه بیشینه ساعات آفتابی (طول روز) می‌باشد و  $\bar{N}$  بیانگر میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه و از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\bar{N} = \frac{2}{15} \omega_s \quad (5)$$

### محاسبه میزان تابش خورشیدی بر روی یک صفحه‌ی شیب‌دار

میزان متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک سطح شیب‌دار با شیب ثابت در نقطه‌ای از زمین به کمک روابط زیر محاسبه گردید:

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \cdot \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \bar{H} \cdot \rho \cdot \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (6)$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1 - 1.15 \left(\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}\right) \quad (7)$$

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \left(\frac{\bar{n}}{N}\right) \quad (8)$$

$$\bar{N} = \frac{2}{15} (\cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan\phi)) \quad (9)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\theta-\beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \cdot \sin(\theta-\beta) \cdot \sin\delta}{\cos\theta \cdot \cos\delta \cdot \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \cdot \sin\theta \cdot \sin\delta} \quad (10)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan\phi) \quad (11)$$

$$w_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan\phi) \\ \cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan(\theta-\beta)) \end{array} \right\} \quad (12)$$

که در آن‌ها:

$\bar{H}_T$ : میزان متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک سطح شیب‌دار با شیب ثابت در یک نقطه‌ی مشخص از سطح زمین بر حسب  $\text{MJ/m}^2$

$\bar{H}$ : متوسط ماهانه تابش روزانه بر روی یک صفحه افقی در یک نقطه مشخص از سطح زمین بر حسب  $\text{MJ/m}^2$

$\bar{H}_0$ : متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک صفحه‌ی افقی در سطح خارجی جو بر حسب  $\text{MJ/m}^2$  وقتی که ثابت خورشیدی  $1373 \text{ W/m}^2$  باشد.

$\bar{H}_d$ : متوسط ماهانه‌ی تابش پخش روزانه بر روی یک صفحه‌ی افقی در یک نقطه‌ی مشخص از سطح زمین بر حسب  $\text{MJ/m}^2$

$\bar{R}_b$ : نسبت متوسط ماهانه‌ی تابش مستقیم روزانه بر روی یک صفحه‌ی شیب‌دار به متوسط ماهانه‌ی تابش مستقیم روزانه بر روی یک صفحه‌ی افقی.



$\beta$ : زاویه‌ی شیب صفحه بر حسب درجه. بهترین مقدار تابش برای یک صفحه شیب دار زمانی اتفاق می‌افتد که شیب صفحه برابر با عرض جغرافیایی محل مورد نظر بوده و در صورت ثابت بودن جهت آن کاملاً به سمت جنوب باشد (لهوانیان، ۱۳۸۵). بنابراین برای هر منطقه برابر با عرض جغرافیایی آن منطقه در نظر گرفته شد.

$\rho$ : ضریب بازتاب پخش زمین (در مواقع عادی  $\rho = 0.2$  و در روزهای برفی  $\rho = 0.7$ )

$a$  و  $b$ : ضرایب ثابت که تابع شرایط اقلیمی محل و طول و عرض جغرافیایی می‌باشد و پس از مشابه‌سازی نقاط هم شرایط با محل مورد نظر از جداول مرجع انتخاب می‌گردند.

$\bar{n}$ : متوسط ماهانه‌ی ساعات کاملاً آفتابی روزانه

$\bar{N}$ : متوسط ماهانه‌ی حداکثر تعداد ساعات کاملاً آفتابی ممکنه در روز (طول روز متوسط ماه).

$\delta$ : زاویه‌ی انحراف خورشید برای روز متوسط ماه بر حسب درجه.

$\emptyset$ : عرض جغرافیایی محل بر حسب درجه

$\omega_s$ : زاویه‌ی ساعت طلوع و غروب خورشید برای یک صفحه‌ی افقی بر حسب درجه

$\omega_s$ : زاویه‌ی ساعت طلوع و غروب خورشیدی برای یک صفحه‌ی شیب‌دار بر حسب درجه.

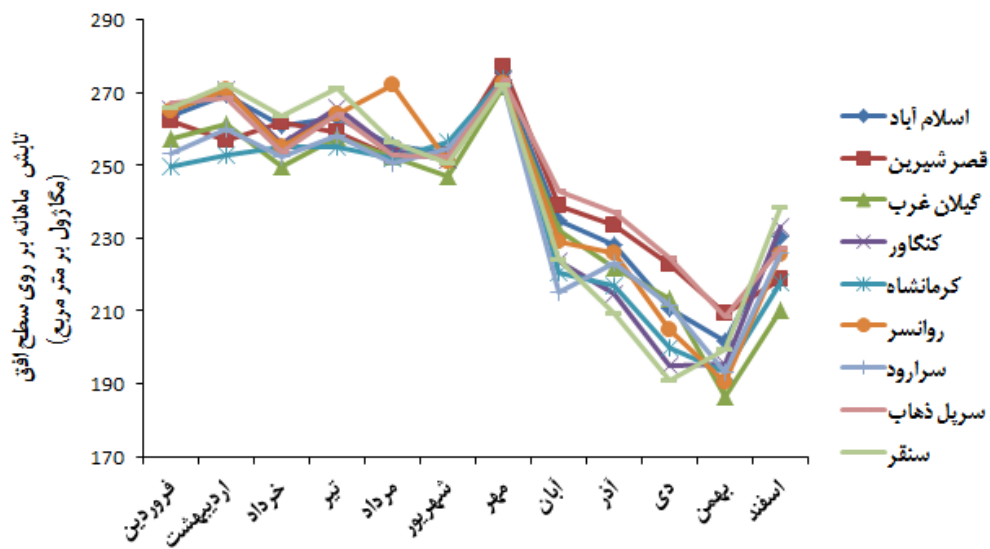
## نتایج

نتایج حاصل از محاسبات که در جدول شماره (۱) آمده است، نشان می‌دهد که میزان تابش بر سطح افق در همه شهرهای مذکور از فروردین تا شهریور روند تقریباً ثابتی را دارند. علت این امر آن است که در اواسط بهار خورشید به تدریج به نیمکره شمالی متمایل شده روز به روز زاویه تابش خورشید عمودتر شده و هوای گرم بر منطقه مستولی می‌گردد. این روند تا اوایل پاییز ادامه دارد. پس از آن در مهر ماه زاویه تابش به حداکثر مقدار خود رسیده که نشان از افزایش شدت تابش است. از آبان ماه تا بهمن تابش کاهش می‌یابد زیرا خورشید در پایین‌ترین موقعیت سالانه خود قرار می‌گیرد و شدت تابش به کمترین میزان خود می‌رسد. در اسفند ماه نیز ارتفاع موقعیت خورشید بیشتر می‌شود و تابش افزایش یافته است (شکل ۱).

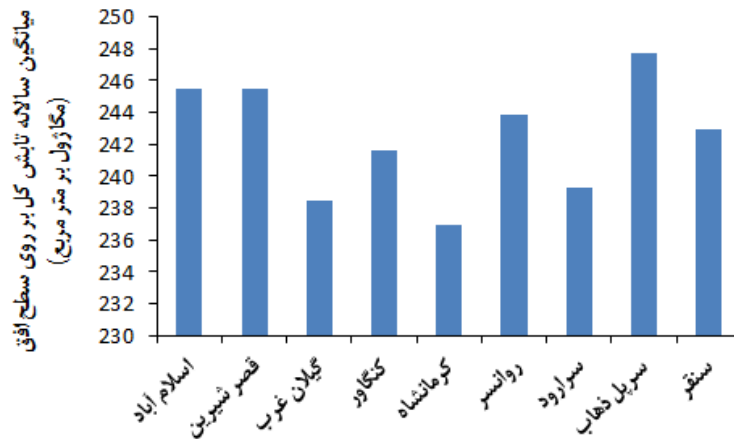
شکل ۲ نشان می‌دهد که میانگین سالانه تابش کل بر روی سطح افق در بازه زمانی ۱۰ ساله در شهرستان سرپل ذهاب بیشترین و در شهرستان کرمانشاه کمترین است و بیانگر پتانسیل خوب شهرستان سرپل ذهاب جهت استفاده از انرژی خورشیدی است.

جدول ۱- تابش ماهانه بر سطح افق (MJ/m<sup>2</sup>)

| اسفند  | بهمن   | دی     | آذر    | آبان   | مهر    | شهریور | مرداد  | تیر    | خرداد  | اردیبهشت | فروردین |            |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|------------|
| ۲۳۰٫۵۰ | ۲۰۱٫۸۸ | ۲۱۰٫۵۷ | ۲۲۷٫۹۸ | ۲۳۵٫۰۵ | ۲۷۳٫۷۳ | ۲۵۳٫۴۴ | ۲۵۵٫۳۵ | ۲۶۳٫۲۴ | ۲۶۰٫۹۹ | ۲۶۹٫۴۴   | ۲۶۳٫۴۵  | اسلام‌آباد |
|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |         | قصر        |
| ۲۱۸٫۷۴ | ۲۰۹٫۴۰ | ۲۲۲٫۹۰ | ۲۳۳٫۵۵ | ۲۳۸٫۹۸ | ۲۷۷٫۱۵ | ۲۵۲٫۹۰ | ۲۵۲٫۳۴ | ۲۵۹٫۲۹ | ۲۶۱٫۶۶ | ۲۵۶٫۷۷   | ۲۶۲٫۲۸  | شیرین      |
|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |         | گیلان      |
| ۲۱۰٫۱۹ | ۱۸۶٫۳۸ | ۲۱۳٫۴۹ | ۲۲۲٫۱۰ | ۲۳۲٫۱۵ | ۲۷۱٫۵۹ | ۲۴۷٫۰۱ | ۲۵۲٫۲۴ | ۲۵۷٫۶۸ | ۲۴۹٫۶۸ | ۲۶۱٫۵۵   | ۲۵۷٫۵۲  | غرب        |
| ۲۳۳٫۰۲ | ۱۹۵٫۱۸ | ۱۹۴٫۷۶ | ۲۱۴٫۷۸ | ۲۲۳٫۵۷ | ۲۷۳٫۴۲ | ۲۵۱٫۴۹ | ۲۵۴٫۱۷ | ۲۶۶٫۰۱ | ۲۵۶٫۲۱ | ۲۷۰٫۸۷   | ۲۶۵٫۶۰  | کنگاور     |
| ۲۱۷٫۶۳ | ۱۹۳٫۳۱ | ۱۹۹٫۹۷ | ۲۱۶٫۸۰ | ۲۲۰٫۳۷ | ۲۷۳٫۹۷ | ۲۵۶٫۳۱ | ۲۵۲٫۱۶ | ۲۵۵٫۰۱ | ۲۵۴٫۹۵ | ۲۵۲٫۸۴   | ۲۴۹٫۹۳  | کرمانشاه   |
| ۲۲۵٫۶۹ | ۱۹۰٫۴۶ | ۲۰۴٫۹۶ | ۲۲۶٫۰۲ | ۲۲۹٫۱۷ | ۲۷۳٫۴۲ | ۲۵۱٫۲۰ | ۲۷۲٫۰۱ | ۲۶۴٫۱۲ | ۲۵۵٫۰۶ | ۲۷۰٫۷۰   | ۲۶۵٫۰۲  | روانسر     |
| ۲۲۶٫۱۴ | ۱۹۳٫۱۳ | ۲۱۱٫۶۱ | ۲۲۳٫۳۷ | ۲۱۵٫۱۷ | ۲۷۲٫۰۵ | ۲۵۴٫۶۰ | ۲۵۰٫۶۲ | ۲۵۸٫۲۳ | ۲۵۲٫۶۴ | ۲۶۰٫۱۱   | ۲۵۳٫۴۳  | سرارود     |
|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |         | سرپل       |
| ۲۲۷٫۳۷ | ۲۰۸٫۵۴ | ۲۲۴٫۴۲ | ۲۳۷٫۳۲ | ۲۴۲٫۷۷ | ۲۷۳٫۶۳ | ۲۵۲٫۵۰ | ۲۵۳    | ۲۶۴٫۱۶ | ۲۵۳٫۵۷ | ۲۶۸٫۶۴   | ۲۶۷٫۲۷  | ذهاب       |
| ۲۳۸٫۵۲ | ۱۹۹٫۶۲ | ۱۹۰٫۷۴ | ۲۰۹٫۴۷ | ۲۲۴٫۱۰ | ۲۷۲٫۱۲ | ۲۵۰٫۵۷ | ۲۵۶٫۶۷ | ۲۷۱٫۲۵ | ۲۶۳٫۴۴ | ۲۷۲٫۲۸   | ۲۶۶٫۰۱  | سنقر       |



شکل ۱- تابش ماهانه بر سطح افقی



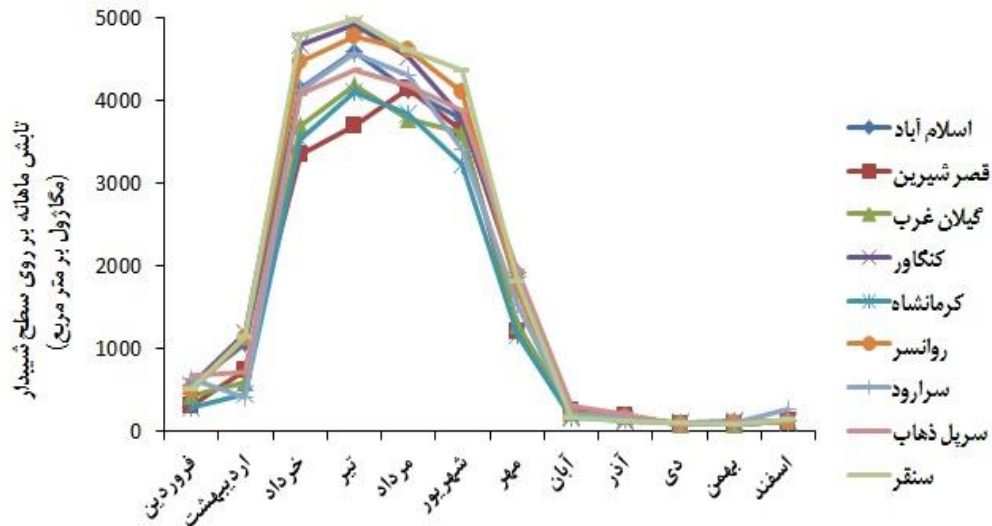
شکل ۲- میانگین سالانه تابش کل بر روی سطح افق

میزان متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک سطح شیب‌دار با شیب ثابت در نقطه‌ای از زمین به کمک روابط مذکور در بالا محاسبه گردید. با استفاده از نتایج محاسبات که در جدول ۲ آمده است، شکل ۳ ترسیم شد. منحنی به دست آمده از اردیبهشت تا خرداد شیب افزایشی تندی دارد که دلیل آن متمایل شدن خورشید به نیمکره شمالی و نزدیک شدن زاویه تابش خورشید به ۹۰ درجه است. در این صورت زاویه تابش خورشید روی سطح شیب‌دار بیشتر شده و میزان تابش با شیب تندی افزایش یافته است. با توجه به شکل ۳، منحنی از شهریور تا مهر شیب تند نزولی دارد و کاهش تابش قابل ملاحظه است و این کاهش تا آبان ماه ادامه دارد. کاهش در ماه‌های آبان تا اسفند در همه شهرها دارای روند کاهشی خیلی ملایم یا ثابت می‌باشد و در اسفند ماه به دلیل تغییر افزایشی زاویه تابش خورشید تابش افزایش می‌یابد. این روند در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور نیز ادامه دارد و دارای بیشترین تابش هستند. تقریباً در همه شهرستان‌های ذکر شده ماکزیمم تابش در تیر ماه است، جز شهرستان قصر شیرین که بیشینه تابش آن در ماه مرداد است. پس از آن به دلیل کاهش زاویه تابش خورشید که این کاهش به دلیل شیب‌دار بودن سطح بیشتر شده مقدار تابش با شیب تندی کاهش می‌یابد. بنابراین منحنی از شهریور تا مهر شیب تند نزولی دارد و کاهش تابش قابل ملاحظه است و این کاهش تا آبان ماه ادامه دارد. کاهش در ماه‌های آبان تا اسفند در همه شهرها دارای روند کاهشی خیلی ملایم یا ثابت می‌باشد و در اسفند ماه به دلیل تغییر افزایشی زاویه تابش خورشید تابش افزایش می‌یابد.

**جدول ۲- تابش ماهانه بر روی سطح شیب‌دار (MJ/m<sup>2</sup>)**

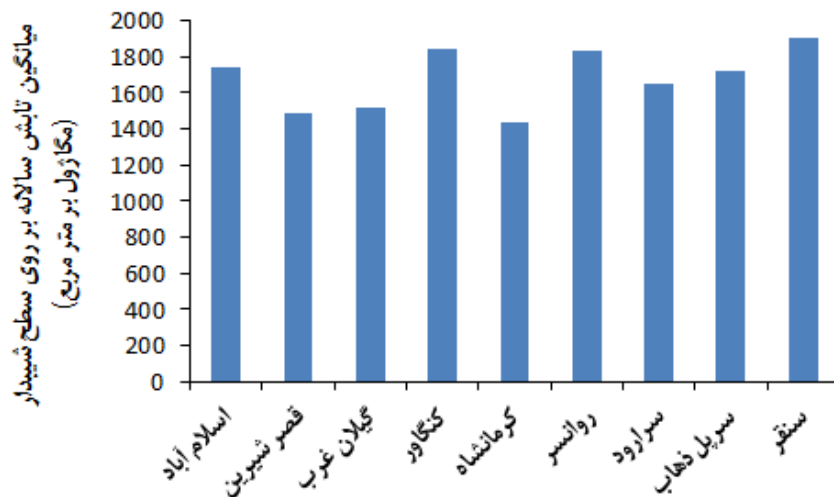
|            |       | اردیبهش |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|
|            |       | فروردی  |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | ن       |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | ت       |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | خرداد   |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | تیر     |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | مرداد   |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | شهریور  |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | مهر     |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | آبان    |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | آذر     |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | دی      |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | بهمن    |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |       | اسفند   |        |        |        |        |       |       |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| اسلام‌آباد | ۵۴۱٫۹ | ۴۱۳۴٫۴  | ۴۵۹۴٫۳ | ۴۱۲۹٫۹ | ۳۷۷۷٫۷ | ۱۹۲۱٫۳ | ۲۵۳٫۵ | ۱۸۰٫۳ | ۱۱۵٫۸ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| باد        | ۸     | ۱۰۵۶٫۱۷ | ۷      | ۴      | ۴      | ۹      | ۷     | ۱     | ۹     | ۸۵٫۸۲ | ۷۴٫۰۶ | ۵   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| قصر        | ۳۱۲٫۴ | ۳۳۵۴٫۲  | ۳۶۹۳٫۷ | ۴۱۳۵٫۲ | ۳۶۴۲٫۶ | ۱۲۰۹٫۱ | ۲۴۸٫۶ | ۱۸۵٫۹ | ۱۲۹٫۴ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شیرین      | ۵     | ۷۲۷٫۲۵  | ۷      | ۸      | ۲      | ۸      | ۲     | ۲     | ۴     | ۸۶٫۸۵ | ۷۹٫۹۵ | ۲   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| گیلان      | ۴۳۴٫۵ | ۳۶۸۶٫۰  | ۴۱۸۹٫۲ | ۳۷۶۹٫۲ | ۳۶۰۷٫۶ | ۱۲۸۷٫۱ | ۲۱۶٫۱ | ۱۷۹٫۱ | ۱۲۴٫۵ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| غرب        | ۳     | ۵۹۸٫۶۰  | ۷      | ۳      | ۸      | ۶      | ۸     | ۰     | ۷     | ۸۸٫۴۲ | ۸۳٫۵۱ | ۰   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | ۵۵۴٫۸ | ۴۶۸۲٫۶  | ۴۹۱۴٫۵ | ۴۵۴۱٫۲ | ۳۸۰۴٫۰ | ۱۷۷۳٫۶ | ۱۷۴٫۷ | ۱۲۴٫۴ | ۱۲۰٫۳ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| کنگاور     | ۲     | ۱۱۸۱٫۶۰ | ۳      | ۶      | ۴      | ۵      | ۰     | ۲     | ۷     | ۹۵٫۹۲ | ۵     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| کرمانشا    | ۲۸۵٫۵ | ۲۵۳۰٫۷  | ۴۱۱۲٫۰ | ۳۸۴۵٫۶ | ۳۲۱۸٫۶ | ۱۱۵۴٫۳ | ۱۶۷٫۳ | ۱۴۲٫۶ | ۱۱۴٫۰ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ه          | ۱     | ۴۴۰٫۴۱  | ۹      | ۱      | ۸      | ۲      | ۴     | ۵     | ۹۳٫۷۰ | ۴     | ۹۱٫۱۰ | ۵   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | ۴۹۷٫۱ | ۴۴۶۸٫۶  | ۴۷۸۴٫۳ | ۴۶۱۹٫۶ | ۴۱۱۰٫۳ | ۱۶۹۷٫۳ | ۲۰۶٫۵ | ۱۰۶٫۴ |       |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| روانسر     | ۳     | ۱۱۲۵٫۵۳ | ۴      | ۶      | ۲      | ۰      | ۹     | ۱۵۸   | ۹۶٫۵۲ | ۶     | ۸۸٫۳۴ | ۱۵۸ |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | ۶۲۸٫۰ | ۴۱۲۲٫۲  | ۴۵۶۹٫۵ | ۴۳۰۱٫۷ | ۳۴۰۷٫۱ | ۱۵۲۱٫۰ | ۱۹۷٫۴ | ۱۵۲٫۶ | ۲۵۶٫۹ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سرارود     | ۸     | ۴۰۷٫۴۶  | ۵      | ۹      | ۰      | ۳      | ۰     | ۳     | ۵     | ۹۸٫۸۶ | ۸۰٫۱۴ | ۳   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سرپل       | ۶۷۷٫۰ | ۴۰۸۲٫۶  | ۴۳۶۶٫۳ | ۴۱۷۹٫۲ | ۳۸۸۱٫۱ | ۱۹۴۳٫۲ | ۲۹۸٫۲ | ۲۰۶٫۳ | ۱۱۱٫۸ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ذهاب       | ۶     | ۷۰۸٫۲۰  | ۸      | ۶      | ۳      | ۳      | ۴     | ۵     | ۸     | ۹۹٫۵۲ | ۷۹٫۷۱ | ۵   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | ۵۱۳٫۸ | ۴۸۰۳٫۹  | ۴۹۷۲٫۳ | ۴۶۰۷٫۹ | ۴۳۷۱٫۷ | ۱۸۲۱٫۴ | ۱۵۵٫۵ | ۱۲۱٫۶ | ۱۳۰٫۳ |       |       |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سنقر       | ۹     | ۱۱۳۹٫۱۰ | ۵      | ۰      | ۹      | ۶      | ۸     | ۲     | ۵     | ۸۷٫۷۱ | ۹۹٫۴۳ | ۲   |  |  |  |  |  |  |  |  |





شکل ۳- تابش ماهانه بر روی سطح شیب‌دار

نمودار به دست آمده از نتایج نشان می‌دهد که میانگین تابش سالانه بر روی سطح شیب‌دار در بازه زمانی ۱۰ ساله در شهرستان سنقر بیش‌ترین و در شهرستان کرمانشاه کم‌ترین است (شکل ۴).



شکل ۴- میانگین تابش سالانه بر روی سطح شیب‌دار

### نتیجه‌گیری

با اخذ اطلاعات ایستگاه‌های تابشی و ساعات آفتابی روزانه طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۲ که به وسیله دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقر در سازمان هواشناسی جمع‌آوری می‌شود، تابش روی سطح افق و شیب‌دار بر حسب ساعات آفتابی برای شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، قصر شیرین، گیلان غرب، کنگاور، کرمانشاه، روانسر، سرارود، سرپل ذهاب و سنقر محاسبه گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان تابش روی سطح افق در شهرستان سرپل ذهاب بیشترین و در شهرستان کرمانشاه کمترین است. همچنین تابش روی سطح شیب‌دار در شهرستان سنقر بیشترین و در شهرستان کرمانشاه کمترین میزان است.



## منابع

- توفیق، م. ۱۳۹۰. انرژی خورشید و کاربردهای آن دومین همایش معماری پایدار، آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما همدان، ایران.
- عرفانیان، م.، و س. بابایی حصار. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل هیبرید در تخمین تابش خورشیدی روزانه در تعدادی از ایستگاه‌های تابش‌سنجی ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۷(۱): ۱۶۸-۱۵۸.
- لهونیان، ه. ۱۳۸۵. استفاده از انرژی خورشیدی- سیستم فتوولتائیک- در تأمین برق چاه‌های آب کشاورزی. یازدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع برق، محمودآباد، مازندران، ایران.
- Angstrom, A., 1924. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50(210): 121-126.
- Al-Mohammad, A. 2004. Global, direct and diffuse solar-radiation in Syria. Applied Energy 79: 191-200.
- Almorox, J., M. Benito, and C. Hontoria. 2005. Estimation of monthly Angstrom-Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. Renewable Energy 30: 931-936.
- Ashjaee, M., M.R. Roomina and A. Ghafouri. 1993. Estimating direct, diffuse and global solar radiation for various cities in Iran by two methods and their comparison with the measured data. Solar Energy 50: 441-446.
- Bird, R.E., and R.E. Hulstrom. 1981. A Simplified Clear Sky Model For Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surface. Solar Energy Research Institute (SERI). U.S. Department of Energy, No EG-77-C-01-4042.
- Cooper, P.I., 1969. The absorption of solar radiation in solar stills. Sol Energy 12(3):333-346.
- Daneshyar, M. 1978. Solar radiation statistics for Iran. Solar Energy 21: 345-349.
- Duffie, J.A., and W.A. Beckman. 1992. Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley and Sons, New York.
- Jafarpur, K. and M.A. Yaghoubi. 1989. Solar radiation for Shiraz, Iran. Solar and Wind Technology 6(2): 177-179.
- Meinel, A.B. and M.P. Meinel. 1977. Applied Solar Energy, An Introduction. Addison-Wesley Publishing, Company, Tuscon, Arizona.
- Paltridge, G.W., and D. Proctor. 1976. Monthly mean solar radiation statistics for Australia. Sol Energy 18:235-43.



- Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transaction of the Royal Society of South Australia 64: 114–118.
- Sabziparvar, A. and H. Shetaee. 2007. Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran. Energy 32: 649–655.
- Samimi, J., 1994. Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran. Solar Energy 52:5401–5409.
- Suehrcke, H., 2000. On the relationship between duration of sunshine and solar radiation on the earth's surface: Angstrom's equation revisited. Solar Energy 68: 417–425.
- Tasdemiroglu, E. and R. Sever. 1989. Estimation of total solar radiation from bright sunshine hours in Turkey. Energy 14(12): 827-830.
- Zhou, J., W. Yezheng, and Y. Gangm. 2005. General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China. Energy Conversion and Management 46: 257–268.