

## معايرة كفاءة نموذج Hargreaves-Samani في تقدير المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي باستخدام مخرجات نموذج CSR ببعض مناطق المملكة العربية السعودية

د. صالح عبد المحسن الشمري



This work is licensed under a  
Creative Commons Attribution-  
NonCommercial 4.0  
International License.

نشر إلكترونيًا بتاريخ: ٢٨ يونيو ٢٠٢٢ م

### الملخص

المتحددة التابع لمركز بحوث الطاقة المتجددة بكولورادو (الولايات المتحدة الأمريكية). ولقد انتهت نتائج قياسات نموذج CSR بنشر أطلس الإشعاع الشمسي للمملكة العربية السعودية الذي تم إنجازه في سنة 1998. وتجدر الإشارة إلى أن الفترة الزمنية لقياسات الإشعاع الشمسي المستخدمة في معايرة تقديرات نموذج Hargreaves-Samani لا تؤثر في طبيعة ونوعية نتائج تحليل التباينات المكانية للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي، لأن هذا الأخير لا يتأثر بعامل الزمن كبقية عناصر المناخ الأخرى. وقد وظفت هذه الدراسة درجات الحرارة اليومية القصوى ( $T_{max}$ ) والدنيا ( $T_{min}$ ) المتاحة بسجلات الرصد اليومي بمجموع 12 محطة مناخية لنفس الفترة المذكورة في تقدير إجمالي

تتناول هذه الدراسة معايرة كفاءة نموذجي (Hargreaves-Samani, 1982) و (Hargreaves-Samani-Annandale, 2002) في تقدير المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي خلال الفترة 1985-1991 باستخدام قياسات نموذج الإشعاع الشمسي المناخي Climatological Solar Radiation (CSR) الذي يعتمد على العديد من خوارزميات المعلومات المناخية والاحصائية المستخدمة في قياس المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي باستخدام عناصر الطقس التي أجزاها معهد بحوث الطاقة لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع المختبر الوطني للطاقة

average of total solar radiation during the period 1985-1991 using the climatological Solar Radiation (CSR) model. The CSR model depends on several climatic and statistical parameter algorithms in measurement of the daily average solar radiation conducted by the Energy Research Institute of King Abdulaziz City for Science and Technology in cooperation and the National Renewable Energy Laboratory of the Renewable Energy Research Center in Colorado (USA). The results of the CSR model measurements were published in the Atlas of Solar Radiation for the Kingdom of Saudi Arabia, which was completed By KACST in 1998. It should be noted that the time period of solar radiation measurements used in calibrating the estimates of the Hargreaves-Samani model does not affect the significance and quality of the results, because the analysis of spatial variations of the daily solar radiation is not affected by the time factor like other climatic variables. This study used the daily maximum ( $T_{max}$ ) and minimum ( $T_{min}$ ) temperatures available in the daily monitoring records of 12 climatic stations for the common

الإشعاع الشمسي اليومي خارج الغلاف الجوي ( $R_a$ ) المحسوب بنموذج (Hargreaves-Samani-) Annandale, 2002. وقد اعتمدت معايرة تقديرات المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي على 3 معايير لفحص كفاءة أداء النموذجين المذكورين وهي فحص التحيز المئوي PBIAS وفحص كفاءة KGE (Kling-Gupta Efficiency) وفحص معامل التفسير  $R^2$  Coefficient of Determination). وكشفت نتائج هذه الدراسة عن حسن كفاءة أداء نموذجي هارقرفز-سماني (H-S Model) و هارقرفز-سماني-أناندال (H-S-A Model) في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بالمحطات المدروسة مقارنة بقياسات نموذج CSR مع تفوق نسبي لنموذج (H-S-A Model) في التقدير وتمثل نتائجها مع قيم نموذج CSR بمحطات الجوف وجده وشرورة ووادي الدواسر.

الكلمات المفتاحية: درجة الحرارة القصوى، درجة الحرارة الدنيا، نموذج هارقرفز-سماني (H-S Model)، نموذج هارقرفز-سماني المطور (H-S-A Model)، نموذج CSR، فحص كفاءة أداء النموذج، المملكة العربية السعودية.

### Abstract

This study deals with calibrating the efficiency of models (Hargreaves-Samani, 1982) and (Hargreaves-Samani-Annandale, 2002) in estimating the daily

## \* المقدمة

تؤكد البحوث العلمية الحديثة بمرور الوقت أن الطاقة الشمسية هي أهم مصدر للطاقة البديلة المتجددة والنظيفة وهي أكثرها ملاءمة للبيئة وللغلاف الجوي. وللمعالجة الاستهلاك المطرد للطاقة التقليدية ما فتى يتنامى كثيراً استغلال الطاقة الشمسية بالدول المتقدمة نظراً للإمكانيات الكبيرة التي تتيحها الطاقة الشمسية كبديل لأنواع الطاقة الأحفورية (البترو، الغاز، الفحم). ومع ذلك يتزايد أيضاً الاهتمام باستغلال الطاقة الشمسية بالدول التي تقع بالنطاقات المدارية الحارة والتي تفتقر إلى موارد طاغوية تقليدية وكذلك بتلك التي تقع بمناطق تضاريسية جبلية وعرة يتعذر تزويدها بالطاقة الكهربائية بسهولة أو أن تزويدها بهذه الطاقة يتطلب تكاليف مالية ومادية كبيرة لا تكون متاحة بكثير من هذه الدول.

ويتطلب استغلال الطاقة الشمسية توفير شبكة من محطات رصد الاشعاع الشمسي وتحليل منظومة توزيعه الجغرافي في الزمن. ونظراً لتعذر توفر محطات رصد وقياس الاشعاع الشمسي في كثير من المناطق بالعالم قام العديد من الباحثين باشتقاق نماذج ومعادلات رياضية لتقدير كمية الاشعاع الشمسي زمنياً ومكانياً بتوظيف العديد من العناصر المناخية كالأمتار ودرجة الحرارة في دراسة (Ghahreman & Bakhtiari, 2009). بمناطق المناخ الجاف وشبه الجاف ودراسة كل من (Chen & Li, 2012) بحوض نهر Yangtze (الصين) ودراسة (Matsuda et al., 2006) بجبال الهمالايا وهضبة

period (1985-1991) in estimating the total daily solar radiation outside the atmosphere ( $R_a$ ) required by the Hargreaves-Samani-Annandale model, 2002. The calibration of the estimated daily average of total solar radiation obtained by the two studied models was based on 3 criteria, which are the PBIAS test, the KGE efficiency test (Kling-Gupta Efficiency) and the  $R^2$  coefficient of determination test. So, the results of this study revealed the good performance of the Hargreaves-Samani (HS Model) and Hargreaves-Samani-Annandale (HSA Model) in estimating the daily average solar radiation in the studied stations compared to the measurements of the CSR model. Therefore, the study results revealed a relative superiority of the (HSA Model) in estimation and its results are similar with the CSR model at Al-Jawf, Jeddah, Sharurah and Wadi Al-Dawasir stations.

**KeyWords:** Maximum temperature, Minimum temperature, Hargreaves-Samani model, Hargreaves-Samani model, CSR model, Model performance efficiency, Saudi Arabia.

نموذجي Hargreaves-Samani

وHargreaves-Samani-Annandale

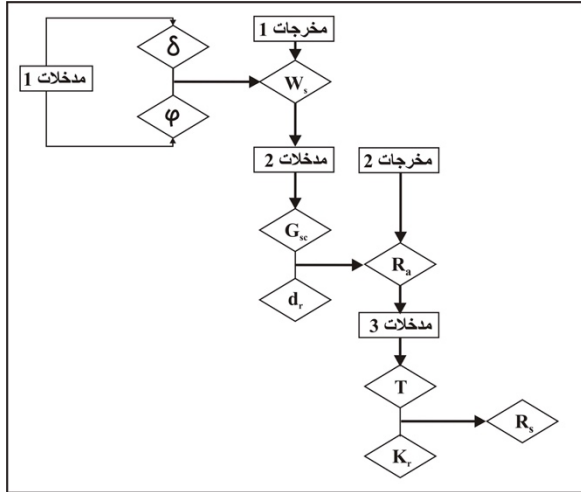
بمجموع اثني عشرة محطة مناخية تمثل مناطق مختلفة من المملكة وهي (أبها 40112) و (الأحساء 40420) و (الجوف 40361) و (القيصومة 40373) و (تبوك 40375) و (مطار الملك خالد بالرياض 40437) و (مطار الأمير نايف بريدة 40405) و (جده 41024) و (المدينة المنورة 40430) و (جازان 41140) و (وادي الدواسر 41061) و (شروهر 41136).

الشكل 1: مدخلات ومخرجات نموذجي Hargreaves-

Samani (أ)

وHargreaves-Samani-Annandale (ب)

لتقدير إجمالي الإشعاع الشمسي



الثبت ودراسة (Sendanayake et al., 2015) ببعض الجزر المدارية ودراسة (Chegaar et al., 1998) عن استخدام عدد ساعات السطوع في تقدير الإشعاع الشمسي بمنطقة البحر المتوسط وشمال إفريقيا.

وفي هذا الإطار توصل Hargreaves وSamani في عام 1982 إلى إيتنباط نموذج رياضي لحساب إجمالي يعتمد على بيانات درجتي الحرارة الدنيا ( $T_{min}$ ) والقصوى ( $T_{max}$ ) وكمية الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي ( $R_a$ ) ودرجة عرض موقع المكان ( $\phi$ ) ومعامل المنطقة ( $K_T$ ) (الشكل 1 أ). وفي عام 2002 طور Annandale هذا النموذج بإدخال عامل ارتفاع موقع المكان (الشكل 1 ب).

وقد اعتمد هذا البحث على معايير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي المحسوب نموذجي Hargreaves-Samani وHargreaves-Samani-Annandale المعروف بالنموذج المطور بتطبيق سلسلة من المعادلات الرياضية المتسلسلة والمتراصة. ولقد تم استخدام البيانات اليومية لدرجات الحرارة للفترة 1985-1991 المناسبة لفترة قياسات الإشعاع الشمسي بواسطة نموذج CSR المتاحة بأطلس الإشعاع الشمسي للمملكة العربية السعودية الذي أنجزه معهد بحوث الطاقة لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع المختبر الوطني للطاقة المتجددة التابع لمركز بحوث الطاقة المتجددة بكولورادو (الولايات المتحدة الأمريكية). وعليه يتناول هذا البحث معايير تقديرات



الجدول 2: القيم المعيارية لمستوى كفاءة نماذج التقدير

نوع الفحص	مستوى كفاءة النموذج		
	PBIAS	KGE	R <sup>2</sup>
PB < ± 10	0.90 < KGE ≤ 1	0.75 < R <sup>2</sup> ≤ 1	جيد جدا
± 10 < PB ≤ ± 15	0.75 < KGE ≤ 0.90	0.65 < R <sup>2</sup> ≤ 0.75	جيد
± 15 < PB ≤ ± 25	0.50 < KGE ≤ 0.75	0.50 < R <sup>2</sup> ≤ 0.65	متوسط
PB < 25	KGE ≤ 0.50	R <sup>2</sup> ≤ 0.50	ضعيف

الجدول 1: إحدائيات المحطات المناخية المستخدمة في

المعايرة

الارتفاع (متر)	خط الطول (شرقاً)	دائرة العرض (شمالاً)	اسم المحطة	رقم المحطة	المنطقة الجغرافية
2093.3	42°39'39"	18°13'59"	أبها	4111 2	المرتفعات الغربية
143.0	49°38'57"	25°25'39"	الأحساء	4042 0	المنطقة الشرقية
357.6	46°07'49"	28°19'08"	القصومة	4037 3	
7.2	42°35'05"	16°53'49"	حازان	4114 0	الساحل الغربي
16.9	39°11'12"	21°42'37"	حدة	4102 4	
653.6	39°41'55"	24°32'53"	المدينة المنورة	4043 0	المنطقة الغربية
668.7	40°05'55"	29°47'19"	الجوف	4036 1	المنطقة الشمالية
768.1	36°36'25"	28°22'35"	تبوك	4037 5	
622.0	45°13'00"	20°30'00"	وادي الدواسر	4106 1	المنطقة الجنوبية
724.7	47°06'24"	17°28'04"	بئر نورة	4113 6	المنطقة الوسطى
613.6	46°43'19"	24°55'31"	مطار الملك خالد (الرياض)	4043 7	
646.7	43°46'03"	26°18'28"	مطار الأمير نايف (بريدة)	4040 5	

المصدر: (وزارة الدفاع والطيران، الرئاسة العامة للأرصاد

وحماية البيئة، المركز الوطني للأرصاد والبيئة)

\* منهجية الدراسة

وتتناول هذه الدراسة تقدير المتوسط اليومي

للإشعاع الشمسي بواسطة:-

1- نموذج (هارقريفز - ساماني) (Hargreaves-

Samani, 1982)

يعتمد هذا النموذج على تطبيق المعادلة التالية:-

$$R_s \text{ (MJ/m}^2\text{/day)} = K_{Rs} (T_{\max} - T_{\min})^{0.5}$$

R<sub>a</sub> (Hargreaves & Samani, 1982)

وفيه يمثل R<sub>s</sub> متوسط إجمالي الإشعاع الشمسي اليومي

وK<sub>R</sub> معامل المنطقة وهو يساوي

0.19 بالنسبة للمناطق الساحلية و0.16 بالنسبة

للمناطق الداخلية.

T<sub>max</sub>: درجة الحرارة اليومية القصوى (م°).

T<sub>min</sub>: درجة الحرارة اليومية الدنيا (م°).

R<sub>a</sub>: إجمالي الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي

(MJ/m<sup>2</sup>/day) وهو يساوي:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} dr [W_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \sin(W_s)]$$

وفيها يمثل:-

G<sub>sc</sub>: الثابت الشمسي ومقداره 0.082

MJ/m<sup>2</sup>/min

dr: معكوس المسافة النسبية بين الشمس والأرض وهو

يساوي:

$$dr = 1 + 0.033 \cos \frac{2\pi J}{365}$$

وفيه يمثل  $\pi$  ثابت مقداره 3.1416 و  $J$  الرقم الجولياني لليوم في السنة.

$W_s$ : زاوية غروب الشمس وهي تساوي :

$$W_s = \text{Cos}^{-1} (-\tan\phi \tan\delta)$$

وفيها يمثل  $\phi$  زاوية عرض موقع المكان و  $\delta$  زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء خلال اليوم وهي تساوي:

$$\delta = 0.409 \text{ Sin} \left[ \left( \frac{2\pi J}{365} \right) - 1.39 \right]$$

٢- نموذج (هارقريفز - سماني - أناندال)

(Annandale et al., 2002)

قام أناندال في عام 2002 بتعديل نموذج هارقريفز-سماني بإدخال عامل ارتفاع موقع المكاني حساب إجمالي الاشعاع الشمسي بتطبيق المعادلة التالية:

$$10^{-x} R_s (\text{MJ/m}^2/\text{day}) = K_{R_s} (1 + 2.7 Z^5) (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} R_a$$

وفيها  $Z$  ارتفاع موقع المكان (متر).

ويعتمد تطبيق هذين النموذجين على قيم الزوايا نصف القطرية (Radians).

ولقد تمت معايرة كفاءة أداء هذين النموذجين في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بواسطة ثلاثة فحوص هي:-

١- فحص معامل التفسير (التحديد)  $R^2$  Coefficient of determination بتطبيق

المعادلة التالية:-

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(Q_{io} - Q'_o)(Q_{is} - Q'_s)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{io} - Q'_o)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{is} - Q'_s)^2}$$

وفيها يمثل  $Q_{io}$  القيمة المقاسة و  $Q'_o$  متوسط القيم المقاسة و  $Q_{is}$  القيمة المحسوبة و  $Q'_s$  متوسط القيم المحسوبة.

٢- فحص الكفاءة (Kling-Gupta KGE efficiency) بتطبيق المعادلة التالية:-

$$KGE = 1 - [(R - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2]^{0.5}$$

وفيها يمثل  $R$  معامل الارتباط و  $\alpha$  النسبة بين الانحراف المعياري للقيمة الفعلية ( $\sigma_o$ ) والقيمة المحسوبة ( $\sigma_s$ ):-

$$\alpha = \frac{\sigma_s}{\sigma_o}$$

و  $\beta$  النسبة بين متوسط القيم الفعلية ( $Q_o$ ) والقيم المحسوبة ( $Q_s$ ):-

$$\beta = \frac{Q'_o}{Q'_s}$$

3- فحص التحيز المتوي (Percent PBIAS Bias) بتطبيق المعادلة التالية:-

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{io} - Q_{is})}{\sum_{i=1}^n (Q_{io})}$$

وفيها يمثل  $Q_{io}$  القيمة المقاسة و  $Q_{is}$  القيمة المحسوبة.

وتقارن قيم الفحص بالقيم المعيارية لمستوى أداء النموذج التي يلخصها الجدول 2 (Abou Rafee et al., 2019:9).

\* الدراسات السابقة

تترايد منذ ثمانينات القرن الماضي الدراسات العلمية (المناخية والجغرافية) الموجهة للبحث عن طاقة بديلة نظيفة ومتجددة للطاقة التقليدية الأحفورية (البتروول والغاز والفحم) المؤثرة على الغلاف الجوي بما

مناخ الكرة الأرضية كدراسات (Haigh. 2011) وتأثير الانبعاث الحراري للغلاف الجوي والإشعاع الشمسي السطحي على مناخ الأرض (Abdussamatov et al., 2010) وتأثير التضاريس على توزيع الإشعاع الشمسي والتبخر المصاحب له بالأحواض المائية الجبلية (Aguilar et al., 2010).

ومن الدراسات العربية التي اهتمت بالإشعاع الشمسي دراسات (Al Dobhani, 2014) عن تأثير الارتفاع وازاوية على الإشعاع الشمسي بالمناطق المدارية و(العياني والقدسي، 2016) عن أفضل المواقع القابلة لتوليد الطاقة الشمسية و(عتاب، 1991) عن حساب وتحليل كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي و(مجيد، 2008) عن العلاقة المتداخلة بين الإشعاع الشمسي والغيوم و(الحياصي، 2012) عن الإشعاع الشمسي وطاقة الرياح ودورها في إنتاج الطاقة و(Elissa et al., 2012) عن تقييم ومعايرة طريقة Heliosat-2 في النمذجة العالمية للإشعاع الأفقي على البيئة الصحراوية و، et al., (Alnaser 2004) عن الأطلس العربي للإشعاع الشمسي.

وبالرغم من أهمية الإشعاع الشمسي إلا أنه لم يحظ بدراسات كثيرة على مستوى المملكة العربية السعودية تعكس هذه الأهمية. ومن الدراسات التي تمت بالمملكة نذكر دراسة (Stewart et al., 1993) عن الإشعاع الشمسي و (Zell, 2015) عن تقييم

تفرزه من غازات أدت إلى زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري وزيادة تآكل طبقات الأوزون بالغلاف الجوي. فهناك الكثير من الدراسات التي ركزت على استخدام الإشعاع الشمسي كطاقة بديلة بالدول التي تحتاج إلى مصادر طاقة بأقل تكلفة من مثيلاتها التي تستوردها من الدول المصدرة للنفط.

فهناك الكثير من الدراسات التي ركزت على الاستفادة استخدام الخوارزميات الجينية في إنتاج وتوليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض بواسطة الخلايا الشمسية في العديد من مناطق العالم كدراسات (Ajervase et al., 2001) و (Koshy & Rini Jones , 2015) و (Ranjhitha & Valan 2015) و (Hadji et al., 2016) و (Rajkumar, 2015) وفي حين هناك العديد من الدراسات التي اهتمت بتحليل تأثيرات العوامل الجوية على التباين المكاني للإشعاع الشمسي على سطح الأرض كدراسات (Chou et al., 2006) عن تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري على الإشعاع الشمسي و (Hatzianastassiou et al., 2007) التي اعتمدت على بيانات الأقمار الصناعية في رصد تأثيرات الاحتباس الحراري على الإشعاع الشمسي وتأثير الرياح الساكنة على الإشعاع الشمسي (Lin et al., 2015) وتأثير السحب على الإشعاع الشمسي (Huo and Lu. 2013). كما أن هناك العديد من الدراسات التي اهتمت بتأثير الإشعاع الشمسي على



مصادر الاشعاع الشمسي و (Al Abbadi et al., 2002) عن عملية جمع وتقييم جودة شبكة رصد الاشعاع الشمسي و (Al Sebaili, 2010) عن تقدير إجمالي الاشعاع الشمسي المباشر والمبعثر على السطوح الأفقية والمائلة بجده و (Hepbasli & Al Suhaibani, 2011) عن الوضع الراهن والاتجاهات المستقبلية لدراسات الطاقة الشمسية و (Meyers, et al., 2012) عن تقييم مصادر الطاقة الشمسية خلال الفترة 1998-2000.

### \* النتائج والمناقشة

تتلخص نتائج هذه الدراسة فيما يلي:-

#### ١- التباين المكاني للعوامل المؤثرة في الاشعاع الشمسي

يرتبط تباين التوزيع المكاني والزمني للمتوسط اليومي لإجمالي الاشعاع الشمسي المحسوب بنموذجي هارقريفز-سماني المطبقين بهذه الدراسة بعدة عوامل (الشكل 1أ و 1ب). ويتبين من معادلتين النموذجين أن زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء خلال اليوم ( $\delta$ ) ومعكوس المسافة بين الشمس والأرض ( $dr$ ) هما عاملان مشتركان بجميع المحطات لأنهما يرتبطان بالرقم الجولياني لليوم في السنة. وعليه فإن تباين التوزيع المكاني والزمني للمتوسط اليومي لإجمالي الاشعاع الشمسي المحسوب بالنموذجين المذكورين يرتبط بشكل أساسي باختلاف زاوية عرض موقع المكان ( $\phi$ ) التي تتحكم في مباشرة في زاوية غروب الشمس ( $W_s$ ) وبالمدى الحراري بين درجتي الحرارة القصوى ( $T_{max}$ ) والدنيا

( $T_{min}$ ). كما ترتبط أيضاً كمية الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي ( $R_a$ ) بزواييتي درجة عرض موقع المكان وغروب الشمس.

ولتحليل التباين المكاني لتوزيع المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي المحسوب هارقريفز-سماني تم تطبيق طريقة النسب Ratios بين المحطات المحطات المدروسة لمقارنة التباين المكاني لتوزيع المدى الحراري وتوزيع كمية الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي وتوزيع المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي. وتتلخص نتائج التحليل والمقارنة فيما يلي:-

#### أ- مقارنة التباين المكاني لتوزيع المدى الحراري

يلخص الجدول 2 نتائج تطبيق طريقة النسب المستخدمة في عملية مقارنة المتوسط اليومي للمدى الحراري بين المحطات. وعليه يتبين أن المتوسط اليومي للمدى الحراري لمختلف المناطق المدروسة يقل عن مثيله بالمنطقة الجنوبية بنسب تتراوح بين 11% بالمنطقتين الوسطى والشرقية من جهة و20% بين المنطقة الجنوبية من جهة والمرتفعات الغربية من جهة ثانية. كما يفوق المتوسط اليومي للمدى الحراري لمختلف المناطق مثيله بالساحل الغربي بنسب تتراوح بين 32% و59% بالمرتفعات الغربية والمنطقة الجنوبية على التوالي. وعليه تتسم المنطقة الجنوبية بأكبر مدى حراري والساحل الغربي بأقل مدى حراري خلال الفترة المدروسة.

## ب- مقارنة التباين المكاني لكمية الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي

يلخص الجدول 3 كذلك نتائج تطبيق طريقة النسب المستخدمة في عملية مقارنة كمية الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي بين المحطات. وعليه يتبين أن كمية الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي لمختلف المناطق المدروسة يقل عن مثيله بالساحل الغربي بنسب تتراوح بين 1% بالمرتفعات الغربية و8% بالمنطقة الشرقية. كما يفوق المدى الحراري لمختلف المناطق مثيله بالمنطقة الشمالية بنسب تتراوح بين 4% بالمناطق الشرقية والوسطى والغربية و9% بالمرتفعات الغربية والمنطقة الجنوبية. وعليه يتسم الساحل الغربي بأكبر كمية الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي والمنطقة الشمالية بأقل كمية من الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي خلال الفترة المدروسة.

الجدول 2: مصفوفة النسب لموسم المدى الحراري الجوي خلال الفترة 1991-1985 بالمحطات المدروسة

النسبة	المرتفعات الغربية	الأساس	البحر	المرتفعات الوسطى	المنطقة الشمالية	المنطقة الغربية	المنطقة الشرقية	المنطقة الوسطى
المرتفعات الغربية	---	1.12	1.11	1.11	1.03	1.08	1.15	0.76
الأساس	---	---	0.99	1.07	0.92	1.03	0.81	1.07
البحر	---	---	---	1.09	0.93	0.98	1.04	0.69
المرتفعات الوسطى	---	---	---	---	0.92	0.83	0.95	0.63
المنطقة الشمالية	---	---	---	---	---	0.98	0.93	0.93
المنطقة الغربية	---	---	---	---	---	---	0.98	0.93
المنطقة الشرقية	---	---	---	---	---	---	---	0.93
المنطقة الوسطى	---	---	---	---	---	---	---	---

الجدول 3: مصفوفة النسب لموسم المدى الحراري الجوي خلال الفترة 1991-1985 بالمحطات المدروسة

النسبة	المرتفعات الغربية	الأساس	البحر	المرتفعات الوسطى	المنطقة الشمالية	المنطقة الغربية	المنطقة الشرقية	المنطقة الوسطى
المرتفعات الغربية	---	0.95	0.93	0.93	0.96	0.93	0.98	0.98
الأساس	---	---	0.98	1.00	0.99	1.00	0.98	1.00
البحر	---	---	---	1.00	0.99	1.00	0.98	1.00
المرتفعات الوسطى	---	---	---	---	0.97	1.00	0.97	1.00
المنطقة الشمالية	---	---	---	---	---	0.97	0.96	1.00
المنطقة الغربية	---	---	---	---	---	---	0.97	0.96
المنطقة الشرقية	---	---	---	---	---	---	---	0.97
المنطقة الوسطى	---	---	---	---	---	---	---	---

## 3- التباين المكاني للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي

يتسم المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بتباينات مكانية تم تحليلها على النحو التالي:-

أ- التباين المكاني للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي المحسوب بنموذج هارقريفز-سماني (1982)

يمكننا أن نستنتج من بيانات الجدول 4 أن المتوسط اليومي لإجمالي الاشعاع الشمسي يتراوح بين 19.2 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بانحراف معياري قدره 5.6 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالجوف في المنطقة الشمالية و22.2 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بانحراف معياري قدره 4.5 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بجده في الساحل الغربي. ويقل هذا المتوسط بنسبة 1% بالمنطقة الجنوبية عن مثيله بجدة في الساحل الغربي وبنسبة 10% بالمرتفعات الغربية والمنطقة الوسطى وبنسبة 11% بالمنطقة الشرقية وبنسبة 12% بالمنطقة الغربية وبنسبة 14% بالمنطقة الشمالية من جهة عن مثيله بالمنطقة الجنوبية والساحل الغربي من جهة ثانية (الجدول الملحق والشكل 3).

ويفوق المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بجميع المناطق نظيره بالمنطقة الشمالية بنسبة 1% بالمنطقة الغربية و3% بالمرتفعات الغربية و5% بالمنطقة الشرقية و9% بالمنطقة الوسطى و15% بالمنطقة الجنوبية والساحل الغربي. وعليه تعتبر المنطقة الجنوبية والساحل الغربي أكثر مناطق المملكة وفرة للإشعاع الشمسي خلال الفترة المدروسة حسب تقديرات نموذج هارقريفز-سماني (1982).



الجدول 5: الفروق النسبية (%) بين تقديرات النماذج المدروسة للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي (ميغا جول/م<sup>2</sup>/يوم)

المنطقة	المحطة	HSA/CSR	HS/CSR	HS/HSA
المرتفعات الغربية	أها	4.3	9.3	5.4
المنطقة الشرقية	الأحساء	6.0	6.0	0.2
	القيصومة	4.1	5.1	3.0
المنطقة الوسطى	الرياض	1.2	3.0	1.9
	بريدة	3.8	5.7	1.8
المنطقة الغربية	المدينة المنورة	10.5	11.9	1.7
	الجوف	10.1	11.9	2.0
المنطقة الشمالية	تبوك	7.5	9.3	2.0
	حازان	16.6	0.8	18.7
الساحل الغربي	جدة	12.0	4.5	18.7
	شرورة	6.8	8.4	1.9
المنطقة الجنوبية	وادي الدواسر	0.8	2.1	1.5

HS : نموذج (Hargreaves-Samani 1982)

HSA ، نموذج (Hargreaves-Samani)

CSR ، Annandale (2002) : النموذج المناخي

أظهرت نتائج تقديرات نموذج هارقرينز - سمانى أن المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي يقل عن نظيره المحسوب بنموذج هارقرينز - سمانى - أناندال بجميع المحطات عدا محطتي جدة وحازان في الساحل الغربي. وتبلغ الفروق النسبية بين تقديرات النموذجين 5.4% بالمرتفعات الغربية و1.7% بالمنطقة الغربية و2.0% بالمنطقة الشمالية وتتراوح بين 0.2 و3.0% بالمنطقة الشرقية وبين 1.5 و1.9% بالمنطقة الجنوبية، في حين يقل المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي

المحسوب بنموذج هارقرينز - سمانى - أناندال عن نظيره المحسوب بالساحل الغربي بنموذج هارقرينز - سمانى بنسبة تبلغ 18.7%.

كما أظهرت نتائج تقديرات نموذج هارقرينز - سمانى أن المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي يقل بجميع المحطات عن نظيره المحسوب بالنموذج المناخي CSR بنسب تبلغ 9.3% بالمرتفعات الغربية و11.9% بالمنطقة الغربية وبنسب تتراوح بين 5.1 و6.0% بالمنطقة الشرقية وبين 3.0 و5.7% بالمنطقة الوسطى وبين 9.3 و11.9% بالمنطقة الشمالية وبين 0.8 و4.5% بالساحل الغربي وبين 2.1 و8.4% بالمنطقة الجنوبية.

ومن جهة أخرى أظهرت نتائج تقديرات نموذج هارقرينز - سمانى - أناندال أن المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي يقل أيضاً بجميع المحطات عن نظيره المحسوب بالنموذج المناخي CSR بنسب تبلغ 4.3% بالمرتفعات الغربية و10.5% بالمنطقة الغربية وبنسب تتراوح بين 4.1 و6.0% بالمنطقة الشرقية وبين 1.2 و3.8% بالمنطقة الوسطى وبين 7.5 و10.1% بالمنطقة الشمالية وبين 12.0 و16.6% بالساحل الغربي وبين 0.8 و6.8% بالمنطقة الجنوبية.

الجدول 6: نتائج فحص علاقات الارتباط بين تقديرات

المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بالنماذج المدروسة

مستوى الدلالة Sig.	r	R <sup>2</sup>	التغير التابع	التغير المستقل	المنطقة الجغرافية
0.005	0.832	0.692	نموذج CSR (MJ/m <sup>2</sup> /day)	نموذج Hargreaves-Samani (MJ/m <sup>2</sup> /day)	المرتفعات الغربية
0.000	0.984	0.969			الأحساء
0.000	0.992	0.984			القيصومة
0.000	0.991	0.983			الرياض

تبلغ 0.832 بالمرتفعات الغربية و0.989 بالمنطقة الغربية و0.991 بالمنطقة الوسطى وتتراوح بين 0.984 و0.992 بالمنطقة الشرقية وبين 0.971 و0.995 بالمنطقة الشمالية وبين 0.944 و0.971 بالساحل الغربي وبين 0.941 و0.985 بالمنطقة الجنوبية (الجدول 6). وبشكل عام فإن معامل الارتباط بين نموذج هارقريفز-سماني HS والنموذج المناخي CSR يصل إلى 0.971 عند مستوى الدلالة 0.000 لجميع المناطق المدروسة (الشكل 4).

وبالرغم من إدخال عامل ارتفاع موقع المكان في معادلة نموذج هارقريفز - سماني - أناندال الذي يعتبر النموذج المطور إلا أن تقديرات هذا الأخير لا تختلف عن مثيلاتها لنموذج هارقريفز - سماني. وعليه بلغت قيم معامل الارتباط عند مستوى الدلالة 0.05 بين تقديرات نموذج هارقريفز - سماني - أناندال (متغير مستقل) والنموذج المناخي CSR (متغير تابع) 0.830 بالمرتفعات الغربية و0.989 بالمنطقة الغربية و0.991 بالمنطقة الوسطى وتراوح بين 0.986 و0.992 بالمنطقة الشرقية وبين 0.993 و0.995 بالمنطقة الشمالية وبين 0.943 و0.972 بالساحل الغربي وبين 0.940 و0.986 بالمنطقة الجنوبية (الجدول 6). وبشكل عام فإن معامل الارتباط بين نموذج هارقريفز-سماني-أناندال HSA والنموذج المناخي CSR يصل إلى 0.927 عند مستوى الدلالة 0.000 لجميع المناطق المدروسة (الشكل 5).

0.000	0.991	0.983	نموذج CSR (MJ/m <sup>2</sup> /day)	نموذج Hargreaves- Samani- Annandale (MJ/m <sup>2</sup> /day)	المنطقة الوسطى	بريدة
0.000	0.989	0.979			المنطقة الغربية	المنورة
0.000	0.995	0.990			المنطقة الشمالية	الجوف
0.000	0.994	0.988			الساحل الغربي	توك
0.000	0.944	0.891			المرتفعات الغربية	حازان
0.000	0.971	0.943				حده
0.000	0.941	0.886				شرونة
0.000	0.985	0.971				وادي الدواسر
0.005	0.830	0.689				أما
0.000	0.986	0.972				الأحياء
0.000	0.992	0.984				القصور
0.000	0.991	0.982				الرياح
0.000	0.991	0.983		بريدة		
0.000	0.989	0.979		المنطقة الغربية	المنورة	
0.000	0.995	0.990		المنطقة الشمالية	الجوف	
0.000	0.993	0.987		الساحل الغربي	توك	
0.000	0.943	0.889		المرتفعات الغربية	حازان	
0.000	0.972	0.944			حده	
0.000	0.940	0.883			شرونة	
0.000	0.986	0.972			وادي الدواسر	

وبشكل عام فإن الفروق النسبية بين تقديرات نموذج هارقريفز - سماني وهارقريفز - سماني - أناندال لم تتعد 5.5% بجميع المحطات ما عدا محطتي حده وحازان بالساحل الغربي، كما لم تتعد الفروق النسبية بين تقديرات نموذج هارقريفز - سماني والنموذج المناخي CSR 9.5% بجميع المحطات ما عدا محطتي المدينة المنورة والجوف. في حين لم تتعد الفروق النسبية بين نموذج هارقريفز - سماني - أناندال والنموذج المناخي CSR 7.5% بجميع المحطات ما عدا محطات المدينة المنورة والجوف وحازان وحده.

وقد انعكست هذه الفروق النسبية على العلاقة بين تباينات تقديرات النماذج الثلاثة خلال مختلف شهور السنة، بحيث نجد أن قيم معامل الارتباط بين تقديرات نموذج هارقريفز - سماني (متغير مستقل) والنموذج المناخي CSR (متغير تابع) عند مستوى الدلالة 0.05

CSR = 1.082 HSA - 1.485	---	1.082	-1.485	Linear	ارباش	المنطقة الوسطى
CSR = 1.118 HSA - 1.558	---	1.118	-1.558	Linear	بريدنا	
CSR = 1.179 HSA - 1.238	---	1.179	-1.238	Linear	المنطقة الغربية	المنطقة الشمالية
CSR = 1.287HSA - 3.413	---	1.287	-3.413	Linear	الغريف	
CSR = 0.834 HSA <sup>1.085</sup>	---	1.085	0.834	Power	توك	المنطقة الشمالية الغربية
CSR = 6.471 e <sup>1.009HSA</sup>	---	0.067	6.471	Exponential	حازان	
CSR = 0.824 HSA <sup>1.108</sup>	---	1.108	0.824	Power	صند	المنطقة الغربية
CSR = e <sup>[4.142 - (21.43)HSA]</sup>	---	21.430	4.142	S-curve	شروزة	
CSR = e <sup>[4.135 - (21.54)HSA]</sup>	---	22.541	4.135	S-curve	وطني والناصر	المنطقة الجنوبية

## 5- فحص كفاءة أداء نماذج تقديرات المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي

للمفاضلة بين تقديرات نموذجي هارقريفز-سماني (HS) وهارقريفز-سماني-أناندال (HSA) للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي خلال كل شهر تم فحص كفاءة الأداء لكل نموذج بواسطة تقديرات النموذج المناخي (CSR) وبتطبيق ثلاثة فحوص احصائية هي فحص معامل التفسير (التحديد) R<sup>2</sup> Coefficient of determination وفحص الكفاءة (Kling-Gupta KGE efficiency) وفحص التحيز المتوي (PBIAS Percent Bias). ويلخص الجدول 9 نتائج هذه الفحوص بجميع المناطق المدروسة.

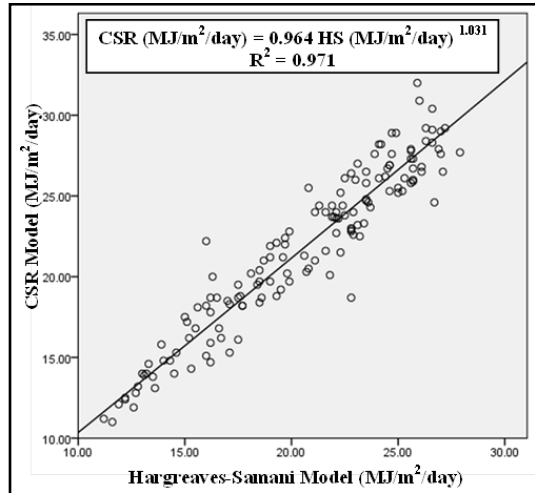
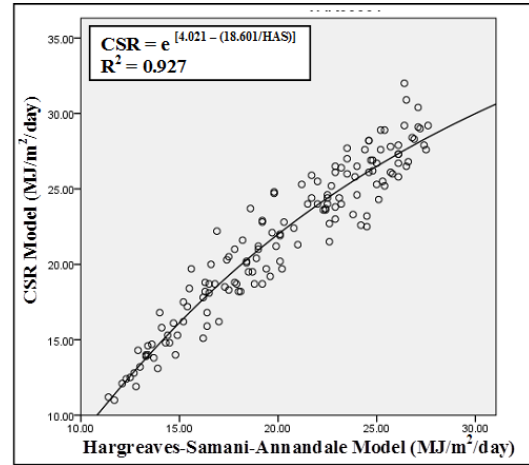
الجدول 9: نتائج فحص كفاءة أداء نموذجي هارقريفز-

سماني (HS) وهارقريفز-سماني-أناندال (HSA)

بواسطة النموذج المناخي (CSR)

المنطقة	النموذج	HSA-CSR				HS-CSR			
		KGE	PBIAS	R <sup>2</sup>	التباين النسبي	KGE	PBIAS	R <sup>2</sup>	
المنطقة الغربية	الغريف	0.60	4.1	0.51	2.7	0.63	9.3	0.58	
	توك	0.70	5.7	0.94	3.3	0.69	6.1	0.95	
المنطقة الشمالية الغربية	الغريف	0.70	4.0	0.95	3.3	0.69	5.2	0.96	
	توك	0.70	1.2	0.86	3.3	0.70	2.8	0.90	
المنطقة الوسطى	الغريف	0.69	3.8	0.93	3.3	0.68	5.6	0.96	
	توك	0.69	3.8	0.93	3.3	0.68	5.6	0.96	

وبالاعتماد على نتائج علاقات الارتباط تم اشتقاق معادلة الانحدار لتقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بواسطة النموذج المناخي بدلالة تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بنموذجي هارقريفز-سماني من جهة (الجدول 7) وهارقريفز-سماني-أناندال من جهة ثانية (الجدول 8).



الجدول 8: نماذج علاقات الارتباط بين تقديرات نموذج

هارقريفز-سماني-أناندال HSA والنموذج المناخي CSR

النموذج	معادلة			النوع	
	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	الثابت		
المنطقة الغربية	CSR = (2.977HSA) + (-0.002HSA) - 22.405	0.002	2.977	22.405	كعب
المنطقة الشمالية الغربية	CSR = 1.032 HSA <sup>1.009</sup>	---	1.009	1.032	الأساس
المنطقة الوسطى	CSR = 1.090 HSA - 0.891	---	1.090	-0.891	الخطية

3.0	0.65	10.5	0.98	3.0	0.64	12.0	0.96	المنطقة الغربية	المنطقة الغربية
3.3	0.62	10.0	0.99	3.0	0.60	11.7	0.98	الجوف	المنطقة الغربية
3.3	0.67	7.4	0.98	3.3	0.66	9.3	0.98	تبوك	المنطقة الغربية
2.3	0.55	15.6	0.69	2.3	0.66	0.8	0.48	جازان	المنطقة الغربية
3.0	0.61	11.5	0.92	2.7	0.70	4.6	0.58	بجدة	المنطقة الغربية
3.3	0.69	7.2	0.87	3.0	0.67	8.4	0.88	حفر الباطن	المنطقة الغربية
3.3	0.70	6.7	0.78	3.0	0.70	2.3	0.83	الرياض	المنطقة الغربية

ومن خلال بيانات الجدول 9 يتضح أن هناك صعوبة نسبية في تحديد كفاءة كل نموذج حسب نتيجة الفحوص الثلاثة. ولذا تم تطبيق طريقة القيمة الموزونة للفحوص الثلاثة بإعطاء الوزن 4 لمستوى الأداء (جيد جدا) والوزن 3 لمستوى الأداء (جيد) والوزن 2 لمستوى الأداء (متوسط) والوزن 1 لمستوى الأداء (ضعيف). وتظهر القيم الموزونة لمستويات كفاءة الأداء للفحوص الثلاثة أن كفاءة أداء نموذجي هارقريفز-سماني (1982) وهارقريفز-سماني-أناندال (2002) في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي متماثلة بمجموع ثماني محطات، في حين تحسن أداء نموذج هارقريفز-سماني بأربع محطات هي الجوف بالمنطقة الشمالية وجده بالساحل الغربي وشرورة ووادي الدواسر بالمنطقة الجنوبية بعد إدخال تأثير عامل الارتفاع.

وعليه فإنه بالإمكان تطبيق أي من النموذجين الفحوصين في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بمحطات أبها (المرتفعات الغربية) والأحساء والقيصومة (المنطقة الشرقية) والرياض وبريدة (المنطقة الوسطى) والمدينة المنورة (المنطقة الغربية) وتبوك (المنطقة الشمالية) وجازان (الساحل الغربي)، في حين يفضل تطبيق نموذج هارقريفز-سماني-أناندال في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بمحطات الجوف (المنطقة الشمالية)

وجدة (الساحل الغربي) وشرورة ووادي الدواسر (المنطقة الجنوبية).

#### \* الخلاصة والتوصيات

أظهرت نتائج هذه الدراسة إمكانية استخدام درجات الحرارة القصوى والدنيا في تقدير الإشعاع الشمسي اليومي بتطبيق نموذج هارقريفز-سماني وهو أكثر النماذج استخداماً تحت إشراف منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة ONU-FAO بالمناطق التي لا تحتوي على محطات لقياس الإشعاع الشمسي. وتمثل أهمية هذا النموذج في بساطته ودقة كفاءته في تقدير الإشعاع الشمسي اليومي مقارنة بالقيم الفعلية التي يتم الحصول عليها بواسطة أجهزة دقيقة لا تتوفر بسهولة في المحطة المناخية.

وقد كشفت نتائج هذه الدراسة عن وجود تباينات مكانية لتوزيع المتغيرات الأساسية اليومية التي تؤثر على التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي وهي درجات الحرارة القصوى والمدى الحراري وإجمالي الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي.

كما أظهرت نتائج هذه الدراسة وجود تماثل واضح بين تقديرات المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بتطبيق نموذجي (هارقريفز-سماني، 1982) و (هارقريفز-سماني-أناندال، 2002) من جهة وقياسات النموذج المناخي CSR في مجموع 12 موقع تم استخدامها في إطار مشروع أطلس الإشعاع الشمسي للمملكة العربية السعودية الذي تم إنجازه بمعهد بحوث الطاقة بمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سنة

1998 بمشاركة المخبر الوطني للطاقة المتجددة التابع لمركز مصادر الطاقة المتجددة بكونولورادو في الولايات المتحدة الأمريكية.

ولقد بلغ المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي المحسوب بنموذج هارقريفز-سماني 19.9 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمرتفعات الغربية و19.5 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الغربية وتراوح بين 19.7 و23.0 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الشرقية وبين 20.0 و21.0 و20.0 و19.2 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الشمالية وبين 20.7 و22.2 و21.9 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالساحل الغربي وبين 22.1 و22.1 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الجنوبية.

ولا تختلف كثيراً نتائج تقديرات نموذج هارقريفز-سماني-أناندال عن مثيلاتها لنموذج هارقريفز-سماني، بحيث بلغ المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي 21.0 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمرتفعات الغربية و19.5 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الغربية وتراوح بين 19.9 و20.3 و20.4 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الشرقية وبين 19.6 و21.4 و20.4 و17.4 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الشمالية وبين 18.7 و22.3 و22.4 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالساحل الغربي وبين 22.4 و22.4 ميغاجول/م<sup>2</sup>/يوم بالمنطقة الجنوبية.

وعليه فإن الفروق النسبية بين تقديرات النموذجين المذكورين لم تتعد 5.4% بجميع المحطات باستثناء محطتي جده وجازان بالساحل الغربي، في حين لم تتعد الفروق النسبية بين تقديرات نموذج هارقريفز-

سماني والنموذج المناخي CSR 9.3% بجميع المحطات عدا محطتي الجوف والمدينة المنورة. كما لم تتعد الفروق النسبية بين تقديرات نموذج هارقريفز-سماني-أناندال 7.5% بجميع المحطات عدا محطات الجوف والمدينة المنورة وجده وجازان.

ونظراً لتقارب تقديرات نموذجي هارقريفز-سماني وهارقريفز-سماني-أناندال فقد أظهرت القيم الموزونة لنتائج فحص كفاءة أداء النموذجين أن تأثير عامل الارتفاع ساعد في تحسين أداء نموذج هارقريفز-سماني-أناندال بمحطات الجوف وشرورة ووادي الدواسر وجده، في حين تماثلت كفاءة أداء النموذجين بباقي المحطات.

#### \* المراجع

#### أولاً- المراجع العربية

عتاب، رسول رمضان (2010): حساب وتحليل كمية الاشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي لمدينة الناصرية، مجلة علوم ذي قار، إصدارات جامعة ذي قار، المجلد 2(1)، جامعة ذي قار، العراق.

مجيد، مصطفى أحمد (2008): العلاقة المتداخلة بين الاشعاع الشمسي والغيوم في مدينة الموصل، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التربية، جامعة الموصل، العراق.

الحياصي، مقبل محمد (2012): الاشعاع الشمسي وطاقة الرياح ودورها في إنتاج الطاقة باليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم



- Topographic effects on solar radiation distribution in mountainous watersheds and their influence on reference evapotranspiration estimates at watershed scale, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 2479-2494.**
- Al Abbadi, N.M. ; Al Awaji, S.H. ; Bin Mahfoodh, M.Y. ; Myers, D.R. ; Wilcox, S. and Anderberg, M. (2002) : **Saudi Arabian Solar Radiation network operation data collection and quality assessment, *Renewable Energy* 25 (2) , pp. 219-234.**
- Al Dhobhani, A.M.S. (2014) : **Effect of altitude and tilt angle on solar radiation in tropical regions, *Journal of Science and Technology*, Vol.(19), No. 1, pp. 96-109.**
- Alnaser, W.E. ; Eliagoubi, B. ; Al Kalak, A. ; Trabelsi, H. ; Al Maalej, M. Al Sayed, H.M. and Alloush, M. (2004) : **First Solar Radiation Atlas for the Arabian World , *Renewable Energy* 29 (7), pp. 1085-1107.**
- الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة ذمار، الجمهورية اليمنية.
- العياني، عبد الجبار محمد؛ القدسي، نبيل عبد الله (2016): **دراسة حول أفضل المواقع القابلة لتوليد الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية، مجلة الأندلس للعلوم التطبيقية، العدد (5)، المجلد (11)، جامعة الأندلس للعلوم والتقنية، ص 59-73، الجمهورية اليمنية.**
- ثانياً- المراجع الأجنبية
- Abdussamatov, H.I. ; Bogoyavlenskii, A.I. ; Khankov, S.I. ; Lapovok, Y.V. (2010): **The Influence of the Atmospheric Transmission for the Solar Radiation and Earth's Surface Radiation on the Earth's Climate, *Journal of Geographic Information System*, 2, 194-200.**
- Abou Rafee, S.A. ; Uvo, C.B. ; Martins, J.A. ; Leonardo M. Domingues, L.M. ; Rudke, A.P. ; Fujita, T. and Freitas, E.D. (2019): **Large-Scale Hydrological Modelling of the Upper Paraná River Basin, *Water*, 11, 882 ; doi:10.3390/w11050882.**
- Aguilar, C. ; J. Herrero, J. and M. J. Polo, M.J. (2010):

- recalibration of the Heliosat-2 method in Global Horizontal Irradiance Modeling over the desert environment of the UAE, *Solar Energy* 86 (6), pp. 1816-1825.**
- Ghahremana, N. and Bakhtiari, B. (2009): **Solar Radiation Estimation from Rainfall and Temperature Data in Arid and Semi-arid Climates of Iran, *Desert* , 14 : 141-150.**
- Hadji, S. ; Gaubert, J.P. and Krim, F. (2015): **Theoretical and experimental analysis of genetic algorithms based MPPT for PV systems, *Energy Procedia*, Vol. (74): 772-787.**
- Haigh, J. (2011): **Solar influences on Climate, Grantham Institute for Climate Change Briefing Paper No 5, Imperial College, London.**
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. (1982) : **Estimating potential evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 108: 182-190.**
- Annandale J.G. ; Jovanovic, N.Z. ; Benadé, N. and Allen, R.G. (2002): **Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration, *Irrig. Science* 21:57-67.**
- Chegaar, M. ; Lamri, A. and A. Chibani, A. (1998): **Estimating Global Solar Radiation Using Sunshine Hours, *Rev. Energ. Ren. : Physique Energétique* , pp. 7-11.**
- Chou, M. ; Lin, P. ; Ma, P. and Lin, H. 2006): **Effects of aerosols on the surface solar radiation in a tropical urban area, *Journal of Geophysical Research*, Vol. (111), D15207, doi:10.1029/2005JD006910.**
- El-Sebaili, A.A. ; Al Hamzi, F.S. ; Al Ghamdi, A.A. and Yaghmour, S.J. (2010) : **Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah (Saudi Arabia), *Applied Energy* (87), Elsevier.**
- Elissa, Y. ; Chiesa, M. and Ghedira, H. (2012) : **Assessment and**

- Tibet**, AIP Conf. Proced., **1531**, 564-567 (2013): doi:10.1063/1.4804832.
- Jervase, J.A ; Bourdoucen, H. and Al-Lawati, A. (2001) : **Solar cell parameter extraction using genetic algorithms**, *Measurement Science and Technology*, 12: 1922-1925.
- Ji-Long Chen, J. and Li, G. (2012): **Estimation of monthly mean solar radiation from air temperature in combination with other routinely observed meteorological data in Yangtze River Basin in China**, *Meteorological Applications* (2012), Royal Meteorological Society, DOI: 10.1002/met.1306, Wiley Online Library.
- Koshy, L. T. & Rini Jones, R. S.B. (2015): **A Model Based Maximum Power Point Tracking for PV Panels using Genetic Algorithm**, *International Journal of Engineering and Advanced Technology* (IJEAT), Volume (4), Issue 6: 59-63.
- Lin ,C. ; Yang, K. ; Huang, J. ; Tang, W. ; Qin, J. ; Niu , X. ; Chen, Y. ; Chen, D. ; Lu, D.
- Annandale J.G. ; Jovanovic, N.Z. ; Benadé, N. and Allen, R.G. (2002): **Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration**, *Irrig. Science* **21**:57-67.
- Hatzianastassiou,N. ; Matsoukas, C. ; Drakakis, E, Stackhouse Jr, P.W. ; Koepke, P. ; Fotiadi, A. ; Pavlakis, K.G. and Vardavas, I. (2007): **The direct effect of aerosols on solar radiation based on satellite observations, reanalysis datasets, and spectral aerosol optical properties from Global Aerosol Data Set (GADS)**, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **7**, 2585-2599.
- Hepbasli, A. and Al Suhaibani, Z. (2011) : **A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia**, *Renewable Sustainable Energy Review* **15** (9) , pp. 5021-5050.
- Huo, J. and Lu, D. (2013): **Characteristics of Solar Radiation and the Impact of Clouds at Yangbajing**,

- Technology*, Vol. (5), Issue 11: 18860-18868.
- Sendanayake, S. ; Miguntanna, N.P. and Jayasinghe, M.T.R. (2015): **Predicting solar radiation for Tropical Islands from rainfall data**, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, Vol. (9), No. 2 : 109-118.
- Stewart, D.A. ; Dubel, H.P. and Levitt, L.J. (1993) : **Solar radiation in Saudi Arabia**, Technical Report RD-WS-93-6, US Army Missile Command, Redstone Arsenal Alabama.
- Zell, E. ; Gasim, S. ; Wilcox, S. ; Katamoura, S. ; Stoffel, T. ; Shibli, H. ; Engel-Cox, J. and Al Subaie, M. (2015): **Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia**, *Science Direct*, Solar Energy 119 (2015), pp. 422-438.
- and Fu, R. (2015): **Impacts of wind stilling on solar radiation variability in China**, *Scientific Reports*, 5 : 15135 | DOI: 10.1038/srep15135.
- Matsuda, Y. ; Fujita, K. ; Ageta, Y. and Sakai, A.(2006): **Estimation of atmospheric transmissivity of solar radiation from precipitation in the Himalaya and the Tibetan Plateau**, *Annals of Glaciology* 43 : 344-350.
- Meyers, D. R. ; Wilcox, S.M. ; Marion, W.F. ; Al Abbadi, N.M. ; Mahfoodh, M. and Al Otaibi, Z. (2012) : **Final Report for Annex II-Assessment of Solar Radiation Resources in Saudi Arabia 1998-2000**, 100 pp. , NREL Report No. TP-560-31546.
- Ranjhitha, G. and Rajkumar, M.V. (2016): **Implementation of Genetic Algorithm based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic System**, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and*