برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه

سام معینی*[۱]، شهرام جوادی[۲]، محسن کوکبی[۳]، محسن دهقان منشادی[۴]

تاریخ دریافت مقاله:
۸۹/۲/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله:
۸۹/۴/۲۸

چکیده:

ساعات آفتابی تنها داده بلند مدتی است که اطلاعات مربوط بـه آن انـدازه‌گیـری شـده، موجود و قابل اعتماد می‌باشد. در نتیجه می‌توان برای تخمین صحیح و دقیق میزان تـابش انرژی خورشیدی روی سطح زمین از آن استفاده نمود. در این مقالـه سـاعات آفتـابی بـرای تخمین میانگین ماهانه میزان تابش خورشید بر سطح افقی استفاده شده است، که مـی‌تـوان میزان تابش خورشید را برای مناطق مختلف اقلیمی ایران پیش‌بینی نمود. لازم به ذکر است که در مقاله حاضر بر اساس طبقه بندی اقلیمی کوپن و با در نظـر گـرفتن سـاعات آفتـابی، ایران به پنج منطقه اقلیمی تقسیم بندی شده است. یکی از بهترین مـدلهای پیـشنهاد شـده برای برآورد میزان تابش خورشید روی سطح افقی مدل آنگستروم می باشد. ضرایب تجربی مدل آنگستروم به پارامترهای اقلیمـی، شـرایط جغرافیـایی، و نـوع پوشـش گیـاهی منطقـه وابستگی دارند، با این رابطه می‌توان میزان تابش کل را برای نقـاط مختلـف ایـران بـرآورد نمود. با استفاده از داده های تابشی ثبت شـده توسـط ایـستگاههای پیرانـومتـری و میـزان ساعات آفتابی که از سازمان هواشناسی دریافت شده است، همچنین محاسـبه طـول روز و تابش فراجو با کمک نرم افزار آماریSpss رابطه رگرسیونی تابش کل بـر حـسب سـاعات آفتابی برای مناطق اقلیمی ایران برازش شد.

کلمات کلیدی:
انرژی های تجدیدپـذیر، تـابش خورشیدی، مدل بهینه، ضرایب آنگستروم

۱) کارشناس ارشد مهندسی برق- الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی
۲) عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی- استادیار گروه برق
۳) عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی- استادیار گروه ریاضی و آمار
* نویسنده مسئول، Sam.moini@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مقدمه

انرژی خورشیدی به فاکتورهای هواشناسی، جغرافیایی، اقلیمی و فراجوی بستگی دارد. بهترین راه اندازه‌گیری انرژی خورشیدی نصب پیرانومترها در ایستگاهها و خواندن اطلاعات ضبط شده توسط آنها می‌باشد. در نبود دستگاههای اندازه‌گیری، اطلاعات صحیح و دقیقی از میزان انرژی خورشیدی در دسترس نمی‌باشد، از طرفی میزان متوسط خطا در دستگاههای اندازه‌گیری گاه به ۳۰ درصد می‌رسد، که مهمترین علت آن عدم کالیبراسیون دستگاهها و وجود گرد وغبار در آنها می‌باشد، پس می‌توان گفت مدلهای تجربی که بر پایه برآورد انرژی خورشیدی طراحی شده‌اند، در نبود دستگاههای اندازه‌گیری می‌توانند مفید واقع شوند. برای بیان و تایید مدلهای تجربی و یا ارتباط داده‌های طولانی مدت و ساختار فضایی مدلها، اطلاعاتی در سطح وسیع مورد نیاز می‌باشد. در مطالعات کاربردی نمی‌توان تمام فاکتورهای موثر را با هم در نظر گرفت، در نتیجه برای پیش‌بینی تخمین میزان انرژی خورشیدی فقط از تعدادی از پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شود. اولین فاکتوری که در بیشتر فرمولهای تجربی مورد توجه قرار می‌گیرد ساعات آفتابی است که برای برآورد میزان انرژی خورشید استفاده می‌شود. ساعات آفتابی تنها پدیده طولانی مدت است که اطلاعات اندازه‌گیری شده آن حاضر، دقیق، قابل اعتماد و قابل استفاده برای دستیابی به میزان دقیق تابش خورشیدی و تخمین آن به سطح زمین می‌باشد. ایران دارای مناطق مختلف و متنوع اقلیمی می‌باشد و در منطقه‌ای از جهان قرار دارد که از نظر ساعات آفتابی پتانسیل بالایی دارد. بسیاری از محققین در بیان مدلهای تجربی ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، عرض جغرافیایی و دما را برای برآورد انرژی خورشیدی مورد بررسی قرار می‌دهند.صباغ(sabbagh) [۱۹] انرژی خورشیدی را با استفاده از ساعات آفتابی، دمای ماکزیمم هوا، و رطوبت نسبی برای مناطق مختلف مصر، لبنان و کویت تخمین زد. پالتریج و پروکتور(Paltridge & Practor) [۱۷] با به کار بردن ضریب ابر و زاویه سمت الراس خورشیدی در مدل تجربی‌شان توانستند میزان تابش روزانه مستقیم و پراکنده را بر سطح افقی زمین تعیین کنند. دانشیار [۹] با استفاده از مدل پالتریج میزان تابش خورشیدی را برای تهران و نقاط مختلف ایران تخمین زد. صمیمی [۲۱] بیشترین وابستگی تابش را به ارتفاع می‌داند و از مدل ارائه شده توسط ماینل و ماینل (Minel and Minel) [۱۶] استفاده کرد وضرایب آنرا برای شهرهای ایران بدست آورد. یعقوبی و سبزه واری[۲۴] با استفاده از ساعات آفتابی ضریب گذردهی جو را برای شیراز محاسبه کردند. جعفرپور ویعقوبی [۱۳] از چهار مدل مختلف برای تخمین میزان تابش ماهانه و سالانه در شیراز استفاده نمودند. سبزی پرور [۲۰] از ساعات آفتابی ، ضریب ابر ، رطوبت نسبی و میانگین ماکزیمم دما استفاده نمود و با قرار دادن پارامترها در مدلهای تجربی مختلف توانست میزان میانگین روزانه انرژی خورشیدی را برای شهر های مختلف ایران محاسبه نماید. اشجه‌ای [۵] با استفاده از دو مدل دانشیار و برد هولستروم(Bird &Hulstrom) [۷] توانست میزان انرژی خورشیدی را برای چند منطقه خاص ایران پیش‌بینی نماید. مطالعات دیگری در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است که میزان انرژی خورشیدی را بر سطح افقی با استفاده از ساعات آفتابی تخمین زده‌اند که از آن جمله می‌توان از سدرمیر،گلووسور(Tasdemiroglu E and Sever R) [۲۳] که با استفاده از ساعات آفتابی میزان تابش کل را در ترکیه محاسبه نموده‌اند نام برد. همچنین می‌توان از روابط ارائه شده توسط محمد (Al-Mohammad) [۳]،

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

المـوروکس (Almorox) [۴]، ژو(zhou) [۲۵] و سـورک (Suehrcke) [۲۲] کـه بـا اسـتفاده از مـدل آنگـستروم میـزان تـابش کل را بر سطح افقی زمین بررسی نمودند نام برد.

اهداف این مقاله عبارتند از

۱- ارائه یک رابطه برای برآورد انرژی خورشیدی در ایران با استفاده از ساعات آفتابی

۲- محاسبه ضرایب آنگستروم برای مناطق مختلف اقلیمی ایران با در نظر گرفتن اقلیم هر منطقه

مطالعات انجام شده

اخذ داده های هواشناسی

داده ها جهت مدل سازی تابش خورشید از سازمان هواشناسی دریافت شدند(IRIMO) [۱۲] . داده های تابشی ابتدا توسط نـرم افزار آماری Spss کنترل کیفیت شدند و آنهایی که خارج ازمحدوده(standard deviation) بودند، حذف شدند. به عنوان مثـال مقادیری از تابش کل که از تابش فراجو بیشتر بود در نظر گرفته نشد. ساعات آفتابی و تابش کل انرژی خورشیدی بـه ترتیـب توسـط دستگاههای آفتاب نگار مدل کمبال- استوکس(Combal-Stokes) و پیرانومترهای مدل CM1وCM5 مستقر در ایـستگاههای هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند.

برآورد تابش کل خورشید روی سطح زمین

اولـین مـدلی کـه بـر اسـاس پـارامتر سـاعات آفتـابی، میـزان تـابش را بـر روی سـطح افقـی بـرآورد کـرد، رابطـه تجربـی آنگستروم[۲]،پریسکات[۱۸] بود.

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H}_{\circ}} = a + b(\frac{\overline{n}}{\overline{N}}) \qquad (۱)$$

در رابطه بالا $\overline{H}$ بیانگر میانگین تابش کل روزانه در هر ماه می باشد. $\overline{H}_{\circ}$ بیـانگر تـابش انـدازه‌گیـری شـده در خـارج از جـو می‌باشد و برای محاسبه آن می توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم (Duffie & Beckman) [۱۰] .

$$\overline{H}_{\circ} = \frac{24\times 3600\, G_{sc}}{\pi}(1+0.033\cos\frac{360\ n}{365})\times\left[\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\,\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta\right] \qquad (۲)$$

G_{sc} ثابت تشعشعی خارج از جو است و مقدار آن در این مقاله۱۳۷۳ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است. ϕ عرض جغرافیـایی محل مورد نظر، δ زاویه میل خورشیدی نسبت به استوا بر حسب درجه (۲۳,۴۵ ≤ δ ≤ ۲۳,۴۵-) می‌باشد، که مقدار آن را می‌تـوان از معادله تقریبی کوپر(cooper) [۸] محاسبه نمود. ω_s زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه می‌باشـد و مقـدار آن از رابطـه (۴) محاسبه می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

$$\delta = 23.45\sin(360\frac{284+n}{365}) \quad (۳)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \quad (۴)$$

$\overline{n}$ بیانگر میانگین ماهیانه ساعات آفتابی روزانه و $\overline{N}$ میانگین ماهیانه ماکزیمم ساعات آفتابی(طول روز) می باشد و مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\overline{N} = \frac{2}{15}\omega_S \quad (۵)$$

بسیاری از محققین از جمله اکینوگلو و اکویت (Akinoglu and Ecevit) [۱]،گوپیناتهان(Gopinhathan) [۱۱]، ریتول(Rietvel) [۱۵] و عبدالله بغدادی(Abdalla and Baghdady)[۶] وابستگی ضرایب تجربی آنگستروم را بر پایه پارامترهای جغرافیایی و اقلیمی همانند عرض جغرافیایی،ارتفاع، ساعات آفتابی ، دما و بارندگی می‌دانند.

ضرایب تجربی آنگستروم برای ۲۱ ایستگاه تابشی ایران مطابق جدول (۱) محاسبه شدند.

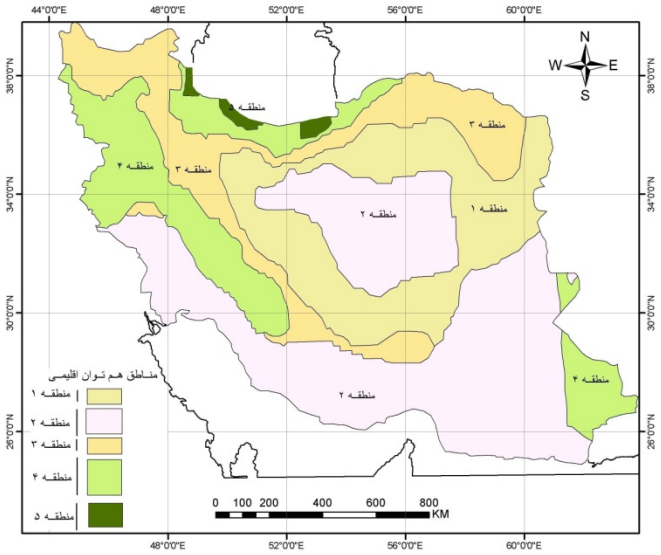
جدول۱: ضرایب آنگستروم محاسبه شده برای ۲۱ ایستگاه تابشی ایران

ردیف	شهر	a	b
۱	بندر عباس	۰/۳۴	۰/۳۰۶
۲	جاسک	۰/۴۰۴	۰/۲۰۲
۳	بوشهر	۰/۳۵۹	۰/۳۳۱
۴	بیرجند	۰/۳۷۳	۰/۳۵۱
۵	بجنورد	۰/۳۴۸	۰/۳۴۲
۶	رامسر	۰/۴۰۴	۰/۲۰۴
۷	زنجان	۰/۳۵۲	۰/۳۷۲
۸	همدان	۰/۳۴۱	۰/۳۷
۹	ارومیه	۰/۴۰۲	۰/۳۰۵
۱۰	تبریز	۰/۳۷۵	۰/۳۰۱
۱۱	تهران	۰/۳۴۶	۰/۳۴۳
۱۲	مشهد	۰/۳۳۵	۰/۳۳۲
۱۳	یزد	۰/۳۴۵	۰/۳۹۸
۱۴	طبس	۰/۳۷۲	۰/۳۵
۱۵	کرمان	۰/۳۲۲	۰/۴۲۱
۱۶	شیراز	۰/۳۱۷	۰/۴۰۵
۱۷	کرمانشاه	۰/۳۳۱	۰/۳۹۶
۱۸	کرج	۰/۳۳۸	۰/۲۵۶
۱۹	اصفهان	۰/۳۶۱	۰/۳۵
۲۰	خوربیابانک	۰/۳۲۱	۰/۴۰۴
۲۱	زاهدان	۰/۲۸	۰/۴۳۳

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

طبقه بندی اقلیمی

آب و هواشناسی یا اقلیم‌شناسی معادل با Climatology است که از واژه یونانی Klima به معنی شیب یا میل گرفته شده است. این واژه یونانی به تغییرات زاویه تابش خورشید اشاره دارد. آب و هوای غالب در یک منطقه، اقلیم آن منطقه نامیده می‌شود [۱۴] .از آنجایکه ضرایب تجربی معادله آنگستروم به شرایط آب و هوایی منطقه وابستگی دارند تصمیم به ارائه طبقه بندی اقلیمی شد. در اینجا براساس طبقه بندی اقلیمی کوپن که معیار تقسیم بندی آب و هوایی در آن دما و بارندگی می‌باشد مناطق هم پتانسیل از نظر اقلیمی شناسایی شدند و در یک گروه قرار گرفتند (حدود ۱۴۰ ایستگاه سینوپتیک). سرانجام با توجه به تشابه آب و هوایی و ساعات آفتابی، ۵ منطقه اقلیمی برای ایران تعیین شد .



شکل۱: مناطق هم پتانسیل اقلیمی

نتیجه گیری

با اخذ اطلاعات ایستگاههای تابشی و ساعات آفتابی روزانه برای سالهای مختلف که بوسیله دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقر در سازمان هواشناسی جمع آوری می‌شود و محاسبه تابش فراجو و طول روز طبق روابط (۲)و(۵) ، با کمک نرم افزار آماری Spss رابطه رگرسیونی تابش بر حسب ساعات آفتابی برای این ۵ ناحیه اقلیمی برازش شد(جدول ۲). نمودار ضریب گذردهی جو بر حسب کسر ساعات آفتابی برای این ۵ منطقه مطابق اشکال زیر است(شکل ۲ الی ۶)

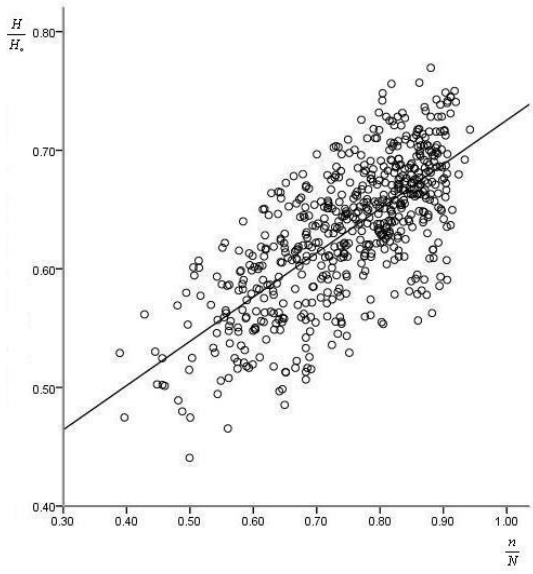
با در نظر گرفتن ساعات آفتابی که فاکتور مهمی برای برآورد تابش کل خورشیدی می‌باشد و قبول این مطلب که ایران کشوری است که در آن ساعات آفتابی قابل ملاحظه می‌باشد، لذا مدل تجربی آنگستروم به خوبی می‌تواند میزان تابش کل را برآورد نماید. با توجه به نتایج بدست آمده ضرایب آنگستروم در محدوده نرمال و نزدیک به هم می‌باشند(حدود ۰,۳) و فاصله گرفتن این ضرایب از

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

یکدیگر نشان دهنده آب و هوای خاص در آن منطقه می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، برای اقلیم ۵ کـه بـرای نـواحی شـمالی ایران می‌باشد فاصله ضرایب آن نسب به مناطق دیگر بیشتر است.

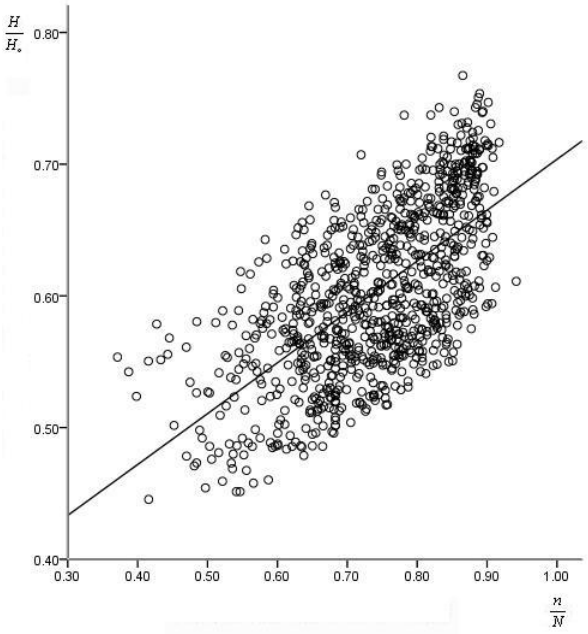
جدول ۲: معادلات آنگستروم برای مناطق اقلیمی ایران

climate	Relationship
1	$\frac{H}{H_\circ}=0.352+0.373(\frac{n}{N})$
2	$\frac{H}{H_\circ}=0.317+0.386(\frac{n}{N})$
3	$\frac{H}{H_\circ}=0.343+0.347(\frac{n}{N})$
4	$\frac{H}{H_\circ}=0.360+0.359(\frac{n}{N})$
5	$\frac{H}{H_\circ}=0.404+0.204(\frac{n}{N})$

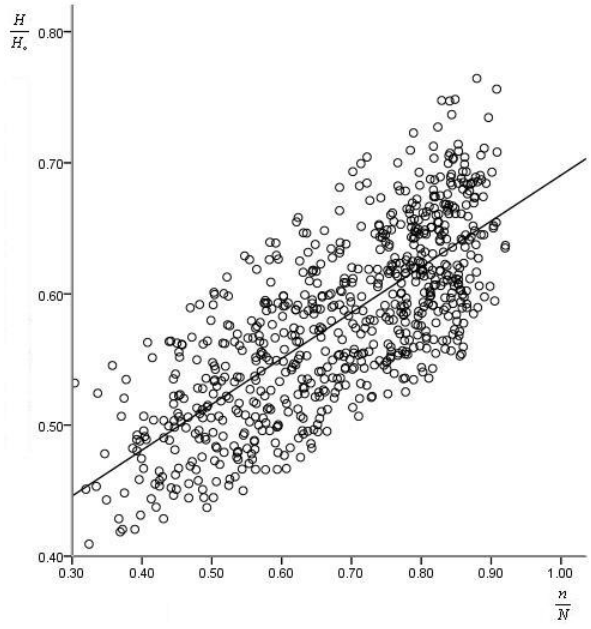


شکل ۲: فرم خطی معادله آنگستروم برای ناحیه اقلیمی ۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

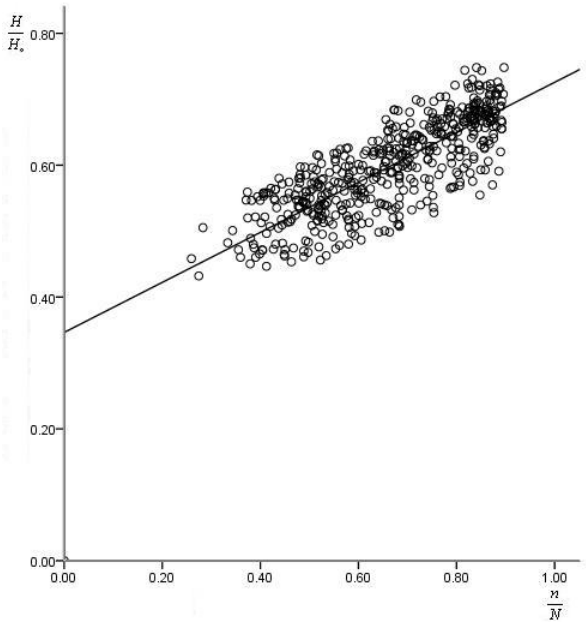


شکل ۳: فرم خطی معادله آنگستروم برای ناحیه اقلیمی ۲

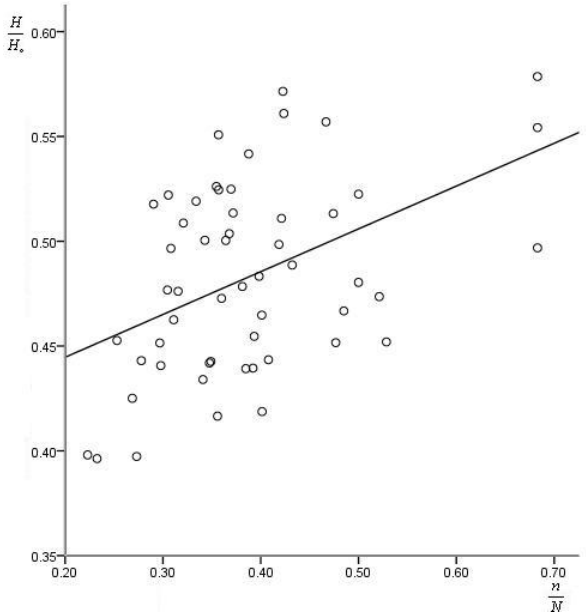


شکل ۴: فرم خطی معادله آنگستروم برای ناحیه اقلیمی ۳

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



شکل ۵: فرم خطی معادله آنگستروم برای ناحیه اقلیمی ۳



شکل۶: فرم خطی معادله آنگستروم برای ناحیه اقلیمی ۵

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

منابع

[1] Akinoglu, B.G. and Ecevit A.,1990"Constructionofa quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation", 45, 85.

[2] A. Angstrom., 1924" Solar and terrestrial radiation." Q.J.R. Meteorol. Soc. 50, 121.

[3] Al-Mohammad ,A'Global., 2004" direct and diffuse solar-radiation in Syria." Appl Energy;79:191–200.

[4] Almorox ,J and Benito, M and Hontoria, C., 2005" Estimation of monthly Angstrom–Prescott equation coefficients from measured daily data

[5] Ashjaee, M and Roomina, MR and Ghafouri,A.,1993" Estimating direct, diffuse and global solar radiation for various cities in Iran by two

[6] methods and their comparison with the measured data." Sol Energy ;50:441–6.

[7] Badescu,V " Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface "

[8] Bird,R.E.,and Hulstrom ,R.E., 1981 , " A Simplified Clear Sky Model For Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surface, U. S. Solar Energy Research Institute(SERI)

[9] Cooper ,PI., 1969" The absorption of solar radiation in solar stills. Sol Energy",;12(B):333–46.

[10]Daneshyar, M.,1978" Solar radiation statistics for Iran." Sol Energy 1978;21:345–9.

[11]Duffie, J.A. and Beckman, W.A.,1992 "Solar Energy Engineering", John Wiley, U.S.A.

[12]GOPINATHAN .K. K,(1988)," A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface", Sohw & Wind Teclmolo9) Vol 3. No. 5, pp. 581 583. 1988

[13]Islamic Republic of Iran Meteorological Office (IRIMO). Annual year book reports, Data Center, Tehran, Iran, 1982–2005

[14]Jafarpur, K and Yaghoubi MA., 1989" Solar radiation for Shiraz, Iran." Sol Wind Technol;6(2):177–9.

[15]Kavyani,M,Alijani,B "The Foundations of climat"

[16]M. R. Rietveld, Agric.Meteoro., 19, 1978, 243.

[17]Meinel, A.B., and Meinel, M.P., 1977 "Applied Solar Energy, An Introduction", Addison-Wesley Publishing, Company, Tuscon, Arizona."

[18]Paltridge, GW and Proctor, D .,1976," Monthly mean solar radiation statistics for Australia". Sol Energy ;18:235–43.

[19]Prescott ,JA., 1940" Evaporation from a water surface in relation to solar radiation." Trans. Roy. Soc. S. A. 64: 114–118.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

[20]Sabbagh ,J and Sayigh, AAM Al-Salam EMA.,1977," Estimation of the total solar radiation from meteorological data." Sol Energy ;19:307–11.

[21]Sabziparvar,A and Shetaee,H., 2007"Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran", Energy, Vol. 32, , pp 649–655

[22]in Toledo", Spain. Renewable Energy;30:931–6.

[23]Samimi J., 1994" Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran." Sol Energy;52:5401–9.

[24]Suehrcke H., 2000" On the relationship between duration of sunshine and solar radiation on the Earth's surface: Angstr¨om's equation revisited. Solar Energy" 68: 417–425.

[25]Tasdemiroglu, E and Sever, R 1989 " Estimation of total solar radiation from bright sunshine hours

[26]in Turkey". Energy 14: 827–830.

[27]Yaghoubi, M. A. and Sabazevari, A. "Further data on solar radiation in Shiraz, Iran," Renewable Energy, vol. 7, no. 4, pp.

[28]Zhou J, Yezheng W, Gangm Y., 2005 "General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China". Energy Conversion Manage;46:257–68.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]