دکتر علی خلیلی
حسن رضایی صدر
دانشگاه تهران
شماره مقاله: ۳۹۹

برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی*

Dr. Ali Khlili

Hassan Rezai-e sadr

University of Tehran

Estimation of Global Solar Radiation over Iran Based on Climatical Data

The monthly values of total solar radiation (TSR) on horizontal surface over National Meteorological Network of Iran are submitted to the quality control tests and 16 stations are selected as reference. The linear and non-linear relationship between *TSR* and cloud amount, relative humidity and sunshine ratio are examined and the highest coefficient of determination are used as relation selection criteria. The country is divided into 16 polygons using Theissen method and for each polygon two main equations are used as basic relations of estimate:

$$Qs/Qo = A + B.\ n/N \text{ and } Qs/Qo = A.\ Exp\ [B(n/N - RH)]$$

where *Qo* and *Qs* are the *TSR* at the top of the atmosphere and at the station level respectively,

---

* - بخشی از این بررسی در چارچوب مطالعات استانداردهای اقلیمی ساختمان، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان برنامه و بودجه به انجام رسیده است که به این وسیله قدردانی می‌شود. همچنین از سازمان هواشناسی کشور به پاس در اختیارگذاردن آمار لازم صمیمانه تشکر می‌گردد.

n/N is the sunshine ratio and *RH* is the ratio of relative humidity.

So, the monthly values of *TSR* are estimated for a network of 86 stations which are used for establishing the annual *TSR* map of Iran.

This investigation shows that the Angstrom's A & B coefficients are fairly different in Iran to the other parts of world.

The geographical distribution of *TSR* shows a variation ranging from 110 in Caspian Sea coasts to 180kcal/ cm2/ year in Central Deserts. A relatively high TSR cell is seen over Azarbaijan at NW of Iran too.

مقدّمه

۱ـ وضع فعلی آگاهیها

میزان انرژی دریافتی از خورشید در تراز زمین یکی از ارقام مورد نیاز در برآورد آب مصرفی گیاهان، استفاده از انرژیهای پاک و مسایل مربوط به معیارهای اقلیمی ساختمان، زیست اقلیم‌شناسی انسانی و موارد دیگر است.

بدیهی است یکی از مطمئن‌ترین راههای استحصال این ارقام، اندازه‌گیری مستقیم مؤلفه‌های تابش است. ولی تنک بودن ایستگاههای شبکه تابش‌سنجی اکثر کشورها از جمله ایران از دیرباز این اندیشه را به وجود آورد که از رویدادهای مرتبط هواشناسی بتوان مقدار تابش را برآورد نمود.

مهمترین عوامل موثر در میزان تابش رسیده به سطح زمین در درجهٔ اوّل عوامل نجومی مربوط به حرکت سیستم زمین ـ خورشید، مختصات جغرافیایی و سپس عمدتاً عوامل هواشناسی و بالاخره ویژگیهای فیزیکی اتمسفر و ترکیب گازهای آن است.

بطورکلی روشهای موجود برای تعیین میزان تابش کلی دریافتی از خورشید در سطح زمین را می‌توان به چهارگروه تقسیم نمود.

الف: اندازه‌گیری مستقیم

ب: برآورد به روشهای تجربی مبنی بر تحلیلهای آماری، که عمدتاً بر پایه نظریه همبستگی استوار می‌باشد.

پ: روشهای مبتنی بر محاسبه مؤلفه‌های تابش مستقیم و پراکنده خورشید در یک لحظه معین از زمان و انتگرال‌گیری از این مؤلفه‌ها برای تمام روز و متعاقباً برآورد میانگین‌های ماهانه و سالانه آنها و استحصال تابش کلی از جمع این مؤلفه‌ها.

ت: برآورد مؤلفه‌های تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشید براساس ویژگیهای فیزیکی پدیده تضعیف تابش در عبور از اتمسفر و برآورد تابش کلی در سطح زمین.

گفتنی است در کاربرد روشهای پ و ت نیز دخالت دادن عوامل تجربی نظیر ضریب ابری بودن هوا و غیره گزیرناپذیر است. واضح است هرچه عوامل هواشناسی یا فیزیکی مؤثر بر تابش، در مدلهای تدوینی بیشتر دخالت داده شوند دقت برآورد بیشتر خواهد بود ولی از طرف دیگر میزان دقت اندازه‌گیری عوامل مورد استفاده نیز خود در دقت برآوردها تأثیر دارد. از این رو، در استفاده از پارامترهای هواشناسی مسأله تعدد، عام بودن و دقت دیدبانیها نیز لازم است ملحوظ باشد و در انتخاب آنها حالت بهینه در نظر گرفته شود. از بررسی کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان نتیجه گرفت که روشهای برآورد موجود قابل تقسیم به سه گروه نیز باشند.

اوّل ـ گروه روابط آماری یک متغیره دوم ـ گروه روابط آماری چندمتغیره

سوم ـ روشهای مبتنی بر احتساب مؤلفه‌های تابش

اوّل ـ گروه روابط یک متغیره

این روابط عموماً ارتباط بین تابش دریافتی و یک عامل دیگر را که غالباً نسبت آفتاب (یا ضریب آفتابگیری) و در برخی موارد ابرگرفتگی می‌باشد، تعیین می‌نمایند. از آنجا که تعداد این روابط زیاد است می‌توان آنها را به دو گروه خطی و غیرخطی تقسیم نمود.

در گروه روابط یک متغیره خطی، (آنگستروم، ۱۹۲۴)[1] نخستین فیزیکدانی است که مسأله را مورد بررسی قرار داده است. رابطه آنگستروم یک رابطه خطی ساده است که میزان تابش خورشید بر یک سطح افقی را از روی نسبت آن به مقدار تابش در یک روز صاف و بدون ابر با آسمان شفاف بیان می‌کند. از آنجایی که تعریف یک روز صاف از نظر فیزیکی چندان روشن نبوده، در رابطه وی به تدریج، مفهوم تابش در یک روز صاف به مفهوم تابش برون زمینی یا تابش در بالای نیوار تبدیل شد. رابطه آنگستروم که به رغم گذشت زمان هنوز هم از نظر شکل ریاضی آن معتبر است به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{Qs}{Qo} = A + B\,\frac{n}{N} \qquad (۱$$

که در آن:

Qs تابش متوسط روزانه دریافتی از خورشید بر سطح افقی در سطح زمین

Qo تابش متوسطه روزانه دریافتی از خورشید بر سطح افقی در بالای جو

1- Angstrom

n طول متوسط تابش حقیقی آفتاب (حسب ساعت)

N طول حقیقی روز یا طول روز نجومی (حسب ساعت)

A و B ضرایب خط رگرسیون (خط وایازی) می‌باشند و به ثابتهای آنگستروم موسومند. مقدار n با اندازه‌گیری مستقیم و مقدار N از روابط مثلثات کروی بر حسب تاریخ و عرض جغرافیایی به‌دست می‌آید.

در همین گروه از رابطه پیشنهادی (گلور و مک‌کالوک، ۱۹۵۸)[2] می‌توان نام برد. این مؤلف مقدار A را به عرض جغرافیایی Q ارتباط داده است.

$$\frac{Qs}{Qo} = 0.29 \cos \phi + 0.52 \frac{n}{N} \qquad (۲$$

(فرره و همکاران ۱۹۷۵)[3] ضرایب A و B را به صورت گرافیکی حسب n/N و (ریتولد، ۱۹۷۸)[4] مقادیر هر دو ضریب را بر حسب n/N برآورد نموده‌اند.

(بنسن و همکاران، ۱۹۸۴)[5] این ضرایب را بر حسب فصول تفکیک کردند. در جدول شماره ۱ (کوبیشووا، ۱۹۹۲)[6] مقادیر A , B برای ایستگاههای مختلف روی کره زمین ارائه گردیده است.

روابط یک متغیره غیرخطی، در آغاز عموماً حسب ابرگرفتگی تدوین شده‌اند (بلک، ۱۹۵۶)[7] رابطه زیر را پیشنهاد نمود (c حسب دهک):

$$Qs/Qo = 0.803 - 0.341\ c - 0.458\ C^2$$

این رابطه مدتهای مدید مبنای برآورد Qs در محاسبات آبیاری ـ زهکشی بوده است. در زمینه روابط جدیدتر یک متغیره غیرخطی پژوهشهای (اوکلمن و همکاران، ۱۹۸۴[8] ـ اکین‌اوغلو و همکاران، ۱۹۹۰[9] ـ عبدالوهاب، ۱۹۹۳[10] ـ اولسته و همکاران، ۱۹۹۳[11]) که معادلات درجهٔ اوّلی حسب n/N یا C ارائه کرده‌اند. قابل ذکر است:

(رفیع‌بخش، ۱۳۷۳) رابطه اوکلمن را با ملاحظاتی جهت برآورد تابش دریافتی از خورشید در ایستگاه تهران ـ مهرآباد به کار گرفته است.

دوم ـ گروه روابط چند متغیره

در این روابط، برآورد به کمک دو یا چند عامل هواشناسی انجام پذیرفته است مثلاً در پژوهشهای

2- Glover & Mc Culock
3- Frere et al
4- Rietveld
5- Benson et al
6- Kobyshova
7- Black
8- Ogelman et al
9- Akinoglu et al
10- Abdel wahab
11- Olseth et al

(اسوارتمن و همکاران، ۱۹۹۷[12] ـ ردی، ۱۹۷۱[13] ـ صباغ و همکاران، ۱۹۷۱[14]) مقادیر رطوبت نسبی، نسبت آفتاب و چند عامل دیگر به کار گرفته شده است. همچنین (سیوکف، ۱۹۶۴[15] ـ باربارو، ۱۹۹۷[16] ـ کوپولینو، ۱۹۹۰[17]) زاویه ارتفاعی خورشید و n را دخالت داده‌اند. (صایغ، ۱۹۷۷[18] ـ کاپیتان، ۱۹۸۸[19] ـ نوویرث، ۱۹۸۰[20]) عوامل ارتفاع محل، مقدار n/N، عرض جغرافیایی و رطوبت نسبی یادمای ماکزیمم را در روابط خود منعکس کرده‌اند. (الاروتی و همکاران، ۱۹۹۳)[21] از یک رابطه مثلثاتی حسب شماره ماهها استفاده نموده‌اند.

جدول شمارهٔ ۱: مقادیر A و B در چند ایستگاه واقع در عرضهای جغرافیایی مختلف (کوبیشووا، ۱۹۹۲)

محل	عرض جغرافیایی درجه	دقیقه	ارتفاع‌ازسطح دریا (متر)	A	B	محل	عرض جغرافیایی درجه	دقیقه	ارتفاع‌ازسطح دریا (متر)	A	B
نایروبی	۱	۱۶ ج	۴۳۷	۰/۲۵	۰/۴۱	کمبریج	۵۲	۱۲ ش	۱۲	۰/۱۵	۰/۷۲
سنگاپور	۱	۱۸ ج	۱۲۰	۰/۲۲	۰/۴۵	گارستون	۵۱	۴۲ ش	۷۸	۰/۱۴	۰/۶۸
ترینیداد	۱۰	۳۸ ش	۲۰	۰/۲۸	۰/۵۱	آبرپورت	۵۲	۰۸ ش	۱۳۳	۰/۱۶	۰/۷۸
پرتوریا	۲۴	۴۵ ج	۱۳۶۹	۰/۲۸	۰/۴۷	آلدوگرو	۵۴	۳۹ ش	۸۱	۰/۱۸	۰/۶۷
کیپ تاون	۲۳	۵۴ ج	۱۷	۰/۲۱	۰/۶۱	اسکدال سور	۵۵	۱۹ ش	۲۴۲	۰/۱۴	۰/۷۸
ورسای(پاریس)	۴۸	۰۸ ش	۴۹	۰/۲۴	۰/۵۲	لرویک	۶۰	۰۸ ش	۷۸	۰/۱۸	۰/۷۶
کیف	۵۱	۰۵ ش	۱۹	۰/۱۵	۰/۶۸	والنسیا (ایرلند)	۵۱	۵۶ ش	۹	۰/۲۴	۰/۶۲
رونامند	۴۱	۰۸ ش	۱۲۸	۰/۱۶	۰/۵۷	گنیسروی(لندن)	۵۱	۳۱ ش	۲۳	۰/۱۲	۰/۷۰

سوم ـ روشهای مبتنی بر برآورد مؤلفه‌های تابش

در این روشها مؤلفه‌های تابش پراکنده و مستقیم خورشید براساس شبیه‌سازی و محاسبات مبتنی بر فیزیک تابش خورشید و سیر نجومی حرکت نسبی زمین خورشید برآورد می‌شود و از جمع دو مؤلفه تابش کلی حاصل می‌شود.

12- Swarthman et al
13- Raddy
14- Sabbagh et al
15- Sivkov
16- Barbaro
17- Coppolino
18- Sayigh
19- Capithan
20- Neuwirth
21- Alaruti et al

(پالتریج و همکاران، ۱۹۷۶)[۲۲] این روش را برای استرالیا مورد استفاده قرار داده‌اند. (دانشیار، ۱۹۷۸)[۲۳] روش را در مورد ایران اعمال نموده و تابش کلی را براساس آن برای شبکه‌های مرکب از ۱۵ ایستگاه در ایران برآورد کرده است.

بدیهی است کاربرد این روشها نیاز به دخالت دادن فاکتورهای تجربی با در نظر گرفتن حالات آسمان (از کاملاً صاف تا کاملاً ابری) دارد. و دقت برآوردها به دقت اندازه‌گیری فاکتورهای محیطی نیز مربوط است ولی حسن این روشها تفکیک مؤلفه‌های تابش پراکنده و مستقیم از یکدیگر می‌باشد.

(اشجعی و همکاران، ۱۹۹۳)[۲۴] در یک بررسی، مؤلفه‌های تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشید را برای سه ایستگاه تهران ـ اصفهان براساس ۱۴ سال آمار و بندرعباس براساس ۴ سال آمار برآورد کرده‌اند. این برآورد با دو مدل محاسباتی به انجام رسیده است:

روش اوّل مبتنی بر مدل (کریدر و همکاران، ۱۹۷۸)[۲۵] می‌باشد که مؤلف اعمال فاکتور 0. 604 بر ارقام حاصل را برای انطباق بیشتر ضروری دانسته است. روش دوم مبتنی بر کار (بیرد و همکاران، ۱۹۸۱)[۲۶] است که مؤلف تغییراتی را در ضخامت آب تراکم‌پذیر و همچنین کمیت گذرایی اتمسفر از نظر انطباقهای اقلیمی اعمال نموده است ارقام معرفی شده توسط این مؤلفین در ایستگاههایی که مورد بررسی بوده است، با آنچه در بررسی حاضر به دست آمده همخوانی کم و بیش مناسبی دارد.

(صمیمی، ۱۹۹۴)[۲۷] با استفاده از مدل (مینل و مینل، ۱۹۷۷)[۲۸] و با اعمال ضرایبی که برای ایران پیشنهاد کرده است مؤلفه تابش کلی خورشید را با دخالت دادن ارتفاع به دست آورده است. نتایج این مدل برای تهران، اصفهان و شیراز آزمون شده و سپس به تمامی ایران تعمیم داده شده است.

۲ـ مواد

مواد اصلی این بررسی را اطلاعات اقلیمی ایستگاههای هواشناسی کشور در دوره شاخص (۹۱ـ۱۹۶۶) تشکیل می‌دهند. این اطلاعات شامل تابش کلی بر سطح افقی، مدت تابش آفتاب، میزان ابرگرفتگی، رطوبت نسبی و فشار بخار آب، دمای هوا و عواملی مانند تعداد روزهای غبارآلود و پدیداری می‌باشند. اندازه‌گیریهای موردنیاز این بررسی در شبکه‌ای از ایستگاههای وابسته به سازمان هواشناسی کشور انجام گرفته است که در عرف آن سازمان به تشعشع سنجی، سینوپتیک و کلیماتولوژی موسوم هستند. در این بررسی براساس نیازها و اهمیت، شبکه ایستگاهها به سه دسته اصلی تشعشع

22- Paltridge et al 23- Daneshyar 24- Ashjai et al 25- Kreider et al

26- Bird et at 27- Samimi 28- Meinel and Meinel

سنجی، آفتاب سنجی و ابرسنجی تقسیم شده‌اند. عوامل اندازه‌گیری در هر ایستگاه در جدول شماره ۲ با علامت * مشخص شده‌است.

جدول شماره ۲: عوامل اندازه‌گیری شده در شبکه‌های اصلی

نام شبکه / عامل	تشعشع کلی	ساعات آفتابی	پوشش ابری	رطوبت هوا و عوامل دمایی	تعداد ایستگاه موردمطالعه
۱ـ تشعشع‌سنجی (سینوپتیک)	*	*	*	*	۲۱
۲ـ آفتاب‌سنجی (سینوپتیک)	ـ	*	*	*	۴۸
۳ـ ابرسنجی (کلیماتولوژی و یا (سینوپتیک)	ـ	ـ	*	*	۲۷

* اندازه‌گیری می‌شود ـ اندازه‌گیری نمی‌شود.

در شبکه تشعشع‌سنجی تابش کلی خورشید بر سطح افقی به وسیله سولاریمتر[۲۹] (خورتاب‌سنج / شدت‌سنج) اندازه‌گیری می‌شود. تعداد ایستگاههای این شبکه بالغ بر ۲۳ است که از آن میان اطلاعات ۲۱ ایستگاه قابل استفاده و از بین آنها ۱۸ ایستگاه به جهت کفایت طول سنوات آماری قابل استناد بوده‌اند. بر این اساس تراکم متوسط شبکه مطالعاتی یک ایستگاه در هر ۱۰۰۰۰۰ کیلومترمربع است.

در شبکهٔ آفتاب‌سنجی طول روزانه مدت تابش آفتاب به وسیله آفتاب نگار تیپ‌کمبل[۳۰] با دقت ۱/۴ ساعت اندازه‌گیری می‌شود. تعداد ایستگاههای این شبکه همچنین طول سنوات آماری آنان نسبت به شبکه قبلی بیشتر است. ایستگاههای شبکه تشعشع‌سنجی نیز مجهز به هلیوگراف می‌باشند و از این رو شبکه آفتاب‌سنجی دربرگیرنده شبکه قبل نیز هست.

در شبکهٔ مطالعاتی حاضر تعداد ایستگاههایی که حداقل واجد شش سال آماری همزمان

۲۹- Solarimeter عموماً ساخت کارخانهٔ keep and zone

30- Campbel

دیدبانیهای سه‌گانه ابر و دیدبانی ساعات آفتابی باشند ۳۶ ایستگاه است که با مجموعه ایستگاههای تشعشع‌سنجی کلاً ۵۷ ایستگاه را در بر گیرند. این ایستگاهها شبکه پایه آفتاب‌سنجی اختیار شده است.

در شبکهٔ ابرسنجی اطلاعات مربوط به پوشش ابری آسمان و رطوبت هوا در دو شبکه فوق و همچنین برخی از ایستگاههای شبکه کلیماتولوژی کشور جمع‌آوری می‌شود و حسب اکتا[۳۱]/ هشتک برآورد می‌گردد. اطلاعات این عامل بطور نامنظم در سالنامه‌های هواشناسی ایران درج شده است. معذالک به منظور استفاده از همه اطلاعات موجود آمار آن عده از ایستگاهها که قابل استفاده بوده‌اند استخراج و پالایش شده است. اطلاعات شبکه‌های فوق تحت کنترلهای آماری و سرند، پالایش و بازسازی قرار گرفته است. نتیجه عملیات داده‌پردازی استحصال سری‌های زمانی اطلاعات زیر بر حسب نوع شبکه است:

۱) ابرگرفتگی و رطوبت هوا، برای کل شبکه

۲) مدت تابش آفتاب، برای شبکه آفتاب‌سنجی و شبکه تشعشع‌سنجی

۳) شدت تابش آفتاب برای شبکه تشعشع‌سنجی

۳ـ روشها

برآورد بر مبنای گسترش اطلاعات، شبکه تشعشع‌سنجی به تمامی ایستگاههای کشور می‌باشد و شامل مراحل زیر است:

الف) وضعیت اطلاعات موجود در شبکه اصلی (شبکه تشعشع‌سنجی) امکان آزمون روابط همبستگی بین تابش دریافتی برتر از افقی در سطح زمین و سایر عوامل هواشناسی راکه مهمترین آنها ابرگرفتگی، رطوبت هوا و مدت تابش آفتاب است فراهم ساخته است. در این مراحل روابط معنی‌دار اصلی انتخاب شده‌اند.

ب) در شبکه آفتاب‌سنجی از روی روابط به دست آمده در شبکه قبل، به‌کمک مدت تابش آفتاب و سایر عوامل هواشناسی مناسب نظیر ابرگرفتگی یا رطوبت نسبی، مقدار شدت تابش بر سطح افقی برآورد شده است.

پ) در شبکه ابرسنجی ابتدا از روی ابرگرفتگی، مدت تابش آفتاب برآورد گردیده و متعاقباً تشعشع کلی تخمین زده شده است.

جستجوی روابط در گروههای متعددی انجام گرفته که بخشی از آنها ذکر می‌شود.

31- Octa

۱) روابط بین تابش نسبی $\frac{Qs}{Qo}$ و نسبت $\frac{n}{N}$ (روابط آنگستروم).

۲) روابط بین تابش نسبی $\frac{Qs}{Qo}$ و سایر پارامترهای اقلیمی، نظیر نسبت آفتابگیری $\frac{n}{N}$ و رطوبت نسبی به صورتهای خطی و نمایی.

۳) روابط بین تابش نسبی $\frac{Qs}{Qo}$ و مقادیر ابرناکی به صورت خطی و درجه دوم.

۴) روابط بین تابش $\frac{Qs}{Qo}$ و پارامترهای جغرافیایی و اقلیمی در مقیاس سالانه.

اعتبار روابط بازیابی شده، به وسیله ضریب تشخیص ارزیابی شده است.

۴ـ دست آوردها

با توجه به تحلیلهای آماری که در آنها نتایج آنالیزهای همبستگی با یکدیگر مقایسه شده و همخوانی مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده ارزیابی شده‌اند می‌توان به جمعبندیهای زیر دست یافت.

الف ـ واسنجی ضرایب آنگستروم برای ایران

ضرایب A و B در معادله ۱ آنگستروم در عین نزدیک بودن نسبی به مقادیر جهانی تفاوتهایی را در ایستگاههای مختلف کشور نشان می‌دهند.در جدول شماره ۳ مقادیر A و B به دست آمده برای شبکه تشعشع‌سنجی ایران آمده است. براساس داده‌های این جدول به جز ایستگاههای جاسک و زاهدان که آنالیزها منجر به رابطه معنی‌داری برای آنها نشده‌است، در سایر ایستگاهها روابط در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد.ضریب A معادله آنگستروم در شبکه تابش‌سنجی ایران بین ۰/۲۱ در یزد تا ۰/۳۹ در کرمانشاه متفاوت می‌باشد.

ضریب B معادله مذکور بین ۰/۳۴ در زنجان و ۰/۶۲ در تبریز تغییر یافته است. متوسط خطای روابط مذکور بین ۱/۱ درصد در شیراز تا ۵/۱ درصد ارومیه تغییر داشته است.

ب) روابط نمایی در ایران

با توجه به این که رابطه آنگستروم تاثیر طیف جذبی بخار آب در اتمسفر را در نظر نمی‌گیرد. آزمونهایی در جهت بیان تأثیر این عامل بر تشعشع کلی انجام گرفت و نهایةً گروه روابطی به صورت زیر عاید گردیدند.

$$\frac{Qs}{Qo} = A \, Exp \, [B. (\frac{n}{N} - RH)] \qquad (۴$$

که در آن A و B مقادیر ثابت $\frac{n}{N}$ نسبت آفتابیگری و RH میانگین رطوبت نسبی سه دیدبانی حسب صدم می‌باشد.نتایج این بررسیها در جدول شماره ۴ منعکس گردیده است. در این جا نیز از داده‌های زاهدان و جاسک الزاماً چشم‌پوشی شده است. همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در این حالت نیز همه جا در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول شماره ۳: ضرایب رابطه آنگسترم در شبکه ایستگاههای تابش‌سنجی ایران

$$\frac{Qs}{Qo} = A + B\frac{n}{N}$$

ردیف	کد	ایستگاه	A	B	ضریب همبستگی	درصد خطا	
						حداکثر	متوسط
۱	۱	ارومیه	۰/۳۲	۰/۵	۰/۹۰	۱۱/۲	۵/۱
۲	۱۲	اصفهان	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۹۲	۳/۹	۱/۸
۳	۵	بجنورد	۰/۲۸	۰/۴۴	۰/۹۷	۳/۳	۲/۰
۴	۱۶	بوشهر	۰/۲۰	۰/۵۳	۰/۹۰	۷/۸	۲/۹
۵	۱۱	بیرجند	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۹۲	۵/۰	۲/۲
۶	۲	تبریز	۰/۲۷	۰/۶۲	۰/۹۴	۹/۶	۴/۵
۷	۹	تهران (مهرآباد)	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۹۳	۶/۲	۲/۲
۸	۱۹	جاسک +	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۶۷	–	–
۹	۴	رامسر	۰/۲۳	۰/۴۰	۰/۷۸	۷/۷	۳/۹
۱۰	۱۸	زاهدان +	۰/۴۴	۰/۱۰	۰/۵۳	–	–
۱۱	۳	زنجان	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۹۴	۵/۵	۲/۲
۱۲	۳	شیراز	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۹۵	۴/۰	۱/۱
۱۳	۱۰	طبس	۰/۲۳	۰/۵۱	۰/۹۱	۷/۱	۲/۴
۱۴	۱۴	کرمان	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۸۴	۸/۷	۳/۹
۱۵	۷	کرمانشاه(باختران)	۰/۳۹	۰/۳۰	۰/۹۴	۷/۳	۲/۴
۱۶	۶	مشهد	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۸۶	۴/۳	۲/۳
۱۷	۸	همدان (فرودگاه)	۰/۲۸	۰/۴۰	۰/۹۲	۸/۶	۴/۰
۱۸	۱۳	یزد	۰/۲۱	۰/۶۴	۰/۹۲	۸/۸	۳/۶

+ معنی‌دار نیست.

مقایسه ضرایب همبستگی بین داده‌های تجربی و برآورد شده با این دو رابطه نشان می‌دهد که اعتبار آماری آنها در شش منطقه از ایستگاههای ۱۸گانه مساوی هستند. در پنج منطقه از مناطق مورد بحث رابطه خطی همبستگی نسبتاً قویتری را نسبت به همبستگی توانی نشان می‌دهد و در ۷ ایستگاه رابطه نمایی اندکی قویتر از رابطه خطی است و بطورکلی هر دو گروه رابطه‌ها، از نظر آماری معنی‌دار و قابل بهره‌گیری می‌باشند. در این مقاله برای محاسبه میانگینها رابطه نمایی و برای بیشینه کردن تابش

رابطه خطی معیار انتخاب شده است.

جدول شماره ۴: ضرایب روابط بین تابش کلی ماهانه خورشید بر سطح افقی زمین، رطوبت نسبی و نسبت آفتابگیری در شبکه ایستگاه‌های تشعشع‌سنجی ایران

$$* \frac{Qs}{Qo} = A.\ \exp\ [B(\frac{n}{N} - RH)]$$

ردیف	کد	ایستگاه	A	B	ضریب همبستگی	درصد خطا	
						حداکثر	متوسط
۱	۱	ارومیه	۰/۶۱	۰/۵	۰/۹۱	۱۰/۳	۴/۸
۲	۱۲	اصفهان	۰/۵۴	۰/۳۲	۰/۹۶	۴/۱	۱/۴
۳	۵	بجنورد	۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۹۷	۴/۵	۲/۰
۴	۱۶	بوشهر	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۹۲	۵/۸	۲/۳
۵	۱۱	بیرجند	۰/۵۷	۰/۲۸	۰/۹۰	۷/۴	۲/۰
۶	۲	تبریز	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۹۴	۹/۶	۴/۵
۷	۹	تهران (مهرآباد)	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۹۸	۲/۵	۱/۷
۸	۱۹	جاسک +	۰/۵۳	۰/۲۶	۰/۲۸	–	–
۹	۴	رامسر +	۰/۵۲	۰/۷۱	۰/۷۲	–	–
۱۰	۱۸	زاهدان +	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۵۲	–	–
۱۱	۳	زنجان	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۹۴	۵/۶	۲/۸
۱۲	۳	شیراز	۰/۵۶	۰/۲۵	۰/۹۵	۳/۳	۱/۸
۱۳	۱۰	طبس	۰/۵۳	۰/۲۳	۰/۹۶	۴/۷	۱/۸
۱۴	۱۴	کرمان	۰/۵۴	۰/۴۰	۰/۹۷	۸/۷	۲/۷
۱۵	۷	کرمانشاه(باختران)	۰/۵۳	۰/۲۳	۰/۹۴	۶/۵	۲/۳
۱۶	۶	مشهد	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۹۳	۷	۳/۱
۱۷	۸	همدان (فرودگاه)	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۹۰	۹/۸	۴/۸
۱۸	۱۳	یزد	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۹۷	۶/۶	۲/۳

+ معنی‌دار نیست. RH رطوبت نسبی بر حسب صدم

رابطه نمایی برای ایستگاه رامسر معنی‌دار نیست. دلیل فیزیکی این امر عدم تبعیت فشار بخار آب

و رطوبت نسبی از روند تغییرات فصلی است (خلیلی، ۱۹۷۵)[۳۲] چه در این منطقه وجود سلسله جبال البرز به مثابه یک دیواره حافظ رطوبت عمل می‌نماید و به همین دلیل تغییرات رطوبت نسبی در عرض سال چندان زیاد نمی‌باشد. در این ایستگاه رابطه آنگستروم بـا ضـرایب A =۰/۲۳ و B =۰/۴۰ مـلاک ارزیابی قرار گرفته است:

برای ایستگاههای زاهدان و جاسک هیچیک از روابط همبستگی محاسبه شده معنی‌دار نیستند و به این دلیل این دو ایستگاه از جمع ایستگاههای تشعشع‌سنجی خارج شده و تشعشع کلی آنها همانند ایستگاههای سینوپتیک از روی سایر عوامل هواشناسی محاسبه گردیده‌اند.

پ) تأثیر ابرگرفتگی پدیده‌های شنباد و مواد معلق

تأثیر پوشش ابری بر روی تابش آفتاب براساس تحقیقات انجام شده عموماً از نوع درجه دوم و معنی‌دار بوده است که در مقاله مستقل دیگری مورد بحث قرار خواهد گرفت.

تأثیر پدیده شنباد و ذرات معلق موجود در هوا (Haze) بر تابش بسیار مشخص است ولی وجود اشکالات اساسی در نحوه دیدبانی این عوامل در ایران امکان تحلیلهای آماری موفقیت‌آمیز در این مورد را محدود می‌سازد. آزمونهای انجام شده نتایج زیر را داده است:

۱ـ پدیده‌های شنباد و مواد معلق همبستگی معنی‌داری را با تابش کلی نشان نمی‌دهند و به عبارت صحیحتر این تأثیر براساس داده‌های موجود قابل کمی شدن نمی‌باشد.

۲ـ به منظور واسنجی روابط متعددی که در سایر نقاط دنیا آزمون شده است یک بررسی گسترده روی رابطه تابش کلی دریافتی و ترکیبی از عوامل هواشناسی و جغرافیایی (طول و عرض و ارتفاع) به صورتهای مختلف چند متغیره خطی و نمایی به انجام رسید. نتایج حاصل در همه حالات همبستگی بسیار ضعیفتر و یا غیرمعنی‌داری را نسبت به آزمونهای قبلی ارائه دادند.

۴ـ نتایج کاربردی و بحث

از دستآوردهای این بررسی می‌توان نتایج کاربردی، مقدماتی زیر را ارائه داد.

الف ـ پهنه‌بندی ایران از دیدگاه قانونمندی تابش

تغییرات مکانی تابش دریافتی از خورشید در مقایسه با برخی از عوامل هواشناسی نظیر بارندگی، چندان زیاد نیست و صرف‌نظر از شرایط خرد اقلیمی که ممکن است به علت وضع خاص پوشش ابری یا پدیده‌های مربوط به پدیداری در یک نقطه اثر گذارد یک ایستگاه تا فاصله‌ای بیشتر ۱۰۰ کیلومتر

32- Khalili

می‌تواند معرف شرایط تابش منطقه محسوب گردد (آرلری و همکاران، ۱۹۷۲)[۳۳].

تعداد ایستگاههای تابش‌سنجی که آمار آنها قابل استناد می‌باشد با چشم‌پوشی از ایستگاههای زاهدان، خوربیابانک و جاسک، چاه‌بهار ۱۶ عدد است.

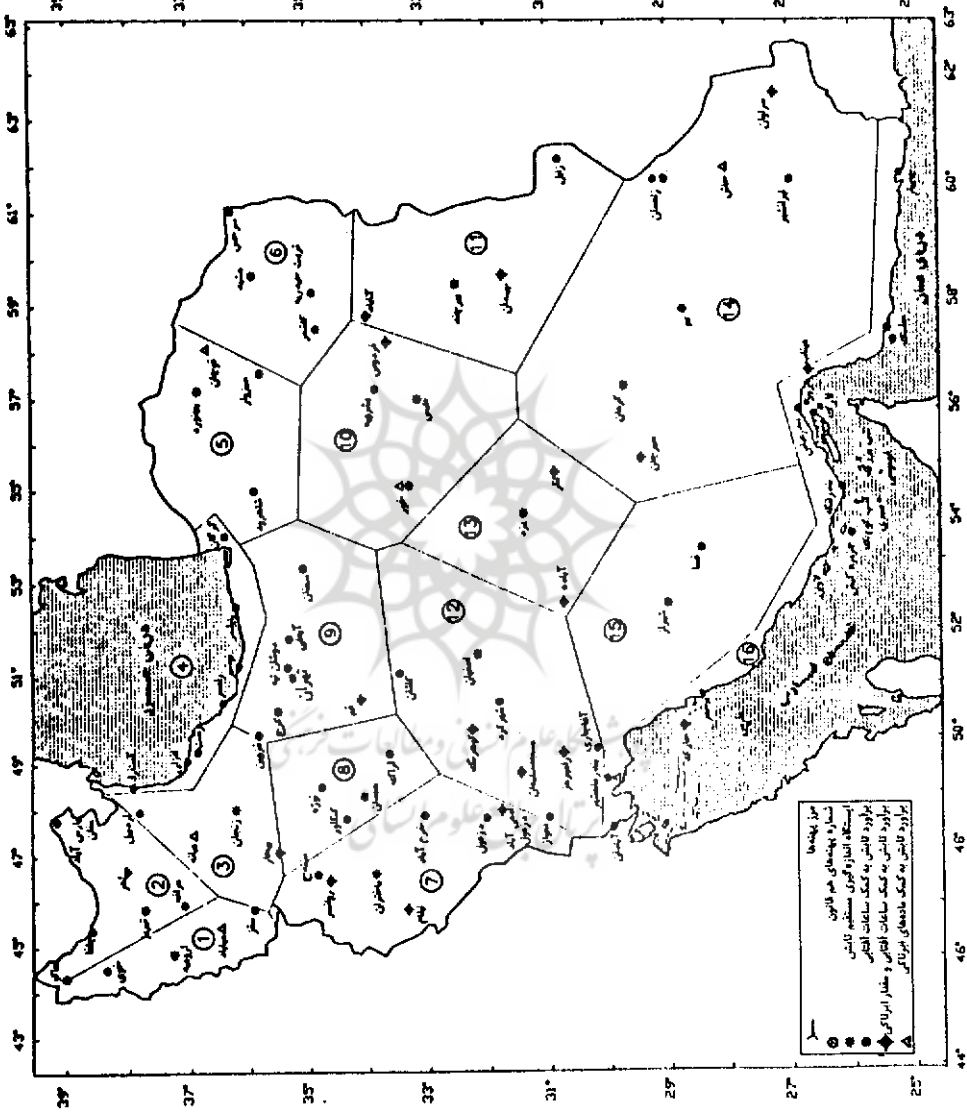
مسأله اساسی در این جا تعیین محدودهٔ مکانیی است که هر ایستگاه می‌تواند معرف، محسوب گردد و شرایط و روابط به آن به ایستگاههای دیگر تعمیم داده شود. یک چنین پهنه‌بندی در مورد سایر عوامل هواشناسی نظیر بارندگی یا دما عموماً متکی به مختصات جغرافیایی بویژه ارتفاع است ولی در مورد تابش به نظر می‌رسد که فاصله نقاط از ایستگاههای اصلی می‌تواند معیار انتخاب گردد.

اصلی که برای تعیین محدوده عمل یک شبکه دو ایستگاهی به کار گرفته می‌شود. رسم عمود منصف خط رابط این دو ایستگاه است. واضح است که منطقه، براساس این عمود منصف به دو پهنه تقسیم می‌گردد و نقاط واقع در هر پهنه به ایستگاه واقع در آن پهنه نزدیکتر از ایستگاه دیگری هستند.

کاربرد این روش در مورد ۱۶ ایستگاه تابش سنجی، گستره کشور را به ۱۶ منطقه تقسیم نموده است. نوار ساحلی دریای مازندران و همچنین سواحل خلیج‌فارس به علت وضع رطوبتی خاص و شرایط اقلیمی دریایی در داخل این مناطق قرارداده نشدند. بلکه با توجه به نقشه عمومی اقلیم ایران مرزی برای تعیین منطقه نفوذ آنها در نظر گرفته شد. مناطق ساحلی خزر تابع ایستگاه رامسر و مناطق ساحلی خلیج فارس تابع ایستگاه بوشهر اختیار گردیدند. نقشهٔ شماره ۱، پهنه‌بندی کشور از نظر منطقه تأثیر ایستگاهها نموده شده است. در جدول شماره ۵ ایستگاههای تحت پوشش هر ایستگاه مرکزی منعکس است گفتنی است که در این جدول، تابش کلی ایستگاههایی که داده‌های آنها برای استفاده از روابط دو متغیره رطوبت نسبی و ساعات آفتابی کافی می‌باشد با شماره ۱ مشخص شده‌اند. این ایستگاهها عموماً سینوپتیک می‌باشند. در عده‌ای دیگر از ایستگاهها، ابتدا از روی ابرگرفتگی مقدار آفتابگیری $\frac{n}{N}$ تخمین زده شده و سپس مقدار تابش برآورد گردیده است. این ایستگاهها با شماره ۲ معرفی گردیده‌اند.

بالاخره در ایستگاههایی که اطلاعات فوق از پنج سال کمتر بوده است الزاماً محاسبه به انجام رسیده ولی طول مدت آماری ایستگاهها کافی برای قضاوت قطعی نمی‌باشد و اعداد ارائه شده فقط به عنوان تقریبی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این ایستگاهها با عدد ۳ مشخص گردیده‌اند. در مورد ایستگاههای اخیر در صورت هماهنگی ارقام با نقاط مجاور و ملاحظات فنی، از ارقام استفاده به عمل آمده و در غیر این صورت از آنها صرف‌نظر گردیده است.

33- Arlery el al



نقشه شماره ۱: پهنه‌بندی ایران از دیدگاه معادله‌های تجربی برآورد تابش دریافتی از خورشید

جدول شماره ۵: گروه‌بندی ایستگاههای هواشناسی کشور، در پهنه‌های تحت پوشش ایستگاههای مرجع تابش‌سنجی

پهنه	ایستگاه مرکزی (مرجع)	ایستگاههای سینوپتیک یا کلیماتولوژی تحت پوشش ایستگاه مرکزی
۱	ارومیه	ماکو ۱، خوی ۱، مهاباد ۳، سقز ۱
۲	تبریز	پارس‌آباد مغان ۳، اهر ۳، مراغه ۳، جلفا ۳
۳	زنجان	اردبیل ۱، میانه ۲، بیجار ۳
۴	رامسر	نوشهر ۲، بابلسر ۱، آستارا ۳، انزلی ۱، رشت ۱، گرگان ۱
۵	بجنورد	قوچان ۲، سبزوار ۱، شاهرود ۱
۶	مشهد	سرخس ۱، تربت‌حیدریه ۱، کاشمر ۳
۷	کرمانشاه	سنندج ۳، روانسر، ایلام ۳، خرم‌آباد ۱، دزفول ۱، صفی‌آباد دزفول ۳
۸	همدان (فرودگاه)	همدان نوژه ۱، کنگاور ۳، اراک ۱
۹	تهران (مهرآباد)	قزوین ۱، دوشان تپه ۱، آبعلی ۱، سمنان ۱، قم ۳
۱۰	طبس	خوبیابانک ۳، بشرویه ۳، فردوس ۲
۱۱	بیرجند	گناباد ۳، نهبندان ۳، زابل ۲
۱۲	اصفهان	اهواز ۲، آغاجاری ۱، رامهرمز ۳، مسجدسلیمان ۲، کوهرنگ ۳، شهرکرد ۲، کاشان ۱
۱۳	یزد	انار ۳، آباده ۲
۱۴	کرمان	سیرجان ۲، بم ۱، زاهدان ۲، خاش هواشناسی ۳، سراوان ۳، ایرانشهر ۲
۱۵	شیراز	فسا ۲
۱۶	بوشهر	آبادان ۲، بندرماهشهر ۳، خارک ۲، جزیره کیش ۲، بندر لنگه ۲، بندرعباس ۲، فشم ۳، میناب ۲، جاسک ۲، چاه‌بهار ۲.

۱ و ۲ و ۳ به متن مراجعه شود.

ب ـ توزیع انرژی دریافتی از خورشید

براساس اندازه‌گیریها و یا معادلات فوق میانگین مقادیر تابش کلی دریافتی از خورشید در سطح زمین برتر از افقی در ایران برای شبکه‌ای مرکب از ۸۵ ایستگاه قابل ارائه است و در جداول شماره ۶، ۷ و ۸ نتایج اندازه‌گیری و برآوردهای روند ماهانه تابش میانگین در شبکه تابش‌سنجی، آفتاب‌سنجی و ابرسنجی ایران آورده شده است.

جدول شماره ۶: برآورد انرژی دریافتی از خورشید بر تراز افقی در سطح زمین در شبکه تابش‌سنجی کشور، حسب کالری بر سانتیمتر مربع بر روز

ایستگاه	منطقه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه
تبریز	۲	۳۷۲/۳	۲۴۹/۶	۱۸۶/۵	۲۰۴/۸	۲۸۳/۴	۳۹۲/۷	۵۰۵/۳	۶۱۷/۸	۷۲۹/۱	۷۳۹/۲	۶۵۸/۷	۵۵۸/۰	۴۵۸/۱
ارومیه	۱	۳۵۸/۰	۲۴۴/۶	۱۸۶/۴	۲۰۳/۲	۲۸۱/۴	۳۸۷/۰	۴۹۷/۹	۵۹۵/۲	۶۹۸/۲	۷۰۲/۶	۶۲۴/۲	۵۲۹/۴	۴۴۲/۳
بجنورد	۵	۳۰۱/۴	۲۱۴/۰	۱۶۸/۵	۱۸۲/۲	۲۴۳/۶	۳۱۷/۷	۴۱۷/۶	۴۹۰/۰	۵۵۲/۳	۵۴۳/۶	۵۰۹/۵	۴۱۷/۸	۳۶۳/۲
زنجان	۳	۳۳۴/۶	۲۳۶/۴	۱۸۹/۶	۲۱۰/۱	۲۷۵/۰	۳۶۹/۰	۴۶۸/۵	۵۴۲/۷	۶۰۴/۲	۵۹۱/۶	۵۳۸/۷	۴۶۲/۶	۴۰۱/۹
رامسر	۴	۲۰۴/۲	۱۶۴/۳	۱۳۲/۸	۱۵۲/۹	۱۹۳/۴	۲۲۷/۲	۲۹۸/۰	۳۶۱/۸	۳۹۲/۵	۳۷۸/۵	۳۳۳/۵	۲۶۲/۹	۲۵۸/۵
مشهد	۶	۳۱۲/۹	۲۲۵/۲	۱۷۸/۲	۱۹۳/۰	۲۵۳/۴	۳۲۷/۹	۴۲۰/۰	۵۱۱/۸	۵۸۵/۰	۵۷۷/۰	۵۳۰/۹	۴۳۸/۴	۳۷۹/۵
مهرآباد تهران	۹	۳۳۹/۲	۲۴۴/۴	۱۹۳/۲	۲۰۹/۶	۲۸۰/۵	۳۷۰/۲	۴۶۷/۸	۵۴۲/۷	۶۰۷/۷	۵۹۰/۳	۵۳۷/۲	۴۶۳/۰	۴۰۳/۸
باختران	۷	۳۲۴/۰	۲۴۹/۱	۲۰۳/۶	۲۱۹/۷	۲۸۸/۴	۳۷۴/۹	۴۵۴/۲	۵۲۰/۵	۵۸۶/۲	۵۷۵/۴	۵۳۲/۳	۴۵۶/۱	۴۰۰/۴
فرودگاه همدان	۸	۳۲۷/۰	۲۲۸/۱	۱۸۰/۵	۲۰۰/۰	۲۵۶/۴	۳۴۴/۸	۴۴۳/۱	۵۱۲/۲	۵۸۲/۴	۵۷۵/۹	۵۲۷/۳	۴۵۰/۹	۳۸۵/۹
طبس	۱۰	۳۸۲/۷	۲۷۹/۱	۲۲۷/۸	۲۴۴/۷	۳۱۸/۰	۴۱۱/۷	۵۰۱/۴	۵۷۷/۴	۶۲۶/۷	۶۱۱/۷	۵۶۷/۷	۴۸۹/۸	۴۳۶/۶
اصفهان	۱۲	۳۸۸/۸	۲۸۸/۶	۲۴۱/۵	۲۶۳/۱	۳۳۹/۵	۴۳۰/۶	۵۰۹/۲	۵۸۱/۷	۶۳۸/۸	۶۲۰/۶	۵۷۳/۷	۵۰۰/۱	۴۴۸/۰
بیرجند	۱۱	۴۱۳/۷	۳۰۶/۶	۲۵۱/۵	۲۷۲/۵	۳۴۰/۹	۴۳۴/۸	۵۲۸/۰	۶۱۱/۲	۶۵۵/۱	۶۴۴/۵	۶۰۱/۳	۵۱۸/۴	۴۶۴/۹
اهواز	۱۲	۳۸۴/۴	۲۸۲/۸	۲۳۰/۷	۲۵۱/۳	۳۲۵/۳	۴۰۸/۲	۴۹۳/۷	۵۶۹/۱	۶۲۱/۱	۶۰۶/۵	۵۶۱/۰	۴۹۲/۰	۴۳۵/۵
یزد	۱۳	۴۸۹/۰	۳۴۷/۱	۲۷۴/۷	۲۹۱/۷	۳۸۵/۷	۴۷۹/۶	۵۸۹/۸	۷۰۰/۷	۷۹۱/۰	۷۷۷/۹	۷۳۵/۷	۶۴۴/۱	۵۴۲/۳
کرمان	۱۴	۴۰۴/۶	۳۰۷/۹	۲۵۳/۷	۲۶۵/۱	۳۳۳/۱	۴۰۷/۶	۴۹۱/۷	۵۶۸/۹	۶۱۱/۹	۶۰۲/۴	۵۶۷/۸	۵۰۱/۷	۴۴۳/۰
شیراز	۱۵	۴۲۱/۱	۳۲۰/۲	۲۷۲/۱	۲۹۰/۴	۳۵۰/۷	۴۴۴/۹	۵۱۹/۷	۵۹۸/۰	۶۳۸/۵	۶۱۸/۵	۵۷۶/۳	۵۱۵/۲	۴۶۳/۸
بوشهر	۱۶	۴۰۷/۰	۳۰۹/۷	۲۴۹/۲	۲۷۱/۹	۳۰۵/۸	۴۱۲/۳	۴۸۹/۹	۵۷۴/۶	۶۱۴/۲	۵۸۳/۵	۵۳۸/۱	۴۹۱/۷	۴۳۷/۳
جاسک	۱۶	۴۱۸/۷	۳۶۰/۱	۲۹۸/۶	۳۳۵/۴	۳۹۴/۳	۴۲۷/۰	۴۹۴/۷	۵۲۴/۱	۴۹۷/۴	۴۱۱/۵	۴۱۳/۵	۴۳۰/۹	۴۱۷/۲
چاه‌بهار	۱۶	۴۱۰/۷	۳۵۸/۳	۳۱۹/۱	۳۳۹/۱	۳۹۷/۲	۴۳۸/۷	۴۹۱/۰	۵۳۱/۷	۴۸۸/۶	۴۵۳/۶	۴۳۷/۷	۴۳۸/۰	۴۲۵/۳

ج ـ نقشهٔ همتابش کلی ایران

نقشه شمارهٔ ۲ خطوط همتابش کلی سالانه ایران را که با ملاحظات فوق ترسیم شده است به عنوان نتیجه در مقیاس اصلی ۴۰۰۰۰۰۰ : ۱ با گام ۱۰ کیلوکالری بر سانتیمتر مربع در سال نشان می‌دهد.

براساس این نقشه کم‌تابش‌ترین میزان انرژی دریافتی از خورشید در ایران متعلق به حاشیه نوار ساحلی خزر می‌باشد که با خط همتابش ۱۱۰ کیلوکالری در سال محدود شده است.

جدول شماره ۷: برآورد انرژی دریافتی‌از خورشید بر تراز افقی در سطح زمین در شبکه آفتابسنجی (cal/ cm2/ day)

ایستگاه	مهر	آبادن	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه
آبادان	۴۴۱	۳۰۲	۲۳۹	۲۵۸	۳۴۶	۴۵۰	۵۳۵	۶۳۶	۷۱۷	۷۰۶	۶۳۹	۵۸۲	۴۸۸
آبعلی	۳۲۸	۲۳۰	۱۸۹	۲۰۶	۲۶۵	۳۳۳	۴۳۴	۵۱۷	۵۸۶	۵۶۸	۵۲۸	۴۵۴	۳۸۶
آستارا	۱۸۳	۱۵۱	۱۲۲	۱۴۱	۱۸۴	۲۱۸	۳۱۴	۳۷۹	۴۵۰	۴۳۸	۳۶۵	۲۸۳	۲۶۹
اراک	۳۵۵	۲۴۷	۱۹۸	۲۱۰	۲۷۶	۳۶۹	۴۶۲	۵۳۲	۶۱۱	۵۹۱	۵۴۸	۴۷۶	۴۰۶
اردبیل	۲۷۷	۲۱۰	۱۷۴	۱۹۵	۲۶۳	۳۴۳	۴۳۶	۴۹۸	۵۳۷	۵۲۱	۴۵۶	۳۸۳	۳۵۸
اهواز	۳۸۴	۲۸۳	۲۳۱	۲۵۱	۳۲۵	۴۰۸	۴۹۴	۵۶۹	۶۲۱	۶۰۶	۵۶۱	۴۹۲	۴۳۵
ایرانشهر	۴۳۵	۳۴۸	۲۸۹	۳۰۱	۳۳۷	۴۴۳	۵۱۵	۵۸۰	۵۸۸	۵۵۲	۵۳۳	۴۹۴	۴۵۱
بابلسر	۲۳۶	۱۷۴	۱۴۳	۱۶۰	۲۰۳	۲۵۳	۳۳۷	۳۹۵	۴۴۱	۴۲۴	۳۶۶	۳۰۷	۲۸۷
بم	۴۱۸	۳۲۵	۲۷۸	۲۸۸	۳۳۱	۴۳۰	۵۰۷	۵۷۳	۶۱۴	۵۹۶	۵۶۳	۵۰۴	۴۵۲
بندرانزلی	۲۰۱	۱۵۵	۱۲۷	۱۴۲	۱۸۴	۲۳۰	۳۱۵	۳۸۸	۴۴۸	۴۳۸	۳۷۱	۲۹۵	۲۷۴
بندرلنگه	۴۲۸	۳۶۳	۳۰۸	۳۲۰	۳۵۸	۴۳۰	۵۰۳	۵۶۶	۵۶۶	۵۲۰	۴۹۵	۴۵۸	۴۴۳
بندرعباس	۴۰۶	۳۴۲	۲۹۳	۳۰۵	۳۲۶	۴۱۱	۴۸۵	۵۶۱	۵۵۳	۵۰۲	۴۸۳	۴۴۹	۴۲۶
پارس‌آبادمغان	۲۷۳	۱۹۱	۱۶۱	۱۸۱	۲۴۳	۳۲۹	۴۴۹	۵۳۷	۶۰۵	۵۸۱	۵۲۲	۴۱۵	۳۷۴
تربت‌حیدریه	۳۴۱	۲۴۸	۱۹۲	۲۰۶	۲۶۹	۳۵۲	۴۵۱	۵۳۸	۵۹۷	۵۹۱	۵۴۴	۴۵۹	۳۹۹
جزیره‌کیش	۴۲۱	۳۵۰	۲۸۹	۳۱۱	۳۵۶	۴۰۳	۴۹۳	۵۶۴	۵۵۷	۵۱۷	۴۹۹	۴۶۸	۴۳۶
جلفا	۳۲۶	۲۲۵	۱۷۱	۱۸۸	۲۶۷	۳۸۶	۵۰۲	۵۹۷	۶۶۲	۶۹۴	۶۲۱	۵۰۶	۴۲۹
چابهار	۴۱۱	۳۵۸	۳۱۹	۳۳۹	۳۹۷	۴۳۹	۴۹۱	۵۳۲	۴۸۹	۴۵۴	۴۳۸	۴۳۸	۴۲۵
خرم‌آباد	۳۵۳	۲۵۹	۲۱۵	۲۳۵	۳۰۲	۳۸۲	۴۶۰	۵۲۷	۵۸۴	۵۷۷	۵۳۰	۴۵۷	۴۰۷
خوی	۳۲۶	۲۲۴	۱۷۳	۱۹۱	۲۶۹	۳۸۵	۴۹۰	۵۶۴	۶۳۹	۶۵۱	۵۹۱	۴۹۱	۴۱۶
دزفول	۳۵۴	۲۵۷	۲۱۳	۲۳۶	۳۰۴	۳۸۸	۴۷۰	۵۳۹	۵۸۴	۵۶۹	۵۲۵	۴۵۸	۴۰۸
دوشان‌تپه	۳۳۰	۲۳۷	۱۸۷	۲۰۴	۲۶۷	۳۵۸	۴۵۹	۵۳۴	۵۹۲	۵۷۰	۵۱۷	۴۴۷	۳۹۲
رشت	۲۰۹	۱۵۵	۱۲۶	۱۴۰	۱۷۹	۲۲۲	۲۹۵	۳۵۳	۴۱۶	۴۰۸	۳۴۸	۲۸۴	۲۶۱
زابل	۴۱۲	۳۱۶	۲۶۲	۲۸۵	۳۵۳	۴۴۳	۵۳۳	۶۰۶	۶۳۹	۶۲۸	۵۸۶	۵۰۸	۴۶۴

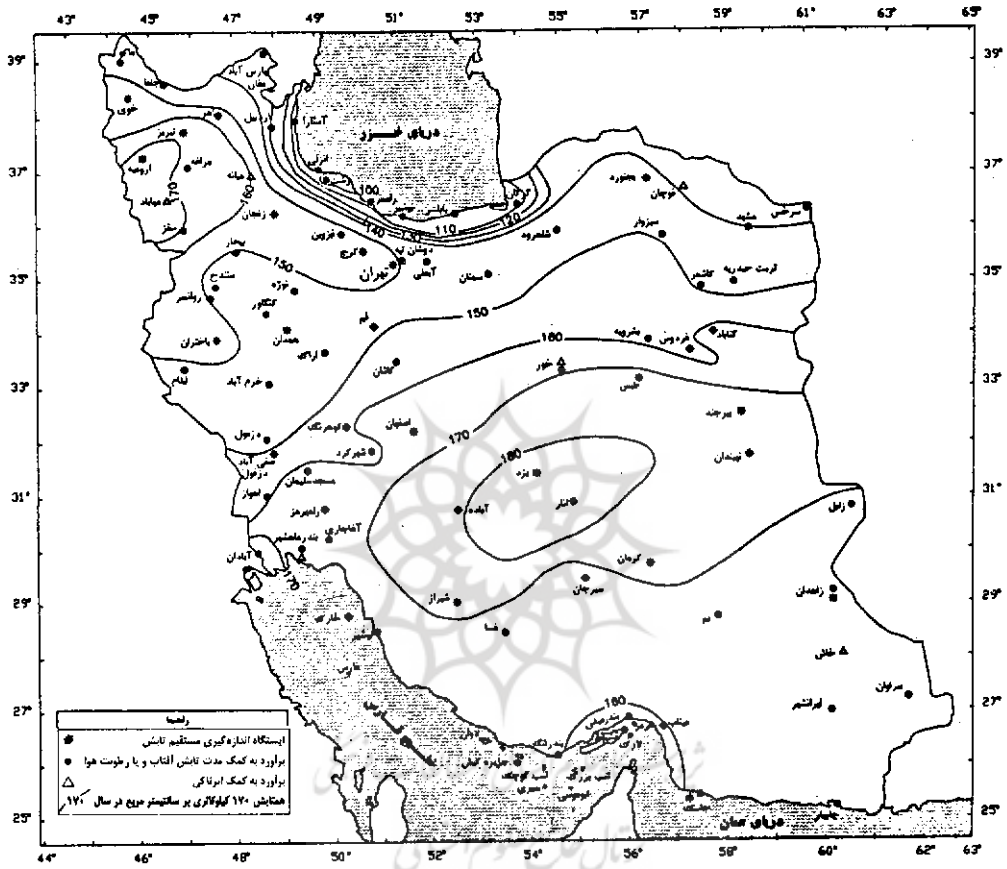
ادامه جدول شماره ۷: برآورد انرژی دریافتی‌از خورشید بر تراز افقی در سطح زمین در شبکه آفتابسنجی (cal/ cm2/ day)

ایستگاه	مهر	آبادن	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه
زاهدان	۴۰۷	۳۱۴	۲۶۲	۲۷۴	۳۲۶	۴۱۹	۴۹۶	۵۷۱	۶۰۲	۵۹۲	۵۵۹	۴۹۹	۴۴۳
سبزوار	۳۵۰	۲۴۸	۱۸۸	۲۰۱	۲۷۲	۳۶۰	۴۶۴	۵۵۷	۶۱۹	۶۱۵	۵۷۱	۴۷۷	۴۱۰
سرخس	۳۲۰	۲۲۸	۱۷۴	۱۸۹	۲۴۷	۳۳۰	۴۳۵	۵۲۰	۵۸۵	۵۷۲	۵۲۶	۴۳۳	۳۸۰
سقز	۳۹۶	۲۶۳	۱۹۵	۲۱۲	۲۸۶	۳۸۵	۴۹۹	۶۱۵	۷۱۸	۷۲۵	۶۷۰	۵۷۰	۴۶۱
سمنان	۳۳۹	۲۴۶	۱۹۶	۲۱۱	۲۸۲	۳۷۱	۴۶۶	۵۳۵	۵۹۵	۵۷۹	۵۳۲	۴۵۵	۴۰۱
سنندج	۳۳۱	۲۴۱	۱۹۷	۲۱۳	۲۷۹	۳۶۹	۴۵۴	۵۲۲	۵۸۱	۵۷۰	۵۱۹	۴۴۲	۳۹۳
شاهرود	۳۳۰	۲۳۷	۱۸۵	۲۰۲	۲۷۲	۳۶۷	۴۵۹	۵۲۹	۵۹۱	۵۸۱	۵۳۵	۴۴۵	۳۹۵
شهرکرد	۳۸۴	۲۸۳	۲۳۶	۲۵۴	۳۲۴	۴۰۹	۴۸۶	۵۶۳	۶۱۶	۶۰۰	۵۵۹	۴۹۲	۴۳۴
فسا	۴۲۷	۳۳۲	۲۸۱	۲۹۹	۳۴۱	۴۲۷	۵۲۴	۵۹۴	۶۳۳	۶۱۰	۵۶۹	۵۱۲	۴۶۴
قزوین	۳۱۶	۲۲۹	۱۸۰	۱۹۹	۲۶۴	۳۵۱	۴۴۷	۵۱۲	۵۷۹	۵۶۶	۵۲۰	۴۴۱	۳۸۲
کاشان	۳۵۹	۲۶۱	۲۱۵	۲۳۱	۳۰۵	۳۹۳	۴۸۸	۵۵۶	۶۰۵	۶۰۰	۵۵۳	۴۸۰	۴۲۰
گرگان	۲۵۲	۱۸۴	۱۴۸	۱۶۴	۲۰۷	۲۵۳	۳۳۷	۳۷۷	۴۱۳	۳۹۶	۳۶۲	۳۰۶	۲۸۳
ماکو	۳۱۱	۲۲۴	۱۷۱	۱۹۱	۲۶۲	۳۷۳	۴۶۴	۵۵۱	۶۱۶	۶۴۶	۵۸۲	۴۸۴	۴۰۶
مراغه	۳۳۶	۲۴۵	۱۹۴	۲۰۷	۲۶۹	۳۷۵	۴۹۴	۶۲۳	۷۱۱	۷۰۴	۶۴۶	۵۳۸	۴۴۵
نوژه‌همدان	۳۲۶	۲۳۳	۱۸۲	۱۹۵	۲۵۷	۳۴۵	۴۳۴	۵۰۷	۵۸۹	۵۷۴	۵۳۰	۴۵۳	۳۸۶

پرتابش‌ترین هسته این نقشه را ناحیه گسترده‌ای در مرکز مناطق خشک ایران و متمرکز بر یزد با رقوم ۱۸۰ کیلوکالری بر سانتیمتر مربع در سال تشکیل می‌دهد و افزون بر این در بخش آذربایجان نیز مقدار تابش دریافتی براساس اندازه‌گیریهای ارومیه و تبریز به ۱۶۰ کیلوکالری در سال بالغ می‌گردد که ظاهراً متأثر از شفافیت هواست.

جدول شماره ۸: برآورد انرژی دریافتی از خورشید تراز افقی در سطح زمین در شبکه ابرسنجی (cal/cm2/ day)

ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه
آباده	۴۸۴	۳۵۰	۲۹۵	۳۳۴	۴۰۷	۴۹۰	۵۷۲	۶۸۸	۷۷۶	۷۵۰	۶۹۴	۶۲۹	۵۳۹
آغاجاری	۳۱۷	۲۳۸	۱۹۹	۲۱۶	۲۷۴	۳۵۳	۴۲۱	۴۷۶	۴۹۶	۴۸۳	۴۴۵	۳۸۹	۳۵۹
انار	۴۹۹	۳۷۲	۳۰۷	۳۴۴	۴۱۴	۵۰۱	۶۰۱	۷۰۶	۷۷۷	۷۵۳	۷۳۴	۶۴۳	۵۵۴
اهر	۳۰۸	۲۲۹	۱۹۰	۲۱۴	۲۸۳	۳۶۱	۴۷۴	۵۶۱	۶۱۰	۶۲۲	۵۴۶	۴۵۹	۴۰۵
ایلام	۳۴۷	۲۶۰	۲۱۶	۲۳۸	۳۰۳	۳۸۲	۴۶۶	۵۳۳	۵۸۵	۵۷۱	۵۳۰	۴۵۸	۴۰۷
بشرویه	۲۸۳	۲۱۲	۱۷۴	۱۸۷	۲۴۵	۳۱۹	۳۹۱	۴۴۷	۴۷۴	۴۶۴	۴۲۵	۳۶۴	۳۳۲
بندرماهشهر	۲۹۵	۲۲۸	۱۹۴	۲۱۰	۲۶۵	۳۳۷	۳۹۵	۴۴۷	۴۶۷	۴۵۱	۴۱۵	۳۶۵	۳۳۹
بیجار	۳۳۴	۲۴۶	۱۹۸	۲۱۰	۲۷۳	۳۵۷	۴۵۸	۵۵۱	۶۰۲	۶۰۶	۵۴۶	۴۶۶	۴۰۴
جاسک	۴۱۹	۳۶۰	۲۹۹	۳۳۵	۳۹۴	۴۲۷	۴۹۵	۵۲۴	۴۹۷	۴۱۱	۴۱۴	۴۳۱	۴۱۷
جزیره‌خارک	۲۴۰	۱۹۶	۱۷۰	۱۷۹	۲۰۸	۲۷۵	۳۲۵	۳۷۴	۳۸۷	۳۶۷	۳۳۳	۲۸۹	۲۷۹
هواشناسی خاش	۳۰۸	۲۴۴	۲۱۰	۲۲۵	۲۳۶	۳۴۱	۴۰۱	۴۳۲	۴۴۵	۴۴۱	۴۱۵	۳۷۱	۳۳۹
خوربیابانک	۲۹۲	۲۱۹	۱۸۴	۲۰۰	۲۵۷	۳۳۶	۴۱۲	۴۶۲	۴۸۴	۴۷۴	۴۳۴	۳۷۳	۳۴۴
رامهرمز	۳۷۹	۲۸۳	۲۳۰	۲۴۹	۳۲۲	۴۰۱	۴۹۰	۵۷۶	۶۱۴	۶۰۰	۵۶۰	۴۹۱	۴۳۳
روانسر	۳۳۸	۲۴۵	۲۰۱	۲۱۹	۲۸۸	۳۷۳	۴۵۸	۵۲۸	۵۷۸	۵۷۳	۵۲۰	۴۴۸	۳۹۷
سراوان	۴۱۵	۳۳۹	۲۸۵	۳۰۳	۳۲۵	۴۲۳	۵۰۰	۵۵۲	۵۷۰	۵۴۲	۵۲۱	۴۸۲	۴۳۸
سیرجان	۴۲۱	۳۲۱	۲۶۴	۲۸۸	۳۴۳	۴۲۸	۵۱۱	۵۸۶	۶۲۱	۵۹۴	۵۶۰	۵۰۸	۴۵۴
کوتیان دزفول	۳۰۱	۲۲۹	۱۹۵	۲۱۵	۲۶۹	۳۴۰	۴۰۶	۴۶۴	۴۸۶	۴۷۵	۴۳۵	۳۷۶	۳۴۹
فردوس	۳۷۲	۲۷۳	۲۱۷	۲۳۵	۳۰۴	۳۹۲	۴۸۹	۵۶۹	۶۱۸	۶۰۶	۵۶۵	۴۸۶	۴۲۷
قم	۳۴۵	۲۵۳	۲۰۷	۲۲۰	۲۸۵	۳۷۴	۴۷۲	۵۴۹	۶۱۲	۶۰۰	۵۴۹	۴۶۹	۴۱۱
هواشناسی قوچان	۲۲۹	۱۶۶	۱۳۶	۱۵۰	۱۹۹	۲۶۵	۳۳۲	۳۸۷	۴۲۰	۴۱۴	۳۷۴	۳۰۷	۲۸۲
کاشمر	۳۵۳	۲۵۸	۲۰۴	۲۱۷	۲۷۹	۳۷۵	۴۷۷	۵۴۹	۶۰۳	۵۷۹	۵۴۶	۴۶۰	۴۰۸
کنگاور	۳۱۵	۲۳۲	۱۹۰	۲۰۶	۲۶۳	۳۵۰	۴۳۶	۵۰۹	۵۵۹	۵۶۹	۵۱۷	۴۴۸	۳۸۳
کوهرنگ	۳۷۳	۲۸۳	۲۱۷	۲۳۳	۲۹۱	۳۷۳	۴۷۷	۵۷۲	۶۲۲	۶۱۰	۵۶۶	۴۹۹	۴۲۶
گناباد	۳۷۹	۲۸۶	۲۳۲	۲۴۳	۳۰۹	۴۰۹	۵۱۱	۵۹۲	۶۴۳	۶۲۴	۵۷۸	۴۹۳	۴۴۲
مسجد سلیمان	۳۱۶	۲۳۴	۱۹۳	۲۳۸	۳۱۶	۴۱۲	۴۹۵	۵۸۷	۵۰۴	۶۰۸	۵۷۹	۵۰۹	۴۱۶
بادکان‌مهاباد	۳۶۴	۲۶۱	۲۰۱	۲۲۰	۲۸۸	۳۹۰	۵۲۳	۶۵۲	۷۱۰	۷۱۰	۶۴۱	۵۴۴	۴۵۹
میانه	۳۱۳	۲۳۳	۱۸۰	۱۹۵	۲۶۱	۳۵۷	۴۶۱	۵۴۱	۵۹۵	۵۸۹	۵۳۰	۴۵۳	۳۹۲
میناب	۴۱۳	۳۳۹	۲۹۱	۳۱۲	۳۴۲	۴۳۵	۵۱۲	۵۶۵	۵۶۸	۵۲۹	۵۰۱	۴۶۶	۴۴۰
نوشهر	۲۱۷	۱۷۵	۱۴۱	۱۵۶	۲۰۰	۲۳۴	۳۲۳	۳۷۴	۴۳۵	۳۹۶	۳۲۷	۲۸۹	۲۷۲
نهبندان	۴۱۶	۳۲۵	۲۶۶	۲۹۰	۳۵۲	۴۴۰	۵۳۸	۶۰۲	۶۴۰	۶۲۹	۵۹۲	۵۱۶	۴۶۷



نقشهٔ شماره ۲: توزیع جغرافیایی میانگین سالانه تابش کلی خورشید در ایران

منابع و مآخذ

۱ـ رفیع‌بخش، فاطمه، ساختمان یک مدل درجه دوم با استفاده از ضرایب تصحیح شده انگستروم در برآورد تابش کلی خورشید، نیوار، شماره ۲۶، ص ۱۵ـ۶، تهران ۱۳۷۳.

۲ـ سازمان هواشناسی کشور، سالنامه‌های آماری تا پایان سال ۱۹۹۱.

3- Abdel - wahab, M., "New approach to estimate Angstrom coefficients"., ***solar energy***, 51, 241, 1993.

4- Alaruti, S. D. et al., "Empirical regression models for weather data measured in kuwait during the years, 1985, 1986, 1987", ***solar energy***, 50, 229, 1993.

5- Akinoglu, B. J. et al., "Construction of a quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation", ***solar energy***, 45, 85, 1990.

6- Arlery,R.. Grisollet, H.,Guilmet,B.,"***Climatologie,methode et pratique***,Gauthier-Villars,Paris, p.432,1984.

7- Ashjace, M. et al., "Estimating direct, diffuse & global solar radiation for various cities in Iran by two methods and their comparison with the measured data", ***solar energy***, 50, 441, 1993.

8- Barbaro, S. et al., "Global solar radiation in Italy", ***solar energy***, 20, 431, 1978.

9- Benson, R. B. et al., "Estimation of daily and monthly direct, diffuse & global solar radiation from sunshine duration measurment", ***solar energy***, 32, 523, 1984.

10- Black, J. N. et al., ***Solar radiation and duration of sunshine***, Quart. J. R. Met. Soc, 80, 231, 1956.

11- Coppolino, S., "Validation of a very simple model for computing global solar radiation in European, African, Asian & North American areas", ***solar and wind technology***, 7, 489, 1990.

12- Daneshyar, M., "***Solar radiation statistics for Iran***, solar energy, 21, 345, 1978.

13- De Mota, E. S., "Estimates of solar radiation in Brazil", ***Agricultural Meteorology***, 18, 241, 1977.

14- Ezekwe, C. I. et al."Measured solar radiation in a Nigerian environoment compared with predicted data", ***solar energy***, 1981.

15- Flocas, A. A., "Estimation and prediction of global solar radiation ovea Greece", ***solar energy***, 24, 63, 1980.

16- Glover, J. & Mc culoch,"The Empirical relation between solar radiation & hours of sunshine", Quart. J. R. Met. Soc, 172, 1957.

17- Khalili, A. "Precipitation patterns of Central Elburz" (Iran), Archive for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Serie B, vol. 21, 2-3, 1973.

18- Neuwwirth, F., "The estimation of global and sky radiation in Austria", ***solar energy***, 24, 421, 1980.

19-Ogelman,H. et al,"A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data",***solar energy***,33,619, 1984.

20- Paltridge, G. W. et al, "Monthly mean solar radiation statistics for Australia", solar energy, 18, 235, 1976.

21- Raddy, S. J., "An empirical method for the estimation of total solar radiation", solar energy, 13, 289, 1971.

22- Sabbagh, J. A. et al, "Estimation of the total solar radiation from meteorological data", solar energy, 19, 307, 1977.

23- Samimi, J. "Estimation of height - dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran", ***solar energy***, 52, 401, 1994.

24- W. M. O."Meteorological aspects of the utilization of solar energy as an energy source",***W. M. O. Technical note*** , No. 172 , 1981.