



تقويم بيانات الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المحسوبة باستخدام المعطيات الفضائية

Evaluation of Net Solar Radiation Data Estimated by Using Satellite Data

Received 25 October 2011 / Accepted 9 February 2011

م. بنان دردار⁽¹⁾، د. إيهاب جناد⁽²⁾، و د. يونس إدريس⁽³⁾

(1): طالبة ماجستير - قسم الهندسة الريفية - كلية الزراعة - جامعة دمشق - سورية.

(2): قسم الهندسة الريفية - كلية الزراعة - جامعة دمشق - سورية.

(3): مدير الدراسات البيئية والعمرائية والزراعية في الهيئة العامة للاستشعار عن بعد - دمشق - سورية.

المُلخَص

يُعد الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) عاملاً مهماً في العديد من العمليات الفيزيائية والبيولوجية، ومطلوباً في الدراسات المختلفة لاسيما في حساب البحر- نتج المرجعي للنبات (ET_0)، إلا أن بيانات الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) نادراً ما تكون متاحة للأسباب الاقتصادية والتقنية المرافقة للقياسات المباشرة لـ Rn. إضافة إلى أن قياسات الإشعاع الشمسي الصافي محددة بمساحة صغيرة ولا يمكن أن تُعبر عن التغيرات المكانية التي تُساعد على وضع خرائط للاستهلاك المائي للنبات على مقياس واسع لذلك فقد تم تنفيذ هذا البحث من أجل تقدير الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) بالاستعانة بمعطيات الصور الفضائية حيث تم استخدام بيانات درجة حرارة الهواء من المحطة المناخية الأرضية وبيانات الإشعاع الشمسي الوارد (RS) المتوافرة من قاعدة البيانات الشمسية SoDa-IS والمستنتجة من الصور الفضائية Meteosat باستخدام طريقة Heliosat. وأخيراً بيانات الألبينو والانبعائية السطحية المستنتجة من الصور الفضائية MODIS.

تم بعد ذلك تقويم بيانات الإشعاع الشمسي الصافي المقدرة باستخدام الصور الفضائية بمقارنتها مع بيانات الإشعاع الشمسي الصافي المقاسة في المحطة المناخية الأرضية لواحة تدمر في سورية خلال الفترة من 30 آذار/مارس حتى 30 أيلول/سبتمبر في سنة 2005.

أثبتت النتائج أن تقدير الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) باستخدام بيانات الصور الفضائية تُعطي قيماً ذات دقة جيدة، ويمكن استخدامها في حال عدم توافر قيم مقاسة لـ Rn أو في حال عدم دقة القياسات المتوافرة. حيث بلغت النسبة المئوية للخطأ المتوسط التربيع (RMSE%) والخطأ النسبي (MBD%) ومعامل الارتباط (R^2) للبيانات اليومية للإشعاع الشمسي الصافي 17.45% و 15.4% و 0.81% على التوالي. بينما بلغت تلك المؤشرات بالنسبة للبيانات الساعية 5.65% و 2.45% و 0.635% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي الصافي (Rn)، الإشعاع الشمسي الوارد (RS)، قاعدة البيانات الشمسية SoDa، الصور الفضائية MODIS، البحر - نتج (ET).

Abstract

Net Radiation (Rn) is a driving force in many physical and biological processes, and it is demanded in different studies especially in computing reference evapotranspiration (ET_0), the net radiation data are rarely available due to the technical and economical limitations associated with direct measurements. In addition, net radiation measurements are usually limited to a small area and do not represent the spatial variability which is needed for large scale evapotranspiration mapping.

This research was conducted to estimate net solar radiation (Rn) with the aid of satellite data by using:

1- air temperature from terrestrial metrological data, **2-** solar radiation data from Solar Data Intelligent System SoDa – IS which was extracted from Meteosat Images using Heliosat method, **3-** albedo and surface emissivity data extracted from MODIS Images.

The estimated net solar radiation data was then evaluated by comparing it with the net solar radiation data obtained from metrological station installed at Palmyra oasis in Syria during the period (from 30 March to 30 September) in the year 2005.

Results demonstrate that computing net radiation (Rn) by using satellite images gives accurate values of (Rn) and could be used when measured values are unavailable or of a questionable quality.

The mean values of root mean square error (RMSE), mean bias deviation (MBD), and correlation coefficients (R^2) for the daily data are 17.45%, -15.4% and 0.81 respectively, while for the hourly data they are 5.65%, -2.45 % and 0.635 respectively.

Keywords: Net Solar Radiation (Rn), Incoming Solar Radiation (Rs), Solar Data Intelligent System SoDa-IS, MODIS Images, Evapotranspiration (ET).

المقدمة

يُعرّف الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) بأنه الفرق بين الإشعاع الصافي الوارد قصير الموجة (Rns) والإشعاع الصافي الصادر طويل الموجة (Rnl) وغالباً ما يكون الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) موجباً خلال النهار وسالباً خلال الليل، وبشكل عام يكون الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) موجباً خلال كامل اليوم (24 ساعة)، ويبين الشكل 1 الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى السطح الخارجي للغلاف الجوي (Ra) والإشعاع الشمسي (RS)، والإشعاع الشمسي الصافي (Rn). (Allen وزملاؤه، 1998).

وقد أجريت العديد من الدراسات لحساب الإشعاع الشمسي الصافي من الصور الفضائية كدراسة Samani وزملائه (2007) في ولاية New Mexico في الولايات المتحدة الأمريكية حول حساب الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) من الصور الفضائية ASTER ومن بيانات مناخية وقد تمّت المقارنة بين ثلاث طرائق لحساب الإشعاع الشمسي الصافي حيث أعمتدت الطريقة الأولى على بيانات مناخية فقط في حساب Rn بينما أعمتدت الطريقتان الثانية والثالثة على بيانات الصور الفضائية بالإضافة إلى بيانات مناخية، وقد بينت هذه الدراسة أن حساب الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) باستخدام الصور الفضائية هي طريقة جيدة حيث بلغ

يُعد الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) عاملاً مهماً في العديد من العمليات الفيزيائية والبيولوجية (Rosenberg وزملاؤه، 1983) ومطلوباً في الدراسات المختلفة وخاصةً في حساب البخر - نتح المرجعي للنبات (ET_0) وبالرغم من ذلك فإن القياسات المباشرة لـ Rn نادراً ما تكون متاحة لأسباب اقتصادية وتقنية، وحتى عندما تكون قياسات الإشعاع الشمسي الصافي متوافرة فهي تعطي معلومات عن مساحاتٍ صغيرة فقط محيطة بجهاز القياس ولا تُغطي هذه القياسات مساحةً واسعةً تساعد على وضع خرائط للاستهلاك المائي للنبات على مقياس كبير. إضافةً إلى ذلك إن هذه القياسات تكون غالباً معرضةً للخطأ بسبب حاجة التجهيزات المستمرة للمعايرة.

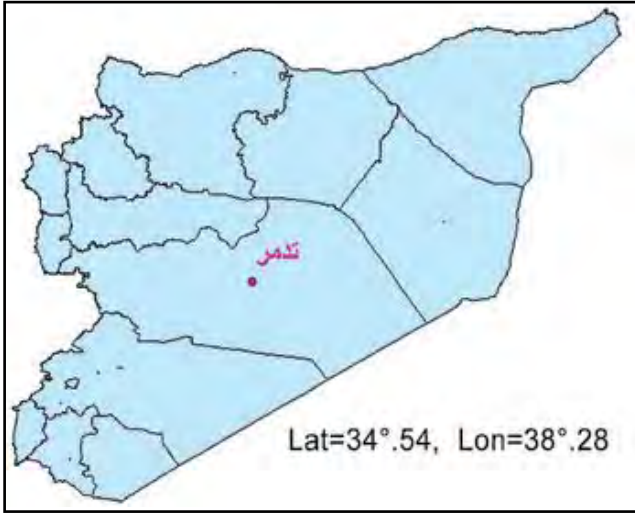
إن تقانات الاستشعار عن بعد يُمكن أن تقدم تغطيةً مكانيةً وزمانيةً لخواص وصفات سطح الأرض، لذلك أُجريت عدة دراسات لتقدير الإشعاع الشمسي الصافي (أو أحد مكوناته) باستخدام بيانات الصور الفضائية وبيانات مناخية (Gautier وزملاؤه، 1980؛ Diak و Gautier، 1983؛ Jacobs وزملاؤه، 2000؛ Ma وزملاؤه، 2002).

مواد البحث وطرائقه

الخطأ في الطريقة الثانية لدى مقارنة القيم المحسوبة بالقيم المقاسة حوالي 11%.

1. منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في واحة تدمر قرب مدينة تدمر وسط البادية السورية في الجزء الأوسط من الجمهورية العربية السورية بين خطي عرض 34° و 35° وخطي طول 38° و 39°، على ارتفاع 375 م عن سطح البحر، على بعد 250 كم شمال شرقي العاصمة دمشق، وتتبع إدارياً لحافظة حمص (الشكل 2).



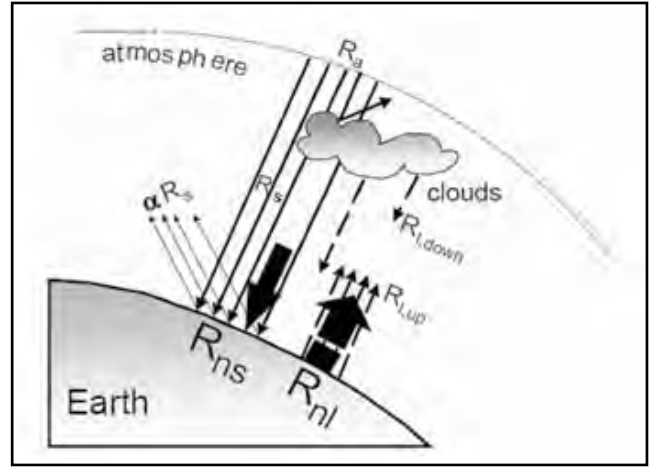
الشكل 2. موقع منطقة الدراسة.

تبلغ مساحة واحة تدمر حوالي 1700 هكتار موزعة على النحو التالي: 500 هكتار للواحة القديمة، و1000 هكتار للواحة الجديدة (الشكل 3)، حيث تحيط هذه الواحة بالمدينة من معظم الجهات (الجنوب، الجنوب الغربي، الجنوب الشرقي، الشرق)، إضافة إلى 200 هكتار تشكل أطراف الواحة (البيارات الغربية، وادي الأحمر، العامرية، الري إلخ) (سمعان، 2005).



الشكل 3. موقع منطقة الدراسة وحدود واحة تدمر القديمة والجديدة.

تقع الواحة في المنطقة الجافة المتوسطة الدافئة، والتي تتميز بصيف حار جاف وطويل مع شتاء قصير وبارد وفصلي خريف وربيع جافين نسبياً.



الشكل 1. الإشعاع الشمسي الوارد (R_s) والإشعاع الشمسي الصافي طويل الموجة (R_{nl}) وقصير الموجة (R_{ns}).

كما أجريت دراسة أخرى في الولايات المتحدة في جنوبي كانساس وأوكلاهوما (Bisht وزملاؤه، 2005) حول حساب الإشعاع الشمسي الصافي باستخدام الصور الفضائية MODIS فبلغت قيمة الخطأ المتوسط التربيع ($RMSE$) والخطأ المطلق (MBD) ومعامل الارتباط (R^2) لدى مقارنة القيم الساعية المحسوبة مع القيم المقاسة 74 واط/م²، 59 واط/م²، و0.89 على التوالي، وفي دراسة أجريت حول تقدير مكونات معادلة توازن الطاقة على سطح الأرض باستخدام بيانات MODIS بلغت قيم R^2 و $RMSE$ عند تقويم البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي لأيام الغائمة في حالة الحاصل عريضة الأوراق 72.5 واط/م² و0.84 على التوالي (Yun kim، 2008).

أما في سورية فلا توجد أية دراسة مسبقة حول حساب الإشعاع الشمسي الصافي (R_n) من الصور الفضائية لذلك تم تنفيذ هذا البحث في منطقة واحة تدمر في سورية حيث تتوفر فيها بيانات مقاسة للإشعاع الشمسي الصافي من المحطة المناخية التابعة للمركز العربي للدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (ACSAD)، والتي لا تتوفر في أي محطة مناخية أخرى في سورية، لذلك فقد تم اختيار هذه المنطقة لإجراء الدراسة فيها، حيث يمكن إجراء عملية تقويم لبيانات الإشعاع الشمسي الصافي (R_n) المحسوبة من الصور الفضائية من خلال مقارنتها مع البيانات المقاسة في هذه المحطة.

يهدف هذا البحث إلى تقويم بيانات الإشعاع الشمسي الصافي المحسوبة من الصور الفضائية من خلال مقارنتها ببيانات الإشعاع الشمسي الصافي المقاسة في المحطة المناخية لواحة تدمر.

وبيانات الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المقاسة باستخدام جهاز NR-LITE net Radiometer من المحطة المناخية التي تم تركيبها من قبل المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (ACSAD) عام 2001 من خلال مشروع IRRmaid في واحة تدمر (16° 38' E - 32° 34' N). حيث أستخدمت بيانات درجة حرارة الهواء لحساب الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) الساعي واليومي خلال الفترة من 30 آذار/مارس حتى 30 أيلول/سبتمبر، أما بيانات الإشعاع الشمسي الصافي المقاسة في المحطة فقد استخدمت لإجراء عملية التقويم.

3. بيانات الإشعاع الشمسي الوارد (Rs):

تم الحصول على البيانات الساعية واليومية للإشعاع الشمسي الوارد (Rs) الخاصة بواحة تدمر للعام 2005 من قاعدة البيانات الشمسية Solar Data Intelligent System من الموقع الإلكتروني www.soda-is.com والتي تؤمن بيانات مناخية متعددة مستنتجة من الصور الفضائية Meteosat وذلك لمناطق العالم كافة بدقة 1 كم كل 15 دقيقة. وقد تم تطوير قاعدة البيانات الرقمية SoDa لبيانات الإشعاع الشمسي (SoDa-Service) من خلال المشروع المنفذ من قبل مركز الطاقة في مدرسة Sophia Antipolis في باريس، والذي بدأ في كانون الثاني/يناير عام 2000 (Gschwind, 2005).

إن بيانات (RS) التي تم الحصول عليها من الصور الفضائية للتابع الصناعي Meteosat يتم حسابها وفق طريقة Heliosat والتي تعتمد على المبدأ الأساس وهو أن كمية الإشعاع الشمسي الكلي فوق منطقة ما ترتبط إحصائياً مع غطاء الغيوم، حيث يتم أولاً ووفقاً لهذه الطريقة إعداد خرائط شهرية لمعامل الانعكاس (Albedo) لكل من حالتي السماء الصافية والغائمة، ومن ثم يتم حساب دليل الغيوم ودليل السماء الصافية، ومنها يُحسب الإشعاع الشمسي الساعي واليومي (Lever وزملاؤه، 2002، Dagestad, 2005، Moradi, 2005 وزملاؤه، 2009).

4. الصور الفضائية للتابع الصناعي MODIS:

إن التابع الصناعي MODIS هو عبارة عن مستشعر طيفي متوسط الدقة المكانية (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) محمول على المنصة الفضائية (التابع الصناعي Terra) المخصصة لتصوير اليابسة و Aqua المخصصة لتصوير البحار والمحيطات. إن هذين التابعين الصناعيين يمسحان كامل سطح الأرض يومياً أو كل يومين ضمن ثلاثة مستويات من الدقة المكانية (250 م و 500 م و 1000 م)، ويبلغ عرض المشهد الواحد 2330 كم، ويلتقط هذا التابع صوراً لسطح الأرض في 36 قناةً طيفيةً بين 0.405 و 14.385 ميكرون. وقد

وحسب تصنيف أمبرجيه، تُعد تدمر منطقة جافة جداً، ويتميز مناخها بفروقات حرارية كبيرة بين الليل والنهار وبين الصيف والشتاء (قاري)، كما يتصف ببعض الظواهر الجوية المؤثرة سلباً في النشاط الزراعي مثل الجفاف والرياح الجافة الشديدة خاصة في أواخر الربيع وأوائل الصيف، وتذبذب الهطولات المطرية وظاهرة الصقيع (عودة، 2008). حيث يبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية 19.6 م° وتصل درجات الحرارة إلى أقل قيمها في شهر كانون الثاني/يناير وهو الشهر الأكثر برودةً بمتوسط 3.0 م° وتصل إلى أعلى قيمها في شهر تموز/يوليو وهو الشهر الأكثر حرارةً بمتوسط 39.2 م° (مديرية الأرصاد الجوية، 2005).

يبلغ متوسط الهطول المطري السنوي في واحة تدمر 123 مم تقريباً وحوالي 75 % من الهطول الكلي يحدث من شهر تشرين الثاني/نوفمبر إلى آذار/مارس. وتتراوح الرطوبة النسبية بشكل عام بين 43 % في شهر حزيران/يونيو و 62 % في شهر كانون الثاني/يناير.

إن الزراعات الرئيسة الموجودة في الواحة القديمة حالياً هي أشجار الزيتون (250000 شجرة)، وأشجار النخيل (700000 شجرة)، وأشجار الرمان (80000 شجرة)، وأشجار فواكه أخرى (25000 شجرة) (الشكل 4). ولا تزيد المساحة المروية من الواحة عن 200 هكتار ولا تسمح المصادر المائية المتاحة للفلاحين بزراعة المحاصيل الحقلية كالحبوب والشعير (سمعان، 2005).

تم اختيار هذه المنطقة لإجراء الدراسة فيها بسبب توافر بيانات الإشعاع الشمسي الصافي المقاسة (Rn) لإجراء عملية التقويم والتي لا تتوافر في باقي مناطق القطر العربي السوري.



الشكل 4. أشجار الزيتون والنخيل في واحة تدمر.

2. البيانات المناخية:

تم الحصول على بيانات درجة حرارة الهواء (Ta) المقاسة باستخدام مزدوجات حرارية دقيقة (FW05 fine thermocouples)



الشكل 6. موقع الوحدات الرقمية لصورة MODIS بدقة مكانية 1 كم المثلة للواحة القديمة على صورة Google Earth والتي يقع ضمنها برج القياس.

5. حساب الإشعاع الشمسي الصافي (RN):

يتم تقدير الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) من المعادلة التالية (Bastiaanssen وزملاؤه، 1998):

$$Rn = R_{ns} + R_{downward, long} - R_{upward, long} \dots \dots \dots (1)$$

$$Rns = \alpha (1 - Rs) \dots \dots \dots (2)$$

$$R_{downward, long} = \epsilon_a \times (5.6697 \times 10^{-8}) \times T_a^4 \dots \dots \dots (3)$$

$$R_{upward, long} = \epsilon_s \times (5.6697 \times 10^{-8}) \times T_a^4 \dots \dots \dots (4)$$

حيث:

Rn: الإشعاع الشمسي الصافي (w/m^2).

Rs: الإشعاع الشمسي الوارد إلى سطح الأرض (w/m^2).

Rns: الإشعاع الشمسي الصافي قصير الموجة (w/m^2).

$R_{downward, long}$: الإشعاع الشمسي طويل الموجة الوارد (w/m^2).

$R_{upward, long}$: الإشعاع الشمسي طويل الموجة المنعكس (w/m^2).

ϵ_a : الانبعاثية الجوية.

ϵ_s : الانبعاثية السطحية.

T_a : درجة حرارة الهواء (Kelvin).

تمّ حساب البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي (Rn) اعتماداً على البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الوارد (RS) المتوافرة من قاعدة البيانات

تمّ تصميم هذا المستشعر ليقوم بتأمين صور مرجعة جغرافياً بدقة عالية مترافقة مع معايرة طيفية دقيقة وثابتة.

تمّ استخدام منتجات MODIS في هذا البحث (MODIS Products) وهي صور MODIS الفضائية المصححة والمرجعة جغرافياً، حيث تمّ تحميل هذه الصور الفضائية الخالية من الغيوم تقريباً من 30 آذار/مارس إلى 30 أيلول/سبتمبر (من اليوم 89 حتى اليوم 273 من سنة 2005) والمتوافرة بشكل مجاني على الموقع الإلكتروني:

<http://eos.nasa.gov/imswelcome>

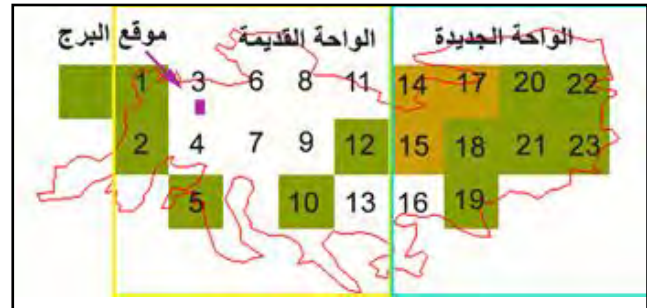
وقد تمّ تحميل نوعين من صور MODIS في هذه الدراسة:

1. صور درجة الحرارة السطحية، LST-1km: وهي متوافرة بشكل يومي وبدقة 1 كم، وتمّ الحصول على 185 صورة من اليوم 89 إلى اليوم 273، وتتألف الصورة من 12 قناة طيفية، وقد تمّ استخدام قناتين طيفيتين (الانبعاثية السطحية للقناة 31، والانبعاثية السطحية للقناة 32).

2. صور درجة الانعكاس السطحية (الأليبدو) ALBEDO_1km: وهي متوافرة كل 16 يوماً وبدقة 1 كم وقد تمّ تحميل 12 صورة من اليوم 81 إلى اليوم 273، وتتألف الصورة من 20 قناة طيفية لدرجة الأليبدو، حيث تمّ حساب درجة الأليبدو من القنوات الطيفية السبعة الأولى حسب طريقة الحساب المشار إليها في الموقع:

<http://eos.nasa.gov/imswelcome>

تشكل واحة تدمر القديمة والجديدة حوالي 23 وحدة رقمية (بيكسل) على صورة MODIS كما هو مبين في الشكل 5، حيث تنقسم إلى 7 وحدات رقمية في الواحة القديمة و16 وحدة في الواحة الجديدة، ويقع برج القياس في منتصف الواحة القديمة تقريباً، وبما أن مدى القياس بطريقة Eddy Covariance حول البرج هو 200 متر فقد تمّ في هذه الدراسة اعتماد الوحدات الرقمية 3 و 4 فقط (الشكل 6).



الشكل 5. الوحدات الرقمية التي تغطي واحة تدمر القديمة والجديدة على صورة MODIS.

$$MBD = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{N} \dots\dots\dots(7)$$

$$RMSE (\%) = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{X}_1} \dots\dots\dots(8)$$

$$MBD (\%) = 100 \times \frac{MBD}{\bar{X}_1} \dots\dots\dots(9)$$

حيث:

Y_i : القيم المحسوبة من الصور الفضائية.

X_i : القيم المقاسة في المحطة المناخية.

\bar{X}_1 : المتوسط الحسابي للقيم المقاسة في المحطة المناخية.

N : عدد القيم المقاسة أو المحسوبة من الصور الفضائية.

النتائج والمناقشة

1. بيانات الإشعاع الشمسي الوارد R_s :

يبين الجدول 1 القيم العظمى والدنيا والوسطى لبيانات الإشعاع الشمسي الوارد (R_s) الساعية واليومية التي تم الحصول عليها من قاعدة البيانات الشمسية SoDa لمنطقة واحة تدمر خلال فترة الدراسة (من اليوم 89 حتى اليوم 273)، حيث تراوحت قيم R_s الساعية من 69 واط/م² إلى 896 واط/م² بمتوسط قدره 766 واط/م² أما القيم اليومية فقد تراوحت من 1392 واط/م² إلى 7224 واط/م² بمتوسط قدره 6438 واط/م².

الجدول 1. القيم العظمى والوسطى والدنيا لبيانات الإشعاع الشمسي الوارد (R_s) الساعية واليومية في منطقة واحة تدمر خلال الفترة المدروسة (من اليوم 89 حتى اليوم 273) من عام 2005.

قيم الإشعاع الشمسي الوارد (R_s) لواحة تدمر	القيمة الدنيا (واط/م ²)	القيمة العظمى (واط/م ²)	القيمة الوسطى (واط/م ²)
البيانات الساعية	69	896	766
البيانات اليومية	1392	7224	6438

2. بيانات الصور الفضائية MODIS:

يبين الجدول 2 قيم معامل الانعكاس (الألبيدو) وقيم درجة الانبعاثية السطحية المستنتجة من صور MODIS للوحدتين الرقميتين 3 و 4 اللتين تم اختيارهما في منطقة الدراسة.

كما يبين الجدول 2 أن قيم معامل الانعكاس (الألبيدو) للوحدة

الشمسية SoDa-IS (www.soda-is.com) عند الساعة 11:00 صباحاً، وبيانات درجة الألبيدو (α) وبيانات الانبعاثية السطحية (ϵ) من الصور الفضائية MODIS الملتقطة عند الساعة 11:00 صباحاً، بالإضافة إلى بيانات درجة حرارة الهواء الساعية عند الساعة نفسها من العطيات المناخية للمحطة الأرضية في واحة تدمر.

أما البيانات اليومية للإشعاع الشمسي الصافي (R_n) فقد تم حسابها باستخدام البيانات اليومية للإشعاع الشمسي الوارد (R_s) المتوافرة من قاعدة البيانات الشمسية سابقة الذكر. والبيانات اليومية لدرجة حرارة الهواء (T_a) المتوافرة من العطيات المناخية في المحطة الأرضية لواحة تدمر، وقد تم استخدام القيم الساعية المتوافرة لدرجة الألبيدو السطحية ودرجة الانبعاثية السطحية من الصور الفضائية MODIS الملتقطة عند الساعة 11:00 صباحاً كونها ثابتة وغير متغيرة على مدار اليوم لذلك، فإن تغير قيمة الإشعاع الشمسي الصافي اليومي (R_n) تابعة لتغير قيمة الإشعاع الشمسي الوارد (R_s) وتغير درجة حرارة الهواء (T_a) على مدار اليوم.

بلغ عدد الأيام التي توافرت فيها هذه البيانات 158 يوماً للبيانات الساعية و162 يوماً للبيانات اليومية، ويُعد هذا العدد جيداً لإجراء الدراسة والحصول على النتائج واعتمادها.

6. التحليل الإحصائي:

أجري تحليل الانحدار بين بيانات الإشعاع الشمسي الصافي (R_n) المحسوبة من الصور الفضائية وبين تلك المقاسة، ثم تم تقويم هذه البيانات من خلال مقارنتها مع البيانات المقاسة في المحطة المناخية، وتم تقدير المؤشرات الإحصائية التالية:

- القيمة العظمى Maximum value

- القيمة الدنيا Minimum value

- المتوسط الحسابي Mean value

- الخطأ المتوسط التربيع Root Mean Square Error

RMSE

- الخطأ المطلق Mean Bias Deviation MBD

- النسبة المئوية للخطأ المتوسط التربيع %RMSE

- الخطأ النسبي %MBD

وذلك باستخدام المعادلات التالية (Willmott, 1982):

$$M = N^{-1} \sum_{i=1}^N Y_i \dots\dots\dots(5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \dots\dots\dots(6)$$

يبين الشكل 7 والجدول 3 مقارنة البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المحسوبة والمقاسة. وقد بلغت قيمة المتوسط الحسابي لبيانات الإشعاع الشمسي المحسوبة من الصور الفضائية للوحدة الرقمية (3) 533 واط/م² وللوحدة (4) 534 واط/م²، بينما بلغ متوسط قيم (Rn) المقاسة 547 واط/م². كما كانت قيمة الخطأ المتوسط التربيع RMSE منخفضة في الـوحدتين الرقميتين المدروستين، حيث بلغت 31.8 واط/م² و 30.2 واط/م² بنسبة 5.8 % و 5.5 % على التوالي، كما أن قيمة الخطأ المطلق MBD كانت منخفضة فيهما حيث بلغت - 14.2 واط/م² و - 12.6 واط/م² في الـوحدتين 3 و 4 على التوالي، وبلغت قيمة الخطأ النسبي (MBD %) - 2.6 % و - 2.3 % على التوالي.

تدل هذه النتائج على أن حساب الإشعاع الشمسي الصافي باستخدام الصور الفضائية تعد طريقة جيدة وقابلة للاستخدام في التطبيقات المختلفة.

توافقت هذه النتائج مع نتائج دراسات سابقة، ففي دراسة أجراها Bisht وزملاؤه (2005) في الولايات المتحدة الأمريكية جنوبي كانساس وأوكلاهوما حول حساب الإشعاع الشمسي الصافي باستخدام الصور الفضائية MODIS، بلغت قيمة الخطأ المتوسط التربيع (RMSE) والخطأ المطلق (MBD) ومعامل الارتباط (R²) للبيانات الساعية 74 واط/م² و 59 واط/م² و 0.89 على التوالي، وفي دراسة أخرى أجريت حول تقدير مكونات معادلة توازن الطاقة على سطح الأرض باستخدام بيانات MODIS فقد بلغت قيم RMSE و R² عند تقويم البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي للأيام الغائمة في حالة محاصيل عريضة الأوراق للإشعاع الشمسي 72.5 واط/م² و 0.84 على التوالي (Yun kim, 2008).

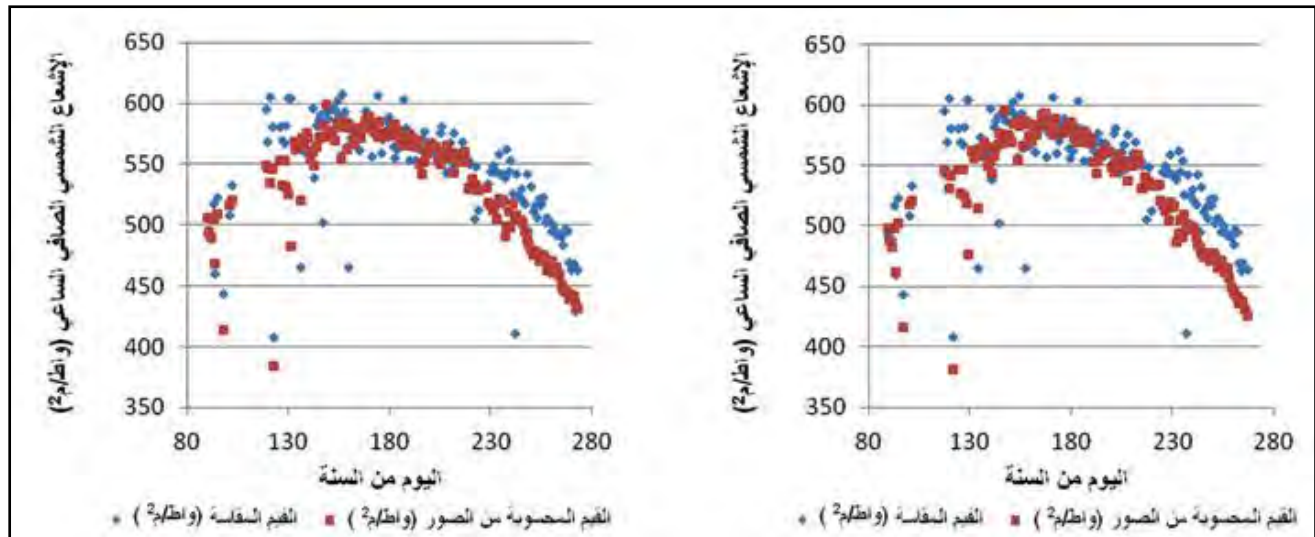
الرقمية 3 تراوحت بين 0.22 و 0.27 بمتوسط قدره 0.25، و تراوحت بين 0.22 و 0.26 للوحدة الرقمية 4 بمتوسط قدره 0.25، وتتوافق هذه القيم مع القيم المنشورة سابقاً (Brutsaert, 1982) والمثلة لأنواع من الأغذية النباتية تتشابه مع الغطاء النباتي في واحة تدمر، كما تتوافق هذه القيم مع قيمة درجة الألبيدو المقاسة في دراسة أجريت في الغرب (Ezzahar وزملاؤه، 2007). حيث تم قياس درجة الألبيدو لأشجار الزيتون التي يبلغ ارتفاعها 6 م باستخدام جهاز CNRI فكان متوسط القيم المقاسة حوالي 0.224.

الجدول 2. قيم درجة الانبعاثية السطحية ودرجة الألبيدو للمنطقة المدروسة خلال فترة الدراسة.

رقم الوحدة الرقمية	قيم الانبعاثية السطحية MODIS Emissivity (ε _s)			قيم درجة الألبيدو MODIS Albedo		
	القيمة الصغرى	القيمة العظمى	القيمة الوسطى	القيمة الصغرى	القيمة العظمى	القيمة الوسطى
(3)	0.96	0.97	0.97	0.22	0.27	0.25
(4)	0.96	0.97	0.97	0.22	0.26	0.25

3. البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي Hourly Net Solar Radiation

تم حساب الإشعاع الشمسي الصافي الساعي عند الساعة 11:00 صباحاً في كل يوم من أيام البحث في السنة المدروسة، وهو زمن التقاط الصور الفضائية MODIS. وتم تقويم البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي المحسوبة في هذه الساعة من خلال مقارنتها مع تلك المقاسة عند الساعة نفسها.



(b): الوحدة الرقمية (4)

(a): الوحدة الرقمية (3)

الشكل 7. مقارنة البيانات الساعية للإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المحسوبة من الصور الفضائية مع المقاسة في المحطة المناخية.

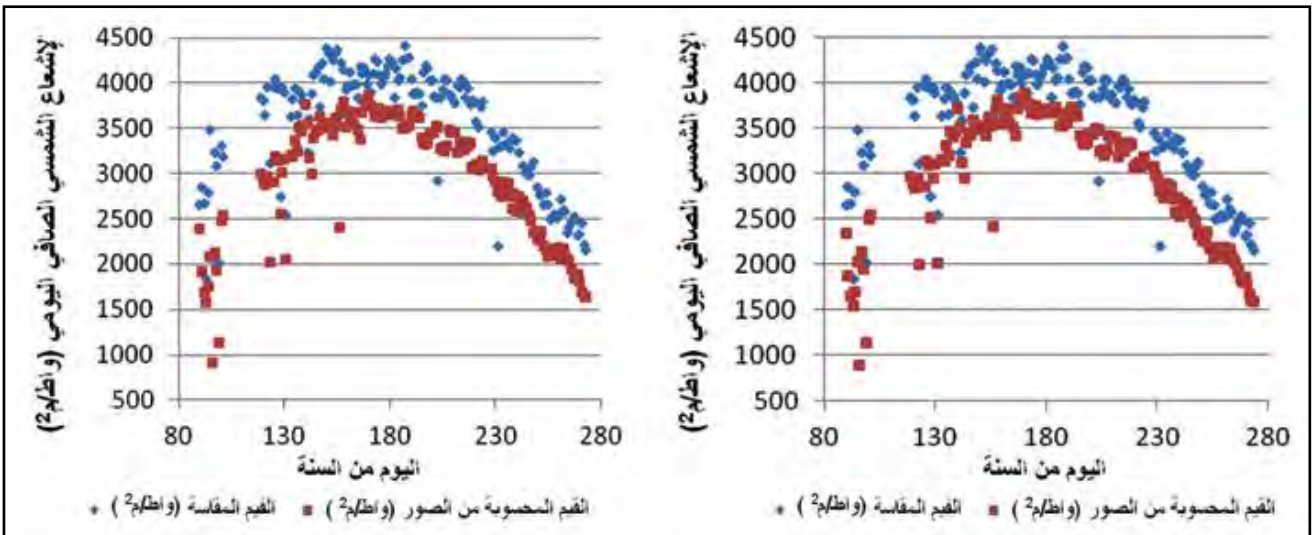
الجدول 3. مقارنة القيم الساعية للإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المحسوب من الصور الفضائية مع تلك المقاسة في المحطة الأرضية.

البيانات الساعية	عدد الأيام (يوم)	N	المتوسط الحسابي للبيانات المقاسة Mean Measure (واط/م ²)	المتوسط الحسابي لبيانات الصور الفضائية Mean MODIS (واط/م ²)	الخطأ المتوسط التربيع RMSE (واط/م ²)	نسبة الخطأ المتوسط التربيع %RMSE (%)	الخطأ المطلق MBD (واط/م ²)	الخطأ النسبي MBD (%)	معامل الارتباط R ²
الوحدة الرقمية (3)	158	158	547	533	31.8	5.8	-14.2	-2.6	0.63
الوحدة الرقمية (4)	158	158	547	534	30.2	5.5	-12.6	-2.3	0.64
متوسط وحدتين	158	158	547	533.5	31.0	5.65	-13.4	-2.45	0.635

المتوسط الحسابي للبيانات المقاسة 3.5 كيلوواط/م². كما كانت قيمة الخطأ RMSE منخفضة في كلتا الوحدتين الرقميتين المدروستين حيث بلغ الخطأ فيهما 0.62 كيلوواط/م² و 0.61 كيلوواط/م² بنسبة 17.6 % و 17.3 % على التوالي بينما بلغت قيمة الخطأ المطلق - 0.55 كيلوواط/م² و - 0.54 كيلوواط/م² والخطأ النسبي - 15.5 % و - 15.3 % و - 15.4 % على التوالي. وقد بلغت قيمة معامل الارتباط في كلتا الوحدتين الرقميتين المدروستين 0.81.

الجدول 4. مقارنة البيانات اليومية للإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المحسوبة من الصور الفضائية مع تلك المقاسة في المحطة الأرضية.

البيانات الساعية	عدد الأيام (يوم)	N	المتوسط الحسابي للبيانات المقاسة Mean Measure (واط/م ²)	المتوسط الحسابي لبيانات الصور الفضائية Mean MODIS (واط/م ²)	الخطأ المتوسط التربيع RMSE (واط/م ²)	نسبة الخطأ المتوسط التربيع %RMSE (%)	الخطأ المطلق MBD (واط/م ²)	الخطأ النسبي %MBD (%)	معامل الارتباط R ²
الوحدة الرقمية (3)	162	162	3.5	3	0.62	17.6	-0.55	-15.5	0.81
الوحدة الرقمية (4)	162	162	3.5	3	0.61	17.3	-0.54	-15.3	0.81
متوسط وحدتين	162	162	3.5	3	0.615	17.45	-0.545	-15.4	0.81



(a): الوحدة الرقمية (3)

(b): الوحدة الرقمية (4)

الشكل 8. مقارنة البيانات اليومية للإشعاع الشمسي الصافي المحسوبة من الصور الفضائية مع البيانات المقاسة.

J. Hydrol. 212–213 (1–4): 198–212.

Bisht, G., V. Venturini, S. Islam, and L. Jiang. 2005. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky das. J. Remote Sensing of Environment. vol (97) 52 – 67.

Brutsaert, W. 1982. Evaporation into the Atmosphere, D. Reidel, Boston.

Dagestad, K. F. 2005. Estimating global radiation at ground level from satellite images. Doctor Scientiarum Thesis In Meterology at University Of Bergen.

Diak, G. R., and C. Gautier. 1983. Improvements to a simple physical model for estimating insolation from GOES data. Journal of Climate and Applied Meteorology, 22: 505–508

Ezzahar, J., A. Chehbouni, J. C. B. Hoedjes, S. Er-Raki, Ah. Chehbouni, G. Boulet, J. M. Bonnefond, and H. A. R. De Bruin. 2007. “ The use of the scintillation technique for monitoring seasonal water consumption of olive orchards in a semi-arid region”. Jou. Agricultural Water Management. Vol. (89): 173 – 184.

Gautier, C., G. Diak, and S. Masse. 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. J. Appl. Meteorol. 19: 1005–1012.

Gschwind, B., L. Menard, M. Albuissou, and L. Wald. 2005. Three years of experience with the SoDa web service delivering solar radiation information: lessons learned and perspectives. In Proceedings of the 19th International Conference on Informatics for Environmental Protection, J. Hrebicek, J. Racek Eds, Part I: 95 - 102.

Jacobs, J. M., D. A. Myers, M. C. Anderson, and G. R. Diak. 2000. GOES surface insolation to estimate wetlands evapotranspiration. Journal of Hydrology,

مما سبق يمكن استنتاج ما يلي:

إن طريقة حساب الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) المختبرة في هذه الدراسة والتي تعتمد على استخدام بيانات درجة حرارة الهواء من المحطة المناخية الأرضية وبيانات الإشعاع الشمسي الوارد (RS) المستنتجة من الصور الفضائية Meteosat وفق طريقة Heliosat والمتوافرة بشكل مباشر من قاعدة البيانات الشمسية SoDa وبيانات الألبينو والانبعائية السطحية المستنتجة من الصور الفضائية MODIS. تُعد طريقة جيدة، حيث تمّ تقويم البيانات المحسوبة وفق هذه الطريقة بمقارنتها مع البيانات المقاسة في المحطة المناخية الأرضية، وقد بلغت النسبة النوية للخطأ المتوسط التربيع والخطأ النسبي ومعامل الارتباط للبيانات اليومية 17.45% و- 15.4% و0.81 على التوالي. بينما بلغت تلك المؤشرات بالنسبة للبيانات الساعية 5.65% و- 2.45 و0.635 على التوالي. و أظهرت النتائج أيضاً إمكانية استخدام بيانات الإشعاع الشمسي الوارد (RS) المستنتجة من الصور الفضائية Meteosat والمتوافرة من قاعدة البيانات الشمسية SoDa في حساب القيم اليومية والساعية للإشعاع الشمسي الصافي (Rn) بدقة مقبولة، كما أثبتت هذه الدراسة إمكانية استخدام درجة الألبينو والانبعائية السطحية من الصور الفضائية MODIS في حساب الإشعاع الشمسي الصافي (Rn) بدقة جيدة.

المراجع

سمعان، سمر. 2005. تحديد الانفضاج التبخري لواحة تدمر بطريقة موازنة الطاقة - دراسة تحليلية وتجريبية - رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، بالتعاون مع المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة ACSAD - دمشق.

عودة، محمود، J. O. Job، جيرو، أيهم. 2008. وضع خارطة أولية للموحة الترية في واحة تدمر، مجلة جامعة البعث، المجلد 30 (9): 9 - 36.

المديرية العامة للأرصاد الجوية. 2005. العطيات المناخية لتدمر (1990 - 2004)، وزارة الدفاع.

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrig. and Drain. Pap. 56, 300 pp., Food and Agric. Organ. of the U. N. (FAO), Rome, Italy.

Bastiaanssen, W. G. M., M. Menenti, R. A. Feddes, and A. A. M. Holtslag . 1998. “A remote sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): I. Formulation”.

266: 53–65.

- Levere, M., M. Albuissou, and L. Wald.** 2002. Integration and exploitation of networked Solar radiation Databases for environment monitoring. SoDa Project, Europe Commission contract number IST-1999 -12245.
- Ma, Y., Z. Su, Z. Li, T. Koike, and M. Menenti.** 2002. Determination of regional net radiation and soil heat flux over a heterogeneous landscape of the Tibetan Plateau. *Hydrological Processes*, 16: 2963–2971.
- Moradi, I., R. Mueller, B. Alijani, and A. G. Kamali.** 2009. Evaluation of the Heliosat-II method using daily irradiation data for four stations in Iran. *Sol. Energy* 83: 150 - 156.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Verma.** 1983. *Microclimate The biological environment*, Wiley, New York.
- Samani, Z., A. S. Bawazir, M. Bleiweiss, R. V. Skaggs, and D. Trane.** 2007. “Estimating Daily Net Radiation over Vegetation Canopy through Remote Sensing and Climatic Data” *J. Irrig. Drain. Eng.*, 133 (4): 291- 297.
- Willmott, C. J.** 1982. “Some comments on the evaluation of model performance”. *Bullten Am. Metro. Soc.*, 63(11):1309- 1313.
- Yun Kim, B.** 2008. “Estimation of Land Surface Radiation Budget from MODIS Data”. Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.