

دراسة مقارنة تقدير التبخر نتح باستعمال إنموذج سيبال (SEBAL) وجهاز قياس التبخر (Atmometer) في حوض نهر ديالى

إبراهيم احمد هدرس الصميدعي*¹، رمزي محمد شهاب²، اياد عبدالله خلف²

¹ باحث، قسم علوم التربة والموارد المائية، كلية الزراعة، جامعة تكريت، العراق.

² أستاذ، قسم علوم التربة والموارد المائية، كلية الزراعة، جامعة تكريت، العراق.

المستخلص

أخذت مرئيات فضائية بتاريخ 2020/1/3 و 2020/2/4 و 2020/3/23 و 2020/4/24 و 2020/5/10 و 2020/6/11 و 2020/7/13 من موقع المسح الجيولوجي الأمريكي USGS لمحافظة ديالى/ قضاء المقدادية ضمن حوض نهر ديالى ضمن خطي طول (44° 46' و 45°0'7.268) شرقاً ودائرتي عرض (34°8' 47.475 و 33°56'36.621) شمالاً. بلغت مساحة منطقة الدراسة 736.372 كم² وبلغت المساحة المزروعة بأنواع مختلفة من النباتات 477.606 كم². أستعمل انموذج SEBAL لتقدير التبخر-نتح لاشهر الدراسة موقعياً وزمانياً. استخدم اسلوب التحسس النائي المعتمد على المرئيات الفضائية الملتقطة بالقمر الصناعي Landsat – 8 بواسطة المتحسس OLI كمدخلات للبيانات الاشعاعية بالإضافة الى البيانات المناخية لكل شهر من أشهر الدراسة، إذ تم استخدام موازنة الطاقة السطحية وتم تحديد تدفق صافي الاشعاع وتدفق حرارة التربة وتدفق الحرارة المحسوسة ومعدل التبخر-نتح. أخذت 28 نقطة موزعة على منطقة الدراسة اذ اختلفت النقاط بتنوع الغطاء النباتي من نقطة الى اخرى، استخدم في الدراسة ايضاً جهاز قياس التبخر الاتموميتر موقعياً في الحقل، إذ سجلت القراءات يومياً طول مدة الدراسة وكان وقت اخذ القراءة يومياً الساعة 8 صباحاً، استخدم كذلك معادلة بنمان مونتيث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية. بينت النتائج علاقة جيدة بين التبخر نتح المقدر من انموذج SEBAL والمقاس باستخدام الاتموميتر (R²=0.9508) كذلك بينت النتائج توافق جيد بين إنموذج سيبال وبنمان مونتيث، إذ بلغت قيمة R² 0.9913 وبلغت بين الاتموميتر وبنمان مونتيث R² 0.9216 . . بلغت كمية المياه اللازمة 437 مليون متر مكعب لسد احتياجات المحاصيل الزراعية وتشمل بساتين نخيل وحمضيات ورومان وحنته وغيرها من النباتات، والتي تمثل اقصى كمية ماء لازمة لأشهر الدراسة.

الكلمات المفتاحية: انموذج SEBAL، حوض نهر ديالى، التبخر نتح، Atmometer، بنمان مونتيث.

A Comparative Study of Evapotranspiration Measurement Using SEBAL Model and Atmometer in the Diyala River Basin.

Ibraheem A. H. Al-Sumaidia¹, Ramzi M. Shihab^{*2}, Aiad A. Khalaf²

¹Researcher, Department of Soil and Water Resources Science, College of Agriculture, Tikrit University, Iraq.

²Prof., Department of Soil and Water Resources Science, College of Agriculture, Tikrit University, Iraq.

Abstract

Satellite images were taken on the following dates, 1/3/2020, 2/4/2020, 23/3/2020, 24/4/2020, 10/5/2020, 11/6/2020 and 7/13/2020 from the web of the USGS to the area of A.L.- Muqadadiya District, Diyala river basin, Diyala Governorate within (45°0'7.268' and 44° 46' 0.063) east and (34°8' 47.475' and 33°56'36.621') north. The total study area was 736,372 km², and the area covered with vegetation was 477,606 km². The SEBAL model was wired to estimate evapotranspiration (E.T.) for the months of the study, both locally and temporally. Remote sensing was used based on satellite Landsat-8 images by sensor OLI as radiation data input. In addition, the meteorological data was used for each date. 28 points were randomly taken within the study area. Atmometer (ETgag) was used to measure daily evapotranspiration, Also the Penman-Monteith equation (FAO56). Was used to estimate E.T. The results showed a good relationship between E.T., estimated by the SEBAL model and measured with an atmometer (R² = 0.9508). Also, good agreement was showed between SEBAL and FAO 56 (R² = 0.9913) and atmometer and FAO 56 (R² = 0.9216). 437 Mm³ of water is required to meet the needs of crops, representing the maximum quantity of water for the study period.

Keywords: SEBAL model, diyala river basin, evapotranspiration, atmometer, penman monteith.

*Corresponding author.

Email: ramzishihab@tu.edu.iq

<https://doi.org/10.36531/ijds.2022.174556>

Received 11 January 2022; Received in revised form 20 February 2022; Accepted 1 March 2022

المقدمة

وخطوات تصحيحها الى تقدير التبخرنتح المرجعي فضلاً عن الاستعانة ببيانات الارصاد الجوية. يختلف ET زمانياً ومكانياً، فهو متغير مكانياً بسبب التغيرات المكانية الواسع للأمطار الهائلة والخصائص المائية للتربة والانواع النباتية، ومتغير زمانياً بسبب تقلب المناخ وتطور او تقدم عمر النبات Long و Singh (2012) ولهذه الاسباب فان صور الاقمار الصناعية او المرئيات الفضائية اصبحت اداة مفيدة لتحديد وتخطيط التغيرات المكانية والزمانية للتنبؤ بالتبخرنتح. تأتي اهمية حساب معايير معادلة توازن الطاقة من خلال استخدام الاقمار الصناعية لحساب ET، وهذا يتم من خلال تفاعل الطاقة الساقطة مع الاهداف الارضية وخاصة فيما يتعلق بالتربة والنبات. ان هذه التقانات تتميز بالتعددية الطيفية التي تساعدنا من خلال معالجتها رقمياً في حساب الادلة الطيفية والنسب الطيفية المختلفة، ومنها دليل الاختلاف الخضري الطبيعي NDVI ودليل المساحة الورقية LAI و دليل الغطاء النباتي للتربة SAVI، اذ أن لهذه الادلة الطيفية علاقة وثيقة في تحديد حالة وصحة الغطاء النباتي والتربة من خلال النطاق الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة NIR (1.3 - 0.7) مايكرو ميتر والنطاق الطيفي للأشعة الحمراء R ذات النطاق الطيفي (- 0.6 0.7) مايكروميتر (Hong, 2009) من المعوقات الرئيسية لفهم استخدام المياه هي الصعوبة المرتبطة بقياسها وتحديد كميتها. يعد قياس التصريف وجمع البيانات في القنوات امراً صعباً ومحفوفاً بالأخطاء المحتملة ويعتمد استخدام المياه في انتاج المحاصيل على تفاعل العوامل المناخية التي تحدد تبخر المحاصيل وامتدادات المياه من السواقي (Smith 2000). لذلك فان تجميع ومعالجة وتحليل بيانات الارصاد الجوية هما عنصران اساسيان في تطوير استراتيجيات تحسين استخدام المياه لإنتاج المحاصيل وادخال ممارسات ادارة المياه الفعالة، لذلك يعد تقدير المياه المستخدمة من قبل المحاصيل من بيانات الارصاد امراً

التبخر هو الاستخدام الاستهلاكي الرئيسي لمياه الري في الزراعة. يجب أن تستند أي محاولة لتحسين كفاءة نظام الإمداد بالمياه إلى تقديرات موثوقة لعمليات التبخر اليومية ، والتي تشمل التبخر من سطح الأرض والمياه والنتح عن طريق الغطاء النباتي، يتم التعرف على التبخر اليومي كعملية أساسية في تحديد التفاعل السطحي للطاقة لأي إدارة موارد مائية تتعلق بالممارسات الزراعية، يختلف التبخر اليومي من منطقة إلى أخرى وموسمياً وفقاً لظروف الطقس والرياح، وان فهم الاختلافات في التبخر النتح (Evapotranspiration, ET) أمر ضروري في تخطيط وإدارة الموارد المائية، وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. تتأثر معدلات ET بالظروف الجوية مثل الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء وسرعة الرياح وضغط بخار الهواء، وظروف وخصائص النبات والتربة (Alleen و Gerorge وآخرون، 1998) و (Alleen و Gerorge وآخرون، 2002). طورت طرائق مباشرة وغير مباشرة مختلفة لتقدير التبخرنتح او الاستهلاك المائي مثل المسراب (Lysimeters) وحوض التبخر (panevaporation) وموازنة ماء التربة (soil water balance) ومقياس التبخر (Atmometer) ونظام توازن طاقة نسبة باون (Bowen ratio energy balance system) وجريان النسغ (Sap flow) وAllen و Jensen (2016) ومع ذلك فان هذه الطرائق هي مقياس نقطي او موقعي ولا تقدم معلومات على مستوى مناطقي او اقليمي (zonal or regional). وللتغلب على هذه المشكلة، فان تقانات التحسس النائي، يمكن ان تكون بديلة لتقدير ET على نطاق واسع في وقت وكلفة اقل، يتكون نموذج SEBAL من سلسلة من الخطوات والحوارزيميات الحاسوبية التي يتم استخدامها لتقدير التبخر- نتح لأي منطقة من العالم والذي يوضح خطوات حساب التبخر في منطقة الدراسة ابتداء من المرئيات الفضائية

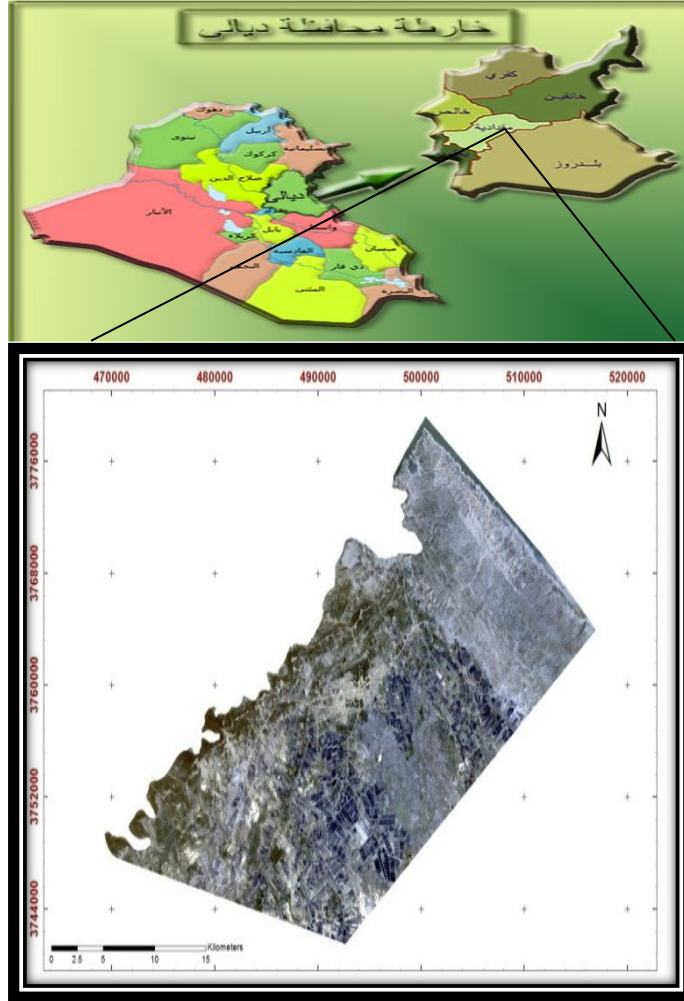
سيبال (SEBAL) باستعمال التحسس النائي للأقمار الصناعية مع المقاس بجهاز قياس التبخر Atmometer ومعادلة بنمان مونتيث في حوض نهر ديالى. كذلك تقدير الكمية الكلية من الماء المطلوبة لسد احتياجات المحاصيل المزروعة في منطقة الدراسة.

المواد والطرائق

الموقع والمساحة

تقع منطقة الدراسة في محافظة ديالى/ قضاء المقدادية على نهر ديالى شكل 1 ضمن خطي طول ($45^{\circ}0'7.268$) و ($34^{\circ}8'47.475$) شرقاً ودائرتي عرض ($33^{\circ}56'36.621$) شمالاً، بلغت مساحة منطقة الدراسة 736.372 كم² وبلغت الأراضي المزروعة بأنواع مختلفة من المحاصيل الحقلية والبستانية 477.606 كم². يقع هذا القضاء على ارتفاع 40 م عن سطح البحر على سهل خصب جداً إذ تحيط به بساتين البرتقال والنخيل والفواكه وتحيط به أراضي منبسطة واسعة صالحة للزراعة وتبعد عنها جبال حميرين بـ 10 كم شمال شرق القضاء وعلى بعد 32 كم من سد حميرين وعلى بعد 5 كم من سدة الصدور. ان سطح قضاء المقدادية والمحافظة بشكل عام هما جزء من السهل الرسوبي، وهي منطقة سهلية منبسطة تنحدر انحداراً بسيطاً من الوسط نحو الغرب والجنوب الغربي وتدرجياً باتجاه الشرق والجنوب الشرقي، إذ ان 85% من أراضيها سهلية ولكن على الرغم من ذلك هنالك بعض الجبال التي تعلو المنطقة، إذ اتسعت لتشمل الأراضي الجرداء والأراضي المزروعة بمحصول الحنطة والشعير والرز وكذلك البساتين التي تحتوي على اشجار معمرة من النخيل والرمان والحمضيات والفواكه وغيرها من بقية الاشجار الأخرى وكذلك الجبال التي تحتوي على المراعي الطبيعية المحيطة بنهر ديالى.

ضرورياً لتحسين استخدام المياه (Muthuwatta) وآخرون، (2010). يستخدم التبخرنتح بصورة متداخلة مع معادلة التوازن المائي لغرض جدولة الري، وتوجد العديد من المعادلات التي تتعلق بحساب التبخرنتح ومنها معادلة بنمان مونتيث المعدلة لحساب التبخر نتح المرجعي (ET_0). عام 1948 وضع بنمان معادلة لحساب معدل التبخر من الاسطح المائية الحرة، وفي عام 1965 قام Monteith بتعديل هذه المعادلة لتشمل المقاومة السطحية والمقاومة الديناميكية الهوائية لحساب التبخرنتح من الاسطح المزروعة. تطورت العديد من الطرائق لحساب التبخر نتح من معادلة Penman-Monteith ومنها طريقة التحسس النائي Subedi وآخرون (2013) ان مقاييس التبخر (atmometer) هي صنف صغير من مقاييس التبخر التي تتألف عادة من سطح رطب يغذى عن طريق ربطه بخزان مائي. وفي بعض الحالات فان سطح المقياس مغطى بقماش لمحاكات خصائص الاشعاع الشمسي للغطاء النباتي وزيادة المقاومة للتبخر لتقليد التبخرنتح من الغطاء النباتي. يملئ خزان الماء بالماء المقطر الذي يتبخر خارج السطح من خلال انبوبة سحب. تحتوي بعض المقاييس على غشاء خاص لمنع رشح ماء المطر الى السطح المسامي. وعادة ما يتم نصب مقاييس التبخر على موقع قريب او داخل الحقول الزراعية (Magliulo وآخرون، 2003). بينت نتائج Almahab (2009) حصول توافق جيد بين ET المقاس يومياً وشهرياً باستعمال انموذج سيبال المحور مع تلك المقاسة بطرائق مختلفة. فقد بلغت قيم معامل التحديد (R^2) بين $0.999 - 0.992$. كما بينت نتائج Abiy (2015) هناك علاقة قوية بين بيانات سيبال وبنمان مونتيث. مما سبق يتبين ان النتائج تدعم الاستنتاج القائل ان انموذج سيبال يمكن ان يقدر ET بدقة تحت ظروف زراعية مختلفة. تهدف هذه الدراسة الى مقارنة التبخر نتح المقدر من انموذج



شكل 1. خارطة منطقة الدراسة لقضاء المقدادية/ محافظة ديالى

النباتي (NDVI), ودليل مساحة الورقية (LAI), والالبيدو السطح (α), والإشعاع الصافي (Rn), وجميع المكونات في سلسلة من الحسابات المطلوبة لتقدير ET لستة اشهر لسنة 2020. Landsat 8 هو أحد سلسلة Landsat التابعة لناسا. اذ يتم الحصول على حزم بيانات Landsat 8 من موقع هيئة المساحة الجيولوجية <https://earthexplorer.usgs.gov>. ويبين جدول 1 حزم لاندسات 8.

تطبيقات التحسس النائي في حساب انموذج SEBAL المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة
استخدمت بيانات التحسس النائي الرئيسية لتقدير ET في هذه الدراسة، فإن بيانات التحسس النائي الرئيسية استخدمت Landsat 8 TIRS (مستشعر الأشعة تحت الحمراء الحرارية) للحزم 10 و 11 و OLI (Operational Land Imager) باند الاستشعار (2-7). تم استخدمت جميع الحزم لاشتقاق صور متعددة الأوقات لمؤشر الغطاء

جدول 1. مواصفات حزم لاندسات 8

Landsat 8	Bands	Wavelength	Resolution
		(micrometers)	(meters)
Operational Land Imager (OLI)Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Band 1- Ultra Blue (coastal/acrosol)	0.43-0.45	30
	Band 2-Blue	0.15-0.51	30
	Band 3- Green	0.53-0.59	30
	Band 4-Red	0.64-0.67	30
	Band 5-Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
	Band 6- Shortwave Infrared (SWIR)1	1.57-1.65	30
	Band 7- Shortwave Infrared (SWIR)2	2.11-2.29	30
	Band 8- Panchromatic	0.59-0.68	15
	Band 9-Cirrus	1.36-1.38	30
	Band 10- Thermal Infrared (TIRS)1	10.60-11.19	100*(30)
	Band 11- Thermal Infrared (TIRS)2	11.50-12.51	100*(30)

(2). مخطط انسيابي لآلية الحساب.

تدفق إشعاع السطح الصافي **The Net Surface Radiation Flux**

$$R_n = (1-\alpha) R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1-\epsilon_0) R_{L\downarrow}$$

تتمثل الخطوة الأولى في إجراء SEBAL هي حساب

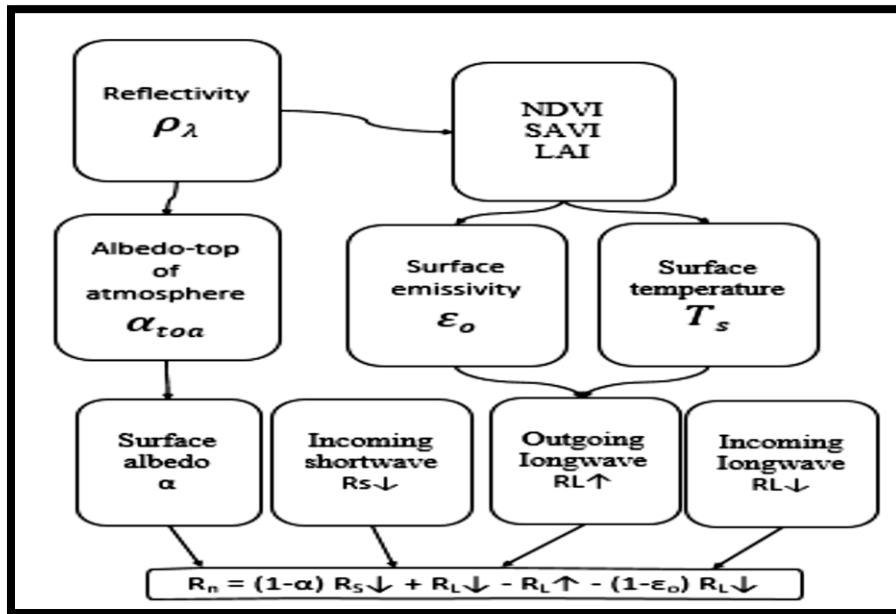
طاقة تدفق صافي الإشعاع (Rn) باستخدام المعادلة (1)

من خلال سلسلة من الخطوات باستخدام مصمم النماذج

المكانية ERDAS Ver. 15 لحساب الشروط في المعادلة

3. ويبين شكل

$R_{S\downarrow}$ = اشعاع الموجات القصيرة القادم (واط م⁻²).
 $R_{L\uparrow}$ = اشعاع الموجات الطويلة القادم (واط م⁻²).
 $R_{L\downarrow}$ = اشعاع الموجات الطويلة الخارجة (واط م⁻²).
 α = البيدو السطح.
 ϵ_0 = انبعاثيه الحرارية للسطح.



شكل 2. مخطط انسيابي لحساب تدفق صافي الإشعاع Rn

هو البيدو غير المعدل لنفاذية الغلاف الجوي ويتم حسابه على النحو الاتي (Alves واخرون, 2017):

$$(\alpha_{toa}) = \Sigma(\omega\lambda * \rho\lambda) \dots\dots\dots (3)$$

اذ ان:

α_{toa} = الالبيدو في الجزء العلوي من الغلاف الجوي
 $\rho\lambda$ = انعكاس لكل حزمة

$\omega\lambda$ = معامل تاثير لكل حزمة يمكن الحصول عليه من الموقع الخاص USGS.

$$\omega\lambda = \frac{ESUN_{\lambda}}{\Sigma ESUN_{\lambda}} \dots\dots\dots (4)$$

اذ ان:

$ESUN_{\lambda}$ = متوسط الإشعاع الشمسي الخارجي في الغلاف الجوي في حزمة طيفية واط م⁻² ستراديان⁻¹ مايكرومتر⁻¹ (جدول 2).

البيدو السطح (α) Surface Albed

تعرف انعكاسية السطح على أنها نسبة تدفق الإشعاع المنعكس إلى تدفق الإشعاع الساقط. وتحسب باستخدام المعادلة الاتية المعطاة لصور لانديسات (Salifu واخرون, 2011) و Kosa (2011):

$$\rho\lambda = \frac{Mp * Q_{cal} + Ap}{\sin\theta_{SE}} \dots\dots\dots (2)$$

اذ ان:

$\rho\lambda$ = الانعكاسية لكل حزمة. Mp = عامل إعادة القياس المضاعف الخاص بالحزم من البيانات الوصفية.

Ap = عامل إعادة قياس المواد المضافة الخاصة بالحزم من البيانات الوصفية. Q_{cal} = قيم الصورة القياسية الكمية وكمية الأشعة التي يستقبلها جهاز التحسس من خلية الهدف الارضي المقابل Digital Number (DN). θ_{SE} = زاوية ارتفاع الشمس حلياً المتوفرة في الملف المرفق MTL.

حساب البيدو الجو في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (α_{toa}).

جدول 2. معامل تاثير لكل حزمة يمكن الحصول عليه من موقع الخاص USGS ($\omega\lambda$)

Band	ESUN	$\omega\lambda$
2	2067	0.3012979
3	1893	0.27593465
4	1603	0.23366257
5	972.6	0.14177181
6	245	0.03571262
7	79.72	0.01162045
$\Sigma ESUN$	6860.32	

<http://www.gisagmaps.com/landsat-8-atco>

اذ ان:

$\alpha_{path-radiance}$ = معدل جزء الإشعاع الشمسي الوارد عبر جميع النطاقات والذي يعود مشتتاً إلى القمر الصناعي قبل أن يصل إلى سطح الأرض.
 τ_{sw} = نفاذية الغلاف الجوي.

حساب البيدو السطح

يعرف البيدو السطح (α) على أنه نسبة الإشعاع المنعكس إلى إشعاع الموجة القصيرة الساقط. ويحسب البيدو السطح عن طريق تصحيح α_{toa} لنفاذية الغلاف الجوي:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \dots\dots\dots (5)$$

إشعاع الموجة الطويلة الخارجة هو تدفق الإشعاع الحراري المنبعث من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي (واط م⁻²). وقد حسب من المعادلة الآتية (Liou واخرون, 2014):

$$RL\uparrow = \varepsilon_0 \times \sigma \times Ts^4 \dots \dots \dots (8)$$

اذ ان:

ε_0 = انبعاثية السطح (بلا أبعاد) والذي يعتمد في حسابه على الأدلة الطيفية. σ = ثابت ستيفان بولتزمان (5.675×10^{-8} واط م⁻² كلفن⁻⁴) = الحرارة السطحية (كلفن).

حساب العديد من دلائل الغطاء النباتي

حسبت العديد من مؤشرات الغطاء النباتي باستخدام العديد من المعادلات في مصمم نماذج ERDAS المكاني، وكما يلي:

دليل الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)

ان دليل NDVI هو نسبة الاختلافات في الانعكاسية لنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR ρ_5 والنطاق الأحمر RED ρ_4 إلى مجموعهما في Landsat 8. وفقاً للمعادلة الآتية Lillesand و Chipman (2004) و Wang واخرون، (2007):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} = \frac{\rho_5-\rho_4}{\rho_5+\rho_4} \dots \dots \dots (9)$$

NDVI هو مؤشر حساس لمقدار وحالة الغطاء النباتي الأخضر. تتراوح قيم NDVI بين -1 و +1. ويبلغ مؤشر NDVI للأسطح الخضراء بين 0 و 1 ويكون الماء وللحجب و للغيوم عادة أقل من الصفر.

الغطاء النباتي للتربة (SAVI)

SAVI هو مؤشر يحاول إزالة تأثيرات مساهمة التربة من مؤشر NDVI بحيث يتم تقليل آثار رطوبة التربة في المؤشر. وقد حسبت باستخدام المعادلة الآتية (Allen واخرون، 2002):

$$SAVI = \frac{(1+l)(NIR-RED)}{(1+NIR+RED)} \dots \dots \dots (10)$$

اذ ان:

تتراوح قيم $\alpha_{path-radiance}$ بين 0.025 و 0.04 وبالنسبة لـ SEBAL نوصي بقيمة 0.03 بناءً على Bastiaanssen (2000).

تعرف النفاذية الجوية على أنها جزء من الإشعاع الساقط الذي ينقله الغلاف الجوي ويمثل آثار الامتصاص والانعكاس التي تحدث داخل الغلاف الجوي. يحدث هذا التأثير للإشعاع الوارد وللإشعاع الخارج وبالتالي يتم تربيعه. τ_{sw} تشمل نفاذية كل من إشعاع الحزمة الشمسية المباشرة والإشعاع المنتشر (المتشتت) على السطح. نحسب τ_{sw} بافتراض سماء الصافية وظروف جافة نسبياً باستخدام علاقة قائمة على الارتفاع عن مستوى سطح البحر، Allen et al., (1998):

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} * Z \dots \dots \dots (6)$$

اذ ان:

Z = ارتفاع منطقة الدراسة فوق مستوى سطح البحر (م).

إشعاع الموجات القصيرة القادمة (واط م⁻²) Incoming Shortwave Radiation (↓ RS)

ان إشعاع الموجة القصيرة القادم هو تدفق الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر الذي يصل فعلياً إلى سطح الأرض (واط م⁻²) وقد حسبت، بافتراض ظروف السماء الصافية وكذلك استبعاد المرئيات الفضائية في حالة الجو غائماً، كتأثير لوقت الصورة باستخدام المعادلة الآتية (Samani واخرون، 2007):

$$RS\downarrow = GSC * \sin\theta_{SE} * d_r * \tau_{sw} \dots \dots \dots (7)$$

اذ ان:

GSC = الثابت الشمسي (1367 واط م⁻²). θ_{SE} = زاوية سقوط الشعاع الشمسي محلياً وقد استحصل عليه من ملف المرفق مع المرئية. d_r = مربع المسافة النسبية بين الأرض والشمس. ويتم الحصول عليه من ملف المرفق مع المرئية. τ_{sw} = نفاذية الغلاف الجوي.

إشعاع الموجات الطويلة الخارجة (واط م⁻²) Outgoing Longwave Radiation (↑ RL)

متوسط حزم انبعاث سطح الارض (LSE) و مستشعر الأشعة تحت الحمراء الحرارية (TIRS) . W = محتوى بخار الماء في الغلاف الجوي (0.013) . $\Delta \varepsilon$ = الفرق في LSE.

جدول 3. قيم معامل نافذة منشقة

Value	Constant
-0.268	C0
1.378	C1
0.183	C2
54.3	C3
-2.238	C4
-129.2	C5
16.4	C6

اتبعت الخطوات الآتية في حساب حرارة السطح
الخطوة 1: قدرت قمة الإشعاع الطيفي للغلاف الجوي لحزمة TIRS (10 و 11) NASA (2002) و Chhander و Markham (2003) تقوم هذه الخوارزمية بتحويل الصورة الخام إلى صورة إشعاع طيفي:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + A_L \dots \dots \dots (15)$$

اذ ان:

$L\lambda =$ الاشعاع الطيفي للغلاف الجوي. $Q_{cal} =$ الباندات الطيفية للحزم الطيفية الحرارية 10 و 11. ML = عامل إعادة القياس المضاعف المحدد بالحزم (إشعاع متعدد الحزم_10/11). $A_L =$ عامل إعادة قياس المواد المضافة الخاصة بالحزم (إشعاع_إضافة_حزم_10 / 11). جدول 4.

جدول 4. عامل إعادة القياس

Band 11	Band 10	Rescaling Factor
0.000342	0.000342	ML
0.1	0.1	AL

الخطوة 2: قدرت درجة حرارة السطوع (TB) للحزمتين 10 و 11. درجة حرارة السطوع هي الإشعاع الكهرومغناطيسي

$l =$ معامل خاص بالدليل النباتي المعدل للتربة SAVI وتبلغ قيمته 0.5. علماً أن بعض المصادر التي استخدمت هذا المؤشر اعتبرت ان قيمة $L = 0.16$.

مؤشر مساحة الأوراق (LAI)

LAI هي نسبة المساحة الإجمالية لجميع اوراق النبات إلى مساحة الأرض التي يمثلها النبات. إنه مؤشر على الكتلة الحيوية ومقاومة المظلة. يتم حساب LAI باستخدام المعادلة التجريبية الآتية (Allen وآخرون, 2002)

$$LAI = \frac{\ln \left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59} \right)}{0.91} \dots \dots \dots (11)$$

حساب

انبعاثية السطح (ε)

انبعاثية السطح (ε) هي نسبة الطاقة الحرارية التي يشعها السطح إلى الطاقة الحرارية التي يشعها جسم أسود عند درجة الحرارة نفسها. و ε_0 هو انبعاث يمثل السلوك السطحي للانبعاث الحراري في الطيف الحراري البعيد (6 إلى 14 ميكرومتر). وتستعمل ε_0 لحساب إجمالي انبعاث اشعاع الموجة الطويلة من السطح. وتحسب انبعاثية السطح باستخدام المعادلتين 12 و 13 الآتية:

$$\varepsilon_0 = \begin{cases} 0.95 + 0.01 LA & LAI < 3 \\ 0.98 & LAI \geq 3 \end{cases} \dots \dots \dots (12)$$

$$\varepsilon_0 = 0.985 \dots \dots \dots (13)$$

حساب حرارة السطح (كلفن) T_s

حسبت درجة حرارة السطح T_s من خلال تطبيق خوارزمية رياضية، وهي خوارزمية نافذة منشقة Split - Window (SW) تستخدم هذه الخوارزمية درجة حرارة السطوع اتحزمتين TIR، والمتوسط والفرق في انبعاثية سطح الارض لتقدير T_s لمنطقة ما، وكما يأتي معادلة 14.

$$T_s = TB_{10} + C_1 (TB_{10} - TB_{11}) + C_2 (TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 W) (1 - \bar{\varepsilon}) + (C_5 + C_6 W) \Delta \varepsilon \dots \dots \dots (14)$$

اذ ان:

$T_s =$ درجة حرارة سطح الأرض (كلفن). C_0 to $C_6 =$ قيم معامل تقسيم النافذة الجدول 3. TB_{10} و $TB_{11} =$ درجة حرارة سطوع الحزمة 10 والحزمة 11 (كلفن). $\bar{\varepsilon} =$ يعني

النباتي لكلا الحزمتين 10 و 11 معطاة كمت في الجدول 7. يتم حساب LSE للحزمتين 10 و 11 بشكل فردي.

$$LSE = \epsilon S (1 - FVC) + \epsilon V FVC \dots \dots \dots (18)$$

اذ ان:

$\epsilon S =$ الانبعاثية للتربة. جدول 7. $\epsilon V =$ الانبعاثية للنباتات. جدول 7. $FVC =$ الغطاء النباتي الكسري.

جدول 7. قيم الانبعاث

الانبعاثية	Band 10	Band 11
ϵS	0.971	0.977
ϵV	0.987	0.989

الخطوة 5: دمج LSE للحزمة 10 و LSE للحزمة 11 المستحصلة من الخطوة 5 خلال المتوسط والفرق بينهما كما موضح في المعادلتين 19 و 20.

$$\text{Mean of LSE} = \bar{\epsilon} = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2} \dots \dots \dots (19)$$

$$\text{Difference of LSE} = \Delta \epsilon = LSE_{10} - LSE_{11} \dots \dots \dots (20)$$

الخطوة 6: قدرت درجة حرارة سطح الأرض (Ts) باستخدام الخوارزمية في المعادلة السابقة 14 (Salifu وآخرون, 2011).

حساب التبخر نتح ET (مم ساعة⁻¹)

يتم الآن حساب جميع مكونات معادلة توازن الطاقة. يمكن حساب λET و ET_{inst} و ET_oF .

حسب λET باستخدام المعادلة 21 (Nouri وآخرون, 2017):

$$\lambda ET = R_n - G - H \dots \dots \dots (21)$$

اذ ان:

$$\lambda ET = \text{تدفق الحرارة الكامنة (واط م}^{-1}\text{)}.$$

يتم حساب القيمة الانية لـ ET_{INST} في عمق التبخر المكافئ على النحو التالي:

$$ET_{INST} = 3600 * 1000 * \frac{\lambda ET}{\lambda * \rho_w} \dots \dots \dots (22)$$

اذ ان:

$$ET_{INST} = \text{التبخر نتح الآني (مم ساعة}^{-1}\text{)}.$$

$$3600 = \text{تحويل الوقت من ساعات إلى ثواني.}$$

الذي ينتقل صعودا اعلى من الغلاف الجوي للأرض. وانجزت عملية المعايرة الحرارية عن طريق تحويل قيم DN الحرارية للحزم الحرارية الخام لمستشعر TIR إلى اشعاع طيفي Spectral Radiance (TOA) وبعد استخدام معادلة درجة حرارة السطوح، حصلنا على حزم درجة حرارة السطوح (TB), Weng و Schubring (2004) و Chhander و Markham (2003):

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left[\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right)+1\right]} \dots \dots \dots (16)$$

اذ ان:

$L\lambda =$ الاشعاع الطيفي للغلاف الجوي بدلالة الطول الموجي. K_1 و $K_2 =$ ثابت حراري للحزمتين 10 و 11 من ملف صورة البيانات الوصفية، كما موضح في جدول 5.

جدول 5. قيم K_1 و K_2

Band11	Band 10	Thermal Constant
480.89	777.89	K_1
1201.14	1321.08	K_2

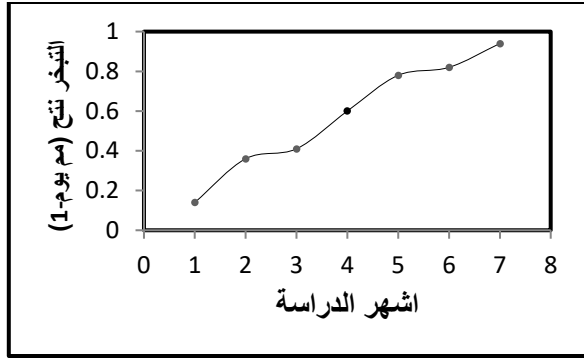
الخطوة 3: قدر الغطاء النباتي الكسري (FVC) المعادلة 17 باستخدام المرئية NDVI والتي تم الحصول عليها مسبقاً، ودليل NDVI للتربة ودليل NDVI للغطاء النباتي من الجدول 5. (Wang وآخرون, 2007):

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI(SOIL)}{NDVI(VEGETATION) - NDVI(SOIL)} \dots \dots \dots (17)$$

جدول 6. NDVI للتربة والغطاء النباتي

0.2	NDVI for Soil
0.574185	NDVI for Vegetation

الخطوة 4: استحصل على انبعاث سطح الأرض (LSE) من طبقة FVC من الخطوة 4 باستخدام الخوارزمية في المعادلة 18. تقيس انبعاث سطح الأرض الخاصة الكامنة لسطح الأرض. يقيس قدرتها على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة مشعة. يتطلب تقدير LSE انبعاثية التربة والغطاء



شكل 3. التغيرات الزماني في متوسطات التبخر نتج خلال اشهر الدراسة

كان سطح الارض محجوباً جزئياً بواسطة السحب (غطاء سحابي) في المرئية المأخوذة بتاريخ 24 / 4 / 2020. مسببا ارتفاع قيم التبخر نتج. مما تطلب استقراء (interpolation) من القيم السابقة واللاحقة Hankerson واخرون (2012) وبعد الاستقراء اصبحت قيمة الـ ET 5.16 مم/ يوم بدلاً من 10.73 مم يوم⁻¹ (جدول 7). ان سبب زيادة ET من كانون ثاني الى تموز يعود الى العديد من العوامل التي تؤثر في التبخرنتج مثل سرعة الرياح والرطوبة النسبية ومعدلات درجات الحرارة Hameed (2019) و Kerr (1997). بان العلاقة بين درجات الحرارة والتبخر-نتج تزداد طردياً حيث يزداد معها فقدان كمية المحتوى الماء المخزون وتبخره في الهواء. كما لوحظ بان السطوح المنتجة للحرارة تزداد فيها معدلات التبخر لذا نلاحظ بان الاراضي الجرداء لها القدرة على التفاعل مع الاشعاع الشمسي مما يؤدي الى ارتفاع درجات الحرارة وبالتالي تزداد فيها معدلات التبخر. ان للأسطح النباتية انعكاسية منخفضة وانبعائيه منخفضة مقارنة بالتراب الجرداء لذلك تكون الطاقة المتوفرة على الاسطح النباتية اعلى منها للتراب الجرداء، لذلك تدفق صافي الاشعاع للنباتات يكون عالٍ نسبياً، ولان زيادة كثافة

1000 = التحويل من متر إلى ملليمترات.

λ = الحرارة الكامنة للتبخير أو الحرارة الممتصة عندما يتبخر كيلوغرام من الماء (~ 2257000 جول كغم⁻¹). = كثافة الماء (~ 1000 كغم م⁻³)

Woodward واخرون (2011) و Allen واخرون (2011) يمكن حسابها على النحو الاتي:

$$\lambda = 333.5372 - 0.25016 T_s \dots\dots\dots (23)$$

يتم تعريف الجزء (ET_oF) على أنه نسبة (ET_{inst}) اللحظية المحسوبة لكل عنصر إلى (ET_o) المرجعية المحسوبة من بيانات الطقس باستخدام المعادلة الآتية:

$$ET_o F = \frac{ET_{INST}}{ET_o} \dots\dots\dots (24)$$

اذ ان:

ET_o = التبخرنتج المرجعي ET في وقت الصورة من برنامج REF-ETs (مم ساعة⁻¹).

$$ET_o F = \text{جزء ET المرجع.}$$

تبخّر-نتج 24 ساعة (ET₂₄)

غالبًا ما تكون القيم اليومية لـ (ET₂₄) أكثر فائدة من ET الانبي. يحسب SEBAL ET₂₄ بافتراض أن ET_oF الانبي المحسوب في المعادلة (25) هو نفسه متوسط 24 ساعة. أخيراً، يمكن حساب ET₂₄ (مم يوم⁻¹) على النحو الاتي:

$$ET_{24} = ET_o F * ET_o_{24} \dots\dots\dots (25)$$

اذ ان:

$$ET_o_{24} = ET_o \text{ ساعة التراكمي ليوم اخذ المرئية.}$$

النتائج والمناقشة

تأثير الغطاء النباتي في متوسطات التبخر-نتج

يبين شكل 3 وجدول 8 ان التبخر نتج المقدر من انموذج سيبال يزداد مع أشهر السنة ابتداءً من كانون الثاني الى تموز وقد كان اقل متوسط ET في شهر كانون الثاني اذ بلغ 0.14 مم يوم⁻¹ والمدى 0 - 1.32 مم يوم⁻¹ واعلى قيمة 0.94 مم يوم⁻¹ والمدى 0 - 7.56 مم يوم⁻¹. يبين جدول 8 الاستهلاك المائي الكلي لمنطقة الدراسة.

(شكل 4) يوضح ان العلاقة كانت خطية ضعيفة بين الـ NDVI والتبخرنتح, اذ تبين ان زيادة الاولى الى نهاية الشهر الثالث تقريباً ادى الى زيادة التبخرنتح ولكن انخفاضها لم يؤد الى انخفاض التبخرنتح (جدول 8) بل حصل العكس اذ ازداد التبخر نتح الى نهاية مدة الدراسة وهذا ربما سببه يعود الى الارتفاع الحاد بدرجات الحرارة في الموسم وزيادة سرعة الرياح وارتفاع التبخر اكثر من النتح وسيادة الارض الجرداء خاصته بعد انتهاء موسم نمو الحنطة في المنطقة وحصول اجهاد مائي للغطاء النباتي. كما ان توفر المياه واختلاف انتشار النباتات وانواعها وقابليتها على تحمل نقص المياه تلعب دوراً كبيراً في تحديد علاقة NDVI و ET فضلاً عن دور الظروف المناخية من درجة الحرارة وسرعة الرياح ومقدار ما يتوفر من طاقة لاستخدامها للتبخر وتسخين التربة والجو في تلك العلاقة. من المفترض ان هناك علاقة خطية بين كمية الغطاء النباتي ومعدلات ET, وجد Allen واخرون (2005) وجد ان بلل التربة قد يؤثر في معامل المحصول Kc وبالتالي في تقدير ET, وبذلك يغير العلاقة. كما تظهر النتائج ان معدلات ET لم تتبع اتجاه NDVI و LAI وذلك لاختلاف نوع الغطاء النباتي في منطقة الدراسة خلال اشهر الدراسة، مما سبب تفاوت في مراحل نمو كل نوع نباتي وبذلك اثر في عملية تبادل الغازات وبخار الماء و التمثيل الضوئي ونتاج المادة الجافة الذي يحدث في اوراق الظلة عادة. لذلك لم يخفض معدلات ET بانخفاض دليل المساحة الورقية. وقد حصل Montibeller (2017) ايضا على علاقة ضعيفة بين الـ NDVI و ET في دراسة لتقدير تدفقات الطاقة والتبخر نتح لمحصولي الذرة الصفراء وفول الصويا في ايمز - آيووا. فقد بلغت قيم $(R^2) = 0.0005 - 0.1285$ للذرة الصفراء و $0.0105 - 0.5193$ لفول الصويا باختلاف مراحل النمو للمحصولين. ان درجة حرارة سطح الارض تعد من اهم البيانات الخاصة لـ SEBAL وتقدير تدفقات

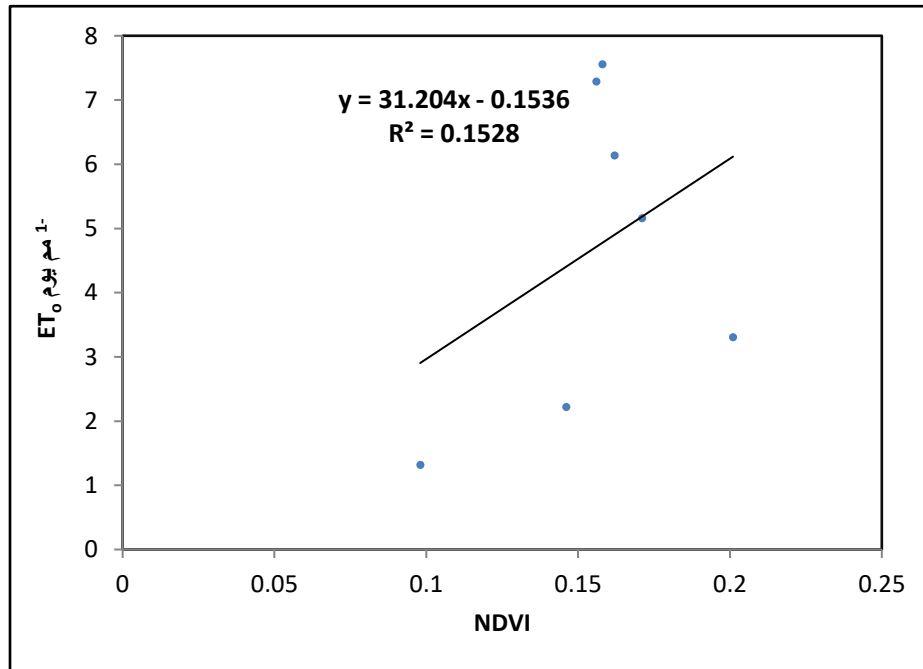
الغطاء النباتي تسبب في زيادة الطاقة المتوفرة وبالتالي زيادة التبخر-نتح بزيادة كثافة الغطاء النباتي (Kisekka واخرون، 2010) اما الانخفاض النسبي لمعدلات التبخر في الاشهر كانون الثاني وشباط فهذه الاشهر تمتاز بارتفاع الرطوبة النسبية فيصبح الجو مشبع ببخار الماء مما يقلل من التبخر نتح للنبات. ان الاشعاع الشمسي وكمية الطاقة التي تصل الى سطح الارض والتي تخزنها الاجسام والاهداف الارضية لها دور في عملية التبخرنتح. وهذا العامل تأتي اهميته في التغيرات الزمنية للأغطية السائدة في منطقة الدراسة حيث زاوية سقوط اشعة الشمس سواء يومياً او موسمياً تتأثر بها معدلات التبخرنتح وتصبح شبه عمودية في فصل الصيف وقريبة من سطح الارض. ان ذلك يؤدي الى ان المسافة التي يقطعها الاشعاع الشمسي للوصول الى سطح الارض تقل مما يزيد من تسخين الاسطح ويزداد معها معدلات التبخر. من هذا المنطلق فان علاقة او دور تقانات التحسس النائي من خلال حساب دليل الاختلاف الخضري الطبيعي NDVI تساعدنا في تقدير مساحة الارض الخضراء وكثافتها من خلال مبدأ التفاعل بين الاطوال الموجية عند الاشعة الحمراء (B4) للقمير Landsat8 والتي تحتفظ فيها الانعكاس بشكل ملحوظ كلما زادت كثافته وصحته. بالمقابل تزداد قيمة الانعكاس عند الاشعة تحت الحمراء القريبة وبذلك يتسع مقدار الفرق بين هذين النطاقين مما يشير الى كثافة نباتية عالية وبذلك يكون للنباتات دور في امتصاص وعكس الاشعة. فضلاً عن دور التركيب الداخلي والمظهري للنبات وقدرته على خزن الطاقة الضوئية في بناء الكلوروفيل وقدرة نفاذ الاشعة وحجب جزء منها خلال النبات. فان ارتفاع الكثافة النباتية وزيادة حجم مجموعها الخضري (vegetation canopy) لها دور في تقليل معدلات التبخر وهذا سبب انخفاض معدلات الحرارة وارتفاع الرطوبة النسبية Seevers و Ottmann (2009). وعلى الرغم من دور الغطاء النباتي الـ NDVI في التبخر نتح, الا ان

الايصالية المائية للتربة تؤثر في نقل الماء من التربة الى ظلة النبات، وبذلك يرتبط ارتباطاً مباشراً بمعدلات الـ ET. تبين اختلاف الالوان في شكل (5) من اللون الاحمر الى اللون الاخضر مدى الاختلاف في قيم التبخرنتج وهذا الاختلاف عائد الى اختلاف وتنوع طبيعة الغطاء النباتي لمنطقة الدراسة.

الطاقة السطحية، لذلك لا غنى عن دقتها لحساب صحيح لـ ET. Singh e وآخرون، (2005) ان العلاقة الضعيفة بين NDVI و ET تؤكد الحاجة الى المزيد من البحث حول استعمال دلائل الغطاء النباتي لغرض التقدير المباشر لـ ET في منطقة الدراسة. ولمزيد من البحث والدراسة حول استهلاك المياه، فان مكونات التربة يعتقد ان لها اهمية كبيرة في تفسير النتائج. اذ ان مكونات التربة المختلفة فضلاً عن

جدول 8. مديات ومتوسطات التبخر-نتج ومقدار التغير في NDVI لجميع اشهر الدراسة

الاشهر	التاريخ	متوسط NDVI	متوسط التبخر - نتج (مم يوم ⁻¹)	مدى التبخر نتج (مم يوم ⁻¹)	التبخر التراكمي (مم)	نتج
1	2020/1/3	0.098	0.14	1.32 - 0	1.32	
2	2020/2/4	0.146	0.36	2.22 - 0	72.36	
3	2020/3/23	0.201	0.41	3.31 - 0	227.93	
4	2020/4/24	0.171	0.60	5.16 - 0	382.73	
5	2020/5/10	0.162	0.78	6.14 - 0	579.21	
6	2020/6/11	0.156	0.82	7.29 - 0	703.14	
7	2020/7/13	0.158	0.94	7.56 - 0	914.82	

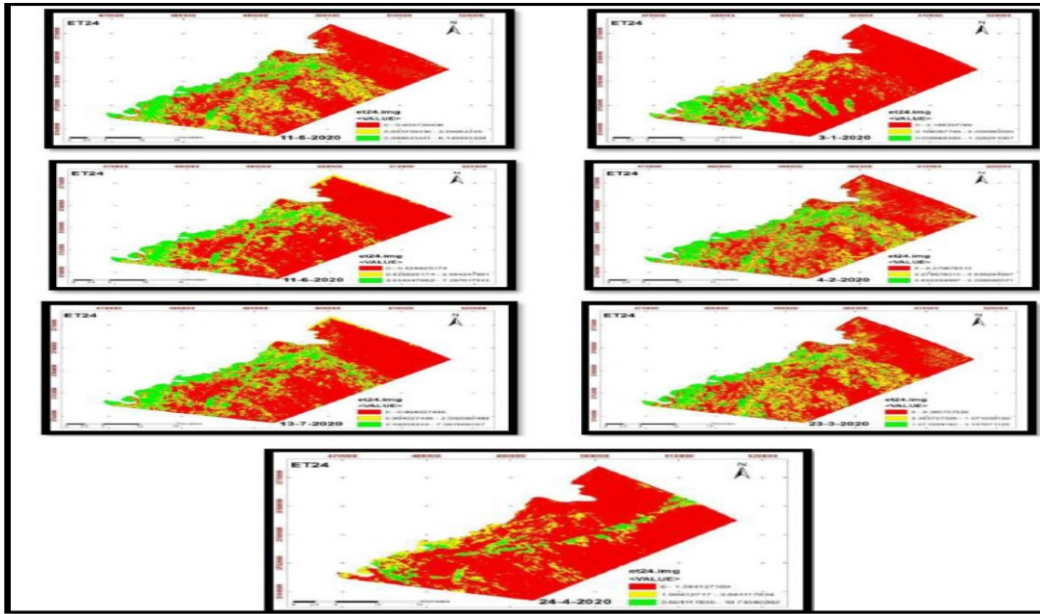


شكل 4. العلاقة بين ET و NDVI

جدول 9. يبين الاستهلاك المائي الكلي لمنطقة الدراسة

الشهر	تاريخ المرئية	متوسط NDVI	اقص تبخر - نتح (مم يوم ⁻¹)	عدد الايام في الشهر	المساحة (كم ²)	التبخر نتح مليون م ³	اقصى تبخر نتح التراكمي $\sum ET$ مليون م ³
1	2020/1/3	0.098	1.32	3	477.606	630439.92	630440
2	2020/2/4	0.146	2.22	32	477.606	33929130.24	34559570
3	2020/3/23	0.201	3.31	47	477.606	74301165.42	108860736
4	2020/4/24	0.171	5.16	30	477.606	73933408.8	182794144
5	2020/5/10	0.162	6.14	32	477.606	93840026.88	276634171
6	2020/6/11	0.156	7.29	17	477.606	59189711.58	335823883
7	2020/7/13	0.158	7.56	28	477.606	101099638.1	436923521

عدد الايام في جدول 9 تشير الى تاريخ اخذ المرئية والفرق بين مرئية واخرى تمثيل بقية الايام

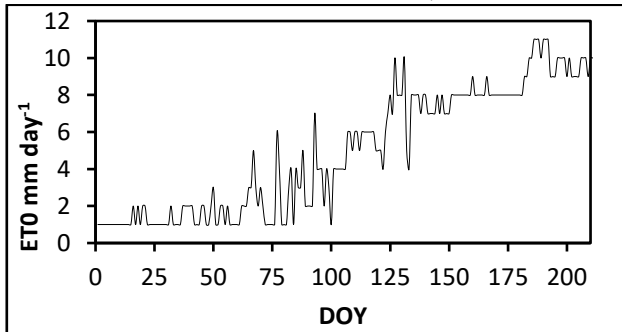


شكل 5. خرائط التبخر-نتح لجميع اشهر الدراسة

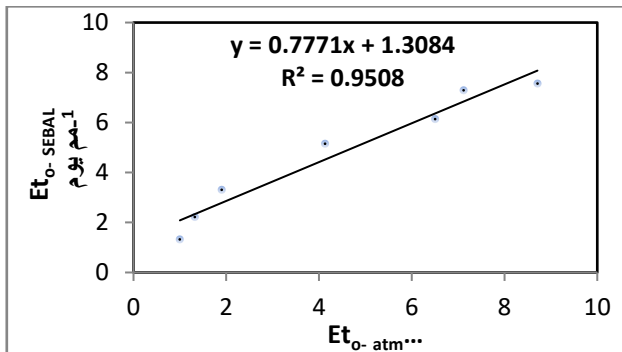
(شكل 6). وقد سجلت اعلى قيمة ET في شهر تموز (189 يوم من السنة) واقل قيمة كانت في شهر كانون الثاني (3 يوم من السنة). يبين شكل 8 علاقة خطية قوية بين التبخر-نتح المقدر من إنموذج سيبال والمقاسة بالاتموميتر, اذ بلغت قيمة معامل التحديد (R^2) 0.9508 وهذا يؤكد وجود تطابقاً عالياً في قيم التبخر-نتح بين الطريقتين (شكل 7). يبين شكل 8 العلاقة الخطية بين ET المقاسة بوساطة الاتموميتر

يبين شكل 6 قيم التبخرنتح ET_0 المقاسة موقعياً باستخدام جهاز قياس التبخرنتح (Atmometer) اذ يظهر الشكل اختلافاً في قياسات الاتموميتر بين أشهر الدراسة اذ زاد التبخرنتح مع أشهر الدراسة، ويعود ذلك الاختلاف بسبب زيادة درجات الحرارة التي تعتبر العامل الرئيسي في اختلاف قيم التبخرنتح وبالإضافة الى سرعة الرياح والرطوبة النسبية. وقد اختلفت قيم ET اتموميتر من 1.0 الى 11.0 مم يوم⁻¹

الحالي، من حيث المساحة المزروعة والبالغة حوالي 478 كم² ونوع الغطاء النباتي مثل الحنطة والشعير وبساتين النخيل والحمضيات والرمان وكذلك الارض الجرداء التي تحتوي على غطاء نباتي مثل الحشائش فضلاً عن المسطح المائي. وفي حالة حساب الموازنة المائية على اساس متوسط التبخرنتج فان كمية الماء المستهلكة من قبل الغطاء النباتي تبلغ حوالي 13.0 مليون متر مكعب وهذه كمية قليلة لا يمكن الأخذ بها. ولعدم توفر بيانات عن الكمية الكلية المجهزة لمنطقة الدراسة من قبل وزارة الموارد المائية، فانه يمكن اعتبار ان الاستهلاك المائي البالغ 437 مليون متر مكعب هي أقل كمية مطلوبة من الماء مستقبلاً واللازمة لإنتاج محاصيل حقلية وبستانية للمنطقة قيد الدراسة أثناء المدة البالغة 189 يوماً، وللمساحة كلها والبالغة 478 كم² لمنع حصول اجهاد مائي مضافاً اليها الضائعات المائية اعتماداً على طريقة الري المتبعة في المنطقة وكفائتها فضلاً عن الاسباب الاخرى التي تسبب ضائعات مائية كثيرة.



شكل 6. التبخر نتج اليومي المقاس بجهاز قياس التبخر (الاتوميتير) لموسم 2020 لموقع الدراسة



شكل 7. العلاقة بين الاتوميتير وسيبال

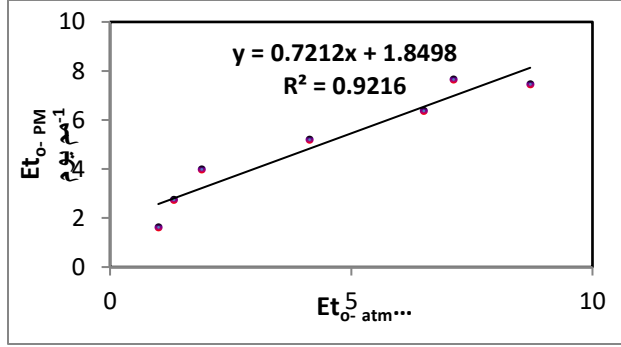
و ET المحسوب من معادلة بنمان مونتيث، اذ بلغ قيمة R^2 0.9216. كما يبين (الشكل 9) العلاقة الخطية ET المقدر من سيبال والمحسوب من معادلة بنمان مونتيث وكانت العلاقة عالية المعنوية اذ بلغت قيم R^2 0.9913. مما سبق يتبين ان قوة العلاقة كانت اكبر بين ET وسيبال و ET-Pm مع ET-SEBAL ثم بين ET-atm و ET-Pm. وجدت نتائج متشابهة ($R^2=0.85$) عند قياس ET بالاتوميتير من قبل باحثين آخرين (Trooien و Alam و Gleason واخرون، 2013) و (Reyes-Gonzales واخرون، 2017) كما اثبتت نتائج Allen واخرون (2007) و Ayenew (2003) بان انموذج سيبال اعطى تقديراً جيداً للتبخرنتج اليومي لأراضٍ مختلفة الاستعمال. تعطي خوارزمية توازن الطاقة السطحية للأرض (انموذج سيبال) نتيجة مرضية في ابدان مختلفة بسبب معايرتها الداخلية لمرئيات الاقمار الصناعية المختلفة. وفقاً Bastiaanssen واخرون (2005) تم التحقق من استخدام انموذج سيبال في مدى واسع من بلل (رطوبة) تربة وظروف مجتمع نباتي وقد كانت الدقة النموذجية على مستوى الحقل 85% على اساس يومي ازدادت الى 95% على اساس موسمي. وقد وجد ان دقة التبخرنتج السنوي لمستجمعات المياه (الجابيات) الكبيرة بلغت 96% في المتوسط. بينت نتائج Almahab (2009) حصول توافق جيد بين ET المقاس يومياً وشهرياً باستعمال سيبال المحور مع تلك المقاسة بطرائق مختلفة. فقد بلغت قيم R^2 بين 0.992 - 0.999. كما بينت نتائج Abiy (2015) هناك علاقة قوية بين بيانات سيبال وبنمان مونتيث. مما سبق يتبين ان النتائج تدعم الاستنتاج القائل ان انموذج سيبال يمكن ان يقدر ET بدقة تحت ظروف زراعية مختلفة. بين جدول 8 اقصى تبخر-نتج لمنطقة الدراسة للمدة من 2020/1/3 - 2020/7/13 المحسوب من انموذج سيبال بلغ حوالي 437 مليون متر مكعب، وهذا الرقم يمثل اقصى كمية ماء تحتاجها منطقة الدراسة بوضعها

الاستنتاجات

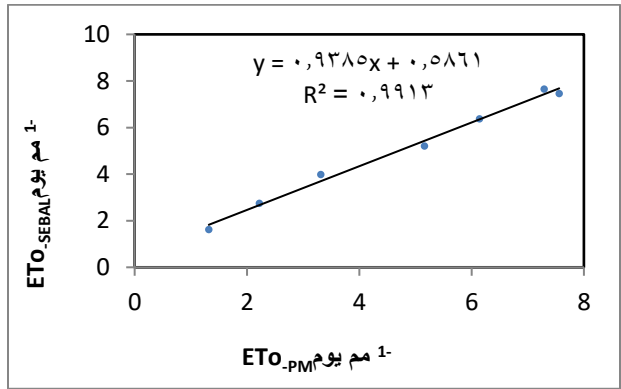
بلغت قيم التبخرنتح ET_0 من الاتومومتر من -8.71 (1.0 - 1.32 - 1.90 - 4.13 - 6.5 - 7.12) مم يوم⁻¹, بلغت قيم التبخرنتح ET_0 اليومية التي حسبت من معادلة بنمان مونتيث باستخدام بيانات الارصاد الجوية لمنطقة الدراسة (3.98 - 5.20 - 6.4 - 7.66 - 7.5) مم يوم⁻¹ بمختلف الاستعمالات الزراعية، بلغت قيم التبخرنتح ET_0 المقدر باستخدام انموذج سيبال من (3.31 - 5.17 - 6.14 - 7.3 - 7.56) مم يوم⁻¹ والتي غطت اراضاً زراعية وجرداء وحضرية ومسطحات مائية. وقد بلغت اقصى قيم التبخرنتح لمنطقة الدراسة (437) مليون متر مكعب. اوضحت النتائج علاقة انحدار خطية جيدة بين قيم ET_0 المقدر من سيبال مع كل من قيم ET_0 المسجلة من الاتومومتر ومن معادلة بنمان مونتيث اذ بلغت قيم الانحدار 0.9508 و 0.9913 على التتابع.

References

- Abiy, Y.B. 2015. Remote sensing and GIS based determination of evapotranspiration of lake Tana basin, north Ethiopia M. Sc. Thesis. School of Graduate studies, Addis Ababa Univ.
- Alam, M., and Trooien, T. 2001. Estimating reference evapotranspiration with an atmometer. Appl. Eng. Agric., 17(2), 153-158.
- AlEsawi, K. K. J. 2020. Analysis of the Climatic Droughts on Vegetation in AL-Anbar Governorate (AL-Jazirah Region) Using GIS. Iraqi. J. Des. Stud. Volume 10, Issue 1, Pages 13-37.
- Alexandridis, T.K., A. Panagopoulos, G. Galanis, I. Alexiou, I. Cherif, and Y. Chemin. 2014. Combining remotely sensed surface energy fluxes and GIS analysis of groundwater parameters for irrigation system assessment. Irrig. Sci, 32, 127-140.



شكل 8. العلاقة بين الاتومومتر وبنمان



شكل 9. العلاقة بين بنمان مونتيث و سيبال

- Almhab, A. A. A. 2009. Estimation Of Regional Evapotranspiration Using Remote Sensing Data in Arid Areas. Ph.D. thesis. Faculty of Geoinformation Science and Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Allen, R. , M. Tasumi, R. Trezza, R. Waters and W. Bastiaanssen. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land), Advance Training and User's Manual–Idaho Implementation, Version, vol. 1, pp. 97.
- Allen, R., A. Irmak, R. Trezza, J. M. Hendrickx, W. Bastiaanssen and J. Kjaersgaard 2011. "Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC." Hydrol. Proc. 25(26): 4011-4027.

- Alves, L. E. R., I. G. F. de Freitas, H. B. Gomes, F. D. dos S. Silva, and M. N. dos Santos. 2017. Using Landsat-8 images in the estimative of surface radiation balance. *J. Hyper. Remote Sens.* 7(2): 91-100.
- Aynew, T. 2003. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highland. *J. Hydrol.* 279: 88-93.
- Bastiaanssen, W., Noordman, E., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B., and Allen, R. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131(1), 85-93.
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R., and Holtslag, A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydro.* 212, 198-212.
- Bastiaanssen, W. 2000. "SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey." *J. Hydro.* 229(1): 87-100.
- Campbell, J. B. and R. H. Wynne 2011. *Introduction to Remote Sensing*, Guilford Press.
- Chander, G., and Markham, B. 2003. "Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post calibration Dynamic Ranges." *Geosci. Remote Sens., IEEE Trans.* 41: 2674-7.
- Farina, F. 2012. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. Department of Earth and Ecosystem Sciences, Division of Physical Geography and Ecosystem Analysis, Centre for Geographical Information Systems, Lund University Sölvegatan 12. LUMA-GIS Thesis nr 15.
- Gleason, D., Andales, A., Bauder, T., and Chávez, J. 2013. Performance of atmometers in estimating reference evapotranspiration in a semi-arid environment. *Agric. Water Manag.*, 130, 27-35.
- George, B. A., Reddy, B., Raghuvanshi, N., and Wallender, W. 2002. Decision support system for estimating reference evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 128(1), 1-10.
- Hankerson, B., I. Kjaersgaard, and Ch. Hay. 2012. Estimation of evapotranspiration from fields with and without cover crops using remote sensing and situ methods. *Remote Sens.* 4:3796 – 3812.
- Hamed, M. M. 2019. Using Remote Sensing Data and SEBAL Algorithm to Study Temporal Variations of Soil Temperature and Moisture in Musayib Project. A Thesis Submitted to the Council of the College of Agricultural Engineering Sciences at University of Baghdad in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master in Agricultural Engineering Sciences, Soil Science and Water Resources.
- Hong, S.-H., Hendrickx, J. M. H., and Borchers, B. 2009. "Up-scaling of SEBAL Derived Evapotranspiration Maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) Scale." *J. of Hydrol.* 370: 122-38.
- Jensen, M. E., and Allen, R. G. 2016. *Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements*.
- Kerr, Y. H., A. Chehbouni, D. L. Seen, E. G. Njoku, J. P. Lhomme, and B. Monteny. 1997. Estimation of sensible heat flux over sparsely vegetated surfaces. *Hydrol.* 188-189.
- Kisekka, I., K. W. Migliaccio, M. D. Dukes, B. Schaffer, J. C. Crane, and K. Morgan. 2010. Evapotranspiration-based irrigation for agriculture: sources of evapotranspiration data for irrigation scheduling in Florida. University of Florida. Gainesville. AE455. P. 4.
- Kosa, P. 2011. *The Effect of Temperature on Actual Evapotranspiration Based on Landsat-5 TM Satellite Imagery*. INTECH Open Access Publisher
- Li, Z.-L., R. Tang, Z. Wan, Y. Bi, C. Zhou, B. Tang, G. Yan and X. Zhang 2009. "A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data." *Sens.* 9(5): 3801-3853
- Liou, Y., Y. Chuang and T. Lee 2002. Estimate of evapotranspiration over rice fields using high resolution DMSV imagery data. Proceedings of the Cross- Strait Symposium on the Remote Sensing and Agricultural Biotechnology, Chung-li, Taiwan.

- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., and Chipman, J. W. 2004. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons Ltd.
- Long, D. and V. P. Singh 2012. "A modified surface energy balance algorithm for land (M-SEBAL) based on a trapezoidal framework." *Water Resour. Res.* 48(2).
- Liou Y. Liou and S. K. Kar. 2014. Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms—A Review. *Energies*, 7, 2821-2849; doi:10.3390/en7052821.
- Magliulo, V., d'Andria, R., and Rana, G. 2003. Use of the modified atmometer to estimate reference evapotranspiration in Mediterranean environments. *Agric. Water Manag.*, 63(1), 1-14.
- McNally, A. 2016. FLDAS Noah Land Surface Model L4 daily 0.1_0.1 Degree for Southern Africa (GDAS and RFE2) V001; NASA/GSFC/HSL: Greenbelt, MD, USA, Available online: https://disc.gsfc.nasa.gov/datacollection/FLDAS_NOAH01_A_SA_D_001.html (accessed on 25 January 2017).
- Morton. C. G. 2011. Development and Application of an Automated Calibration Algorithm for Estimating Evapotranspiration from Agriculture Using a Remotely Sensed Surface Energy Balance Model. A for the degree of Master of Science in Geography. University of Nevada, Reno.
- Montibeller. A.G. 2017. Estimating energy fluxes and evapotranspiration of corn and soybean with an unmanned aircraft in Ames, Iowa. University of Northern Iowa. Dissertations and Theses @ UNI. 416.
- Muthuwatta, L. P., M. Bos and T. Rientjes 2010. "Assessment of water availability and consumption in the Karkheh River Basin, Iran—using remote sensing and geo-statistics." *Water Resour. Manag.* 24(3): 459-484.
- NASA. 2002. Landsat 7 Handbook, National Aeronautics and Space Administration. <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/LAS/handbook>.
- Nouri, H. , M. Faramarzi, B. Sobhani and S. H. Sadeghi, . 2017. Estimation of Evapotranspiration based on surface energy balance algorithm for land (SEBAL) using Landsat 8 and MODIS images. *App. Ecol. Environ. Res.* 15(4):1971-1982.
- Pelgrum, H., G. Davids, B. Thoreson, R. Allen, W. Bastiaanssen and E. Noordman 2005. "SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions." *J. Irrig. Drain. Eng.* 131(1): 85-93.
- Reyes-Gonzalez, Arturo, 2017. "Using Remote Sensing to Estimate Crop Water Use to Improve Irrigation Water Management" Theses and Dissertations. 1708.
- Roerink, G., Z. Su and M. Menenti 2000. "S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance." *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrol., Oceans Atmos.* 25(2): 147-157.
- Salifu. S., W. A. Agyare, N. Kyei-Baffour, E. Mensah and E. Ofori. 2011. Estimating Actual Evapotranspiration using the SEBAL Model for the Atankwidi and Afram Catchments in Ghana. *Inter. J. Appl. Agric. Res.* ISSN 0973-2683, 6 (2); 177-193.
- Samani. Z. ; A. S. Bawazir ; M. Bleiweiss ; R. Skaggs ; and V. D. Tran . 2007. Estimating Daily Net Radiation over Vegetation Canopy through Remote Sensing and Climatic Data. *J. Irrig. Drain. Eng.*, ASCE / 297.
- Seevers P. M. and R. W. Ottmann. 2009. Evapotranspiration estimation using a normalized difference vegetation index transformation of satellite data. *Hydrol. Sci. J.* ISSN: 0262-6667, 39:4, 333-345.
- Smith, M. 2000. "The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production." *Agric. Forest Meteo.* 103(1): 99-108.
- Singh. D., Herlin, I., Berroir, J. P., and Bouzidi, S. 2005. An approach to estimate the evapotranspiration using NOAA/AVHRR DATA. *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 33(2), 211-217.
- Subedi. A., J. L. Chávez, and A. A. Andales,. 2013. Preliminary performance evaluation of the Penman-Monteith evapotranspiration equation in southeastern Colorado, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, 84-90.

- Trezza R. 2002. Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering. Utah state University. Logan, Utah.
- Wang. J., T. W. Sammis, V. P. Gutschick, M. Gebremichael, and D. R. Miller. 2007. Sensitivity analysis of the surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 9 Am. Soc. Agric. Bio. Eng. ISSN 0001-2351.
- Weng, Q., Lu, D., and Schubring, J. 2004. "Estimation of Land Surface Temperature–Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies." *Remote Sens. Environ.* 89: 467-83.
- Woodward, J., M. Siegert, A. Smith and N. Ross 2011. Lake Ellsworth. *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*, Springer: 683-686.