

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

تخمين صافي الإشعاع الشمسي في العراق وعلاقته ببعض المتغيرات الإشعاعية والمناخية

وليد اسمير الرجبو وفiras يونس

قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

Received on: 25/9/2011; Accepted on: 8/1/2012

الملخص: تم في هذا البحث إيجاد المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) لـ 19 محطة انوائية موزعة في عموم العراق وذلك من خلال نموذج (FAO-56) المستخدم بشكل واسع عالمياً للفترة الزمنية (1980-2008). تم إيجاد علاقات ارتباط خطية لعموم العراق بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية لكل من: الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (Ra)، الإشعاع الشمسي الكلي (Rs)، صافي الإشعاع قصير الموجة (Rns)، صافي الإشعاع طويل الموجة (Rnl) ونسبة السطوع (n/N)، والتي أعطت معامل ارتباط تراوح بين (0.707-0.986). تم أيضاً إيجاد علاقة ارتباط متعدد بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع والمعدلات الشهرية لكل العناصر المناخية التالية [RH, T_{min}, T_{max}, Rs] لعموم العراق والتي أعطت معامل ارتباط عالي بلغ (0.999).

Estimation of the Net Solar Radiation in Iraq and it's Relation with Radiation and Weather Parameters

Waleed Al-Rijabo and Firas Younes

Physics Department, College of Education, Mosul University, Iraq.

Abstract: FAO-56 Model, which is widely used in the world, was used to estimate the net Radiation (Rn) in 19 weather stations spread in IRAQ for the time period (1980-2008). Linear Regression Equations were found for Iraq between the mean monthly values of (Rn) and the mean monthly values of: Extraterrestrial Radiation (Ra), Total solar radiation (Rs), Net Short wave radiation (Rns), Net Long wave radiation (Rnl), Sun shine ratio (n/N), which gives a correlation coefficients ranged between (0.707-0.986). Multiple Regression Equation was found between the mean monthly values of (Rn) and the mean monthly values of all the following climatic elements [RH, T_{min}, T_{max}, Rs] for Iraq which gives a highly correlation coefficient reach (0.999).

المقدمة

إن معرفة صافي الإشعاع مهم جداً في العديد من المشاريع الصناعية والزراعية وإدارة المياه وفي مجالات البيئة والتلوث، كما أن تحديد صافي الإشعاع يعد أساسياً في تحديد العديد من النماذج الجوية والدراسات المناخية [1,2].

وإن بيانات صافي الإشعاع (Rn) نادراً ما تكون متوفرة وذلك بسبب محدودات فنية واقتصادية [3]. تم تطوير واستنتاج عدة طرق عملية لتخمين صافي الإشعاع وذلك بالاعتماد على متغيرات فلكية وانوائية [4]. إن من أهم نماذج تخمين صافي الإشعاع الذي اخذ مداه الواسع في التطبيق في معظم بلدان العالم هو نموذج FAO-56 [5].

في العراق قام عدد من الباحثين بدراسة صافي الإشعاع منهم الرياحي وآخرون [6] سنة (2003)،

العامة للأنواء الجوية. إما بالنسبة للمحطات التي لا تتوفر فيها أجهزة قياس الإشعاع الشمسي فقد تم تخمين المعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي فيها من خلال نموذج Glover وبثوابت محلية تم استنباطها والنموذج هو:

$$R_s = R_a [-0.847 + 1.259 \cos (\varnothing) + 0.473 (n/N)] \quad (1)$$

النموذج اعطى دقة عالية لدى التطبيق بحيث لم يتجاوز نسبة الخطأ المطلق (MAE%) بين القيم المقاسة والمقدرة عن (4.3%).

تم حساب قيم صافي الإشعاع عن طريق استخدام نموذج (56 - FAO) لكل محطة من المحطات المختارة حيث:

$$R_n = R_{ns} - R_n \quad (2)$$

R_{ns} : صافي الإشعاع قصير الموجة بوحدة (MJ/m².d)

R_n : صافي الإشعاع طويل الموجة بوحدة (MJ/m².d)

$$R_{ns} = R_s - \alpha R_s = (1 - \alpha) R_s = 0.77 R_s \quad (3)$$

α : قيمة معامل الانعكاس (البياضية) والتي تؤخذ (0.23) وفق النموذج الرياضي.

R_s : الإشعاع الشمسي الكلي بوحدة (MJ/m².d).

أما R_n فقد تم حسابه من المعادلة

$$R_n = \sigma \left[\frac{T_{max,K}^4 - T_{min,K}^4}{4} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{\frac{T_{max,K} - T_{min,K}}{T_{max,K} + T_{min,K}}}) (1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35) \quad (4)$$

$T_{max,K}$, $T_{min,K}$: درجة الحرارة المطلقة العظمى والصغرى بوحدة (K).

R_{s0} : إشعاع السماء الصافية بوحدة (MJ/m².d).

σ : ثابت ستيفان-بولتزمان:

$$4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

e_a : ضغط البخار الماء الفعلي بوحدة (kPa).

العتابي [7] سنة (2000)، خضر جاسم [8] سنة (2010).

Irmak وآخرون [9] سنة (2003) استخدموا الحد الأدنى من البيانات المناخية لتخمين صافي الإشعاع (R_n) في مناطق مختلفة من الولايات المتحدة الأمريكية.

قام الباحثون (Dharmaratine, *et al.*) [10] سنة (1999) بتخمين صافي الإشعاع اليومي باستخدام البيانات الانوائية الروتينية في جامايكا. إذ وجدوا ان معامل الارتباط بين القيم المخمنة والقيم المقاسة بلغ (0.98).

الباحثون (Jennifer. *et al.*) [11] سنة (2004) استخدموا بيانات الاقمار الصناعية في تخمين صافي الإشعاع في مناطق فلوريدا تحت ظروف السماء الصافية والغائمة، ووجدوا علاقات ارتباط قوية بين القيم المقاسة لـ (R_n) والقيم المخمنة بواسطة الاقمار الصناعية.

يهدف البحث إلى:

1. إيجاد المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (R_n) لـ (19) محطة موزعة في عموم العراق وذلك من خلال نموذج (56-FAO) ورسم خرائط كنتورية لكل شهر من اشهر السنة.

2. إيجاد علاقات ارتباط خطية ومتعددة بين صافي الإشعاع (R_n) والعناصر المناخية والإشعاعية.

طرائق البحث

بالاستعانة بالهيئة العامة للأنواء الجوية العراقية أخذت بيانات العناصر الجوية التي يتطلبها النموذج الرياضي والمتمثلة بـ (السطوع الشمسي، درجات الحرارة العظمى والصغرى، الرطوبة النسبية) وذلك للفترة الزمنية (1980-2008) للمحطات (زاخو، الموصل، اربيل، البعاج، السليمانية كركوك، بيجي، عنة، الخالص، بغداد، الرطبة، الكوت، النخيب، النجف، العمارة، السماوة، الناصرية، البصرة، السلمان).

أما بالنسبة لبيانات عنصر الإشعاع الشمسي الكلي (R_s) فقد تم الحصول على بيانات الإشعاع الشمسي الكلي في محطات (الموصل، كركوك، بغداد، الرطبة، الناصرية) وذلك حسب توفر هذه البيانات لدى الهيئة

تم في هذا البحث

بين (Rn) والمتغيرات الإشعاعية وذلك لعموم العراق.

■ برنامج (Spss V.10) وبرنامج (Mintab V.11) تم استخدامهما لإيجاد علاقات الارتباط المتعدد بين صافي الإشعاع (Rn) والمتغيرات المناخية ((Rs , Tmax , Tmin , % RH) وذلك لعموم العراق.

الملاحق (1، 2، 3، 4) توضح المعدلات الشهرية للعناصر المناخية والإشعاعية للمحطات كافة.

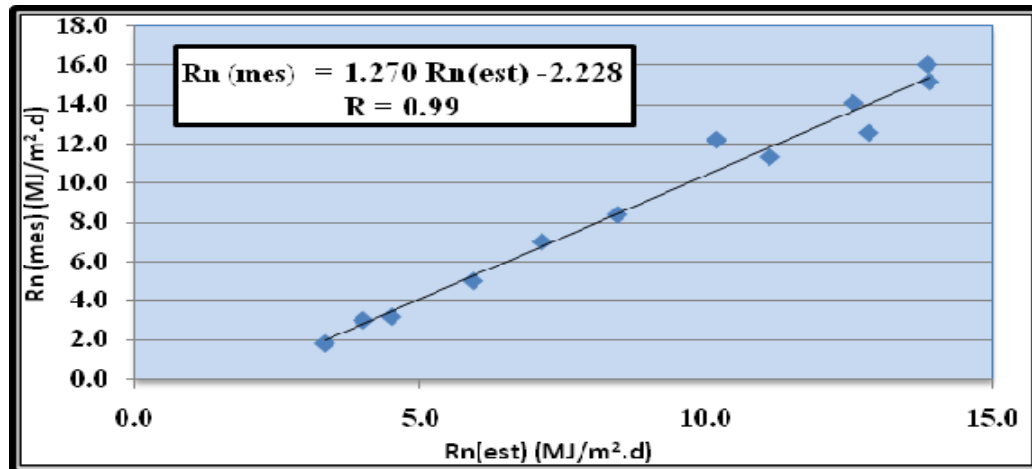
النتائج والمناقشة

1- اختبار دقة نموذج الـ FAO-56 في تخمين صافي الإشعاع

لأجل اختبار دقة نتائج نموذج الـ FAO-56 في تخمين صافي الإشعاع، فإن المخطط (1) يوضح علاقة الارتباط بين القيم المقاسة لصافي الإشعاع لمدينة بغداد [8] مع قيم مخمنة بواسطة نموذج الـ FAO-56. يوضح المخطط علاقة الارتباط الخطية الطردية القوية بين القيم المقاسة والقيم المخمنة لصافي الإشعاع، إذ بلغ معامل الارتباط بينهما ($R = 0.99$) وهذا يوضح وجود تقارب كبير بين القيم المقاسة والقيم المخمنة للـ (Rn) وبالتالي يوضح دقة النموذج.

- إيجاد المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn).
 - رسم خرائط كنتورية لصافي الإشعاع (Rn) وذلك خلال أشهر السنة. ثم تم إيجاد المعدل العام لصافي الإشعاع خلال أشهر السنة من خلال الخرائط الكنتورية.
 - إيجاد علاقات الارتباط خطية بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية لعناصر الإشعاع [Ra , Rns.Rs , n/N.Rnl] لعموم العراق.
 - إيجاد علاقة ارتباط المتعدد بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية للعناصر المناخية التالية [RH , T_{min} , T_{max} , Rs] لعموم العراق.
- وقد تم استخدام:

- برنامج (Gis V-3.3) لتسقيط المحطات المختارة على الخارطة وبرنامج (Surfer V 9.9.785) لرسم الخرائط الكنتورية للـ (Rn) وذلك لكل شهر من أشهر السنة.
- برنامج (Global Mapper V 11) استخدم لإيجاد المساحات بين الخطوط الكنتورية.
- كما تم استخدام برنامج (Microsoft Office Excel (2007)) لإيجاد علاقات ارتباط خطية



المخطط (1): علاقة الارتباط بين القيم المقاسة والمخمنة للـ (Rn) في مدينة بغداد.

2- دراسة توزيع المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع خلال اشهر السنة

المخطط (2) يوضح توزيع المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) بوحدات (MJ/m².d) في العراق خلال أشهر الشتاء، ويمكن الاستنتاج من هذا المخطط ما يلي:

1- إن قيم المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع لعموم العراق والمحسوبة بواسطة طريقة الخطوط الكنتورية لأشهر الشتاء كانت (3.35، 3.87، 5.73) MJ/m².d لأشهر كانون الأول، كانون الثاني، شباط على التوالي.

2- الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها لصافي الإشعاع كانت متباعدة بشكل واضح خلال شهري كانون الأول، كانون الثاني وبدرجة اقل في شهر شباط

3- الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها لصافي الإشعاع بلغت (4، 5، 6) خطوط خلال أشهر كانون الأول، كانون الثاني، شباط على التوالي، الفاصلة الكنتورية بين الخطوط لجميع أشهر السنة (0.4) MJ/m².d.

المخطط (3) يوضح توزيع المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) بوحدات (MJ/m².d) في العراق خلال أشهر الربيع، ويمكن الاستنتاج من هذا المخطط ما يلي:

1- إن قيم المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع لعموم العراق والمحسوبة بواسطة طريقة الخطوط الكنتورية لأشهر الربيع كانت (8.2، 10.56، 12.23) MJ/m².d لأشهر آذار، نيسان، أيار على التوالي.

2- الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها خلال شهري آذار ونيسان كانت متقاربة في المنطقتين الشمالية والوسطى ومتباعدة في المنطقة الجنوبية في حين في شهر أيار يلاحظ إن الخطوط الكنتورية فيه متباعدة.

3- عدد الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها خلال شهري آذار ونيسان بلغت (7، 6) خطوط في حين بلغ عدد الخطوط في شهر أيار (4) خطوط.

المخطط (4) يوضح توزيع المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) بوحدات (MJ/m².d) في العراق خلال أشهر الصيف، ويمكن الاستنتاج من هذا المخطط ما يلي:

1- إن قيم المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع لعموم العراق والمحسوبة بواسطة طريقة الخطوط الكنتورية لأشهر الصيف حزيران، تموز، آب كانت (13.39، 13.18، 11.97) MJ/m².d على التوالي.

2- الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها خلال أشهر الصيف كانت متعرجة وبالأخص في المنطقتين الوسطى والجنوبية وتحتصر بينها دوائر مغلقة.

3- لم يلاحظ تدرج في قيم الخطوط الكنتورية كلما اتجهنا من شمال العراق إلى جنوبه إذ إن معظم المناطق الجنوبية أعطت قيم مقارنة للمنطقة الشمالية في حين إن المناطق الوسطى وبالأخص الهضبة الغربية أعطت قيم للخطوط الكنتورية أعلى مما في باقي المناطق، بلغ عدد الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها لصافي الإشعاع (5، 4، 6) خطوط خلال أشهر حزيران، تموز، آب على التوالي.

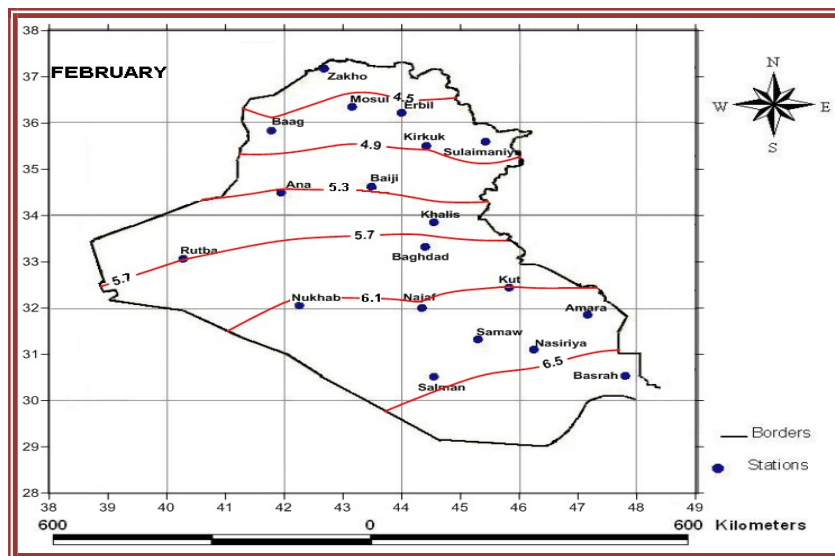
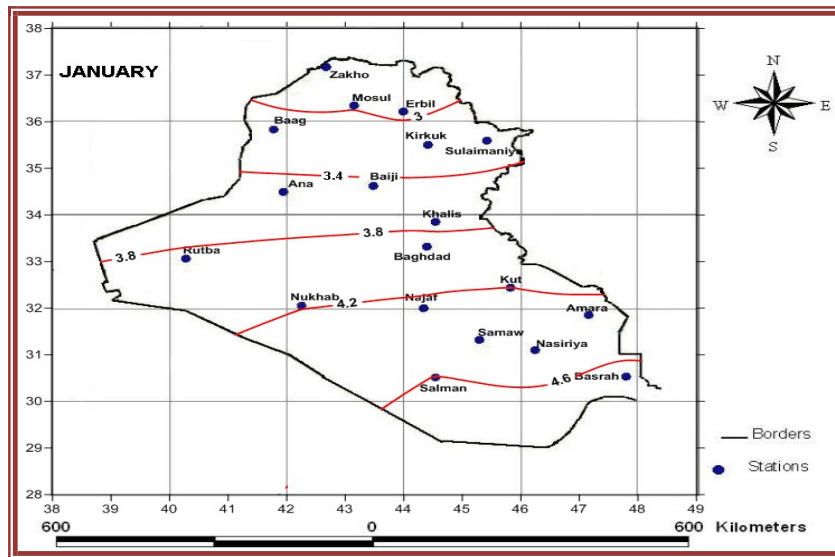
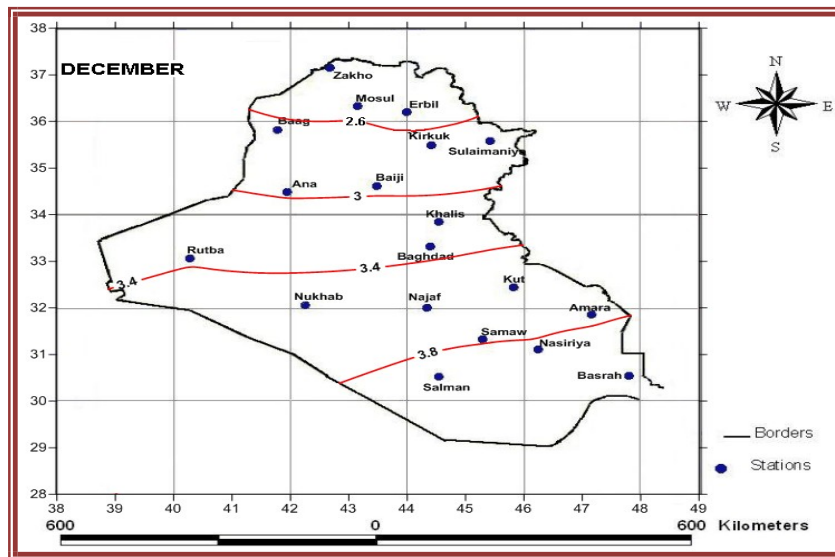
المخطط (5) يوضح توزيع المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) بوحدات (MJ/m².d) في العراق خلال أشهر الخريف، ويمكن الاستنتاج من هذا المخطط ما يلي:

1- إن قيم المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع لعموم العراق والمحسوبة بواسطة طريقة الخطوط الكنتورية لأشهر الخريف أيلول، تشرين الأول، تشرين الثاني هي (9.65، 6.76، 4.43) MJ/m².d على التوالي.

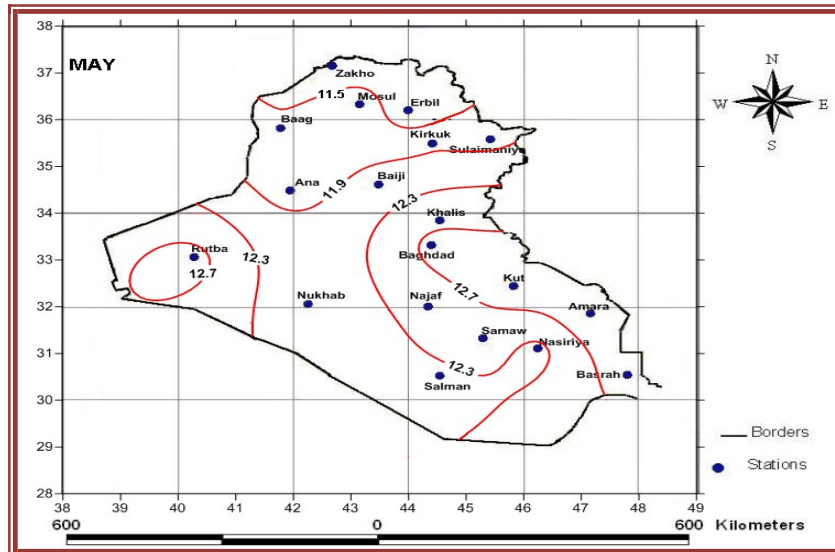
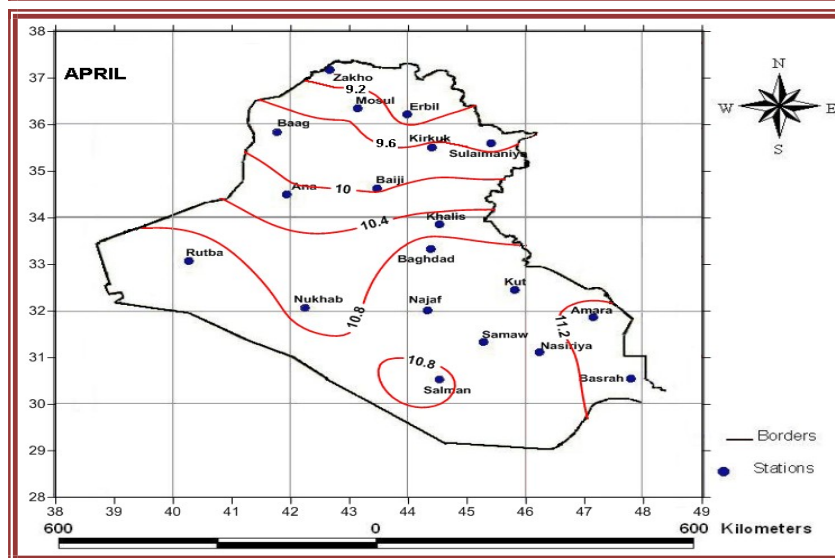
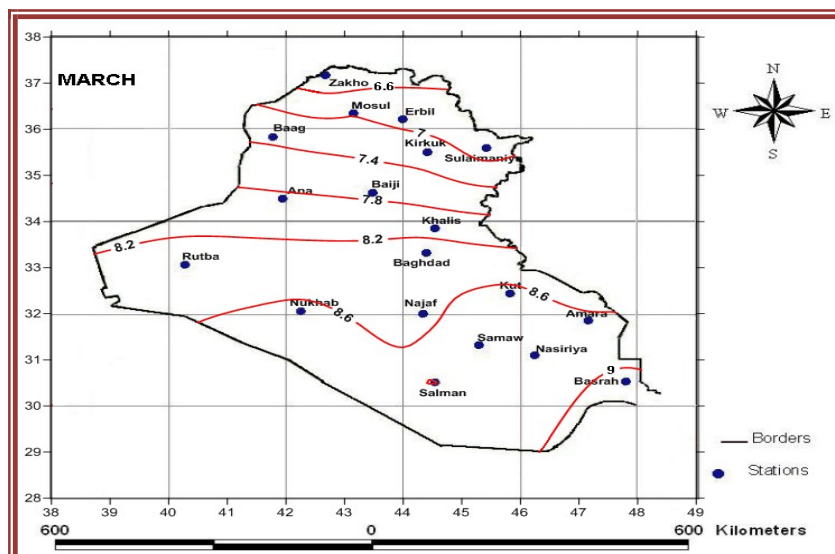
2- الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها خلال أشهر الخريف كانت متباعدة نوعاً ما ولا تنحصر بينها دوائر مغلقة.

3- عدد الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها بلغت (5، 6، 6) خطوط خلال أشهر أيلول، تشرين الأول، تشرين الثاني على التوالي.

تخمين صافي الإشعاع في العراق وعلاقته ببعض المتغيرات الإشعاعية والمناخية

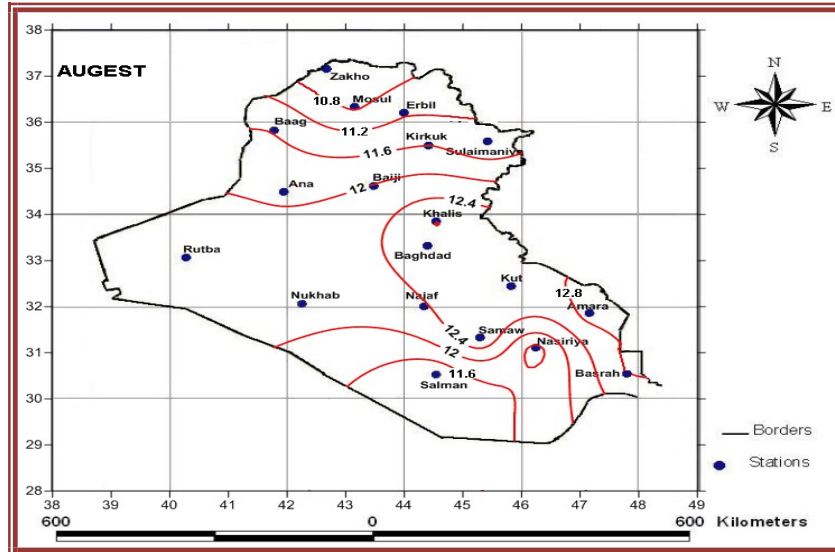
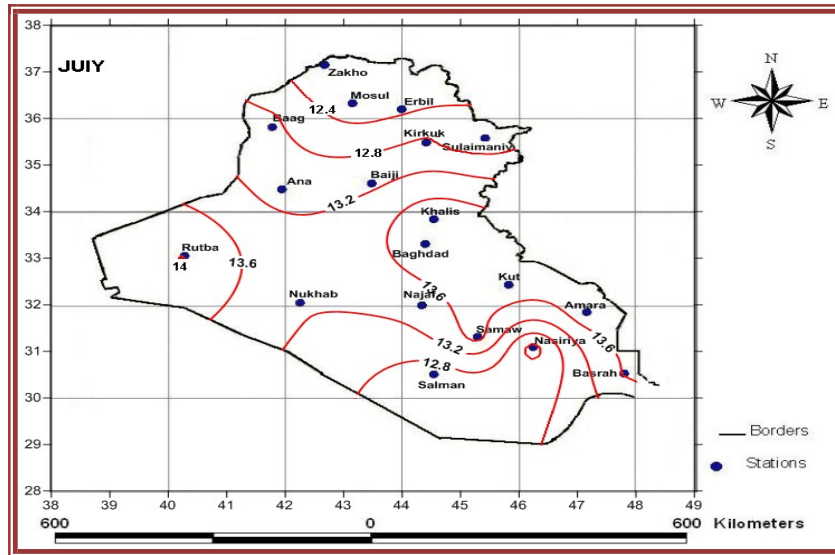
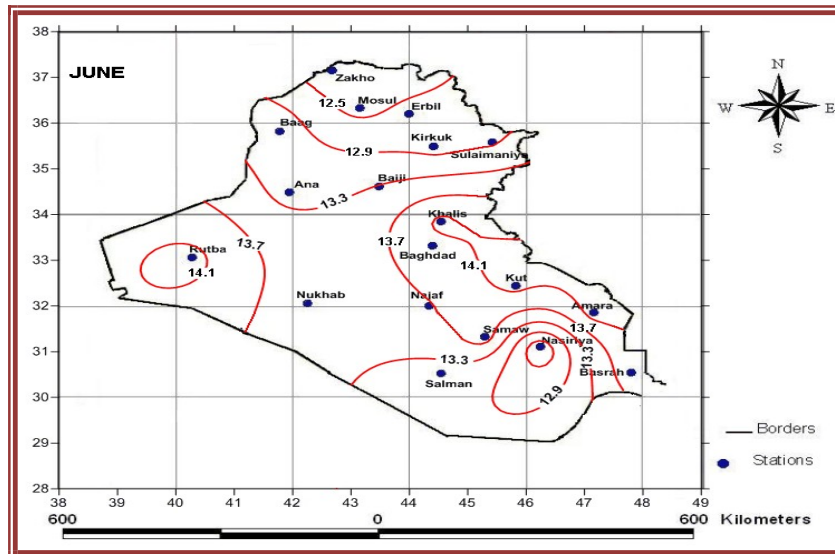


مخطط (2): توزيع المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) بوحدات (MJ/m². d) في العراق خلال أشهر الشتاء.

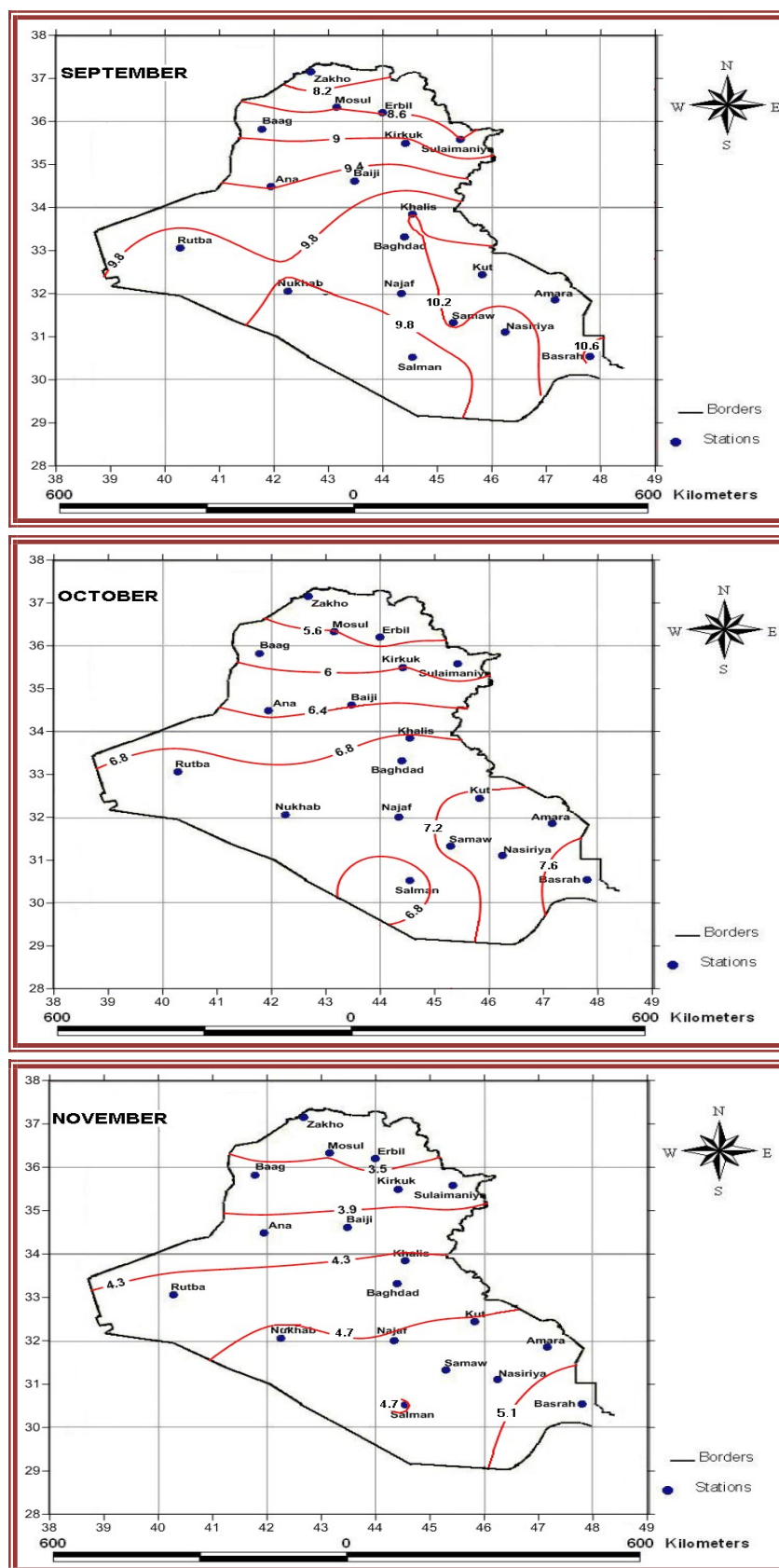


مخطط (3): توزيع المعدلات الشهرية لاصافي الإشعاع (R_n) بوحدات ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{d}$) خلال في العراق أشهر الربيع.

تخمين صافي الإشعاع في العراق وعلاقته ببعض المتغيرات الإشعاعية والمناخية

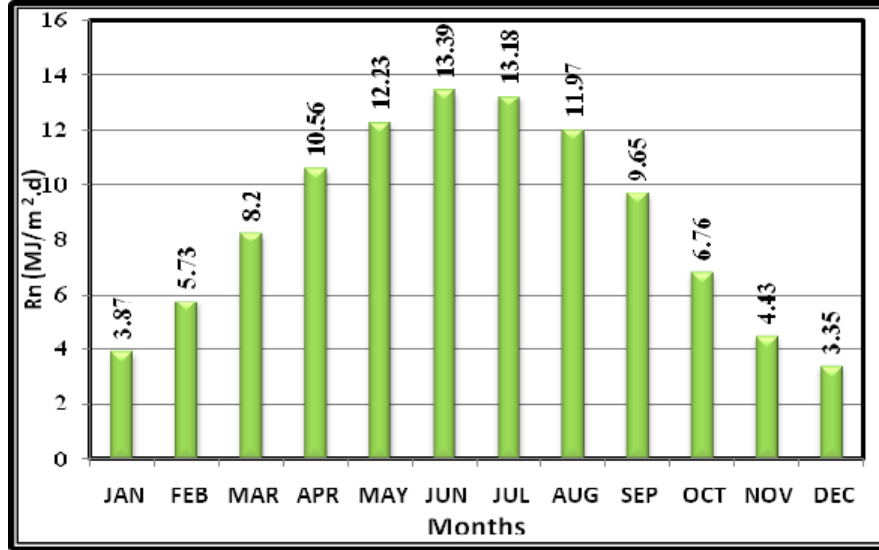


مخطط (4): توزيع المعدلات الشهرية لـصافي الإشعاع (R_n) بوحدة $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{d}$ في العراق خلال أشهر الصيف.



مخطط (5): توزيع المعدلات الشهرية لاصافي الإشعاع(Rn) بوحدات (MJ/m². d) في العراق خلال أشهرالخريف.

المخطط (6) يوضح مقارنة بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (R_n) بوحدة ($MJ/m^2.d$) لعموم العراق بموجب طريقة الخرائط الكنتورية. إذ يلاحظ إن أعلى قيم للـ (R_n) كانت خلال شهر حزيران إذ بلغت

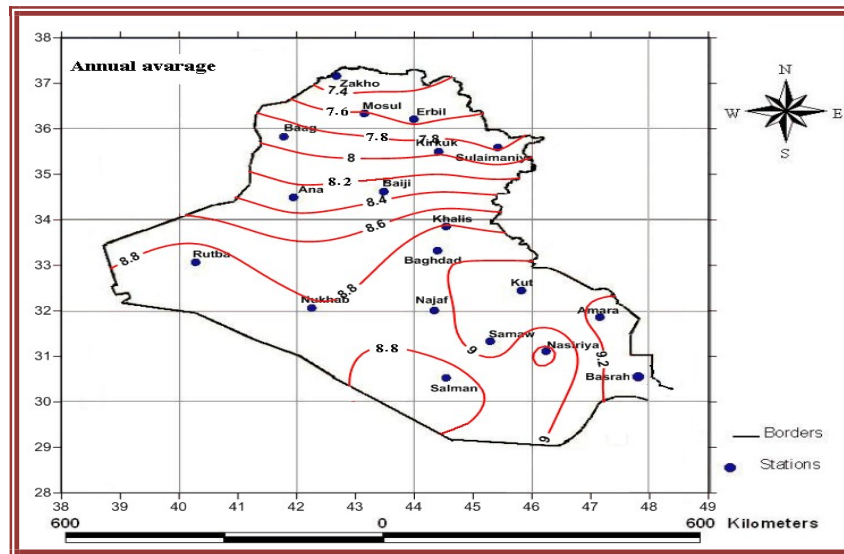


مخطط (6): المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (R_n) بوحدة ($MJ/m^2.d$) لعموم العراق بموجب الخرائط الكنتورية.

3- توزيع المعدلات السنوية لصافي الإشعاع (R_n)

المخطط (7) يوضح توزيع المعدلات السنوية لصافي الإشعاع بوحدة ($MJ/m^2.d$) للعراق إذ يتضح من المخطط:

- 1- المعدل السنوي لصافي الإشعاع لعموم العراق بلغ $MJ/m^2.d$ (8.62)
- 2- الخطوط الكنتورية لصافي الإشعاع كانت متقاربة في المنطقة الشمالية ومتباعدة في المنطقتين الوسطى والجنوبية
- 3- عدد الخطوط الكنتورية التي تم الحصول عليها بلغ (10) خطوط وبفاصلة كنتورية ($0.2 MJ/m^2.d$) ولا تحصر بينها دوائر مغلقة.



مخطط (7): توزيع المعدلات السنوية لصافي الإشعاع (R_n) بوحدة ($MJ/m^2.d$) في العراق.

4- علاقات الارتباط بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية للعناصر الإشعاعية والمناخية لعموم العراق

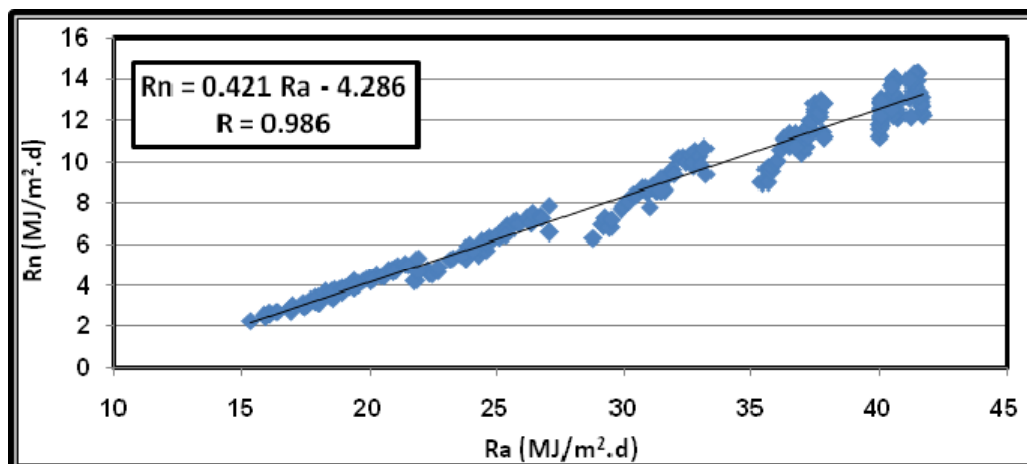
كما تم إيجاد علاقة ارتباط متعددة بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية للعناصر المناخية (Rs, T_{max}, T_{min}, RH) لعموم العراق من خلال قيم جميع المحطات والعلاقة هي:

$$Rn = -4.939 + 0.732 Rs - 5.67 \times 10^{-3} T_{\max} - 4.98 \times 10^{-3} T_{\min} + 3.348 \times 10^{-2} RH$$

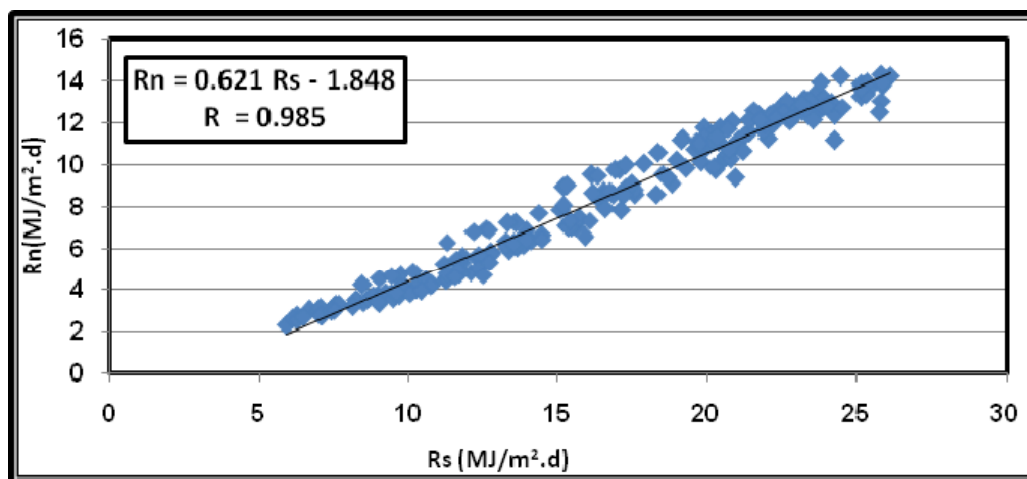
هذه العلاقة أعطت معامل ارتباط عالي بلغ (R = 0.999) وهذا يوضح دقة هذه العلاقة للتطبيق في عموم مناطق العراق.

المخططات (8، 9، 10، 11، 12) توضح علاقات الارتباط الخطية بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية لكل من [Rs, Ra]، Rns، [n/N, Rnl] لعموم العراق من خلال قيم جميع المحطات. توضح العلاقات بين (Rn) وكل من (Ra, Rs) معامل الارتباط العالي الذي بلغ (0.986، 0.985) على التوالي.

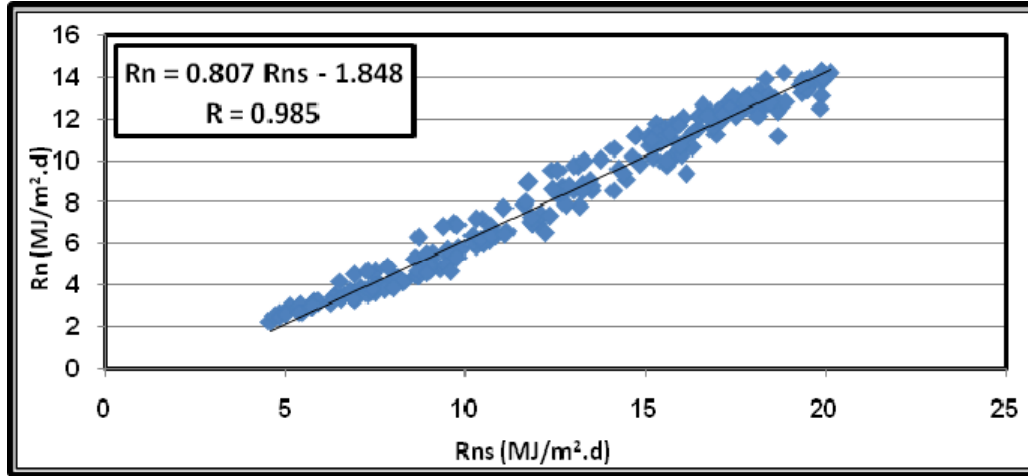
أما معامل الارتباط بين (Rn) وكل من (n/N, Rnl) فقد بلغ (0.707، 0.717) على التوالي. وهذا يوضح ان العلاقات الثلاث الأولى أكثر دقة في التنبؤ عن (Rn) بدلالة (Ra, Rs, Rns) في عموم العراق.



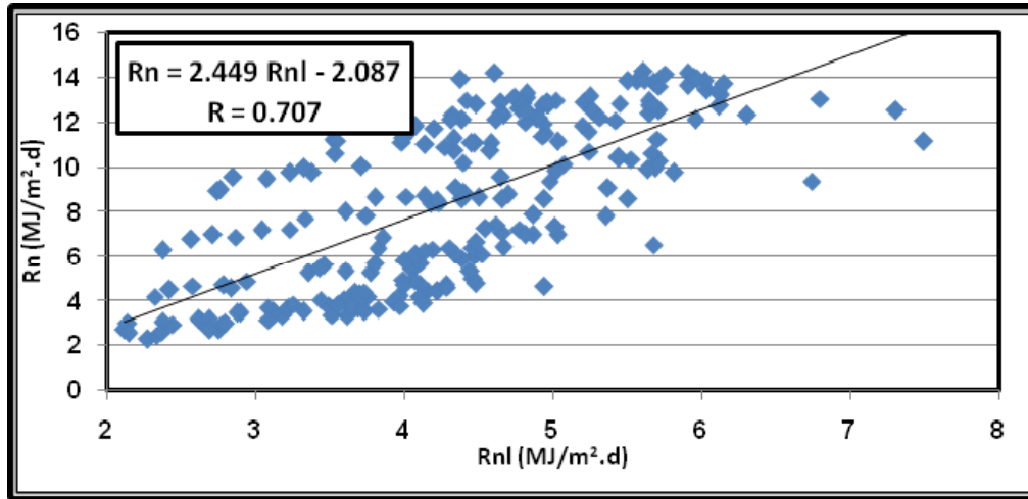
مخطط (8): علاقة الارتباط بين صافي الإشعاع (Rn) والإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (Ra) لعموم المحطات.



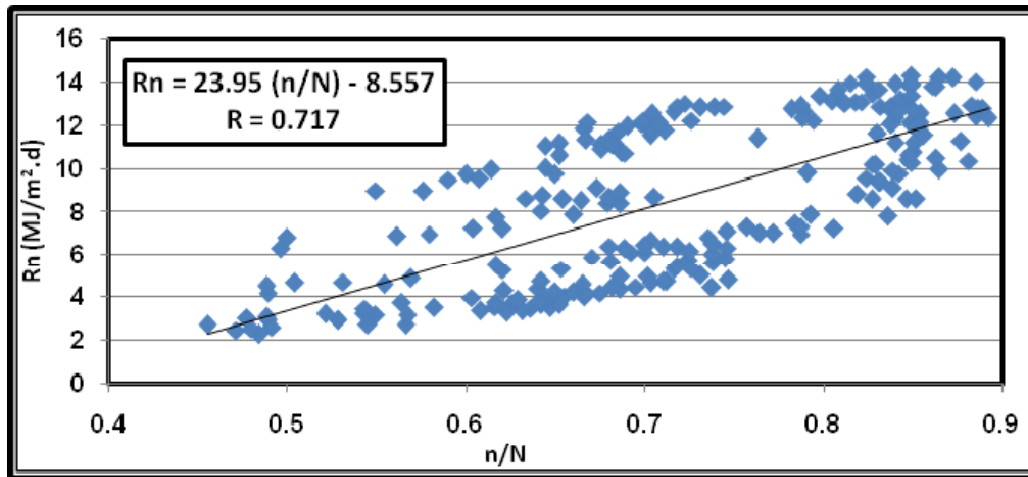
مخطط (9): علاقة الارتباط بين صافي الإشعاع (Rn) والإشعاع الشمسي الكلي (Rs) لعموم المحطات.



مخطط (10): علاقة الارتباط بين صافي الإشعاع (R_n) وصافي الإشعاع قصير الموجة (R_{ns}) لعموم المحطات.



مخطط (11): علاقة الارتباط بين صافي الإشعاع (R_n) وصافي الإشعاع طويل الموجة (R_{nl}) لعموم المحطات.



مخطط (12): علاقة الارتباط بين صافي الإشعاع (R_n) ونسبة السطوع (n/N) لعموم المحطات.

الاستنتاجات

4- تم إيجاد علاقة ارتباط متعددة لعموم العراق بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية لكل العناصر المناخية التالية (Rs, T_{max}, T_{min}, RH) والعلاقة هي:

$$Rn = -4.939 + 0.732 Rs - 5.67 \times 10^{-3} T_{max} - 4.98 \times 10^{-3} T_{min} + 3.348 \times 10^{-2} RH$$

هذه العلاقة أعطت معامل ارتباط عالي بلغ (R=0.999) وهذا يوضح دقة هذه العلاقة للتطبيق في عموم مناطق العراق.

1- المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع لعموم العراق والتي تم إيجادها من الخرائط الكنتورية بلغت (3.3, 3.9, 5.8, 8.2, 10.5, 12.2, 13.4, 13.1, 12 MJ/m².d) لأشهر السنة ابتداءً من كانون الثاني ولغاية كانون الأول على التوالي.

2- المعدل السنوي لصافي الإشعاع الذي تم إيجاده لعموم العراق من خلال الخريطة الكنتورية بلغ MJ/m².d (8.62)

3- علاقات الارتباط الخطية لعموم العراق بين المعدلات الشهرية لصافي الإشعاع (Rn) والمعدلات الشهرية لكل من [Rs, Ra, Rns] كانت قوية حيث تراوح معامل الارتباط لها بين (0.986 و 0.985).

المصادر والمراجع

- [7] العتابي، اقبال خلف، "صيغة تجريبية لتقدير الفيض الحراري طويل الموجة"، اطروحة ماجستير، جامعة المستنصرية، كلية العلوم، قسم الانواء الجوية، (2000).
- [8] جاسم، خضر، "الموازنة الإشعاعية والموازنة المائية المناخية لمحطات مختارة في محافظة نينوى والمناطق المجاورة لها"، رسالة دكتوراة، جامعة الموصل، كلية التربية، قسم الجغرافية، (2010).
- [9] Irmak, S., Asce, M. and Hoogenboom, G., Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 129 (2003) 256.
- [10] Dharmaratne, A. and Chen, A., Caribbean Journal of Science, 35(1-2) (1999) 132.
- [11] Jennifer, M.J., Martha, C.A., Lee, C.F. and George, R.D., Journal of Hydrological Sciences, 49(3) (2004) 461.
- [1] Alados, I., Foyo, I. and Olmo, A.L., J. of Agric. and forest Met. 1(16) (2003) 221.
- [2] Hansen, S., Jensen, H., Nielsen, N. and Svendsen, H., Daisy "A soil plant system model". NPO report no. 10. The national agency of environmental protection, Copenhagen (1990).
- [3] Samani, Z., Bawazir, A., Bleiweiss, M., Skaggs, R. and Tran, V., Journal of Irrigation and Drainage engineering, 138(4) (2007) 291.
- [4] Ogolo, E. and Falodun, S., Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(1) (2007) 125.
- [5] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., "Crop evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56", (FAO Rome, Italy, CH3, 1998) p. 45.
- [6] Al-Riahi, M., Al-Jumaily, K. and Kamies, I., Energy conversion and measurement, 44 (2003) 509.

الملاحق

ملحق (1): المعدلات الشهرية لكل من: نسبة السطوع (n/N) الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (Ra)، الإشعاع الشمسي الكلي للأيام الصافية (Rso)، الإشعاع الشمسي الكلي (Rs) وصافي الإشعاع (Rn) بوحدة (MJ/m². d) للمحطات كافة.

Stations	Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Zakho	n/N	0.455	0.489	0.496	0.576	0.680	0.794	0.849	0.847	0.836	0.716	0.549	0.484
	Ra	16.9	21.8	28.8	35.4	40.0	41.7	40.7	37.0	31.0	23.8	18.0	15.3
	Rso	12.8	16.5	21.8	26.9	30.3	31.7	30.9	28.1	23.5	18.0	13.6	11.6
	Rs	6.3	8.5	11.3	15.2	19.2	22.2	22.8	20.6	17.1	11.8	7.5	5.9
	Rn	2.72	4.19	6.31	8.96	11.23	12.22	12.10	10.43	7.83	5.29	3.14	2.28
Mosul	n/N	0.477	0.531	0.579	0.607	0.711	0.840	0.839	0.850	0.846	0.738	0.636	0.480
	Ra	17.4	22.3	29.1	35.6	40.0	41.7	40.7	37.1	31.3	24.2	18.5	15.9
	Rso	13.1	16.8	22.0	26.9	30.2	31.5	30.7	28.0	23.6	18.2	13.9	12.0
	Rs	6.7	9.7	12.6	16.1	19.9	21.7	21.5	19.6	16.9	11.8	8.3	6.1
	Rn	2.99	4.70	6.99	9.56	11.77	12.38	12.13	10.75	8.59	5.62	3.48	2.55
Erbil	n/N	0.489	0.554	0.561	0.549	0.652	0.789	0.788	0.840	0.827	0.718	0.608	0.471
	Ra	17.5	22.3	29.2	35.6	40.0	41.7	40.7	37.1	31.3	24.3	18.6	15.9
	Rso	13.3	16.9	22.1	27.0	30.4	31.6	30.9	28.2	23.8	18.4	14.1	12.1
	Rs	7.0	9.6	12.7	15.3	19.1	22.6	22.1	21.0	17.6	12.3	8.5	6.3
	Rn	2.95	4.58	6.90	9.01	11.19	12.64	12.34	11.17	8.59	5.45	3.35	2.48
Baag	n/N	0.488	0.488	0.620	0.650	0.703	0.818	0.838	0.856	0.819	0.745	0.647	0.491
	Ra	17.6	22.4	29.3	35.7	40.1	41.7	40.7	37.2	31.4	24.3	18.7	16.0
	Rso	13.3	17.0	22.1	27.0	30.3	31.5	30.8	28.1	23.8	18.4	14.1	12.1
	Rs	7.1	9.0	13.6	17.1	20.2	23.3	23.1	21.4	17.5	12.7	8.9	6.5
	Rn	3.07	4.52	7.24	9.76	11.52	13.09	12.84	11.53	8.81	5.81	3.53	2.61
Sulaimaniya	n/N	0.521	0.504	0.500	0.590	0.703	0.832	0.854	0.877	0.852	0.724	0.625	0.545
	Ra	17.9	22.7	29.5	35.8	40.1	41.6	40.7	37.2	31.6	24.6	18.9	16.3
	Rso	13.7	17.4	22.6	27.5	30.8	32.0	31.3	28.6	24.2	18.9	14.5	12.5
	Rs	7.6	9.4	12.2	16.3	20.4	23.8	23.7	22.0	18.3	12.8	9.0	7.1
	Rn	3.21	4.68	6.82	9.50	11.78	12.86	12.53	11.27	8.60	5.73	3.67	2.71
Kirkuk	n/N	0.543	0.569	0.604	0.600	0.666	0.782	0.787	0.830	0.839	0.738	0.651	0.566
	Ra	17.9	22.7	29.5	35.8	40.1	41.6	40.7	37.2	31.6	24.6	19.0	16.4
	Rso	13.6	17.2	22.3	27.1	30.3	31.5	30.8	28.2	23.9	18.6	14.4	12.4
	Rs	7.7	10.2	13.3	16.9	20.7	23.0	23.5	21.9	18.8	13.6	9.4	7.0
	Rn	3.21	4.89	7.23	9.76	11.84	12.77	12.90	11.62	9.11	6.03	3.77	2.71

Stations	Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Baiji	n/N	0.543	0.620	0.617	0.614	0.698	0.798	0.805	0.838	0.824	0.718	0.655	0.528
	Ra	18.4	23.2	29.8	36.0	40.1	41.6	40.7	37.4	31.9	25.1	19.5	16.9
	Rso	13.9	17.5	22.5	27.1	30.2	31.3	30.6	28.1	24.0	18.9	14.7	12.7
	Rs	8.2	11.2	14.4	17.3	20.8	23.6	23.2	21.9	18.5	13.3	9.7	7.4
	Rn	3.47	5.27	7.73	9.97	12.07	13.33	13.12	12.03	9.58	6.39	4.06	2.95
Ana	n/N	0.582	0.653	0.660	0.644	0.685	0.811	0.812	0.851	0.832	0.746	0.666	0.528
	Ra	18.5	23.3	29.9	36.0	40.1	41.6	40.7	37.4	31.9	25.1	19.6	17.0
	Rso	13.9	17.5	22.5	27.1	30.2	31.3	30.6	28.1	24.0	18.9	14.7	12.8
	Rs	8.6	11.6	15.1	17.9	20.7	23.9	23.4	22.2	18.7	13.7	9.9	7.5
	Rn	3.53	5.35	7.87	10.06	11.72	13.16	13.01	11.90	9.39	6.34	4.04	2.97
Khalis	n/N	0.564	0.617	0.642	0.652	0.716	0.824	0.815	0.848	0.827	0.735	0.686	0.567
	Ra	18.8	23.6	30.2	36.1	40.1	41.5	40.7	37.5	32.1	25.5	20.0	17.4
	Rso	14.2	17.7	22.6	27.1	30.1	31.2	30.5	28.1	24.1	19.1	15.0	13.1
	Rs	8.8	11.6	15.2	18.4	21.6	24.5	23.8	22.5	19.0	13.9	10.5	8.1
	Rn	3.71	5.50	8.07	10.59	12.63	14.23	13.94	12.83	10.22	6.86	4.38	3.17
Baghdad	n/N	0.603	0.670	0.679	0.676	0.739	0.849	0.848	0.873	0.829	0.746	0.695	0.623
	Ra	19.2	23.9	30.4	36.2	40.1	41.5	40.7	37.5	32.3	25.7	20.3	17.7
	Rso	14.4	17.9	22.8	27.2	30.1	31.1	30.5	28.2	24.3	19.3	15.2	13.3
	Rs	10.3	13.4	16.5	20.2	22.9	25.3	25.1	23.1	19.8	15.3	11.2	9.0
	Rn	3.98	5.91	8.43	11.09	12.82	13.88	13.85	12.55	10.16	7.11	4.48	3.32
Rutba	n/N	0.644	0.681	0.686	0.682	0.731	0.872	0.885	0.885	0.865	0.787	0.737	0.631
	Ra	19.4	24.0	30.5	36.3	40.1	41.5	40.7	37.6	32.4	25.8	20.4	17.9
	Rso	14.8	18.3	23.2	27.7	30.6	31.6	31.0	28.6	24.7	19.7	15.6	13.6
	Rs	9.2	12.4	16.3	20.4	23.1	26.1	25.9	23.5	20.3	15.6	11.2	9.0
	Rn	3.86	5.71	8.41	11.11	12.85	14.22	14.02	12.40	9.97	7.00	4.44	3.38
Kut	n/N	0.650	0.692	0.680	0.683	0.744	0.865	0.861	0.886	0.881	0.806	0.712	0.652
	Ra	19.8	24.4	30.7	36.4	40.1	41.4	40.6	37.6	32.6	26.1	20.8	18.3
	Rso	14.8	18.3	23.1	27.3	30.1	31.1	30.5	28.2	24.5	19.6	15.6	13.7
	Rs	10.3	13.2	16.5	19.6	22.8	25.9	25.3	23.9	20.6	15.6	11.5	9.6
	Rn	4.21	6.12	8.70	11.13	12.88	14.18	13.81	12.76	10.36	7.25	4.73	3.67
Nukhaib	n/N	0.675	0.725	0.705	0.687	0.690	0.827	0.843	0.854	0.842	0.772	0.747	0.616
	Ra	20.0	24.6	30.9	36.5	40.1	41.4	40.6	37.7	32.7	26.3	21.0	18.5
	Rso	15.1	18.6	23.3	27.6	30.3	31.3	30.7	28.5	24.7	19.9	15.9	14.0
	Rs	10.8	13.9	17.1	19.9	21.9	25.3	25.1	23.5	20.3	15.4	12.0	9.5
	Rn	4.19	6.15	8.67	10.74	11.96	13.45	13.24	12.16	9.78	7.01	4.79	3.55

تخمين صافي الإشعاع في العراق وعلاقته ببعض المتغيرات الإشعاعية والمناخية

Stations	Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Najaf	n/N	0.660	0.700	0.664	0.676	0.703	0.831	0.849	0.892	0.839	0.764	0.710	0.642
	Ra	20.0	24.6	30.9	36.5	40.1	41.4	40.6	37.7	32.7	26.4	21.0	18.5
	Rso	15.0	18.5	23.2	27.4	30.1	31.1	30.5	28.3	24.6	19.8	15.8	13.9
	Rs	10.7	13.6	16.5	19.7	22.2	25.4	25.3	24.2	20.2	15.4	11.7	9.7
	Rn	4.25	6.12	8.51	10.92	12.45	13.66	13.37	12.35	9.94	7.01	4.73	3.65
Amara	n/N	0.621	0.689	0.633	0.680	0.722	0.849	0.849	0.883	0.863	0.784	0.702	0.617
	Ra	20.1	24.7	30.9	36.5	40.1	41.3	40.6	37.7	32.8	26.4	21.1	18.6
	Rso	15.1	18.5	23.2	27.4	30.1	31.0	30.5	28.3	24.6	19.8	15.8	14.0
	Rs	10.4	13.5	16.2	19.9	22.6	25.8	25.4	24.2	20.7	15.7	11.7	9.6
	Rn	4.29	6.29	8.65	11.31	13.01	14.27	13.91	12.95	10.49	7.46	4.96	3.74
Samawa	n/N	0.682	0.710	0.686	0.682	0.704	0.840	0.863	0.889	0.849	0.787	0.731	0.641
	Ra	20.4	25.0	31.1	36.6	40.1	41.3	40.6	37.8	32.9	26.7	21.4	18.9
	Rso	15.3	18.7	23.4	27.5	30.1	31.0	30.4	28.3	24.7	20.0	16.1	14.2
	Rs	11.3	14.1	17.2	20.2	22.5	25.9	25.8	24.5	20.8	16.1	12.3	10.1
	Rn	4.45	6.39	8.87	11.09	12.54	13.89	13.75	12.78	10.28	7.34	5.01	3.79
Nasiriya	n/N	0.640	0.680	0.643	0.644	0.668	0.708	0.726	0.763	0.791	0.757	0.686	0.628
	Ra	20.6	25.1	31.2	36.7	40.1	41.3	40.6	37.8	33.0	26.8	21.5	19.1
	Rso	15.4	18.8	23.4	27.5	30.1	31.0	30.4	28.3	24.8	20.1	16.2	14.3
	Rs	10.6	13.9	16.7	19.7	21.4	21.8	22.3	21.2	19.3	15.4	11.6	9.6
	Rn	4.42	6.42	8.75	11.05	12.16	12.13	12.23	11.42	9.83	7.30	4.97	3.83
Basrah	n/N	0.642	0.703	0.673	0.667	0.718	0.824	0.808	0.837	0.848	0.793	0.726	0.667
	Ra	20.9	25.4	31.4	36.8	40.1	41.2	40.5	37.8	33.2	27.1	21.9	19.4
	Rso	15.7	19.0	23.6	27.6	30.1	30.9	30.4	28.4	24.9	20.3	16.4	14.6
	Rs	11.3	14.5	17.5	20.3	23.2	25.9	25.1	24.0	21.2	16.6	12.7	10.7
	Rn	4.71	6.66	9.11	11.32	12.88	13.94	13.62	12.79	10.65	7.90	5.35	4.16
Salman	n/N	0.665	0.70	0.654	0.689	0.699	0.821	0.841	0.851	0.831	0.738	0.703	0.629
	Ra	20.9	25.4	31.4	36.8	40.1	41.2	40.5	37.8	33.2	27.1	21.9	19.4
	Rso	15.8	19.2	23.7	27.7	30.2	31.1	30.6	28.5	25.0	20.4	16.5	14.7
	Rs	11.6	14.4	17.2	20.7	22.8	25.8	25.8	24.2	20.9	15.9	12.5	10.4
	Rn	4.61	6.46	8.59	10.72	12.23	13.08	12.53	11.18	9.39	6.56	4.67	3.88

ملحق (2): المعدلات الشهرية لدرجات حرارة الهواء الصغرى ($T_{\min}$) والعظمى ($T_{\max}$) بوحدات ($^{\circ}\text{C}$) للمحطات كافة.

Stations	Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Zakho	$T_{\min}$	2.7	3.9	7.0	11.8	16.2	21.6	25.6	24.8	21.1	15.4	8.2	4.6
	$T_{\max}$	11.4	12.9	16.9	23.5	29.9	37.0	41.2	40.3	36.1	27.9	19.0	13.3
Mosul	$T_{\min}$	2.2	3.3	6.6	11.2	16.0	21.3	25.1	24.2	19.1	13.7	7.5	3.7
	$T_{\max}$	12.4	14.6	19.2	25.3	32.9	39.5	43.3	42.7	38.2	30.5	20.9	14.3
Erbil	$T_{\min}$	3.2	3.4	7.0	11.5	17.0	21.9	25.1	24.7	20.7	15.7	9.1	4.8
	$T_{\max}$	12.0	13.7	18.1	24.2	31.3	37.9	41.5	40.9	36.5	29.3	20.9	13.9
Baag	$T_{\min}$	2.9	3.5	6.2	11.7	17.5	21.6	25.3	23.9	19.9	15.3	8.2	4.3
	$T_{\max}$	12.3	14.8	18.8	25.3	32.7	38.6	42.5	41.8	37.2	30.7	21.7	14.3
Sulaimaniya	$T_{\min}$	1.4	2.2	5.3	10.8	16.5	22.2	27.0	25.1	21.1	14.3	7.2	2.6
	$T_{\max}$	11.0	11.4	15.1	22.2	28.4	34.9	39.3	38.4	35.3	26.7	18.3	11.3
Kirkuk	$T_{\min}$	4.6	5.7	9.4	14.6	20.4	25.5	28.6	28.1	24.5	19.1	11.5	6.5
	$T_{\max}$	13.8	15.9	20.1	26.6	34.0	40.0	43.5	42.9	38.2	31.1	22.5	16.0
Baiji	$T_{\min}$	3.8	5.3	9.1	14.7	20.3	24.4	27.2	26.3	22.1	16.8	9.6	5.2
	$T_{\max}$	14.8	17.3	22.4	28.6	35.4	40.5	43.7	43.3	39.5	32.5	23.3	16.5
Ana	$T_{\min}$	2.3	3.3	6.8	12.7	17.8	20.9	25.1	24.3	19.5	13.9	7.7	4.0
	$T_{\max}$	13.2	16.1	20.7	27.9	34.0	37.0	41.9	41.7	37.6	30.7	21.6	15.1
Khalis	$T_{\min}$	4.0	5.4	9.1	14.1	18.8	22.2	24.5	23.8	19.7	15.8	9.1	5.1
	$T_{\max}$	15.2	18.2	23.1	29.1	35.5	40.5	42.9	42.8	38.7	32.8	23.3	17.0
Baghdad	$T_{\min}$	7.1	9.4	13.4	19.9	25.5	28.8	31.2	30.4	26.4	21.1	13.6	8.8
	$T_{\max}$	15.6	18.5	23.7	29.8	36.7	41.5	44.3	43.7	40.1	33.4	23.6	17.4
Rutba	$T_{\min}$	2.0	3.3	6.7	11.5	16.2	20.4	22.9	22.6	19.3	14.2	7.7	3.8
	$T_{\max}$	13.3	15.5	19.7	26.1	31.7	36.0	38.6	38.5	35.8	29.6	21.0	14.9
Kut	$T_{\min}$	6.2	7.6	11.4	17.1	22.2	25.4	27.4	26.6	22.1	18.6	12.2	8.0
	$T_{\max}$	16.0	18.8	23.3	30.9	38.2	42.9	45.2	44.7	41.1	34.5	25.2	19.1
Nukhaib	$T_{\min}$	2.9	4.7	9.0	14.8	19.7	23.5	25.4	24.8	21.6	16.5	9.4	4.5
	$T_{\max}$	15.8	17.8	22.8	29.4	35.2	40.3	42.8	42.1	39.3	32.3	22.8	16.3
Najaf	$T_{\min}$	5.5	7.4	11.4	17.5	22.7	26.6	28.9	27.9	24.3	19	12	7.2
	$T_{\max}$	16.2	19.1	24.0	31.0	37.4	41.9	44.4	43.7	40.5	33.4	24.1	17.9
Amara	$T_{\min}$	6.3	8.3	12.4	18.0	23.8	27.1	29.1	28.2	24.0	19.1	12.6	7.9
	$T_{\max}$	16.6	19.7	24.6	31.7	38.7	43.4	45.9	45.2	42.1	35.2	25.7	18.9
Samawa	$T_{\min}$	5.7	7.3	11.6	17.5	23.1	26.0	27.8	27.0	23.5	18.9	12.3	7.3
	$T_{\max}$	16.8	20.1	25.1	32.1	38.4	42.6	44.5	44.4	41.3	34.8	25.9	19.1

تخمين صافي الإشعاع في العراق وعلاقته ببعض المتغيرات الإشعاعية والمناخية

Stations	Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Nasiriya	T _{min}	6.3	8.1	12.6	18.8	23.8	26.6	28.5	27.9	24.4	19.5	12.8	7.8
	T _{max}	17.2	20.2	25.6	32.0	38.9	43.2	45.3	45.2	42.1	35.5	26.0	19.3
Basrah	T _{min}	7.7	9.4	13.8	19.8	25.4	27.8	29.4	28.6	25.1	20.7	14.1	9.1
	T _{max}	17.9	20.7	25.6	32.8	39.5	43.8	46.0	45.9	42.4	36.2	26.7	19.9
Salman	T _{min}	4.1	6.2	11.0	18.5	24.6	27.0	29.1	26.4	25.3	21.8	13.5	3.7
	T _{max}	18.3	20.8	25.6	32.7	37.7	42.8	44.9	43.1	41.6	34.9	27.3	19.1

ملحق (3): المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية (%RH) للمحطات كافة.

Months	Stations	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Zakho		65.2	62.7	58.1	54.5	40.3	23.0	19.6	19.6	21.2	41.1	58.7	64.3
Mosul		79.7	73.8	67.5	61.3	42.9	27.6	25.1	26.4	31.3	45.7	64.5	78.2
Erbil		67.0	63.0	59.0	53.0	38.0	26.0	25.0	25.0	28.0	37.0	53.0	66.0
Baag		77	69	59	51	34	28	25	27	31	42	58	76
Sulaimaniya		72.4	66.4	61.5	53.1	38.6	22.7	19.8	21.8	23.5	39.5	60.8	71.3
Kirkuk		72.6	67.8	58.9	50.9	34.5	24.5	23.0	24.4	27.3	38.8	58.5	69.6
Baiji		76.4	67.9	59.9	49.6	36.8	28.3	26.9	28.6	33.5	46.2	62.9	75.0
Ana		77.2	66.8	56.3	45.1	33.1	27.0	26.3	27.2	31.9	44.4	62.5	76.8
Khalis		77.6	68.1	58.5	52.8	41.2	34.7	34.0	35.0	40.2	50.0	65.2	74.7
Baghdad		72.1	60.2	50.8	41.7	31.8	25.2	24.7	27.0	31.9	42.4	57.9	69.6
Rutba		70.6	60.8	52.0	42.8	33.9	27.6	26.5	27.8	30.0	41.3	55.8	70.2
Kut		74.4	65.1	57.6	47.3	32.9	25.2	24.0	25.9	29.9	40.6	57.4	72.2
Nukhaib		63.5	56.1	47.5	36.4	26.5	21.9	20.9	23.3	25.7	38.4	55.7	65.5
Najaf		69.0	58.0	49.0	41.0	31.0	23.0	21.0	22.0	27.0	38.0	55.0	68.0
Amara		72.0	63.8	56.8	47.1	34.7	25.8	24.0	25.9	29.5	41.6	58.6	70.1
Samawa		66.3	58.3	49.1	39.1	29.5	23.2	22.2	23.9	27.5	37.3	53.5	63.8
Nasiriya		68.9	59.7	49.9	41.9	30.8	23.0	21.9	23.4	27.7	38.7	55.2	66.9
Basrah		69.0	58.7	50.5	40.6	29.1	22.9	22.7	24.5	27.9	39.7	54.6	66.6
Salman		60.4	50.6	38.4	27.1	24.2	16.8	14	13.7	18.1	24.6	37.8	57.1

ملحق (4): المعدلات الشهرية لضغط بخار الماء الفعلي (e_a) بوحدات (Kpa) للمحطات كافة.

Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Stations												
Zakho	0.681	0.720	0.850	1.166	1.221	1.018	1.092	1.041	0.899	1.132	0.964	0.764
Mosul	0.859	0.899	1.080	1.396	1.463	1.341	1.501	1.521	1.394	1.356	1.132	0.949
Erbil	0.727	0.739	0.908	1.160	1.236	1.198	1.397	1.356	1.197	1.084	0.961	0.808
Baag	0.840	0.852	0.920	1.173	1.181	1.319	1.455	1.496	1.343	1.293	1.068	0.935
Sulaimaniya	0.720	0.685	0.802	1.055	1.109	0.938	1.056	1.085	0.966	1.014	0.948	0.740
Kirkuk	0.881	0.923	1.040	1.309	1.331	1.303	1.470	1.512	1.334	1.306	1.194	0.970
Baiji	0.949	0.973	1.158	1.386	1.496	1.504	1.690	1.744	1.648	1.572	1.276	1.036
Ana	0.864	0.870	0.966	1.179	1.218	1.181	1.492	1.511	1.396	1.333	1.135	0.971
Khalis	0.986	1.017	1.165	1.488	1.638	1.779	1.984	2.012	1.844	1.692	1.309	1.052
Baghdad	1.003	0.996	1.135	1.359	1.500	1.505	1.703	1.796	1.732	1.621	1.294	1.086
Rutba	0.788	0.771	0.852	1.014	1.105	1.151	1.277	1.327	1.217	1.191	0.987	0.876
Kut	1.029	1.046	1.212	1.518	1.542	1.492	1.600	1.673	1.567	1.545	1.328	1.186
Nukhaib	0.809	0.811	0.932	1.053	1.057	1.138	1.233	1.325	1.245	1.289	1.102	0.883
Najaf	0.947	0.940	1.061	1.331	1.422	1.338	1.394	1.399	1.433	1.395	1.211	1.043
Amara	1.024	1.081	1.287	1.587	1.705	1.601	1.688	1.749	1.656	1.642	1.395	1.139
Samawa	0.938	0.984	1.118	1.326	1.415	1.371	1.451	1.536	1.485	1.444	1.277	1.032
Nasiriya	1.005	1.029	1.183	1.451	1.525	1.405	1.492	1.572	1.565	1.557	1.336	1.103
Basrah	1.070	1.063	1.227	1.479	1.517	1.459	1.610	1.709	1.613	1.677	1.396	1.159
Salman	0.883	0.861	0.882	0.959	1.163	1.018	0.949	0.831	1.018	1.009	0.978	0.859