دراسة وتحليل الإشعاع الشمسي على سطح أفقي بالجماهيرية (نتائج أولية)*

المدني أبو القاسم دخيل ، يوسف مولود حسن ، أميمة محمد الفوراوي*

1- مقدمـــة

من المهم توفر بيانات عن الإشعاع الشمسي في موقع معين حتى يمكن الإستفادة منها في تصميم المنظومات والأجهزة الشمسية وهذا يتطلب معلومات كافية عن مميزات وخصائص الإشعاع الشمسي في الموقع المراد استخدام المنظومة الشمسية فيه، وللسبب الذي ذكر أعلاه، تزايد الاهتمام بدراسة الطاقة الشمسية وتطبيقاتها بالجماهيرية واصبح من الضروري دراسة الإشعاع الشمسي المقاس عمليا خلال السنة وتحليله.

تتوفر لدينا بيانات للإشعاع الشمسي الكلي (global solar radiation) اليومية والمتوسطات الشهرية لها وفترة سطوع الشمس (sunshine duration) المقاسة لمدة سبع سنوات للفترة من 1981 إلى 1987 لخمس عشرة محطة [1] (الخريطة شكل 1).

وحيث أن مناخ الجماهيرية ينقسم إلى خمسة أنواع: متوسطي وشبه متوسطي ، جبلي ، شبه صحراوي وصحراوي وهو المناخ الغالب وعليه تم اختيار خمس مناطق من الخمس عشرة السابق ذكرها لتمثيل الجماهيرية طرابلس وشحات في الشمال ، هون في الوسط ، الكفرة وغات في الجنوب . يوضح الجدول (1) الموقع الجغرافي لهذه المناطق.

2. طرق التقدير:

المعدل الشهري للقيم اليومية للإشعاع الشمسي خلوج الغلاف الجوي $\overline{H}_O$ بالإضافة إلى طول النهار $\overline{N}$ متغيرات غاية في الأهمية عند تقدير قيم الإشعاع الكلي أو المنتشر في موقع معين. ويمكن حساب المعدل الشهري للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي من المعادلة [2] :

$$\overline{H}_O = \frac{1}{m_2 - m_1} \sum_{n=m_1}^{m_2} (H_o)_n \quad (1)$$

حيث m_2, m_1 هما يوما السنة عند بداية ونهاية الشهر ، $(H_o)_n$ الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي لليوم n من السنة والذي يمكن حسابه من المعادلة [2] :

* كلية العلوم – جامعة الفاتح ★ ورقة مقدمة في الندوة العلمية حول الطاقة الشمسية 25-1999/50/26 براك – الجماهيرية

$$(H_o)_n = \frac{24}{\pi} I_{sc} E_o \left(\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\phi \sin\delta \right) \quad (2)$$

حيث I_{sc} هو الثـــابت الشمســـي ، solar constant و

[5] $I_{sc}=1367 W/m^2$

$$E_o = 1 + 0.033 \cos(360n / 365)$$

n يوم السنة المراد حساب H_o له ، ϕ خط عرض المنطقة و δ زاوية الميلان التي يمكن حسابها من المعادلة [4]:

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

ω_s زاوية ساعة الغروب (Sunset hour angle) وتساوي:

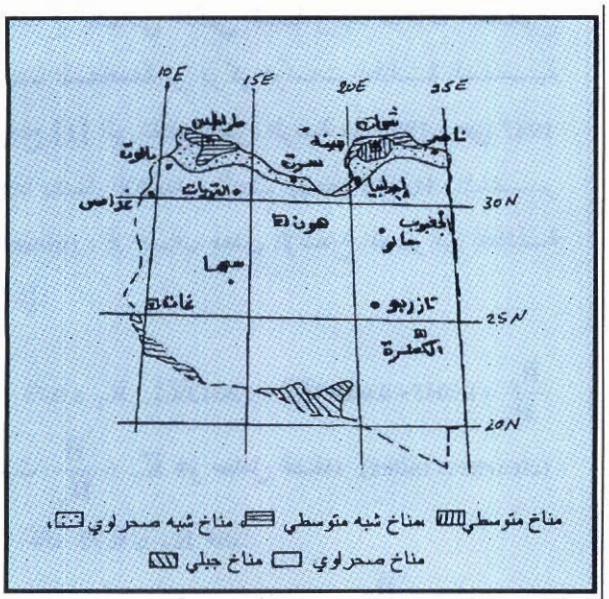
$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (4)$$

بينما يحسب طول النهار N من المعادلة:

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan\phi \tan\delta] \quad (5)$$

وتم تطوير برنامج حاسوبي بلغـــة الفورتـــران لإجـــراء الحسابات اللازمة.

نموذج انجلستروم [3] من ابســـط واكـــثر النمـــاذج استخداما لتقدير المعدل الشهري للقيم اليومية (monthly average daily) للإشعاع الكلي [6 — 10].



شكل (1)

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_o}} = a + b\frac{\overline{n}}{\overline{N}} \quad (6)$$

حيث a , b ثوابت يمكن حسابها بالتعويض عن قيم $\overline{H}$ ، $\overline{n}$ المقاسة وقيم $\overline{H_o}$ ، $\overline{N}$ من المعادلتين (2) ، (5) ومن ثم يتم التعويض بقيم a , b الشهرية مرة والمتوسطات السنوية لها في المعادلة (6) مرة أخرى للحصول علـــى معـــادلات خاصة بالمناطق يمكن بواسطتها حساب $\overline{H}$ في حال عـــدم توافرها .

3. تحليل البيانات:

كما أشير سابقا تم الحصول علـــى البيانـــات اليوميـــة

جدول رقم (1) المحطات المختارة وموقعها الجغرافي

المحطة	الارتفاع (متر)	خط الطول	خط العرض	المناخ
شحـــات	626	21°49/	32°49/	متوسطي
طرابلس	30	13°11/	32°54/	شبه متوسطي
هـــون	265	15°57/	29°08/	صحراوي
الكفـــرة	408	23°19/	24°13/	صحراوي
غـــات	699	10°10/	14°57/	صحراوي

الإشعاع الشمسي الكلي المقاسة وعدد ساعات السطوع للمدن المستخدمة من مركز دراسات الطاقة الشمسية مرجع [1] التي تغطي الفترة الزمنية من 1981 وحتى 1987 وهذا يشمل الإشعاعين المنتشر H_d (diffused) والمباشر (direct) ، ثم حساب معدل الإشعاع المنتشر من المعادلة [14]:

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1.0045 + 0.04349\overline{K}_T^2 + 2.6313\overline{K}_T^3, \quad \overline{K}_T \le 0.75 \quad (7,a)$$

حيث $\overline{K}_T = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_o}$ هو معامل الصفاء (clearness index)

إذا كان $\overline{K}_T \le 0.75$ فان:

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 0.166\overline{K}_T \quad (7,b)$$

في حين أن معدل الإشعاع المباشر يمكن حسابه من المعادلة:

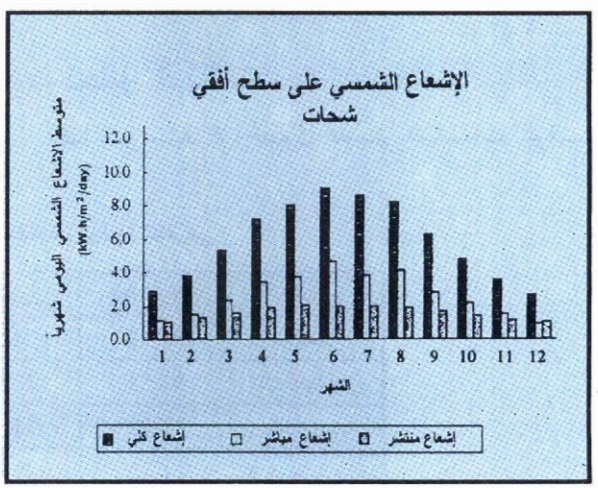
$$\overline{H}_b = \overline{H} - \overline{H}_d \quad (8)$$

4. النتائج والمناقشة:

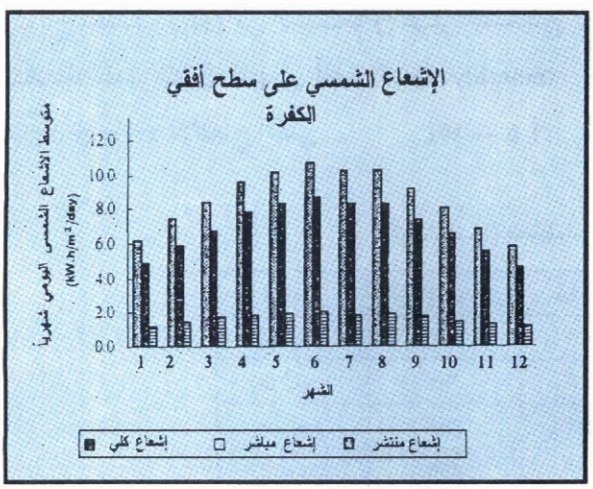
تم رسم هيستوغرامات (Histograms) (مخطط درجي) باستخدام بيانات الإشعاع الشمسي [1] الإشعاع الشمسي بأنواعه الثلاثة : الكلي والمباشر والمنتشر للمحطات الخمس ويوضح الشكل (2) والشكل (3) هذا التوزيع لمدينتي شحات والكفرة على التوالي كمثال في حين أن الجدول (2) يبين القيم العظمى والصغرى والمعدل اليومي للإشعاع الشمسي بأنواعه.

مما تقدم يتضح بشكل عام ارتفاع قيم الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي طول السنة بالمدن الصحراوية و بشكل خاص خلال الأشهر مايو و يونيو ويوليو بينما ينخفض في يناير وديسمبر حيث يظهر الانخفاض واضحا بالمدن الساحلية باعتبار أن المدن الخمس المستخدمة تمثل الجماهيرية جغرافيا ويتضح أن المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي يتغير من $4.236 kW.h/m^2/day$ إلى 9.934 خلال السنة أي أن المتوسط الإجمالي السنوي لكمية الإشعاع الشمسي التي تصل الجماهيرية $2.695 MW.h/m^2$ أما عن الإشعاع المنتشر فقيمته السنوية حوالي $0.577 MW.h/m^2$ وهذا ما يعادل 21% من الإشعاع الكلي الذي يصل سطح الأرض.

الجدير بالذكر هنا أن مدينة شحات تمتاز بارتفاع نسبة الإشعاع المنتشر بها خلال السنة عن المناطق الأخرى مقارنة



شكل (2)



شكل (3)

جدول رقم (2) أقصى وأقل قيمة للإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي والمعدل الشهري له (كمتوسط للفترة من 1981–1987) للمحطات الخمس المختارة (بوحدات كيلوات.ساعة/م^2.يوم)

المدينة		نوع وقيمة الإشعاع		
		H_o	H_b	H
طرابلس				
	دنيا	0.93	2.40	3.19
	قصوى	1.99	7.90	9.88
	متوسط	1.50	5.47	6.41
شحات				
	دنيا	1.00	1.62	2.61
	قصوى	1.97	7.09	9.06
	متوسط	1.55	4.29	5.84
هون				
	دنيا	1.07	3.50	4.57
	قصوى	2.12	8.70	10.82
	متوسط	1.62	6.34	7.96
غات				
	دنيا	1.11	3.95	5.03
	قصوى	3.95	7.65	9.60
	متوسط	1.59	6.02	7.60
الكفرة				
	دنيا	1.18	4.60	5.60
	قصوى	2.01	8.68	10.69
	متوسط	1.64	8.22	8.58

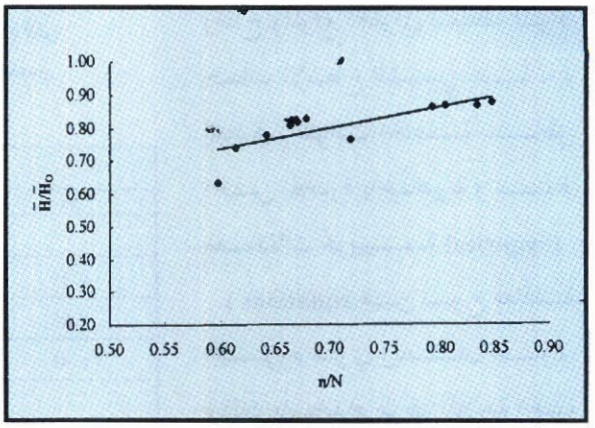
بالإشعاع الكلي إذ تصل نسبته كمعدل سنوي إلى 26% من الإشعاع الكلي (ترتفع هذه النسبة إلى 38% شتاء بسبب الغطاء السحابي) على الرغم من أن كميته إجمالا هي اقل من كمية الإشعاع المنتشر في المناطق الصحراوية كمنطقة غات ومنطقتي هون والكفرة التي ترتفع فيها كمية الإشعاع المنتشر خصوصاً خلال الصيف مقارنة بالمناطق الساحلية وذلك بسبب ارتفاع كمية الإشعاع الكلي.

قام العديد من الباحثين بحساب بعض القيم للثابتين a , b [11–13] وبما أن هذه الثوابت تتحدد حسب طبيعة ومناخ والموقع الجغرافي للمنطقة المراد حساب الإشعاع الشمسي بها ، تم إيجاد قيم الثوابت الخاصة بالمناطق الخمس المختارة بالجماهيرية واستنباط معادلات تجريبية (empirical equations) من نوع معادلة انجلستروم سنوي ونصف سنوي وذلك باستخدام طريقة الملاءمة الخطية (linear least square fitting) للنسب $\frac{\overline{H}}{\overline{H_o}}$ و $\frac{\overline{n}}{\overline{N}}$ التي تم حسابها من البيانات المسجلة للقيم الشهرية لفترة السطوع و الإشعاع الشمسي الكلي كمتوسط للفترة 1981، 1987 والقيم المحسوبة للمعدل الشهري لطول النهار والمعدل الشهري للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي والأشكال (6،5،4) توضح النتائج المتحصل عليها لمدينة طرابلس كمثال لبقية المدن الأخرى مع حساب R^2 لها.

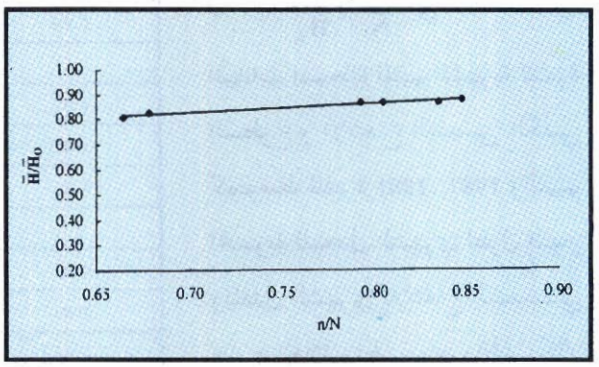
من الشكل (4) تم الحصول على معادلة تجريبية سنوية تمكننا من حساب المعدل الشهري للإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي لمدينة طرابلس والمناطق القريبة منها و هي:

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_o}} = 0.3625 + 0.6212\frac{\overline{n}}{\overline{N}}, \quad R^2 = 0.628 \qquad (9)$$

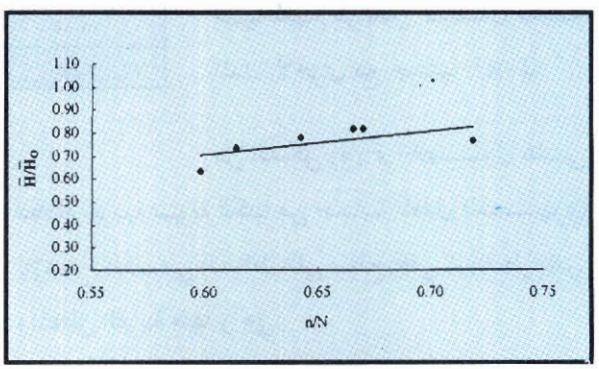
للحصول على نتائج اكثر دقة ،قسمت السنة إلى نصفين نصف صيفي من أبريل حتى سبتمبر وهي الأشهر ذات الإشعاع الشمسي المرتفع التي يتميز جوها بالصفاء نسبيا



شكل (4)



شكل (5)



شكل (6)

والمعادلة المميزة لمدينة طرابلس في هذه الفترة من الشكل (5) هي:

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_o}} = 0.5978 + 0.3258\frac{\overline{n}}{\overline{N}}, \quad R^2 = 0.912 \qquad (10)$$

وباستخدام هذه المعادلة نتمكن من الحصول على نتائج اكثر دقة من تقدير الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي خلال الأشهر الحارة. والنصف الآخر شتوي من أكتوبر حتى مارس والمعادلة المميزة لمدينة طرابلس في هذه الفترة من الشكل (6) هي:

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_o}} = 0.0898 + 1.0281\frac{\overline{n}}{\overline{N}}, \quad R^2 = 0.4156 \qquad (11)$$

يوضح الجدول (3) قيم الثابتين a, b للمناطق الخمس تحت الدراسة لكامل السنة وللنصفين الصيفي والشتوي بالإضافة لقيم a, b لكامل الجماهيرية.

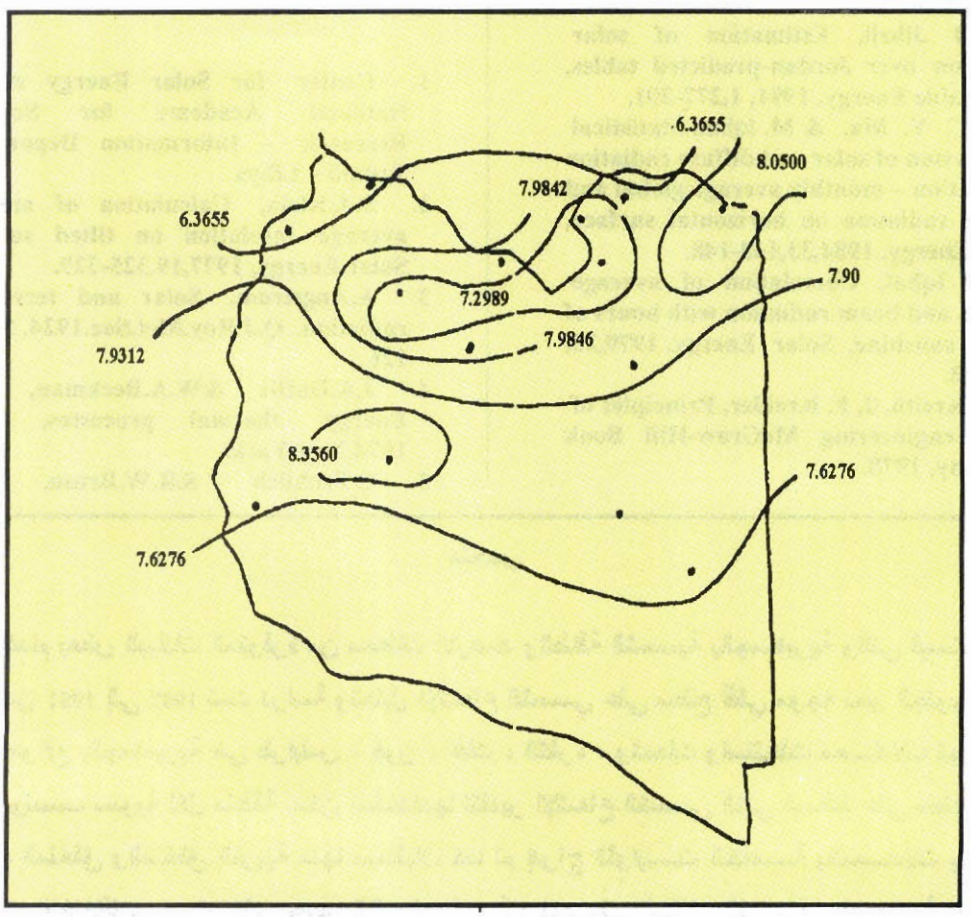
يمكن أيضا استخدام هذه المعادلات بالإضافة للبيانات المقاسة لرسم خرائط كونتورية تمر بالمناطق ذات قيم الإشعاع الشمسي الكلي المتساوية شهريا أو سنويا وكمثال الخريطة (7) تبين توزيع المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي على الجماهيرية

5. الاستنتاجات:

1. تم الحصول على مجموعة من المعادلات التجريبية سنوية ونصف سنوية تمكننا من تقدير قيم الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي شهريا لمناطق مختلفة بالجماهيرية ونعتقد أن هذه المعادلات تعطي نتائج جيدة نظرا للتوزيع الجغرافي للمحطات الخمس الذي يغطي كامل الجماهيرية.
2. من الجدول (3) نلاحظ أن قيم الثابت a تزداد كلما اتجهنا جنوبا والعكس صحيح بالنسبة للثابت b.
3. بناء على هذه المعادلات والبيانات المسجلة عمليا تم وضع الخطوط الكونتورية للإشعاع الشمسي على خريطة الجماهيرية لبيان توزيع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي.

جدول رقم (3) قيم الثابتين a,b بالإضافة لـ R^2 للمناطق الخمس المختارة للجماهيرية

المدينة	طول السنة			أبريل-سبتمبر			أكتوبر-مارس		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
الكفرة	0.5772	0.4126	0.4923	0.7332	0.2343	0.3278	0.4285	0.5886	0.6165
هون	0.5520	0.4391	0.4754	0.7508	0.2224	0.5237	0.5980	0.3475	0.2839
غات	0.4847	0.3665	0.0560	0.6407	0.2474	0.2961	0.9223	0.1134	0.0121
طرابلس	0.3625	0.6212	0.6280	0.5978	0.3258	0.9613	0.0898	0.0281	0.4156
شحات	0.2132	0.6869	0.8590	0.4676	0.3633	0.5564	0.2352	0.6303	0.6075
ليبيا	0.4468	0.503	0.6377	0.6481	0.2644	0.8257	0.2839	0.7147	0.4176



شكل (7) المعدل السنوي للاشعاع الشمسي في الجماهيرية كمتوسط من الفترة 1981 - 1987

4. لابد من الأخذ في الاعتبار التغيرات المناخية في المنـــاطق المختلفة كدرجة الحرارة والرطوبة والغطاء السحابي وغيرها من المتغيرات الجوية والبيئية الأخرى حتى يمكن الحصـــول على نتائج اكثر دقة وهذا ما نأمل عمله مستقبلا.

شكر:

نتقدم بجزيل الشكر لمركز دراســـات الطاقـــة الشمســـية بطرابلس والأستاذ الدكتور صالح أبوغريس ، والأســـتاذ الدكتور محمد المنتصر والأستاذ علي محمد فارس على مـــا قدموه من مساعدة.

المراجع:

1. Center for Solar Energy studies, National Academy for Scientific Research – Information Department, Tripoli – Libya.
2. S.A.Klein, Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces, Solar Energy, 1977,19,325-329.
3. A.Angstrom, Solar and terrestrial radiation, Q.J.Roy.Met.Soc.1924, 50,121-126.
4. J.A.Duffie &W.A.Beckman, Solar Energy thermal processes, Wiley, 1974,New York.
5. C.Frohlich &R.W.Brusa, Solar radiation variation in time. Sol. Phys., 1981,74,209.
6. M.A. Asaad Characteristic distribution of global solar radiation for Amman, Jordan, Solar & Wind, 1990,7,261-266.
7. M. Hamdan and A. Al-Sayeh, Diffuse and global solar radiation correlation for Jordan, Int.J. Solar Energy, 1991,10,145-154.
8. A. A. Flocas, Estimation and prediction of global solar radiation over Greece, Solar Energy, 1980,24,63-70.
9. A. A. Sfeir, Solar radiation in Lebanon, Solar Energy, 1981,26,497-502.
10. K. K. Gopinathan, The distribution of global and sky radiation throughout Lesotho, Solar Wind Technol. 1988,5,103-106.
11. Ziad Jibril, Estimation of solar radiation over Jordan-predicted tables, Renewable Energy, 1991, 1,277-291.
12. C. C. Y. Ma, & M. lqbal, Statistical comparison of solar and diffuse radiation correlation – monthly average global and diffuse radiation on horizontal surface, Solar Energy, 1984,33,143-148.
13. M. Iqbal, Correlation of average diffuse and beam radiation with hours of bright sunshine, Solar Energy, 1979,23, 169-173.
14. F. Kreith, J, F. Kreider, Principles of solar engineering McGraw-Hill Book company, 1978.

ملخص

باستخدام بعض البيانات المتوفرة من محطات الارصاد والطاقة الشمسية بالجماهيرية والتي قيست فـــي الفترة من 1981 إلى 1987 تمت دراسة وتحليل الإشعاع الشمسي على سطح أفقي موجه نحو الجنوب فـــي خمسة مواقع بالجماهيرية هي طرابلس ، هون ، غات ، الكفرة ، وشحات واستنبطت معـــادلات تجريبيـــة سنوية ونصف سنوية لكل منطقة يمكن استخدامها لتقدير الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقـي في هذه المناطق والمناطق القريبة منها مستقبلا، كما تم إدراج الثوابـــت الخاصـــة بالمعـــادلات بجـــدول ونوقشت الاختلافات بين المناطق حسب الظروف البيئية وبناء على البيانات المسجلة والمحسوبة تم رسـم خطوط كونتورية على خريطة الجماهيرية لبيان توزيع الإشعاع الشمسي بها.