

Optimal Parameters for Spatial Distribution Modeling of Global Horizontal Solar Radiation in Iraq

Mustafa Ahmed Aljaff^{1*}

^{1*}Open Education College-Kirkuk-Iraq

Email: [*mustafa_ahmed@uokirkuk.edu.iq](mailto:mustafa_ahmed@uokirkuk.edu.iq)

(Received August 30, 2022; Accepted October 04, 2022; Available online December 01, 2022)

DOI: [10.33899/edusj.2022.135381.1269](https://doi.org/10.33899/edusj.2022.135381.1269), © 2022, College of Education for Pure Science, University of Mosul.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Abstract

Solar radiation plays an essential role in all interior physical processes and the radiative budget of the earth-atmosphere system. However, information about the spatial distribution of global solar radiation or its components is limited and exclusive at some scientific centers that specialized in solar radiation physics. Based on daily data of global solar radiation from (1984) to (2004) available at (16) locations in Iraq retrieved from NASA e-archive, this study aims to determine the optimal parameters of the experimental model to estimate the amount of global solar radiation on a horizontal surface as a function of latitude only. The results showed that the suggested model which is mathematically expressed by the sum of sine of latitude is highly appropriate for estimation of global solar radiation in clear sky conditions after adjusting the parameters according to geographical location. Through comparison between modeled output and an independent measured, globally used, and satellite available data and based on overall results besides some validity metrics: MBE, RMSE, p RMSE, NSE, R^2 , and r ; It can be concluded the proposed model is achievable with high accurate practically performance to calculate and estimate the horizontal global solar radiation (G_H) in Iraq region.

Keywords: global horizontal solar radiation, spatial distribution, modeling, Iraq.

المعلمات المثلى لنمذجة التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي في العراق

م. د. مصطفى احمد الجاف^{1*}

^{1*} مدرس في الكلية التربوية المفتوحة، مركز كركوك الدراسي، كركوك، العراق

الخلاصة:

يلعب الإشعاع الشمسي دوراً جوهرياً في العمليات الفيزيائية والحيوية والموازنة الإشعاعية العامة لمنظومة الغلاف الجوي - الأرض، وبالرغم من ذلك، فإنّ المعلومات محدودة عن التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي الكلي أو مركباته وتتوافر فقط في بعض المراكز البحثية المتخصصة في دراسة فيزياء الإشعاع الشمسي ومن هنا، تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المعلمات المثلى لأنموذج تجريبي لحساب كمية الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي كدالة - فقط - لدائرة العرض، اعتماداً على البيانات اليومية للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي بين (1984 - 2004) المتاحة في (16) موقعا في العراق والمسترجعة من الارشيف الالكتروني لوكالة ناسا لبحوث الفضاء والفلك. ولذا فإنّ البحث قدّم نموذجاً للتوزيع المكاني لكميات الإشعاع الشمسي الكلي الواصل للسطح الأفقي، وقد أظهرت النتائج - بعد تحليلها - أنّ الانموذج التجريبي المتمثل رياضياً بدالة جيب احداثي زاوية موقع القياس يؤدي إلى تقدير كمية الإشعاع الشمسي

الكلية الأفقي المتوفر في ظروف السماء الصافية بعد تعديل مَعْلَمَات الانموذج تبعاً للموقع الجغرافي. ومن خلال بعض المؤشرات الإحصائية ومقاييس صلاحية الأنموذج: r ، R^2 ، NSE ، $pRMSD$ ، $RMSE$ ، MBE وبالمقارنة بين مخرجاته والبيانات المقاسة في محطات مستقلة، والبيانات المتاحة من الأقمار الاصطناعية المعتمدة عالمياً، واستناداً إلى النتائج الإجمالية، يمكن الاستنتاج بأن أداء الأنموذج المقترح يعد من الناحية العملية دقيقاً وبأقل قيمة خطأ في حساب وتقدير كمية الإشعاع الشمسي الكلية الأفقي لمنطقة العراق.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي، التوزيع المكاني، نمذجة، العراق.

1. المقدمة

تعد طاقة الشمس المحرك الرئيس للعمليات الفيزيائية والحيوية التي تحدث داخل منظومة مناخ الارض [1]، ويشهد العالم في الوقت الراهن توجهاً عاماً نحو التوسع في إنتاج الطاقة المتجددة، إذ أصبحت تطبيقات الطاقة المعتمدة على الإشعاع الشمسي جذابة للغاية ومحط أنظار الباحثين والمتخصصين والمنتجين والمستهلكين - على حدٍ سواء - كمصدر للطاقة البديلة لتوافرها للاستعمال في جميع أنحاء المعمورة، بدلاً من تلك المصادر التقليدية المعتمدة على الوقود الاحفوري والذي يعد غير متاح إلا في بعض المناطق من ناحية، ولكونها مصدر طاقة نظيفة وصديقة للبيئة ولا تنضب ما دام النظام الشمسي قائماً من ناحية أخرى [2]. وتعد البيانات الساعية واليومية لكمية الإشعاع الشمسي المتوفرة فوق منطقة ما من المتطلبات الأساسية لتصميم المنظومات الفوتوفولتائية، وتنفرد بعض المحطات الارضية للإرصاد في قياس كمية الإشعاع الشمسي ومركباته وأنماط توزيعاته [3].

ومن هنا فإن تقدير الإشعاع الشمسي باستخدام النماذج الرياضية التجريبية يكون حلاً ناجحاً للتغلب على مشكلة عدم توفر بيانات الإشعاع الشمسي أو صعوبة الوصول إليها [4]، وفي الحقيقة إن وضع نماذج دقيقة وموثوقة سهلة التطبيق تستند إلى مدخلات العناصر المناخية يعد حالياً من الوسائل التي لا يمكن الاستغناء عنها لحساب كمية الإشعاع الشمسي الواصل للسطح على أية منطقة من كوكبنا الأرضي بالرغم من التوسع في توظيف تقنيات الأقمار الاصطناعية والرصد الفضائي في دراسة فيزياء الإشعاع الشمسي [5]، وتعتمد صلاحية الانموذج التجريبي المستنبط على دقته في حساب كمية الإشعاع الشمسي الكلي بحيث لا تتجاوز مخرجاته الخطأ المسموح به في القياس من الناحية العملية [6]، ويتمتع العراق بوصفه أحد أكثر الدول الغنية بالطاقة الشمسية، إذ يقدر متوسط الشمس فيه بحوالي (3000) ساعة سنوياً، وهو أعلى منه في المنطقة الغربية والشمال الغربي والتي تتمتع - نسبياً - بصفاء الأجواء فيها طول السنة مقارنة بمناطق أخرى في الإقليم الصحراوي من وسط وجنوب العراق [7].

إن كمية الإشعاع الشمسي الواصل للسطح تتغير جوهرياً تبعاً لموقع الشمس، وحركتها الظاهرية في قبة السماء، والموقع الجغرافي لمنطقة القياس، هذا فضلاً عن الحالة الفيزيائية للجو من حيث تواجد السحب والعوالق وغيرها من عوامل التوهين ومراكز الاستطارة الجوية [8].

يرتبط التغيير في النمط السائد للمناخ في منطقة ما دائماً بالتغيرات في تدفق الطاقة الشمسية للنظام الارضي [9]، ويعد الموقع الفلكي والجغرافي للعراق من الضوابط المناخية الثابتة، ونقصد بهذا أن تأثيره يستمر من سنة إلى أخرى، ويتسم بأنه ثابت نسبياً، ويعطي للمكان خصائصه المناخية، ولذلك فإن الموقع الفلكي للعراق جعله يتعرض لتأثيرات جوية قاسية خلال السنة، كموجات الحر وموجات البرد والعيوف والترابية وغيرها من الظواهر التي تميز مناخه القاري شبه المداري [10]، جغرافياً يقع العراق في شمال وشمال شرق شبه جزيرة العرب وإلى الجنوب في غرب قارة آسيا بين دائرتي عرض ($29^{\circ}05'$ - $37^{\circ}22'$) شمالاً، وبين خطي طول ($38^{\circ}42'$ - $48^{\circ}45'$) شرقاً، ويمتاز مناخه بقاربيته، ويشكل الإقليم الصحراوي القسم الأكبر من مساحة العراق فيما عدا المناطق المرتفعة في إقليم كردستان، إذ تمثل امتداداً طبيعياً لسلسلة جبال زاكروس، وتقع ضمن إقليم مناخ البحر المتوسط [11]، في حين يشكل إقليم السهوب في المنطقة الوسطى وشمالها حزاماً ضيقاً، وحداً فاصلاً بين الإقليمين الصحراوي في الجنوب وإقليم مناخ البحر المتوسط في المنطقة الشمالية من العراق [12].

في هذا البحث استخدمت بيانات الإشعاع الشمسي المسترجعة من الأقمار الاصطناعية والمتاحة في الموقع الإلكتروني لوكالة ناسا الأمريكية لأبحاث الفضاء والفلك بهدف استنباط نموذج رياضي تجريبي مبسط لحساب وتخمين المعدلات الشهرية لكمية الإشعاع الشمسي الواصل للسطح الأفقي تحت ظروف السماء الصافية لمناطق العراق كدالة - فقط - لخط العرض (φ) خلافاً لأغلب النماذج الرياضية التي تعتمد على تقنيات الانحدار وبصيغ متعددة الحدود لمختلف العناصر المناخية، والتي ترتبط فيما بينها بعلاقات غير خطية وتأخذ في طبيعتها أنماطاً متعددة من التوزيعات الإحصائية [13].

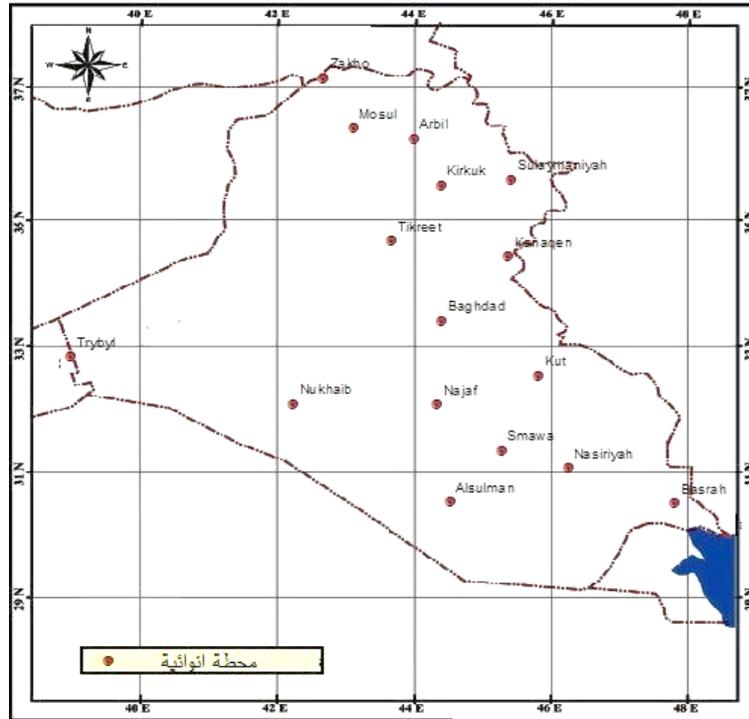
وتعتبر صلاحية الانموذج للتطبيق ومدى دقته في حساب كمية الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي من خلال بعض المؤشرات الإحصائية: ثلاثة مقاييس للانحراف والتحيز كمقدار الخطأ المئوي المطلق ومتوسط الخطأ المئوي المطلق والجذر التربيعي لمعدل مربع الخطأ والجذر التربيعي لمعدل الخطأ التربيعي النسبي، فضلاً عن ثلاثة مقاييس من مقاييس التوافق كعامل الكفاءة والتحديد والارتباط بين القيم المقاسة والقيم المحسوبة بالانموذج التجريبي [14].

2. البيانات وإجراءات البحث

اتخذت هذه الدراسة مساراً تتابعياً في إجراءاتها الحسابية والإحصائية وذلك من خلال خطوات عدة تمثلت فيما يأتي:

1. جمع البيانات والحسابات التمهيدية
2. اختبار صلاحية البيانات ونمط توزيعها.
3. معايرة الانموذج وتقنيات مناسبة الدوال
4. كفاءة الانموذج وجودة مخرجاته
5. تشغيلية الانموذج

فيما يخص جمع البيانات والحسابات التمهيدية وظفت البيانات المتاحة مجاناً في (16) محطة تقع جغرافياً ضمن الاقاليم الثلاثة في العراق تبعا للتصنيف المناخي لكوبن، إذ تم اخذ (9) محطات في الاقليم الصحراوي (Bwh) و(4) محطات في الاقليم شبه الصحراوي او اقليم السهوب (Bsh) في حين اقتصرت (3) محطات فقط في اقليم مناخ البحر المتوسط (Csa). - لاحظ الجدول (1).



خارطة (1) التوزيع الجغرافي للمحطات الانوائية المنتخبة لحساب معدلات الاشعاع الشمسي الكلي الأفقي في العراق.

اذ احتسب اولاً المعدلات الشهرية من البيانات اليومية المقاسة في كل محطة ومن ثم اجري اختبار التوزيع الطبيعي وتوزيع (χ^2) ومعامل الارتباط البسيط لهذه البيانات مقارنة ببيانات مأخوذة من محطات ارضية مستقلة بقصد اختبار صلاحيتها وقابليتها في تمثيل التوزيع المكاني لكمية الإشعاع الشمسي الكلي الافقي في ظروف السماء الصافية.

وتمت معايرة هذه المعدلات مع احداثيات دائرة العرض للموقع الجغرافي لكل محطة في كل شهر على حدة من خلال تقنيات مناسبة الدوال التي يوفرها برنامج Matlab [15] بنسخته (2015) وذلك للحصول على مغلّات الامتداد المقترح والمتمثل رياضياً بالمجموع الجبري لدوال جيب احداثي الموقع (φ) بوحدات (radian) وتعطى صيغته في المعادلة كالاتي:

$$G_H = a_1 \sin(b_1\varphi + c_1) + a_2 \sin(b_2\varphi + c_2) + a_3 \sin(b_3\varphi + c_3) \quad (1)$$

الجدول (1) المعدلات الشهرية لكمية الاشعاع الشمسي الكلي الافقي بوحدات ($MJ/m^2/day$) المقاسة في المواقع المنتخبة للسلسلة الزمنية ما بين 1984 الى 2004 مقابل اختبار التوزيع الطبيعي وتوزيع (χ^2) ومعاملات الارتباط البسيط.

Station	lat(d)	long(d)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	P-value	χ^2	r	Köppen zone
Kirkuk	35.47	44.40	9.670	13.09	17.22	20.18	23.72	27.89	26.51	24.56	20.31	13.67	10.29	9.73	0.350	0.3204	0.990	Bsh
Baghdad	33.23	44.23	10.64	14.51	17.88	19.46	23.32	27.28	25.16	24.15	19.99	14.30	10.70	9.89	0.494	0.5876	0.986	Bwh
Zakho	37.13	42.68	8.090	10.91	14.92	18.94	23.62	27.58	27.07	24.79	20.25	13.76	9.830	8.26	0.354	0.0923	0.996	Csa
Kanaqen	34.30	45.43	10.35	13.77	17.43	19.48	24.10	28.01	26.49	24.52	20.48	13.87	10.28	9.50	0.425	0.3733	0.989	Bsh
Trybyl	32.72	38.73	11.01	13.89	17.93	22.31	25.74	29.03	28.09	25.41	21.56	15.46	11.43	10.4	0.356	0.3373	0.994	Bwh
Nukhaib	32.03	42.25	9.840	13.40	17.61	21.56	25.37	29.56	27.98	25.59	21.58	15.11	10.30	9.44	0.391	0.1669	0.995	Bwh
Tikreet	34.58	44.30	10.25	13.97	17.65	20.00	24.61	28.68	27.03	24.80	20.84	13.83	9.830	9.21	0.448	0.3258	0.988	Bsh
Kut	32.17	46.05	11.30	14.58	17.29	19.98	23.90	27.89	26.52	24.39	20.56	14.08	10.66	10.2	0.510	0.5544	0.987	Bwh
Sulaymaniyah	35.55	45.45	9.610	12.57	16.44	19.43	23.94	27.60	26.34	24.27	20.34	14.13	10.26	9.13	0.422	0.2045	0.995	Csa
Nasiriyah	31.08	46.23	11.60	15.02	17.56	20.30	23.83	27.43	26.05	24.72	20.74	14.89	11.15	10.5	0.473	0.6696	0.990	Bwh
Basrah	30.57	47.78	11.43	14.91	17.48	19.86	23.34	27.11	25.79	23.77	20.45	14.74	10.89	10.4	0.535	0.7024	0.989	Bwh
Mosul	36.32	43.15	8.950	12.09	16.30	19.84	23.91	27.60	26.48	24.39	19.83	13.67	10.12	9.00	0.350	0.1698	0.994	Bsh
Najaf	31.98	44.32	10.08	13.49	17.70	21.14	24.90	29.21	27.96	25.43	21.55	15.28	10.49	9.38	0.481	0.1843	0.995	Bwh
Arbil	36.62	44.22	8.770	11.59	15.80	19.43	23.90	27.62	26.53	24.13	20.23	14.01	10.03	8.77	0.369	0.1134	0.996	Csa
Smawa	31.30	45.27	11.01	14.12	17.60	20.69	24.28	28.13	26.83	24.69	21.20	14.87	10.84	10.2	0.423	0.4332	0.993	Bwh
Alsulman	30.50	44.53	10.77	14.29	18.42	22.04	25.55	29.01	28.34	25.91	22.19	16.36	11.10	9.45	0.459	0.2263	0.996	Bwh
Mean			10.33	13.64	17.29	20.35	24.28	28.13	26.86	24.81	20.91	14.71	10.65	9.66				

يعد التحقق من صلاحية ودقة الامتداد على ارض الواقع جزءاً مهماً من العملية التشغيلية لحساب بيانات الاشعاع الشمسي الكلي وتستخدم معايير متعددة في ذلك منها: التحيز العام، التشتت والقدرة على إعادة إنتاج التوزيعات الإحصائية، تحدد اغلب مقاييس اختبارات الصلاحية الانحرافات بين القيم المحسوبة والمقاسة، فكلما تطابقت القيم المحسوبة مع تلك المقاسة عملياً دل ذلك على جودة مخرجات الامتداد وبالتالي دل ذلك ايضا على دقة الامتداد وصلاحيته للتطبيق، اما المقاييس التي يوصى بها في هذه المعايير فهي: متوسط الخطأ المئوي المطلق ($|MPE|$) Absolute Mean Percentage Error ومتوسط تحيز الخطأ Mean (MBE) Bias Error، والجذر التربيعي لمتوسط الخطأ Root Mean Square Error (RMSE)، على التوالي. يقدم كل من: $|MPE|$ و MBE و RMSE معلومات جلية عن النطاق المتوقع للخطأ في الحسابات التقديرية لكمية الاشعاع الشمسي الكلي مقارنة بتلك التي يتم قياسها عملياً، فالانحياز يميز مدى التوازن بين القيم العليا والدنيا للتخمين. ان مقياس التحيز الأكثر استخداماً هو (MBE) والذي يلتقط متوسط التحيز في التنبؤ. ان RMSE هو الانحراف المعياري للبواقي (أخطاء التنبؤ) وهو مقياس لمدى انتشارها حول خط الانحدار، يستخدم الجذر التربيعي للخطأ بشكل شائع في علم المناخ والتنبؤ وتحليل الانحدار للتحقق من النتائج التجريبية. يحسب متوسط الخطأ المئوي المطلق $|MPE|$ من العلاقة الرياضية الآتية: [16]

$$|MPE| = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{G_{Hi,est} - G_{Hi,obs}}{G_{Hi,obs}} \right| \right) * 100 \quad (2)$$

إذ ان $G_{Hi,est}$ ، $G_{Hi,obs}$ كمية الاشعاع الشمسي الكلي الواصل للسطح الافقي المحسوبة والمقاسة على التوالي للكمية G من العدد الكلي للبيانات (N)، في حين تحسب قيمة معدل Mean Bias Error (MBE) رياضياً كالاتي: [17]

$$MBE = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - G_{Hi,obs}) \quad (3)$$

اما الجذر التربيعي لمعدل مربع الخطأ RMSE فيحسب من الصيغة الرياضية الآتية: [18]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - G_{Hi,obs})^2} \quad (4)$$

ويمكن حساب نسبته المئوية كالآتي: [19]

$$pRMSD = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - G_{Hi,obs})^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_{Hi,obs}} \quad (5)$$

حددت معايير الكفاءة كمقاييس رياضية لمدى جودة محاكاة النماذج للبيانات المتاحة، إن كفاءة ناش- سونكليف (E) Nash- Sutcliffe Model Efficiency Coefficient هي مقياس إحصائي يحدد الحجم النسبي للتباين المتبقي (الضجيج) مقارنة بتباين الكميات المقاسة وتشير أيضا إلى مدى مطابقة قيم المحاكاة مقابل الكميات المقاسة. يأخذ معامل كفاءة ناش- سونكليف القيم بين (1) للمطابقة التامة و(-∞) في حالة عدم التطابق، وتعطى معادلته رياضيا كما يأتي: [20]

$$E = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (G_{Hi,obs} - G_{Hi,est})^2}{\sum_{i=1}^N (G_{Hi,obs} - \bar{G}_{Hobs})^2} \right) \quad (6)$$

يقيس معامل التحديد (R²) Coefficient of Determination مدى تنبؤ القيم المتوقعة للاتجاهات في القيم المقاسة. إنها مقارنة بين تباين الأخطاء وتباين البيانات التي يراد تشكيلها ويأخذ القيم الواقعة في الفترة المغلقة بين (0) والواحد الصحيح للتطابق المثالي، ورياضيا يعطى بالصيغة الآتية: [21]

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - \bar{G}_{Hest})(G_{Hi,obs} - \bar{G}_{Hobs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - \bar{G}_{Hest})^2 \sum_{i=1}^N (G_{Hi,obs} - \bar{G}_{Hobs})^2}} \right)^2 \quad (7)$$

ويمثل كل من (\bar{G}_{Hest} ، \bar{G}_{Hobs}) معدل كمية الاشعاع الشمسي الكلي الواصل للسطح الافقي المحسوبة والمقاسة على التوالي. اما معامل الارتباط البسيط (r) Correlation Coefficient فهو يحدد مدى تطابق القيم التقديرية واتجاه علاقة الارتباط مع القيم المحسوبة ويمثل الجذر التربيعي لمعامل التحديد، ويأخذ القيم بين (+1) و(-1)، ويحسب رياضيا: [22]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - \bar{G}_{Hest})(G_{Hi,obs} - \bar{G}_{Hobs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_{Hi,est} - \bar{G}_{Hest})^2 \sum_{i=1}^N (G_{Hi,obs} - \bar{G}_{Hobs})^2}} \quad (8)$$

اختبرت صلاحية الانموذج وفحص أداؤه من خلال المعايير الستة التي تمثلت في كل من: الخطأ المئوي المطلق ومعدل الخطأ النظامي والجذر التربيعي لمعدل مربع الخطأ ومعامل كفاءة ناش - سونكليف ومعامل التحديد ومعامل الارتباط.

3. النتائج والمناقشة

أظهرت قيم اختبار التوزيع الطبيعي وتوزيع (χ^2) ومعامل الارتباط البسيط لبيانات الإشعاع الشمسي الكلي المقاسة أنه لا توجد بينها فروق ذات دلالة معنوية من الناحية الاحصائية اي تم قبول فرضية العدم ($P\text{-value} > 0.05$) والبيانات كافة متجانسة باختلاف الموقع الجغرافي في كل المحطات وتأخذ شكلا منحنيا في توزيعها اعتمادا على الحركة الظاهرية للشمس في القبة السماوية، وبلغت اعلى قيمة مقاسة في شهر اب 2005 في مدينة الموصل في حين سجلت معدلات الإشعاع الشمسي ادنى قيمة في شهر كانون الثاني في السلبيانية 1987. يمثل الجدول (2)، مَعْلَمَات الانموذج المقترح ومجموع مربع الخطأ والجذر التربيعي لمعدل مربع الخطأ الناتج من عملية مناسبة الدوال في كل شهر، اذ كانت اعلى قيمة لمجموع مربع الخطأ (SSE) Sum of Squares Error والجذر التربيعي لمعدل مربع الخطأ (RMSE) في شهر حزيران اذ بلغت (19.830) و (1.5750) في حين ظهرت اقل قيمة لهما في شهر آذار إذ بلغت (0.8797) و (0.3316) على الترتيب أي ان التحيز يزيد من قيمة كل من (SSE) و (RMSE) تلقائياً وقد تميزت شهور الصيف بظهور اعلى القيم للانحرافات في حين اقتصر ظهور القيم الدنيا لها على شهور فصل الشتاء.

الجدول (2) مَعْلَمَات الانحدار a_x , b_x , c_x ومجموع مربع الخطأ (SSE) والجذر التربيعي لمعدل مربع الخطأ (RMSE) الناتج من عملية مناسبة الدوال للنموذج المقترح.

Month	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	SSE	RMSE
Jan	42.48	26.57	0.1837	9.434	13.93	93.94	9.7840	23.03	3.174	2.4550	0.5539
Feb	54.71	31.99	0.2998	8.456	13.52	93.25	10.420	23.37	3.222	2.1110	0.5137
Mar	23.57	7.830	2.2560	14.19	36.86	56.65	6.1310	8.834	25.47	0.8797	0.3316
Apr	50.75	31.00	0.4563	8.975	11.71	108.5	8.6620	22.65	-3.585	7.3820	0.9606
May	132.4	176.4	68.670	26.09	32.66	37.88	-0.8648	11.10	36.42	10.180	1.1280
Jun	52.16	179.6	155.50	21.96	41.61	42.71	1.3470	5.701	33.35	19.830	1.5750
Jul	80.43	103.7	50.180	24.30	35.23	39.92	0.0363	9.469	35.09	18.510	1.5210
Aug	62.84	241.3	204.90	22.00	34.69	35.71	1.4820	10.06	37.79	13.760	1.3110
Sep	45.09	127.3	103.20	22.23	38.17	39.64	1.3370	7.985	35.45	15.850	1.4080
Oct	141.8	106.0	3.9440	12.36	17.88	52.85	8.1780	20.67	28.35	2.8730	0.5992
Nov	79.14	40.46	2.1270	8.323	18.29	55.82	10.610	20.52	26.64	1.2410	0.3939
Dec	38.63	22.49	0.4529	9.871	16.73	67.34	9.5280	21.37	20.05	2.0690	0.5086

يمثل الجدول (3) متوسط الخطأ المئوي المطلق للمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الافقي، إذ بلغت اعلى قيمة لمتوسط الخطأ المئوي المطلق (16.24%) في شهر حزيران في موقع البصرة، في حين لم تتجاوز (1%) في موقع الناصرية في شهر آذار، اما اعلى قيمة للمعدل العام للخطأ المئوي المطلق فلم تتجاوز (7.82%) في المحطات كافة في شهر آب، في حين ظهرت ادنى قيمة له (0.99%) في شهر آذار، مما يعطي مؤشرا جيدا على دقة الانموذج في حساب كميات الإشعاع الشمسي وتحديد فيما اذا كانت هذه الكميات اعلى او اقل من تلك التي ظهرت في التخمين. ايضا تميزت شهور الصيف بظهور اعلى القيم للمعدلات العامة للأخطاء المئوية المطلقة مقارنة بشهور فصل الشتاء والتي ظهرت فيها الأخطاء المئوية المطلقة بأدنى القيم. ظهرت ادنى قيمة سالبة لمتوسط تحيز الخطأ (MBE) في نطاق (-0.84%) في محطة البصرة في اقصى جنوب العراق لتدل على ان القيم المحسوبة كانت تحت التخمين والتي ايضا كانت بقيم سالبة في (9) محطات، بينما ظهرت القيم الموجبة لبقية المحطات للقيم فوق التقدير وبلغت اعلى قيمة لها بحدود (0.80%) وتتحرف هذه القيمة تبعاً للموقع الجغرافي فيمكن أن تكون أعلى (-0.83%) في المناطق ذات الثلوث الجوي المرتفع او اقل من (0.80%) في المناطق ذات زوايا شمسية صغيرة كمناطق الجبال المرتفعة ومناطق التضاريس المعقدة كما في محطات زاخو والسلبيانية واربيلا في اقليم كردستان في شمال العراق، اما المعدل العام لقيمة متوسط خطأ التحيز ظهرت موجبة وبحدود (0.018%) لتدل في المجمل ان للانموذج اداء دقيقا في حساب كميات الإشعاع الشمسي الافقي الكلي لمنطقة العراق.

الجدول (3) متوسط الخطأ المئوي المطلق للمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي المحسوبة والمقاسة في ظروف السماء الصافية لمنطقة العراق.

Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Kirkuk	0.51	2.24	1.72	1.19	4.26	2.58	3.52	8.18	0.89	8.12	0.22	5.95
Baghdad	0.68	2.25	0.01	5.63	4.97	2.62	6.11	2.38	2.08	3.98	2.85	2.24
Zakho	0.28	1.18	0.31	0.31	1.76	6.01	3.34	11.8	7.02	8.11	1.49	1.93
Kanaqen	0.49	1.37	1.18	0.41	1.10	0.48	0.43	6.45	2.61	7.30	2.23	1.41
Trybyl	3.14	0.82	0.78	5.74	4.46	2.36	4.01	1.67	2.92	9.67	3.03	5.73
Nukhaib	7.67	3.19	0.28	2.39	2.78	2.34	2.21	6.36	0.74	7.43	6.35	3.59
Tikreet	0.17	1.76	0.91	2.27	0.82	2.36	1.09	8.49	4.00	8.36	5.80	0.95
Kut	6.24	5.13	1.85	5.63	3.18	3.17	2.93	10.6	4.95	0.58	3.21	2.38
Sulaymaniyah	0.42	1.12	2.60	2.76	3.44	3.81	4.41	7.02	0.99	10.9	0.64	0.05
Nasiriyah	5.65	4.97	0.01	1.67	2.34	5.39	5.08	13.5	7.91	4.68	2.47	6.48
Basrah	0.50	0.69	2.50	4.73	2.69	3.72	3.95	16.3	8.55	2.40	4.38	2.75
Mosul	0.69	1.36	0.36	0.66	3.55	3.16	4.82	6.82	3.68	5.26	3.33	1.00
Najaf	5.17	2.52	0.85	0.51	0.95	1.08	2.08	7.34	1.09	8.49	4.34	4.19
Arbil	0.42	0.12	0.56	0.08	2.33	1.08	3.57	6.28	0.06	7.18	3.85	0.73
Smawa	1.89	0.24	0.60	0.04	0.92	3.21	2.39	13.5	5.31	5.63	0.20	3.64
Alsulman	6.30	4.12	2.35	5.42	6.51	3.64	5.84	6.15	0.22	6.50	3.53	7.44
Mean	2.51	2.07	1.05	2.47	2.88	2.94	3.49	8.30	3.31	6.54	3.00	3.15
Max	7.67	5.13	2.6	5.74	6.51	6.01	6.11	16.3	8.55	10.9	6.35	7.44
Min	0.17	0.12	0.01	0.04	0.82	0.48	0.43	1.67	0.06	0.58	0.2	0.05

الجذر التربيعي لمتوسط الأخطاء التربيعية RMSE ظهر بين المدى (0.5825-1.3516) مؤشرة على أن بيان القيم المحسوبة ناظرة وبأقل الفوارق القيم المقاسة لكميات الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي، وبما ان التحيز كان بأكبر قيمة له في شهور الصيف فإنه يزيد تلقائياً من قيمة RMSE، اما المعدل العام لقيمه لم تتجاوز (0.9253) في كل المحطات وهي ضمن القيمة المسموح بها لاختبارات صلاحية النماذج التجريبية في الدراسات المشابهة[23].

الجدول (4) قيم كل من: r ، R^2 ، E ، $pRMSD$ ، $RMSE$ ، MBE للمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي المحسوبة في ظروف السماء الصافية لمنطقة العراق.

Station	MBE	RMSE	$pRMSD$	E	R^2	r
Kirkuk	0.1424	0.8309	0.3831	0.9833	0.9866	0.9933
Baghdad	-0.3965	0.7358	0.3387	0.9841	0.9954	0.9977
Zakho	0.7179	1.1408	0.5485	0.9735	0.9894	0.9947
Kanaqen	0.1887	0.5825	0.2669	0.9916	0.9926	0.9963
Trybyl	0.6044	0.8232	0.3545	0.9844	0.9930	0.9965
Nukhaib	-0.0217	0.7559	0.3325	0.9884	0.9890	0.9945
Tikreet	0.4574	0.7997	0.3623	0.9856	0.9920	0.9960
Kut	-0.5024	1.0098	0.4566	0.9725	0.9916	0.9958
Sulaymaniyah	-0.0942	0.8633	0.4033	0.9821	0.9853	0.9926
Nasiriyah	-0.4673	1.2950	0.5786	0.9501	0.9888	0.9944
Basrah	-0.8355	1.3516	0.6140	0.9432	0.9822	0.9910
Mosul	-0.1084	0.7689	0.3624	0.9865	0.9887	0.9943
Najaf	-0.0934	0.7357	0.3246	0.9884	0.9886	0.9943
Arbil	0.0318	0.6303	0.2990	0.9911	0.9916	0.9958
Smawa	-0.3866	1.1010	0.4906	0.9686	0.9856	0.9928
Alsulman	0.2631	1.0549	0.4519	0.9755	0.9808	0.9903
Mean	-0.0313	0.9050	0.4105	0.9781	0.9888	0.9944
Max	0.7179	1.3516	0.6140	0.9916	0.9954	0.9977
Min	-0.8355	0.5825	0.2669	0.9432	0.9808	0.9903

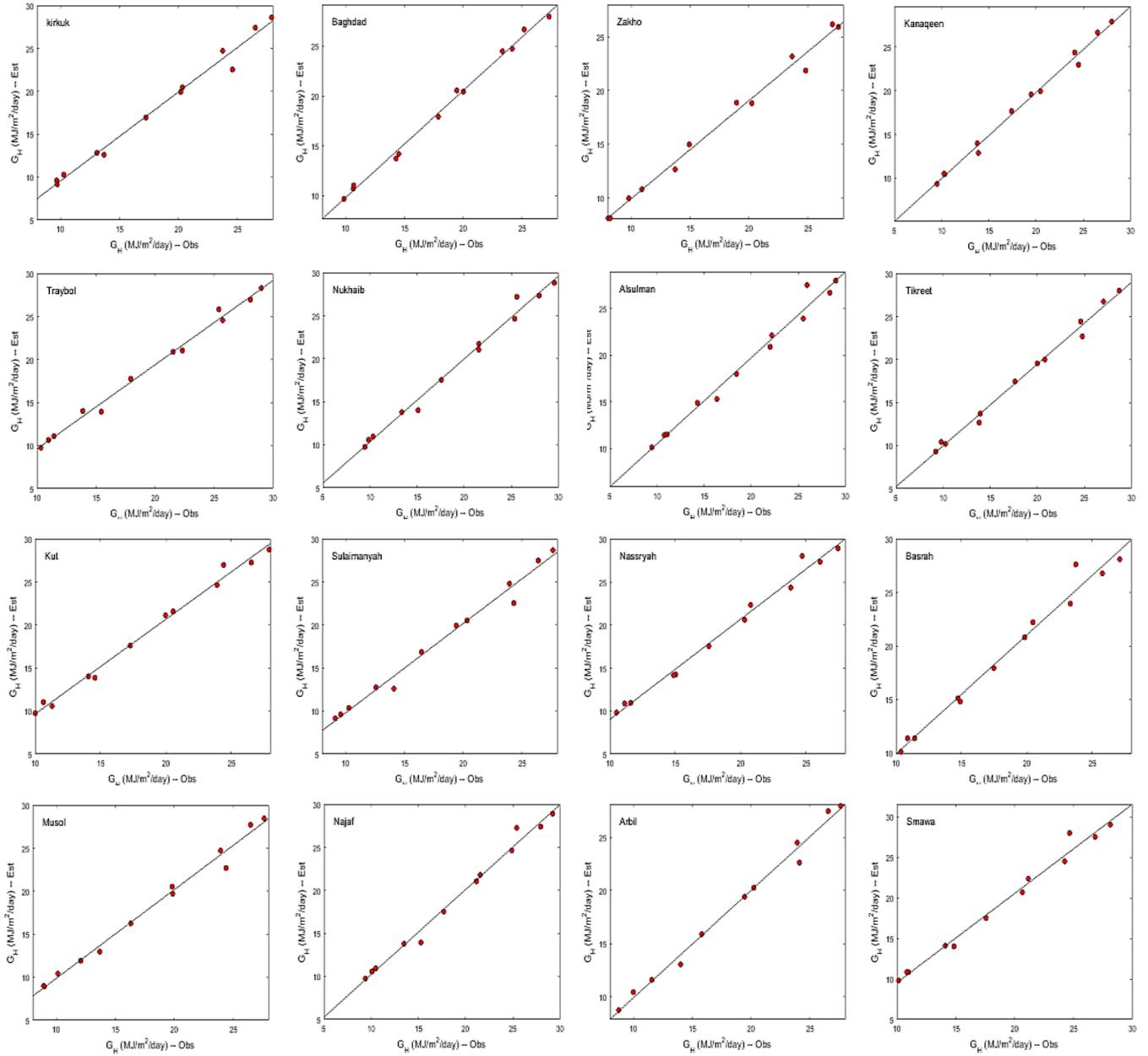
اما الجذر التربيعي لمتوسط الاخطاء التربيعية النسبي $pRMSE$ فقد ظهر في النطاق من (0.2669) الى (0.6140)، وهذه القيم لا تتجاوز الواحد الصحيح في المحطات كافة ليعطي مؤشرا اضافيا لبيان مدى صلاحية الانموذج من خلال بيان النسب المئوية للأخطاء التربيعية في حساب كميات الاشعاع الشمسي الكلي الأفقي.

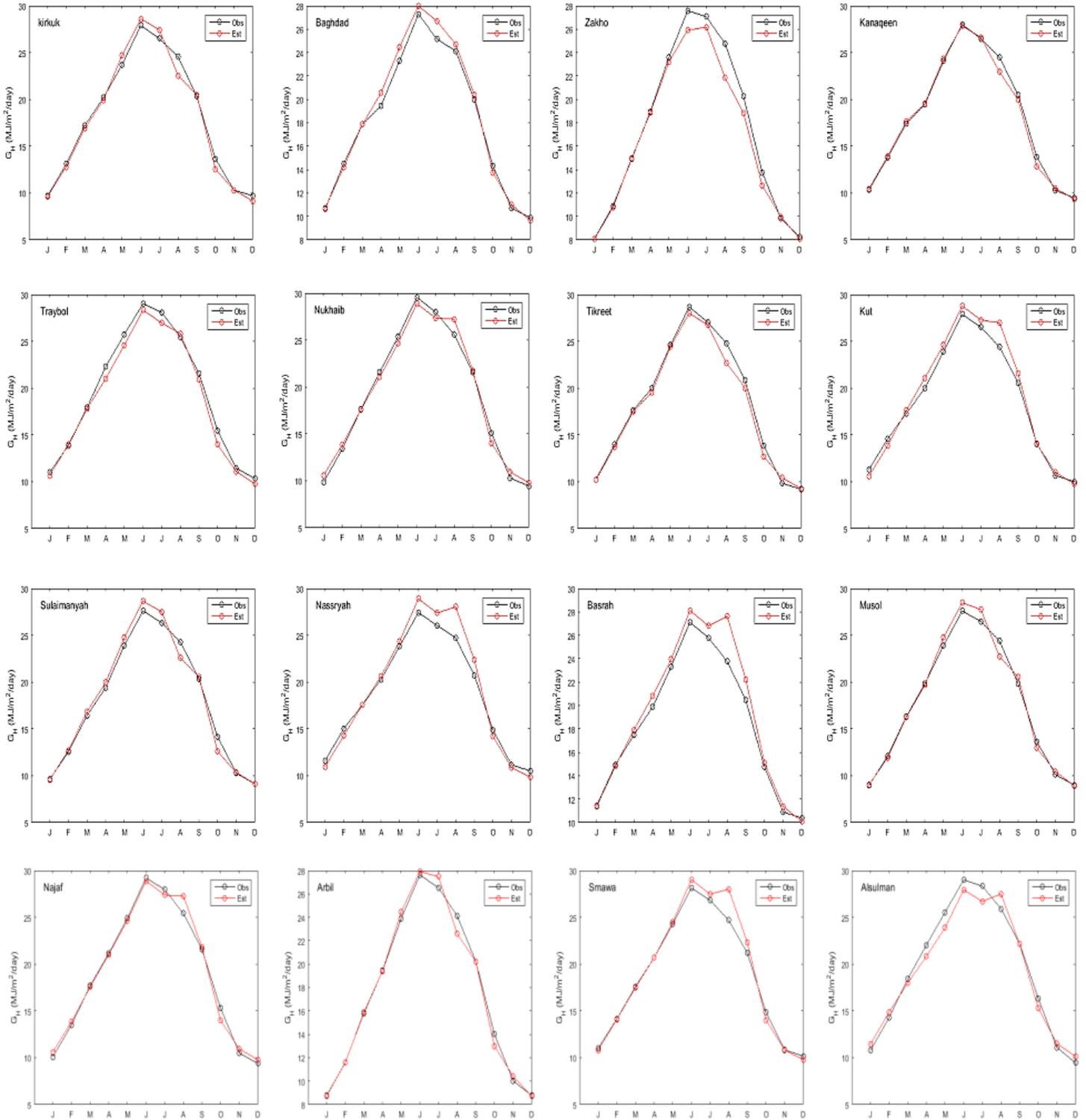
قيم معامل (r) المرتفعة تدل على قوة الارتباط بين القيم المحسوبة والمقاسة وقد ظهرت في المحطات الانوائية كافة ضمن المدى (0.9903-0.9977)، وهي قريبة كثيرا من الواحد الصحيح للارتباط التام، وهذا مؤشر اضافي على قدرة الانموذج التنبؤي والتفسيرية في دراسة العلاقة بين المتغيرين ونقصد بها القيم المحسوبة وتلك المقاسة. يوفر معامل التحديد R^2 مقياسا لمدى كميات الاشعاع الشمسي الكلي التي تمت الحصول عليها من خلال الانموذج استنادا إلى نسبة التباين الكلي للكميات المحسوبة التي أوضحها الانموذج، وقد ظهرت ضمن المدى من (0.9808) الى (0.9954) في العاصمة بغداد في حين كانت قيمة المعدل العام لمعامل التحديد في كل المحطات بحدود (0.9885)، وهي مقاربة جدا للواحد الصحيح لتبين جودة الانموذج في الحسابات التنبؤية ومطابقة نتائجه مع البيانات المرصودة [24].

اخيرا، ظهرت معاملات الكفاءة (E) قريبة جدا من الواحد الصحيح في المحطات كافة، ففي محطة خانقين في وسط شرق العراق كانت اعلى قيمة ذا بلغت (0.9916)، بينما بلغت (0.9432) في محطة البصرة الى الجنوب، واما المعدل العام لمعامل الكفاءة كان بحدود (0.9767) وهي جميعا مؤشرات واضحة في قدرة الانموذج على التنبؤ ومطابقة القيم المحسوبة والمقاسة لكميات الاشعاع الشمسي الأفقي لمنطقة العراق.

يمثل الشكل (1) الارتباط الخطي البسيط بين المعدلات الشهرية المحسوبة والمقاسة في المواقع كافة ويلاحظ ان القيم التنبؤية تطابقت تقريبا في محطة خانقين، في حين هنالك انحرافات واضحة لها عن القيم المقاسة وخصوصا في شهور فصل الصيف، اما الشكل (2) فيمثل منحنيات المعدلات الشهرية في المواقع المنتخبة والمحسوبة والمقاسة للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي ويظهر مدى انطباق المنحني التنبؤي مع منحني القيم المقاسة للسلسلة الزمنية (1984-2004) في محطة خانقين تليها محطة تكريت وكلاهما في وسط العراق، ويلاحظ من الشكل ان اقصى الانحرافات كانت في الشهور (Jun, Jul and Aug) في فصل الصيف، بينما هنالك مطابقة تامة تقريبا في كميات الاشعاع الشمسي الكلي الواصلة الى السطح الأفقي في اشهر الشتاء.

يوفر التطبيق Matlab ادوات قوية في حساب ونمذجة الاشعاع الشمسي بمركباته المتنوعة، اذ تم في الملحق (1)، كتابة شفرة برمجية لتشغيل الانموذج وحساب المعدلات الشهرية من خلال الصيغة الرياضية للانموذج المقترح والمتمثل بمجموع دالة جيب زاوية موقع الرصد لكمية الاشعاع الشمسي الكلي الافقي لمنطقة العراق.





الشكل (2) منحنيات المعدلات الشهرية المحسوبة (باللون الاحمر) والمقاسة (باللون الاسود) لكمية الاشعاع الشمسي الكلي الافقي ($MJ/m^2/day$) في (16) موقعا في العراق.

4. الاستنتاجات

اظهر الانموذج التجريبي المقترح كفاءة عالية من حيث التطبيق وامتاز ببساطته كونه اعتمد فقط على احداثي دائرة العرض فلا يحتاج الى مدخلات مناخية معقدة كبيانات حول الصفاء الجوي أو درجات الحرارة وكمية السحب والتساقط المائي وغيرها من عناصر المناخ

وله اداء دقيق في حساب كمية الاشعاع الشمسي الكلي الافقي، وعلى وفق المعايير الإحصائية بما في ذلك مقاييس التحيز (MBE ، RMSE)، ومعامل الارتباط وقرينة الكفاءة (r ، E)، والنتائج التي تم الحصول عليها في عمليات التحقق من جودة الانموذج، فقد أظهر الانموذج أفضل أداء له في أشهر فصل الشتاء مقارنة بأشهر الصيف، ويعود ذلك لعامل زاوية سقوط أشعة الشمس التي تكون عمودية تقريباً في أغلب المناطق مما يقلل الفوارق في الكميات المتوفرة على السطح الأفقي في كل منطقة، وعليه تصبح عملية مناسبة الدوال لها ذات خطأ أكبر في الحساب والتخمين، ومع ذلك، ففي حالات مثل تشغيل نماذج المحاكاة المناخية التي تعتمد على برمجيات حاسوبية معقدة والتي تتطلب بيانات الإشعاع الشمسي كمدخلات لها أو عندما تكون البيانات المعتمدة على تقنيات الأقمار الاصطناعية غير متوفرة أو آلية استردادها من مواقع الإنترنت تكون غير مجانية، فإن تقدير الإشعاع الشمسي من إحدائيات الموقع - فقط - هو بديل مناسب له دقة عالية ويغطي بشكل واسع اقاليم العراق.

5. شكر وتقدير

يتقدم الباحث الى الزملاء كافة الذين دعموا البحث بخبراتهم العلمية واللغوية من خلال تقييمهم الرصين لمحتوياته وتوظيف جهودهم لإخراجه بهذه الصورة تنصيذا وإخراجا فلهم عظيم الشكر وخالص التقدير.

6. المصادر

- [1] **Fahey**, D.W., S.J. Doherty, K.A. Hibbard, A. Romanou, and P.C. Taylor, "Physical drivers of climate change. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 73-113, 2017, DOI: 10.7930/J0513WCR.
- [2] **Mohammad** Asif Salam, Sami A. Khan, Transition towards sustainable energy production – A review of the progress for solar energy in Saudi Arabia, Energy Exploration & Exploitation, Vol. 36(1) 3–27, 2018, DOI: 10.1177/0144598717737442
- [3] **Olle** Inganäs, Villy Sundström, Solar energy for electricity and fuels. Ambio, 45(Suppl. 1):S15–S23, 2016.
- [4] **Erica** Zell, Sami Gasim, Stephen Wilcox, Suzan Katamoura, Thomas Stoffel, Husain Shibli, Jill Engel-Cox, Madi Al Subie, Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia. Solar Energy 119, 422–438, 2015.
- [5] **Holben** BN, Tanre D, Smirnov A, Eck TF, Slutsker I, Abuhassan N, Newcomb WW, Schafer JS, Chatenet B, Lavenu F, Kaufman YJ. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET. Journal of Geophysical Research: Atmospheres., **106**(D11):12067-12097, 2001.
- [6] **Samer** Alsadi, Yasser Fathi Nassar, Correction of the ASHRAE clear-sky model parameters based on solar radiation measurements in the Arabic countries, International Journal of Renewable Energy Technology Research Vol. 5, No. 4, pp. 1-16, ISSN: 2325 - 3924 (Online), 2016.
- [7] **Hussain** H. Al-Kayiem, Sanan T. Mohammad, Potential of Renewable Energy Resources with an Emphasis on Solar Power in Iraq: An Outlook, Resources **2019**, 8, 42; DOI: 10.3390/resources8010042.
Lucien Wald, "Basics in solar radiation at Earth's surface", pages 6-8, 2018, DOI:10.13140/RG.2.2.36149.93920
- [8] **Edward** A. FRIEMAN, ERIC J. BARRON, ROBERT COSTANZA, Solar Influences on Global Change (1994), Board on Global Change, National Research Council, Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4778>.
- [9] **Alaabed**, Kareem, D., M., Influence of astronomical and geographical location in severe weather and climate phenomena in Iraq, Journals geographic, ISSN: 1992-2051 No 11 (2009), Pages: 337-356. DOI: 10.36328/0833-000-011-010
- [10] **Malcolm** Walker, Climate of Iraq, Air Force Combat Climatology Center AFCCC/CCD-05/002, 2005.

- [11] **Al-Ansari**, Nadhir, “Topography and Climate of Iraq”, Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol. 11, No. 2, 2021, 1-13, <https://doi.org/10.47260/jesge/1121>.
- [12] **Stephen H. Schneider**, Abrupt Non-Linear Climate Change, Irreversibility and Surprise, *env/epoc/gsp(2013)13/final*, [ww.oecd.org/environment/cc/2482280.pdf](http://www.oecd.org/environment/cc/2482280.pdf).
- [13] **Kadir Bakirci**, Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, *Energy* 34 (2009) 485–501, DOI:10.1016/j.energy.2009.02.005.
- [14] **Hassan A. N. Hejase and Ali H. Assi** (2011). MATLAB-Assisted Regression Modeling of Mean Daily Global Solar Radiation in Al-Ain, UAE, pp 2015-216, DOI: 10.5772/1532
- [15] **S. K. Morley**, Alternatives to accuracy and bias metrics based on percentage errors for radiation belt modeling applications, Los Alamos National Laboratory, LA-UR-16-24592, 2016-07-01 (rev.1).
- [16] **Cort J. Willmott, Kenji Matsuura**, Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance, *CLIMATE RESEARCH, Clim Res*, Vol. 30: 79–82, 2005.
- [17] **Tianfeng Chai and Roland R. Draxler**, Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature, *Geosci. Model Dev.*, 7, 1247–1250, 2014.
- [18] **Mutwaly Mossad El-Metwally**, Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 67 (2005) 1331–1342.
- [19] **Nash, J.E., Sutcliffe, J.V.**, 1970, River flow forecasting through conceptual models, Part I – A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10, 282-290.
- [20] **James P. Barrett**, ”The Coefficient of Determination—Some Limitations” <https://doi.org/10.1080/00031305.1974.10479056>, pages 19-20, 2012
- [21] **A. G. Asuero, A. Sayago & A. G. González**, “The Correlation Coefficient: An Overview” DOI: 10.1080/10408340500526766, pages 41-59, 2007
- [22] **Akram Abdulameer Abbood Al-Khazzar, Aseel Jamal Khaledb**, A Comparative Study of the Available Measured Global Solar Radiation in Iraq, *JREE: Vol. 4, No. 2&3, (Spring & Summer 2017)* 47-55.
- [23] **Hossein Khorasanizadeh, Kasra Mohammadi, Mahdi Jalilvand**, A statistical comparative study to demonstrate the merit of day of the year-based models for estimation of horizontal global solar radiation, *Energy Conversion and Management* 87 (2014) 37–47.

7. الملاحق

ملحق (1)

شفرة برمجية بلغة ماتلاب لحساب المعدل الشهري للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي (MJ/m²/day) في ظروف السماء الصافية في العراق.

% Matlab code to run sum of sins model

clc

close all

parameter=[

42.48	26.57	0.1837	9.434	13.93	93.94	9.7840	23.03	3.174
54.71	31.99	0.2998	8.456	13.52	93.25	10.420	23.37	3.222
23.57	7.830	2.2560	14.19	36.86	56.65	6.1310	8.834	25.47
50.75	31.00	0.4563	8.975	11.71	108.5	8.6620	22.65	-3.585
132.4	176.4	68.670	26.09	32.66	37.88	-0.8648	11.10	36.42
52.16	179.6	155.50	21.96	41.61	42.71	1.3470	5.701	33.35
80.43	103.7	50.180	24.30	35.23	39.92	0.0363	9.469	35.09
62.84	241.3	204.90	22.00	34.69	35.71	1.4820	10.06	37.79
45.09	127.3	103.20	22.23	38.17	39.64	1.3370	7.985	35.45
141.8	106.0	3.9440	12.36	17.88	52.85	8.1780	20.67	28.35
79.14	40.46	2.1270	8.323	18.29	55.82	10.610	20.52	26.64
38.63	22.49	0.4529	9.871	16.73	67.34	9.5280	21.37	20.05

];

lat=(pi/180)*[29:0.25:38];

for k=1:length(lat);

```

x=lat(k,:);
for i=1:12;
a1= parameter (i,1);a2= parameter (i,2);a3= parameter (i,3);
b1= parameter (i,4);b2= parameter (i,5);b3= parameter (i,6);
c1= parameter (i,7);c2= parameter (i,8);c3= parameter (i,9);
GHSRest=a1 *sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2) + a3*sin(b3*x+c3);
disp([k GHSRest])
end
end
end

```

ملحق (2)

المعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الأفقي (MJ/m²/day) المحسوبة في ظروف السماء الصافية في العراق.

Station	lat(rad)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Kirkuk	0.6191	9.6220	12.798	16.924	19.941	24.733	28.614	27.443	22.551	20.493	12.56	10.313	9.1502
Baghdad	0.5800	10.710	14.185	17.882	20.558	24.479	27.995	26.692	24.720	20.403	13.732	11.004	9.6646
Zakho	0.6480	8.0627	10.778	14.965	18.886	23.208	25.925	26.164	21.863	18.831	12.641	9.9727	8.1020
Kanaqen	0.5986	10.399	13.959	17.633	19.560	24.363	27.874	26.609	22.937	19.947	12.859	10.511	9.3619
Trybyl	0.5711	10.663	14.001	17.791	21.030	24.594	28.344	26.968	25.838	20.932	13.967	11.085	9.7549
Nukhaib	0.5590	10.599	13.825	17.566	21.049	24.663	28.868	27.362	27.222	21.735	13.986	10.959	9.7778
Tikreet	0.6035	10.228	13.728	17.485	19.549	24.407	28.006	26.74	22.692	20.007	12.672	10.397	9.2935
Kut	0.5615	10.599	13.835	17.611	21.102	24.663	28.772	27.292	26.969	21.575	14.001	11.001	9.7798
Sulaymaniyah	0.6205	9.5683	12.714	16.870	19.964	24.764	28.656	27.507	22.571	20.537	12.587	10.326	9.1383
Nasiriyah	0.5424	10.945	14.273	17.563	20.635	24.386	28.909	27.378	28.048	22.384	14.190	10.873	9.8404
Basrah	0.5335	11.378	14.803	17.920	20.796	23.964	28.124	26.809	27.624	22.202	15.095	11.369	10.095
Mosul	0.6339	9.0122	11.922	16.242	19.714	24.760	28.476	27.752	22.726	20.563	12.953	10.458	8.9068
Najaf	0.5582	10.601	13.826	17.553	21.029	24.661	28.896	27.382	27.297	21.784	13.981	10.945	9.7769
Arbil	0.6391	8.7296	11.572	15.885	19.415	24.460	27.919	27.483	22.612	20.217	13.006	10.412	8.7032
Smawa	0.5463	10.805	14.089	17.497	20.679	24.502	29.034	27.473	28.019	22.323	14.032	10.820	9.7952
Alsulman	0.5323	11.445	14.880	17.991	20.842	23.887	27.953	26.686	27.508	22.137	15.293	11.488	10.150
Mean		10.3145	13.5677	17.2966	20.3544	24.3292	28.1401	27.0021	25.1372	21.0191	13.8312	10.8740	9.5327