تخمین تابش ماهانه خورشیدی بر سطح افقی با روش معادله مدل آنگستروم

سید حمید روانشید

بخش مهندسی مرکز تحقیقات هسته‌ای

خلاصه

برای محاسبهٔ شدت تابش خورشید، وسایل اندازه‌گیری تشعشع خورشیدبهترین‌وسیله‌است. در غیاب این وسایل می‌توان از اندازه‌گیری‌های علوم جوی که با تابش خورشید رابطه دارند (درصد روزهای آفتابی یا ابری)، یا از معادلات تجربی برای تخمین شدت تابش خورشید استفاده کرد. [۵-۱].

یکی از معادله‌هایی که برای تخمین شدت تابش ماهانه، بر روی سطح افقی، بکار برده می‌شود معادلهٔ انگاره (مدل) انگستروم است [۱ و ۳] که در این مقاله از آن به منظور محاسبهٔ تقریبی تابش خورشید برای تهران استفاده شده و نیز با مقایسه نتایج حاصل از این معادله و نتایج تجربی بدست آمده توسط اداره هواشناسی تهران [۶] مقدارهای ثوابت اقلیمی (a,b) در معادله برای تهران محاسبه گردیده است.

مقدمه

معادله انگاره (مدل) انگستروم که به وسیله پیج (PAGE) تغییرات و اصلاحاتی یافته [۳] بر پایه حد متوسط تابش خورشید در خارج از جو زمین پایه‌گذاری شده است. برای استفاده از این معادله دانستن مقادیر ساعات آفتابی در روز و ثوابت اقلیمی (a,b) الزامی است و این مسایل در قسمت تئوری به تفصیل بیان گردیده است.

تا کنون مقدارهای ثوابت اقلیمی توسط لوف و دیگران (LOF et al 1966) برای نقاط مختلف بدست آمده است (جدول ۱) و دراینجا علاوه‌برمعرفی و طریقهٔ استفاده از این معادله، این امکان نیز دست داده است تا با بکار بردن این معادله و مقایسه آن با مقدارهای حد متوسط ماهانهٔ کل تابش خورشید بر تهران که به وسیله اداره هواشناسی تهران اندازه‌گیری شده است مقدارهای ثوابت اقلیمی برای تهران محاسبه شود. با استفاده از همین‌روش ودانستن‌مقدارهای تجربی متوسط ماهانهٔ کل تابش خورشید بر سایر نقاط ایران می‌توان مقدارهای ثوابت اقلیمی آن نقاط را محاسبه کرد.

تئوری [۳]

در اینجا یک فرمول تجربی بنام معادله ANGSTROM-TYPE REGRESSION که توسط پیج اصلاح و تغییر یافته ارائه می‌شود :

$$H_{AV} - H'_o \left(a' + b' \frac{n}{N}\right)$$ (معادلهٔ ۱)

در این فرمول ، علایم ذکر شده نمایانگر مفاهیم زیر هستند :

H_{AV} : حد متوسط تابش روی سطح افقی در زمان مربوط (ماه)

H'_o : حد متوسط تابش روی سطح افقی در روز کاملا " صاف در زمان مربوط

n : حد متوسط ساعات آفتاب روشن در روز در زمان مربوط

N : حد اکثر ساعات آفتابی در روز در زمان مربوط

a', b' : مقدارهای ثوابت اقلیمی

محققین برای یافتن a' و b' با بکار گرفتن مقدار آفتاب‌ودانسته‌های تابش ، مقدارهایی‌بدست آورده‌اند . به عنوان مثال فریتز (FRITZ ۱۹۵۱) مقادیر a' ۰/۳۵ و b' ۰/۶۱ رابدست آورده است .

با استفاده از شکل ۱ می‌توان مقادیر H'_o را برای معادله ۱ بکار برد . دانستن مقادیر n و N نیز الزامی است و برای این کار سه راه وجود دارد ، راه اول استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط ایستگاههای هواشناسی ، راه دوم بکار بردن منحنی‌هایی نظیر شکل ۲ و راه سوم استفاده از فرمولی است که بعدا " شرح آن خواهد آمد .

اشکال اساسی در معادلهٔ ۱ ابهامهایی است که در دو اصطلاح H'_o و n/N وجود دارد . ابهام در اصطلاح اول این است که هنوز روز کاملا " صاف به درستی معنی نشده است و در دومی اشکال مربوط به ادوات و ابزار (ثبت شده‌های ثبات آفتاب) است .

پیج و دیگران ، در سال ۱۹۶۴ ، در روش فوق تغییرات و اصلاحاتی بوجودآورده‌اند . بدین نحو که روش بالا بر پایهٔ تابش روی سطح افقی بالای جو زمین گذاشته شود و به این ترتیب ، معادله ۱ به صورت زیر درآمده‌است :

$$H_{AV} = H_o \left(a + b \frac{n}{N}\right)$$ (معادلهٔ ۲)

در این فرمول ، اصطلاحات ذکر شده نشانهٔ مفاهیم زیر هستند :

H_o : حد متوسط تابش خارج از جو زمین در همان محل در زمان مربوط (ماه)

a, b : مقادیر ثوابت اصلاح شده اقلیمی

لوف ، در سال ۱۹۶۶ ، برای مکانهای مختلف با شرایط اقلیمی متفاوت ، مقادیر ثوابت a و b را بصورت جدول بدست آورده است (جدول ۱) .

همانطور که قبلا " اشاره شد مقادیر n و N از طریق فرمول زیر نیز محاسبه می‌شوند :

$$T_d = \frac{2}{15} \cos^{-1}(- \tan\Phi \tan\delta)$$ (معادلهٔ ۳)

که در این فرمول علایم ذکر شده دارای معانی زیر هستند :

T_d : فاصله زمانی طلوع و غروب آفتاب در روز (درازای روز) به ساعت

Φ : عرض جغرافیایی منطقه

δ : زاویه (declination) مابین خط استوایی زمین و خط تابش خورشید ، که برای روزهای مختلف مقادیر مختلفی خواهدداشت . این زاویه‌رامی‌توان ازمعادلهٔ تقریبی کوپر (COOPER) که در سال ۱۹۶۶ پیشنهاد کرده است محاسبه کرد :

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right)$$ (معادلهٔ ۴)

که در این معادله ، n نشانهٔ شماره روز سال (مبداء شمارهٔ اولین روز ژانویه) است .

این زاویه را نیز می‌توان از شکل ۲ تعیین کرد. مقادیر H_o را می‌توان از شکل ۳ و یا از فرمول زیر بدست آورد:

$$H_o = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left(1+0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right) (\cos\Phi \cos\delta \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \sin\Phi \sin\delta)$$

(معادلهٔ ۵)

که در این فرمول، علایم ذکر شده نشانه مفاهیم زیر هستند:

I_{sc} : شدت ثابت تابش خورشید، $1163.64 \, ^{KCal}/_{M^2}\text{-Hr}$

n : شماره روز سال

W_s : زاویه ساعتی آفتاب، که می‌توان W_s را از رابطه زیر تعیین کرد.

(معادلهٔ ۶)

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan\Phi \tan\delta).$$

نتیجه گیری

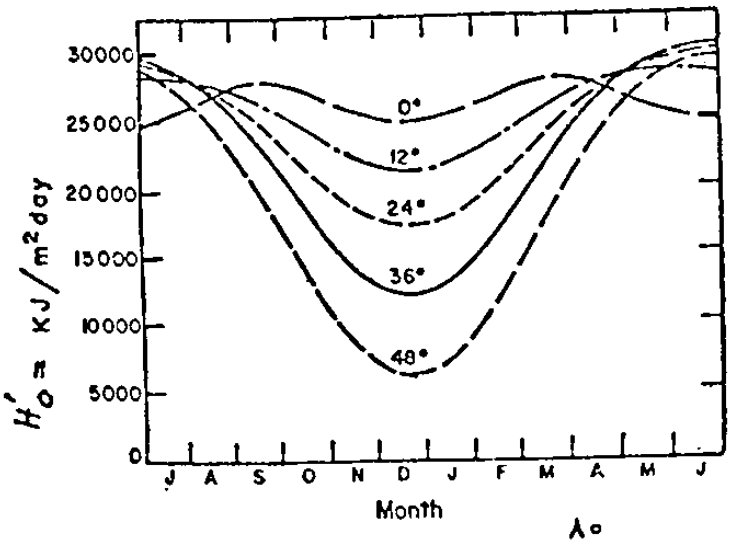
حد متوسط ماهانه کل تابش خورشید بر تهران (Φ = ۳۵/۶۸) به‌وسیله روش اصلاح شده ANGSTROM-TYPE RESSION EQUATION بدست آمده است.

همانطور که گفته شد برای انجام این محاسبه تعیین مقدارهای a و b نیز ضروری است. برای این منظور با استفاده ازجدول شماره۱ شهری که ازنظر موقعیت اقلیمی مشابه تهران است انتخاب شد تا مقدارهای a و b آن منطقه به‌عنوان اولین داده برای فرمول جایگزین شده، و برای بدست آوردن مقدارهای صحیح a و b تهران بارها در فرمول عددگذاری شد تا جوابهای حاصله با داده‌های مرکز هواشناسی تهران در چهار سال [۶] نزدیک گردد.

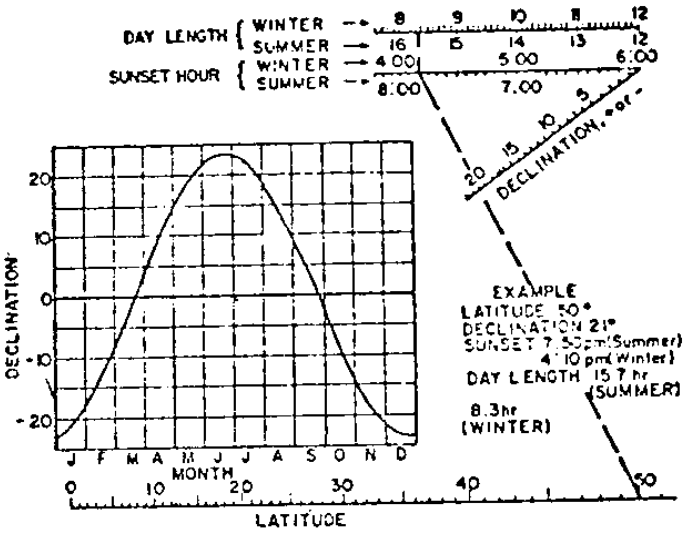
بعد از محاسبات متعدد این حقیقت آشکار شد که برای بدست آوردن نتیجه مطلوب برای مکانهایی که شرایط اقلیمی کاملا" متغیری در طول سال دارند (تهران) بهتر است دو مقدار عددی‌جداگانه برای a داشته باشیم (a_1 برای فصل زمستان: اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس a_2 برای فصل تابستان: آوریل، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر). برای b فقط یک مقدار عددی کافی است.

برای مکانهایی که تغییر فصلهای سال چندان چشمگیر نیست (نواحی جنوبی ایران) یک مقدار عددی برای a و b کافی بنظر می‌رسد. بااستفاده از این روش برای تهران مقدارهای عددی ۰/۲۳، ۰/۳۱ و ۰/۳۰، به‌ترتیب برای a_1 و a_2 و b، بدست آمده است.

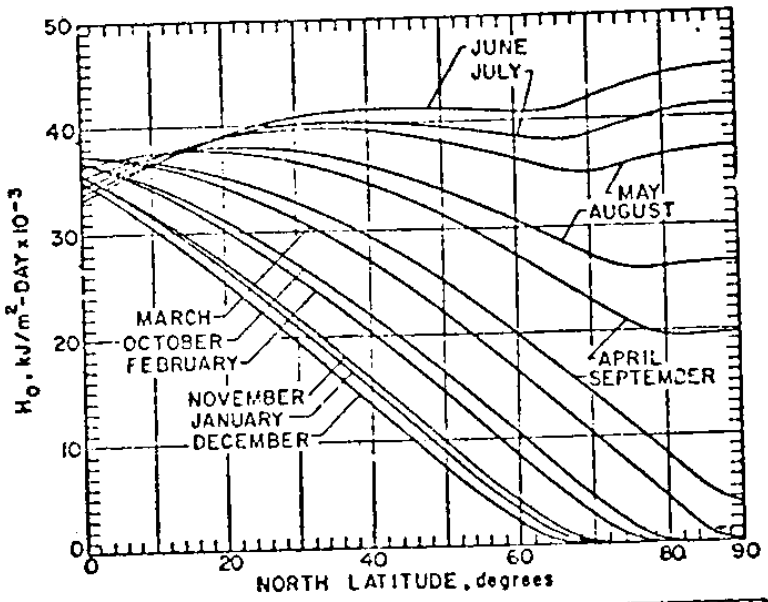
مقایسه نتایج حاصل ازاین روش با نتایج اندازه‌گیری‌شده چهارساله، توسط اداره‌هواشناسی تهران، در شکل ۴ مشاهده می‌شود که حداکثر خطا ۱۳ درصد با استفاده از a_1 و ۹/۷ درصد با استفاده از a_2 و بکار بردن مقدار ثابت b در هر دو مورد وجود دارد.

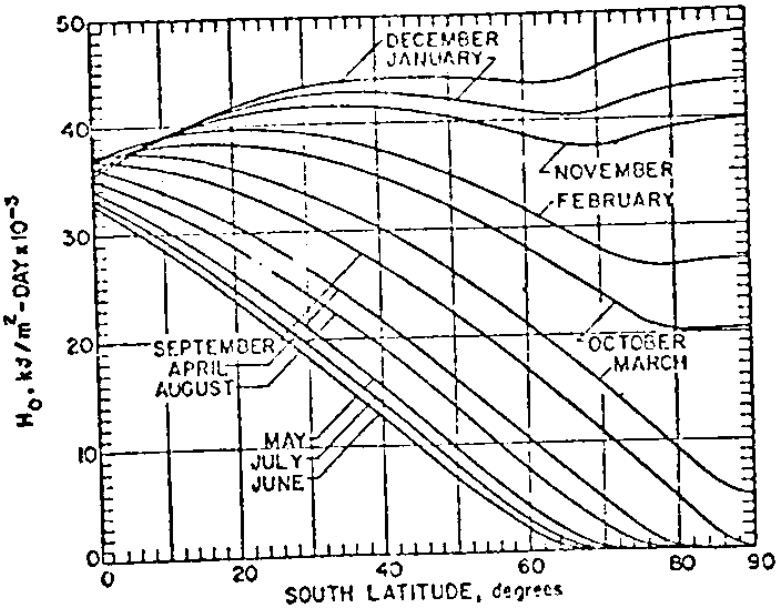


شکل ۱ــ تابش خورشید برروی سطح افقی در روز صاف برای عرضهای مختلف جغرافیایی



شکل ۲ـ نموگرام برای تعیین درازای روز و ساعات غروب آفتاب (تطبیق شده از WHILLIER ۱۹۶۵)





شکل ۳ـ تابش روزانه بر روی سطح افقی خارج از جو زمین برای اواسط ماههای سال

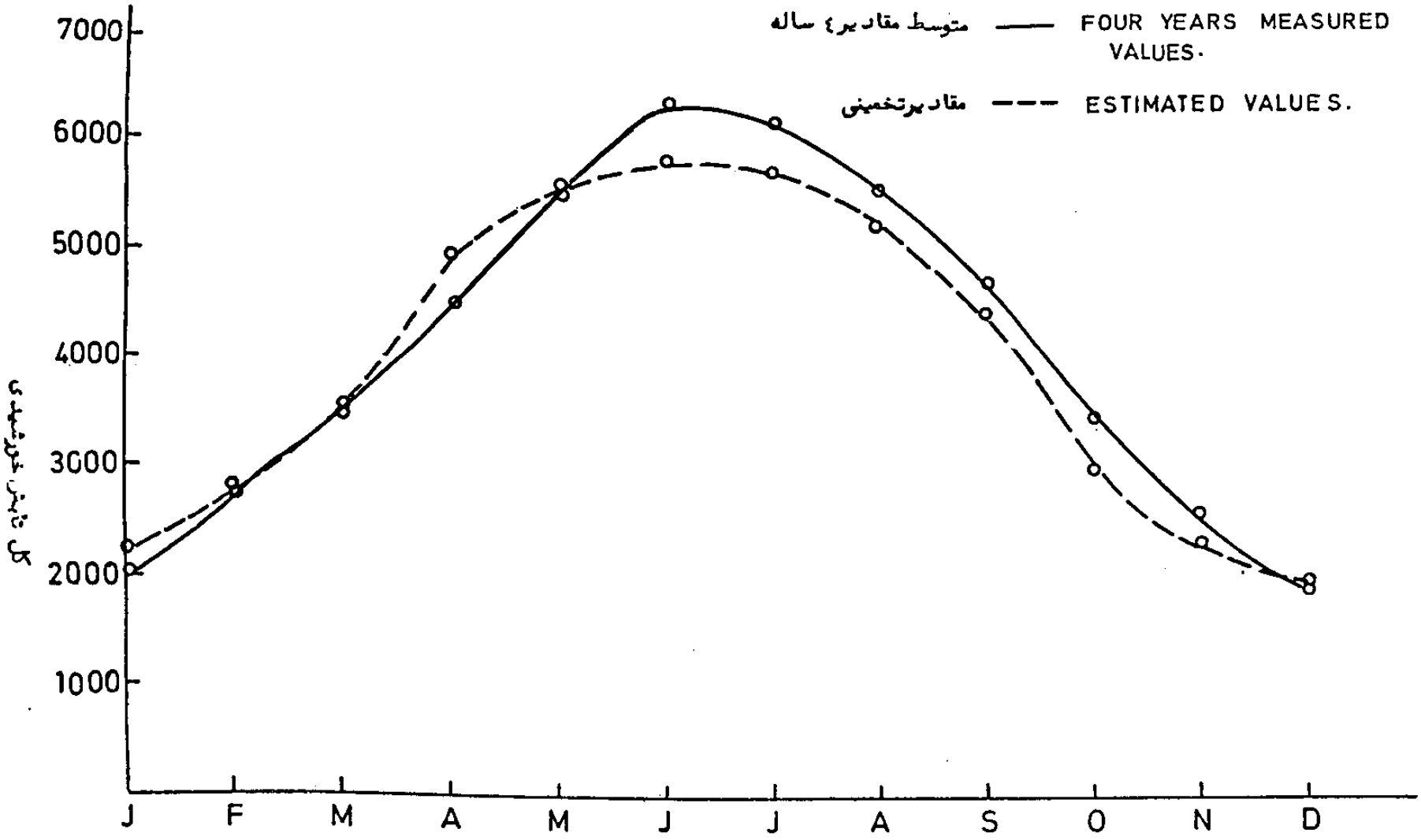

متوسط مقادیر ٤ ساله
FOUR YEARS MEASURED VALUES.
مقادیرتخمینی
ESTIMATED VALUES.
کل تابش خورشیدی
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
J
F
M
A
M
J
J
A
S
O
N
D
MONTHS

Fig (4) شکل (٤)

جدول (۱)

مقدارهای ثوابت اقلیمی a، b برای استفاده در معادلـــه ۲

درصد احتمالی ساعات آفتابی

محـــــــــل		آب‌وهوا*	روئیدنی**	حـدود	مـــوسط	b	a
آلبوکرک، نیومکزیکو	(ALBUQUERQUE, N.M.)	BS-BW	E	۸۵–۶۸	۷۸	۰/۳۷	۰/۴۱
آتلانتا، جورجیا	(ATLANTA, GA.)	CF	M	۷۱–۴۵	۵۹	۰/۲۶	۰/۳۸
بلوهیل، ماساچوست	(BLUE HILL, MASS)	DF	D	۶۰–۴۲	۵۲	۰/۵۰	۰/۲۲
برانزویل، تگزاس	(BROWNS VILLE, TEX)	BS	GDSP	۸۰–۴۷	۶۲	۰/۳۱	۰/۳۵
بوئنوس‌آیرس، آرژانتین	(BUENOSAIRES, ARG)	CF	G	۶۸–۴۷	۵۹	۰/۵۰	۰/۲۶
چارلستون، کرولا پنا	(CHARLESTON, S.C)	CF	E	۷۵–۶۰	۶۷	۰/۰۹	۰/۴۸
دارین، منچوری	(DARIEN, MAN.)	DW	D	۸۱–۵۵	۶۷	۰/۲۳	۰/۳۶
ال‌پاسو، تگزاس	(ELPASO, TEX)	BW	DSI	۸۸–۷۸	۸۴	۰/۲۰	۰/۵۴
رالی، نوادا	(ELY, NEVADA)	BW	BZI	۸۹–۶۱	۷۷	۰/۱۸	۰/۵۴
هامبورگ، آلمان	(HAMVURG, GERMANY)	CF	D	۴۹–۱۱	۳۶	۰/۵۷	۰/۲۲
هونولولو، هاوایی	(HONOLULU, HAWAII)	AF	G	۷۷–۵۷	۶۵	۰/۷۳	۰/۱۴
مدیسون، ویسکانسین	(MADISON, WISCONSIN)	DF	M	۷۲–۴۰	۵۸	۰/۳۴	۰/۳۰
مالانژ، آنگولا	(MALANGE, ANCOLA)	AW-BS	GD	۸۴–۴۱	۵۸	۰/۳۴	۰/۳۴
میامی، فلوریدا	(MIAMI, FLA.)	AW	E-GD	۷۱–۵۶	۶۵	۰/۲۲	۰/۴۲
نیس، فرانسه	(NICE, FRANCE)	CS	SE	۷۶–۴۹	۶۱	۰/۶۳	۰/۱۷
پونا، هندوستان	(POONA, INDIA)	AM	S	۴۹–۲۵	۳۷	۰/۵۱	۰/۳۰
" "	(MONSOON DRY SEASON)		فصل خشک موسمی	۸۹–۶۵	۸۱	۰/۳۴	۰/۴۱
استانلی‌ویل، کنگو	(STANLEY VILLE, CONGO)	AF	B	۵۶–۳۴	۴۸	۰/۳۹	۰/۲۸
تامن‌راست، الجزایر	(TAMANRASSET, ALGERIA)	BW	DSP	۸۸–۷۶	۸۳	۰/۴۳	۰/۳۰

شرح نشانه ها در جدول ۱

* رده‌بندی اقلیمی برپایه نقشهٔ اقلیمی تروارســـا (TREWARTHA) در ۱۹۶۱ و ۱۹۵۴.
انواع آب و هوا عبارتند از :

AF : آب و هوای جنگلی گرمسیری، همیشه مرطوب، بارانی در طول سال

AM : آب و هوای جنگلی گرمسیری، بارانهای موسمی، فصل خشک ولی کوتاه، بارانهـــای کافی جنگلی

AW : آب و هوای جنگلی‌گرمسیری، زمستان خنک

BS : آب و هوای جلگه‌ای یا نیمه خشک

BW : آب و هوای صحرایی یا خشک

CF : آب و هوای جنگلی نیمه گرمسیری، همیشه مرطوب. باران در طول سال

CS : آب و هوای جنگلی نیمه گرمسیری، زمستان خشک

DF : آب وهوای جنگلی برفی کم گرم، زمستان خشک

** رده‌بندی رویشی برپایه نقشه کچلر (KUCHLER) . انواع رویشی عبارتند از:

B : درختان همیشه سبز (بی‌خزان) برگ پهن

BZI : بوته‌های همیشه سبز، حداقل ارتفاع ۳ فوت که تنها یا گروهی می‌رویند

D : درختان کم‌عمر (باخزان) برگ پهن

DSI : بوته‌های کم‌عمر برگ پهن، حداقل ارتفاع ۳ فوت، گیاهان باندازه کافی از یکدیگر فاصله دارند

DSP : بوته‌های کم‌عمر برگ پهن، حداقل ارتفاع ۳ فوت که تنها یا گروهی می‌رویند

E : درختان همیشه سبز برگ سوزنی

G : علف یا سایر گیاهان شبیه به علف (ساقه نازک)

GD : علف یا سایر گیاهان شبیه به علف (ساقه نازک) درختان کم عمر برگ پهن

GDSP : علف یا سایر گیاهان شبیه به علف (ساقه نازک) .بته‌های کم‌عمر برگ پهن، حداقل ارتفاع ۳ فوت که تنها یا گروهی می‌رویند

M : مخلوط ــ درختان کم‌عمر برگ پهن و درختان همیشه سبز برگ سوزنی

S : کم‌عمر متوسط ــ درختان همیشه سبز برگ پهن و درختان کم‌عمر برگ پهن

SE : کم‌عمر متوسط ــ درختان همیشه سبز برگ پهن و کم عمر برگ پهن. درختان همیشه سبزبرگ سوزنی

REFERENCES :

1. FARRINTON DANIELS, DIRECT USE OF THE SUN'S ENERGY. YALE UNIVERSITY PRESS, NEW HAVEN (1974).

2. JOHN L. YELLOTT, ENERGY PRIMER, SOLAR RADIATION AND IT'S USES ON EARTH. FRICKE-PARKS PRESS, FREMONT (1974).

3. J.A. DUFFIE AND W.A. BECKMAN, SOLAR ENERGY THERMAL PROCESSES. WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, NEW-YORK (1974).

4. A.B. MEINEL AND M.P. MEINEL, APPLIED SOLAR ENERGY. ADDISON-WESLEY PRESS READING, MASSACHUSETTS (1977).

5. A.A. FLOCAS, ESTIMATION AND PREDICTION OF GLOBAL SOLAR RADIATION OVER GREECE. SOLAR ENERGY 24, 63-70 (1980).

6. M. DANESHYAR AND S.N. ALAVIZADEH, A THEORETICAL METHOD FOR THE PREDICATION OF THE MEAN MONTHLY DIRECT, DIFFUSE AND TOTAL SOLAR RADIATION FOR IRAN.

ضمیمـــــــه :

یک برنامه کامپیوتری به منظور محاسبه حد متوسط کل تابش خورشید بر روی سطح افقی با استفاده از معادلهٔ انگستروم نوشته شده است که برای بکار بردن این برنامه کافی است که استفاده کننده عرض جغرافیایی محل مورد نظر و نیز ثوابت اقلیمی را داشته باشد. چنانچه ثوابت اقلیمی محل مورد نظر تاکنون محاسبه نشده باشد، برای تسریع در وقت محاسبه می‌توان با استفاده از جدول (۱) {تشابه اقلیمی} مقادیر تقریبی ثوابت را بکار برد آنگاه با مقایسه نتایج حاصل با نتایج تجربی اندازه گرفته شده، مقادیر اصلی ثوابت اقلیمی را برای محل مورد نظر محاسبه کرد.

```
      PROGRAM HAAMED (INPUT,OUTPUT)
      REAL NAH, ISC
      READ 100, PHI,A,B
  100 FORMAT (F5.2,2F4.2)
      PRINT 99
   99 FORMAT (1H1,9X,*ESTIMATION OF THE MONTHLY AVERAGES OF TOTAL*,/
     +/,9X,*SOLAR RADIATION ON A HORIZONTAL SURFACE BY MODIFICATION OF*,
     +//,9X,*ANGSTROM-TYPE REGRESSION EQUATION METHOD BY PAGE.*,/
     +/,9X,*PHI = LATITUDE DEGREE (NORTH POSITIVE).*,/
     +/,9X,*ISC = SOLAR CONSTANT, 1163.64 KCAL PER SQ METER PER HOUR.*,
     +//,9X,*ND = DAY OF THE MONTH.*,/
     +/,9X,*J = DAY OF THE YEAR ( J = 1, FIRST OF JANUARY ).*,/
     +/,9X,*WS = SUNRISE HOUR ANGLE DEGREE.*,/
     +/,9X,*DELTA = DECLINATION DEGREE.*,/
     +/,9X,*AN = DAILY HOURS OF BRIGHT SUNSHINE FOR THE LOCATION IN *,/
     +/,9X,*THE QUESTION.*,/
     +/,9X,*ANMAX = MAXIMUM DAILY HOURS OF BRIGHT SUNSHINE FOR THE *,/
     +/,9X,*SAME PERIOD.*,/
     +/,9X,*A = CONSTANT.*,/
     +/,9X,*B = CONSTANT.*,/
     +/,9X,*AHI = RADIATION OUTSIDE OF THE ATMOSPHERE FOR THE SAME*,/
     +/,9X,*LOCATION KCAL PER SQ METER PER DAY.*,/
     +/,9X,*AVEH = MONTHLY AVERAGE TOTAL SOLAR RADIATION KCAL PER SQ*,/
     +/,9X,*METER PER DAY.*)
      ISC=1163.64
      NI=1
      DO 1 N2=30,360,30
      PI=355./113.
      CF=PI/180.
      CF1=1./CF
      ANMAX=0.0
      ANA2=0.0
      AH2=0.0
      ND=0
      PRINT 101
  101 FORMAT ( 1H1,9X,*ND*,5X,*AN*,6X,*DELTA*,6X,*WS*,12X,*AH1*)
```

```
 DO 2 J = N1,N2
 DELTA=23.45*SIN(((360.)*((284.+J)/365.))*CF)
 WSI=ACOS((-1.)*(TAN(PHI*CF))*(TAN(DELTA*CF)))
 WS=WSI*CF1
 AN=(WS)*(2.)/15.
 ANA2=AN+ANA2
 AHI=(24./3.141)*ISC*(1.+(.033*COS((360.*J/365.)*CF)))*((COS(PHI*
+CF)*COS(DELTA*CF)*SIN(WS*CF))+(((2.*3.141*WS)/360.)*SIN(PHI*CF)
+*SIN(DELTA*CF)))
 AH2=AH1+AH2
 NAH=IFIX(AH1)
 ND=ND+1
 PRINT 102,ND,AN,DEKTA,WS,NAH
 FORMAT(9X,I3,3X,F5.2,4X,F6.2,4X,F6.2,7X,F7.0)
 ANMAX=AMAX1(AN,ANMAX)
 CONTINUE
 H=AH2/30.
 ANA=ANA2/30.
 D = ANA/ANMAX
 AVEH=(H)*((A)+((B)*(D)))
 NAVEH=IFIX(AVEH)
 PRINT 103
 FORMAT(15X,*ANMAX*,22X,*AVEH*)
 PRINT 104,ANMAX,NAVEH
 FORMAT(15X,F5.2,22X,I4)
 N1=N2+1
 CONTINUE
 STOP
 END
```

تشکـــــر :

بدینوسیله از آقای دکتر محمدرضا اسکندری سرپرست بخش مهندسی به خاطر همکاریشان در تنظیم این مقاله قدردانی می‌شود .

ABSTRACT

To obtain solar flux intensity, solar radiation measuring instruments are the best. In the absence of instrumental data there are other meteorological measurements which are related to solar energy and also it is possible to use empirical relationships to estimate solar flux intensity [1 - 5] . One of these empirical relationships to estimate monthly averages of total solar radiation on a horizontal surface is the modified angstrom-type regression equation [1,3] which has been employed in this report in order to estimate the solar flux intensity on a horizontal surface for Tehran.

By comparing the results of this equation with four years measured valued by Tehran's meteorological weather station [6] , the values of meteorological constants (a,b) in the equation were obtained for Tehran.