

استخدام نموذج SEBAL لتقدير الاشعاع الشمسي الصافي وحرارة سطح الأرض في حوض نهر

ديالي

إبراهيم احمد هدرس اياد عبدالله خلف رمزي محمد شهاب
جامعة تكريت – كلية الزراعة- قسم علوم التربة والموارد المائيةAiad2017@tu.edu.iq

• تاريخ استلام البحث 2022/2/1 وقبوله 2022/3/2

• البحث مستل من رسالة دكتوراه للباحث الاول .

المخلص

هدفت الدراسة الى تقدير الاشعاع الشمسي الصافي وحرارة سطح الأرض باستخدام نموذج SEBAL من خلال تحليل وتفسير مرئيات القمر الاصطناعي Landsat - 8. تم اختيار سبع مرئيات فضائية وللفترة (3كانون الثاني و 4 شباط و 23 شباط و 24 نيسان و 10 أيار و 11 حزيران و 13 تموز للعام 2020. اجريت المعالجة الرقمية وتطبيق الخوارزميات الرياضية لحساب دليل الغطاء النباتي الطبيعي و دليل الغطاء النباتي المعدل للتربة و دليل المساحة الورقية وتهيئة المرئيات لحساب صافي الاشعاع RN وحرارة سطح الأرض LST باستخدام برنامج ERDAS و ArcGIS. توصلت النتائج الى وجود تباين مكاني وزماني في قيم RN (373,2 -80,1 و 460,1 -59,1 و 640,4 -179,6 و 759,3 -0 و 738,1 -87,1 و 738,4 -5,2) واطام² على التتابع وبلغت نتائج LST (38,5 -8,5 و 25,7 -11,5 و 36,8 -17,0 و 43,2 -22,1 و 56,6 -23,5 و 67,5 -30,8 و 66,1 -31,3) م° على التتابع. الكلمات المفتاحية: انموذج SEBAL، حوض نهر ديالي، الاشعاع الشمسي الصافي، دليل حرارة سطح الأرض، دليل .NDVI

USING OF SEBAL MODEL FOR ESTIMATING NET SOLAR RADIATION AND LAND SURFACE TEMPRETURE IN THE DAYLA RIVER BASIN

IBRAHIME A. HEDRES AYAD A. KHALAF RAMZI M. SHIHAB
TIKRIT UNIVERSITY, COLLEGE OF AGRICULTURE, SOIL AND WATER RESOURCES DEPT.

Email : Aiad2017@tu.edu.iq

- Date of research received 1/2/2022 and accepted 2/3/2022.
- Part of PhD. Dissertation for the first author.

Abstract

The study aimed to estimate the net solar radiation(RN) and the Land Surface Temperature(LST) in Dayla River Basin using the SEBAL model and remote sensing using the Landsat - 8 satellite image. Seven satellite images were selected for the period (1, jan 2020; 4 Fer. 2020; 23 Mar. 2020; 24 Apr. 2020; 10 May 2020; 11 Jun 2020 and 13 Jul.2020). Digital processing and mathematical algorithms were conducted to perform Incoming Shortwave Radiation and Outgoing Longwave Radiation, NDVI, SAVI and LAI...ect. The net radiation (RN) and surface temperature (LST) were calculated using ERDAS and ArcGIS software. The results reached Rn (373.2-80.1, 460.1-59.1, 640.4-179.6, 759.3-0, 752.4-72.9, 738.1-87.1 and 738.4-5.2) wath/m² respectively, and the results of LST were (38.5-8.5, 25.7-11.5, and 36.8-17.0) and 43.2 – 22.1, 56.6 – 23.5, 67.5 – 30.8, and 66.1 – 31.3) Co respectively.

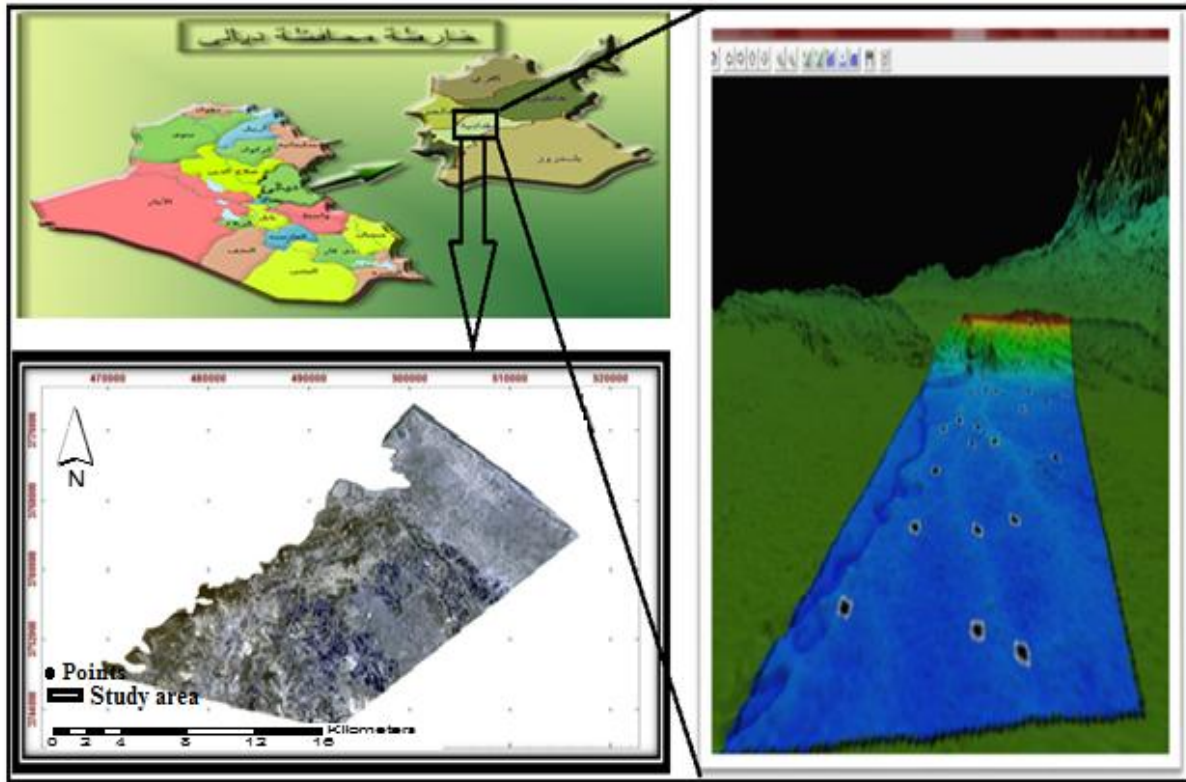
Keyword: SEBAL model, Diala River, RN, TS, NDVI.

المقدمة

يعرف التحسس النائي بأنه الحصول على المعلومات حول هدف ما بدون ان يكون على اتصال فعلي بهذا الهدف، وحالياً يشير مصطلح التحسس النائي الى استخدام تقنيات التحسس القائمة على الاقمار الصناعية او الطائرات لاكتشاف وتصنيف الاهداف على الارض، بما في ذلك الارض وفي الغلاف الجوي والمحيطات (Campbell and Wunne, 2011). يعد التحسس النائي اداة فعالة وقوية تساعدنا بشكل كبير في ادارة الموارد الطبيعية ومنها الموارد المائية وتحسين الاستهلاك المائي لما توفره من امكانية الشمولية والتغطية الواسعة والتعددية الطيفية، وباتت تقنية مناسبة لتقدير حجم الاستهلاك المائي وازافته في المشاريع الزراعية التي تغطي رقعة جغرافية واسعة ويصعب تغطيتها بالوسائل التقليدية. ينبغي ان يكون التحسس النائي بتغطيته الكبيرة للهدف والتكرار العالي للبيانات قادر على توفير بيانات ومعلومات لتحديد (ET) اقليمياً ويوفر التحسس النائي المجهز بمجس او مستشعر (Sensor) مناسب معلومات مناسبة لتقدير التبخر نتج (Almhab, 2009). تأتي اهمية حساب معايير معادلة توازن الطاقة من خلال استخدام الاقمار الصناعية لحساب ET، وهذا يتم من خلال تفاعل الطاقة الساقطة مع الاهداف الارضية وخاصةً فيما يتعلق بالتربة والنبات ان هذه التقنيات تتميز بالتعددية الطيفية التي تساعدنا من خلال معالجتها رقمياً في حساب الادلة الطيفية والنسب الطيفية المختلفة، ومنها دليل الاختلاف الخضري الطبيعي NDVI Normalized Difference Vegetation Index) ودليل المساحة الورقية Leaf Area Index (LAI) و دليل الغطاء النباتي للتربة Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) اذ لهذه الادلة الطيفية علاقة وثيقة في تحديد حالة وصحة الغطاء النباتي والتربة من خلال النطاق الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة NIR (1,5 - 0,7) مايكرو ميتر والنطاق الطيفي للأشعة الحمراء R ذات النطاق الطيفي (0,7 - 0,6) مايكروميتر. فعملية الوصول الى الغطاء النباتي السليم يتطلب ادارة مثلى منها ما يتعلق بالأساليب الادارية المناسبة لادارة المياه وطريقة الري المناسبة وكميته، فضلاً عن نوعية المياه وتركيبها الكيميائي ومنها ما يتعلق بخصوبة التربة، وامداد النبات بالعناصر الغذائية من اجل الوصول الى غطاء نباتي يقوم بعمليات التبخر نتج بالشكل الصحيح وبدوره يحمي سطح التربة للحفاظ على محتواها الرطوبي والخزين الحراري. هناك العديد من الدراسات على مستوى العالم في الآونة الاخيرة اهتمت بدور تقانات التحسس النائي في تقدير الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية، وتوصلت هذه الدراسات الى نتائج بالغة الاهمية لما تمتاز به هذه التقنيات من دورية المعلومات المكانية والزمانية فضلاً عن التوصل لتطبيق العديد من العمليات الحسابية والخوارزميات الرياضية والمستنبطة من المراتب الفضائية اذ تمتلك مدى طيفي واسع وخاصةً في مجال الأشعة تحت الحمراء والحرارية التي لها دور مهم وكبير لرصد ومراقبة حرارة السطح والمحتوى الرطوبي.. وغيرها. وبالتالي فان الدراسات المنجزة لتقدير التبخر نتج وترشيد الاستهلاك المائي والتي اصبحت من الامور الملحة في الوقت الراهن تعد قليلة على مستوى العراق. تم تطوير خوارزمية توازن الطاقة السطحية للأرض (SEBAL) Surface Energy Algorithms for Land، وهي نموذج لمعالجة الصور لحساب التبخر نتج (ET) كبقايا لتوازن الطاقة السطحية في هولندا من قبل Bastiaanssen et al., (1998) ضمن أكثر الأساليب الواعدة المتاحة حالياً لتقدير التبخر النتج. صمم SEBAL لحساب مدخلات معادلة توازن الطاقة على المستويين المحلي والإقليمي مع الحد الأدنى من البيانات الأرضية. هذا النموذج هو نهج وسيط يستخدم كل من العلاقات التجريبية والمعلمات المادية. يتطلب بيانات فضائية للأقمار الصناعية التي تم جمعها بواسطة أي مستشعر قمر صناعي يقيس الأشعة تحت الحمراء والقريبة والأشعة الحمراء المرئية والحرارية و T_s و NDVI والالبيدو (Hong, 2009). تم تطبيق SEBAL في العديد من الأماكن حول العالم بما في ذلك إسبانيا وإيطاليا وتركيا وباكستان والهند وسريلانكا ومصر والنيجر والصين (Pelgrum et al., 2005 و Alexandridis et al., 2014 و McNally, 2016). يتم تقدير ET_a من صور الأقمار الصناعية وبيانات الطقس في نموذج SEBAL باستخدام توازن الطاقة السطحية. بحسب تدفق ET_a لكل بكسل من الصورة على أنه "متبقي" من معادلة موازنة الطاقة السطحية. يمكن اعتبار صافي الإشعاع وفقاً لميزان الإشعاع بمثابة توازن بين الموجة القصيرة الواردة (الداخل) وإشعاع الموجة الطويلة الصادرة (الخارجة) في ظل حالة الغلاف الجوي المستقرة. ويتم حسابها عن طريق طرح جميع التدفقات المشعة الصادرة من جميع التدفقات المشعة الواردة (Morton, 2011 و Allen et al., 2011). تستعمل دلائل نباتية عديدة كدليل توزيع اختلاف الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) والدليل النباتي المعدل للتربة (SAVI) ودليل المساحة الورقية (LAI)، اذ تدخل هذه الدلائل في حساب بعض مكونات موازنة الطاقة السطحية وحساب درجة الحرارة السطحية، ويمكن ان يستعمل اي واحد من هذه الادلة لتقدير العديد من صفات النبات. يعد الالبيدو واحداً من اهم المعايير التي تؤثر في حساب الإشعاع الصافي، نظراً لاختلاف قيم الالبيدو حسب الانعكاسية الناتجة عند كل نطاق طيفي سواء بالأطوال الموجية المرئية او الأشعة تحت الحمراء والحرارية. فان نوع الغطاء النباتي وكثافته وعمره ومراحل نموه ومظهره الخارجي سواء نسيج ناعم او خشن ذا اهمية بالغة في التعبير عن نتاج الالبيدو، اذ تعد النباتات الخضراء ذات انعكاس عالٍ عند النطاق الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة مقارنة بالأشعة الحمراء المرئية. بالنظر للمعادلات المعقدة التي تدخل في حساب الانموذج والذي يهدف في النهاية الى تحديد الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية وتقدير التبخر نتج من خلال بناء سلسلة من الخوارزميات وإنتاج عدد كبير من الخرائط فقد اقتصر البحث على تحديد جانب مهم من المعالجات الرقمية وتقدير ومعرفة التغاير في الإشعاع الشمسي الصافي ودليل حرارة سطح الأرض وهي من المعايير المهمة التي تدخل في تقدير التبخر والنتج وذات إشارة مهمه في معرفة التغاير الزمني في حالة وصحة الاغطية النباتية ومن هذا المنطلق فان الدراسة هدفت الى تقدير الإشعاع الشمسي الصافي وحرارة سطح الأرض باستخدام تقانات التحسس النائي في حوض نهر ديالى تحت استعمالات الأراضي المختلفة.

مواد وطرائق العمل: الموقع والمساحة

تقع منطقة الدراسة في محافظة ديالى/ قضاء المقدادية على نهر ديالى ضمن خطي طول (45°0'7.268" و 44° 46' 0.063" شرقاً ودائرتي عرض (34°8' 47.475" و 33°56'36.621") شمالاً. بلغت مساحة منطقة الدراسة 73637,200 هكتاراً وبلغت الاراضي المزروعة بأنواع مختلفة من الاغطية النباتية 47760,6 هكتاراً. يقع قضاء المقدادية على ارتفاع 40 م عن سطح البحر على سهل خصب جداً مستغل بزراعة بساتين البرتقال والنخيل والفواكه والحنطة والشعير فضلاً عن الاغطية النباتية الطبيعية والمتروكة للرعي. تحدها سلسلة جبال حميرين شمال شرق القضاء وتبعد عنها بمسافة 10 كم وعلى بعد 32 كم من سد حميرين وعلى بعد 5 كم من سدة الصدور. اما طبوغرافياً فان سطح قضاء المقدادية بشكل عام هما جزء من السهل الرسوبي، وهي منطقة سهلية منبسطة تتحدر انحداراً بسيطاً من الوسط نحو الغرب والجنوب الغربي وتدرجياً باتجاه الشرق والجنوب الشرقي، حيث ان 85% من اراضيها مستوية الى قليلة التمام ولكن على الرغم من ذلك هنالك بعض الجبال التي تعلو المنطقة (شكل 1). اما ترب منطقة الدراسة فتصنف ضمن رتيبيتي Entisol وتحت المجموعة العظمى Torrifluvents للترب المحاذية لنهر ديالى في حين المناطق التي تحيط بسلسلة جبال حميرين فتقع ضمن رتبة Aridisol وتحت المجموعة العظمى Calciorthis. اما وفق خارطة الفاو 1990، FAO فتشمل مجموعتين من الترب Vc-Chromic Vertisol و Yk-Calcic Yermosols والتي تكون ذات نسجة مزيجة طينية الى طينية ومحتواها من المادة العضوية اعلى من 1% (جدول 1). تقع منطقة الدراسة في نطاق المناخ الجاف وشبه الجاف والتي تتراوح في معدلات الامطار الساقطة بين 200-300 مم سنوياً ومعدلات درجات الحرارة السنوية بين 20-25 م.



شكل 1. خارطة منطقة الدراسة ونموذج الارتفاع الرقمي DEM في قضاء المقدادية/محافظة ديالى.

جدول 1: تصنيف ترب منطقة الدراسة حسب تصنيف الـ FAO

| Properties | Vc-Chromic | | Yk-Calcic | | |
|-----------------------|-----------------------|---------|-----------|---------|---------|
| | Vc49-3a | | Yk34-b | | |
| | UNITE | topsoil | subsoil | Topsoil | subsoil |
| Sand Fraction | % | 16 | 15 | 39 | 30 |
| Silt Fraction | | 29 | 28 | 37 | 42 |
| Clay Fraction | | 55 | 57 | 24 | 28 |
| USDA Texture | | clay | clay | Loam | clay |
| Reference Bulk | kg.dm ⁻³ | 1.21 | 1.21 | 1.38 | 1.34 |
| Bulk Density | | 1.65 | 1.76 | 1.46 | 1.3 |
| Gravel Content | % | 4 | 5 | 20 | 41 |
| Organic Carbon | | 0.75 | 0.45 | 0.37 | 0.29 |
| pH (H ₂ O) | | 7.9 | 8.1 | 8.1 | 8.1 |
| CEC (clay) | Cmol.kg ⁻¹ | 75 | 73 | 45 | 35 |
| CEC (soil) | | 44 | 43 | 15 | 11 |
| Calcium | % | 2.5 | 3.9 | 26 | 35 |
| Gypsum | | 0 | 0 | 0.1 | 0.7 |
| Sodicity (ESP) | | 1 | 3 | 8 | 8 |
| Salinity (ECe) | (dS.m ⁻¹) | 0.2 | 0.3 | 2.4 | 2.6 |

تطبيقات التحسس النائي في حساب انموذج SEBAL

المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة

استخدمت Landsat 8 TIRS (مستشعر الأشعة تحت الحمراء الحرارية) للنطاقات 10 و 11 ومرئيات الأشعة تحت الحمراء القريبة IR للنطاق 5 والأشعة الحمراء Red للنطاق 4. تم تنزيلها من موقع <https://earthexplorer.usgs.gov> وابتداءً من تاريخ 3 كانون الثاني 2020 وانتهاءً بتاريخ 13 تموز 2020 (جدول 2).

جدول 2: تواريخ المرئيات الفضائية في منطقة الدراسة.

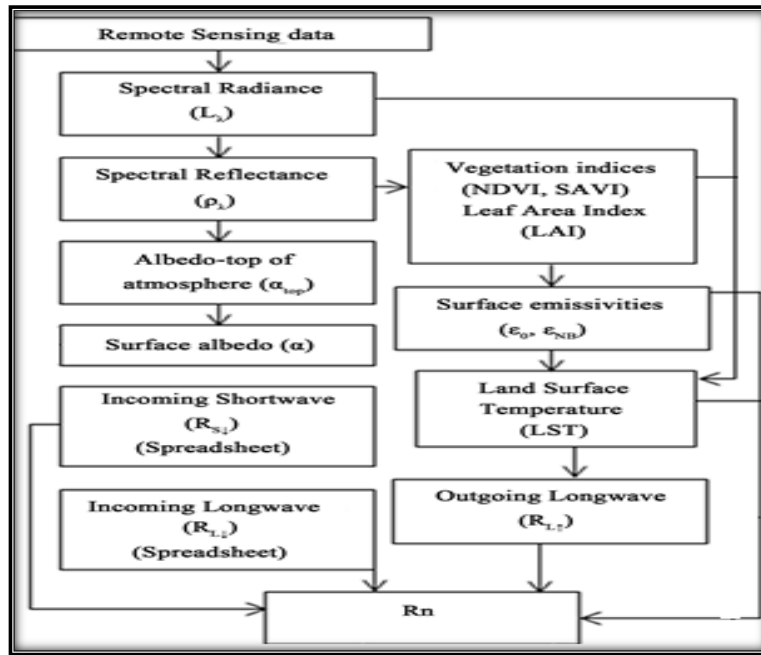
| التاريخ | الاشهر |
|-----------|--------------|
| 2020/1/3 | كانون الثاني |
| 2020/2/4 | شباط |
| 2020/3/23 | آذار |
| 2020/4/24 | نيسان |
| 2020/5/10 | ايار |
| 2020/6/11 | حزيران |
| 2020/7/13 | تموز |

تدفق إشعاع السطح الصافي (Rn) The Net Surface Radiation Flux (واط م⁻²)

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 15 ERDAS Ver. لحساب الشروط في المعادلة 3. ويبين شكل (2) مخطط انسيابي لألية الحساب.

$$Rn = (1-\alpha) RS_{\downarrow} + RL_{\downarrow} - RL_{\uparrow} - (1-\epsilon_0) RL_{\downarrow} \dots \dots \dots (1)$$

RS_{\downarrow} = اشعاع الموجات القصيرة القادم (واط م⁻²). RL_{\downarrow} = اشعاع الموجات الطويلة القادم (واط م⁻²). RL_{\uparrow} = اشعاع الموجات الطويلة الخارجة (واط م⁻²). α = البيدو السطح. ϵ_0 = انبعاثية الحرارة للسطح.



شكل 2: مخطط لالية حساب صافي الاشعاع

الببدو السطح (α) Surface Albedo

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

$$\rho\lambda = \frac{M\rho*Qcal+Ap}{\sin\theta_{SE}} \dots\dots\dots(2)$$

اذ ان:

$\rho\lambda$ = الانعكاسية لكل نطاق. $M\rho$ = عامل إعادة القياس المضاعف الخاص بالنطاق من البيانات الوصفية.
 Ap = عامل إعادة قياس المواد المضافة الخاصة بالنطاق من البيانات الوصفية. $Qcal$ = قيم البكسل القياسية الكمية والمعايرة للمنتج (DN). θ_{SE} = زاوية ارتفاع الشمس حلياً المتوفرة في الملف المرفق MTL.

الببدو الجوي في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (α_{toa}).

هو الببدو غير المعدل لنفاذية الغلاف الجوي ويتم حسابه على النحو الاتي (Alves et al., 2017):

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

اذ ان:

α_{toa} = الببدو في الجزء العلوي من الغلاف الجوي. $\rho\lambda$ = انعكاس لكل نطاق. $\omega\lambda$ = معامل تأثير لكل حزمة يمكن الحصول عليه من موقع 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 (واط م⁻² ستراديان⁻¹ مايكرومتر⁻¹) (جدول 3).

جدول 3. قيم معامل التأثير $\omega\lambda$

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

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

حساب البيدو السطح α : 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:

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

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. تتراوح قيم $\alpha_{path_radiance}$ بين 0,025 و 0,04 وبالنسبة لـ SEBAL نوصي بقيمة 0,03 بناءً على (Bastiaanssen, 2000).

النفاذية الجوية 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/م²) (RS) Incoming Shortwave Radiation (↓)

ان إشعاع الموجة القصيرة القادم هو تدفق الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر الذي يصل فعلياً إلى سطح الأرض (واط/م²) وقد حسبت، بافتراض ظروف السماء الصافية وكذلك استبعاد المرئيات الفضائية في حالة الجو غائماً، كثابت لوقت الصورة باستخدام المعادلة الآتية (Samani et al., 2007):

$$Rs \downarrow = G_{sc} * \sin \theta_{SE} * d_r * \tau_{sw} \dots\dots\dots (7)$$

اذ ان: G_{sc} = الثابت الشمسي (1367 واط/م²). 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/م²) (RL) Outgoing Longwave Radiation (↑)

إشعاع الموجة الطويلة الخارجة هو تدفق الإشعاع الحراري المنبعث من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي (واط/م²). وقد حسب من المعادلة الآتية (Liou et al., 2014):

$$RL \uparrow = \epsilon_o * \sigma * Ts^4 \dots\dots\dots (8)$$

اذ ان: ϵ_o = انبعاثية السطح (بلا أبعاد) والذي يعتمد في حسابه على الأدلة الطيفية. σ = ثابت ستيفان بولتزمان ($5.675 * 10^{-8}$ واط م⁻² كلفن⁴). Ts = الحرارة السطحية (كلفن).

دلائل الغطاء النباتي

دليل الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)

ان دليل NDVI هو نسبة الاختلافات في الانعكاسية لنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR Band5 والنطاق الأحمر Band4 RED إلى مجموعهما وفقاً للمعادلة الآتية (Lillesand and Chipman, 2004 و Wang et al., 2007):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \dots\dots\dots (9)$$

دليل الغطاء النباتي المعدل للتربة (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 et al., 2002):

$$SAVI = (1 + 0.5) * \left[\frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4 + 0.5)} \right] \dots\dots\dots (10)$$

اذ ان: L = معامل خاص بالدليل النباتي المعدل للتربة SAVI وتبلغ قيمته 0,5. علماً ان بعض المصادر التي استخدمت هذا المؤشر اعتبرت ان قيمة $L = 0,16$.

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

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

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

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

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

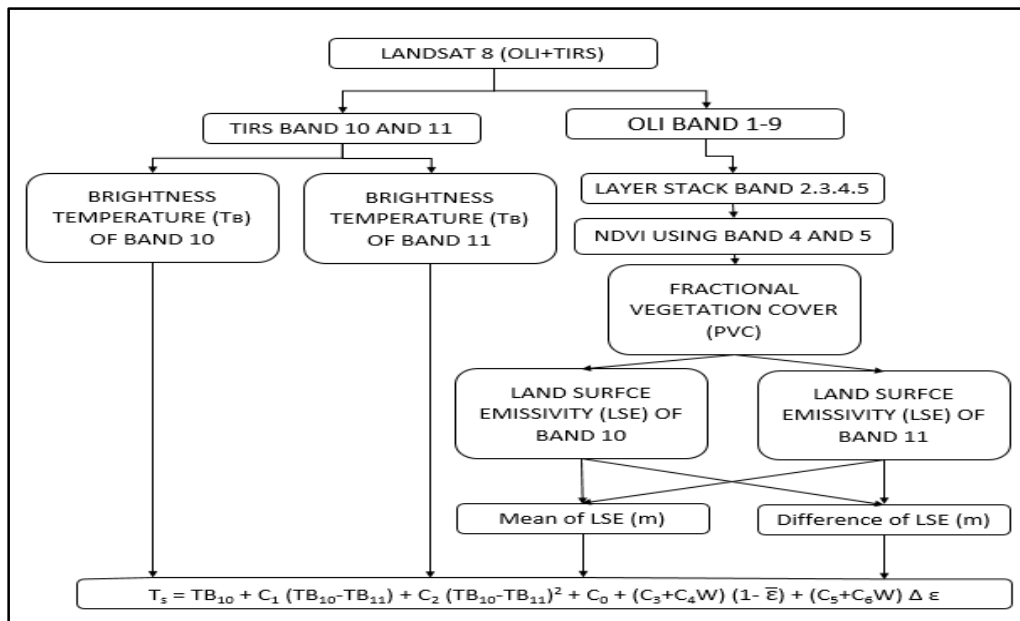
حساب حرارة السطح (كلفن) T_s : حسب درجة حرارة السطح T_s من خلال تطبيق خوارزمية رياضية، وهي خوارزمية نافذة منشقة Split – Window (SW) تستخدم هذه الخوارزمية درجة حرارة السطوح لنطاقين أو حزمتين TIR، والمتوسط والفرق في انبعاثية سطح الأرض لتقدير T_s لمنطقة ماء، وكما يأتي معادلة 14 ويبين الشكل (3) الية حساب T_s

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

اذ ان: T_s = درجة حرارة سطح الأرض (كلفن). C_0 to C_6 = قيم معامل تقسيم النافذة (الجدول 4). TB_{10} & TB_{11} = درجة حرارة سطوح الحزمة 10 والحزمة 11 (كلفن). $\bar{\varepsilon}$ = يعني متوسط حزم LSE و TIR. W = محتوى بخار الماء في الغلاف الجوي (0,013). $\Delta \varepsilon$ = الفرق في LSE.

جدول 4. 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 |



شكل(3): مخطط لألية حساب درجة حرارة السطح T_s .

اتبعت الخطوات الاتية في حساب حرارة السطح
الخطوة 1: قدرت قيمة الإشعاع الطيفي للغلاف الجوي لحزمة TIRS 10 و 11 باستخدام الخوارزمية الواردة أدناه (المعادلة (15) (NASA, 2002) و (Chander and 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: $L\lambda$ = الإشعاع الطيفي للغلاف الجوي. Q_{cal} = الباندات الطيفية للحزم الطيفية الحرارية 10 و 11. ML = عامل إعادة القياس المضاعف المحدد بالنطاق (إشعاع متعدد الحزم 11/10). الجدول 5. A_L = عامل إعادة قياس المواد المضافة الخاصة بالنطاق (إشعاع إضافة حزم 11 / 10). جدول 5.

جدول 5. عامل إعادة القياس

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

الخطوة 2: قدرت درجة حرارة السطوح (TB) للحمزتين 10 و 11. درجة حرارة السطوح هي الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي ينتقل صعوداً من أعلى الغلاف الجوي للأرض. وانجزت عملية المعايرة الحرارية عن طريق تحويل قيم DN الحرارية للنطاقات الحرارية الخام لمستشعر TIR إلى TOA Spectral Radiance وبعد استخدام معادلة درجة حرارة السطوح، حصلنا على نطاق درجة حرارة السطوح (TB)، (Weng and Schubring, و Chhander and Markham, 2003)، (2004):

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

اذ ان: $L\lambda =$ الإشعاع الطيفي للغلاف الجوي. K_1 & $K_2 =$ ثابت حراري للحمزتين 10 و 11 من ملف صورة البيانات الوصفية، كما موضح في جدول 6.

جدول 6. قيم K1 و K2

| Band11 | Band 10 | Thermal Constant |
|---------|---------|------------------|
| 480.89 | 777.89 | <i>K1</i> |
| 1201.14 | 1321.08 | <i>K2</i> |

الخطوة 3: قدر الغطاء النباتي الكسري (FVC) باستخدام المرئية NDVI والتي تم الحصول عليها مسبقاً، ودليل NDVI للتربة ودليل NDVI للغطاء النباتي من الجدول 7 باستخدام معادلة 16 (Wang et al., 2007).

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

جدول 7. 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 النباتي لكلا الحمزتين 10 و 11 معطاة كمت في الجدول 8. يتم حساب LSE للحمزتين 10 و 11 بشكل فردي.

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

اذ ان: $\epsilon S =$ الانبعاثية للتربة. جدول 8. $\epsilon V =$ الانبعاثية للنباتات. جدول 8. $FVC =$ الغطاء النباتي الكسري.

جدول 8. قيم الانبعاث

| Band 11 | Band 10 | الانبعاثية |
|---------|---------|--------------|
| 0.977 | 0.971 | ϵS |
| 0.989 | 0.987 | ϵV |

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

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

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

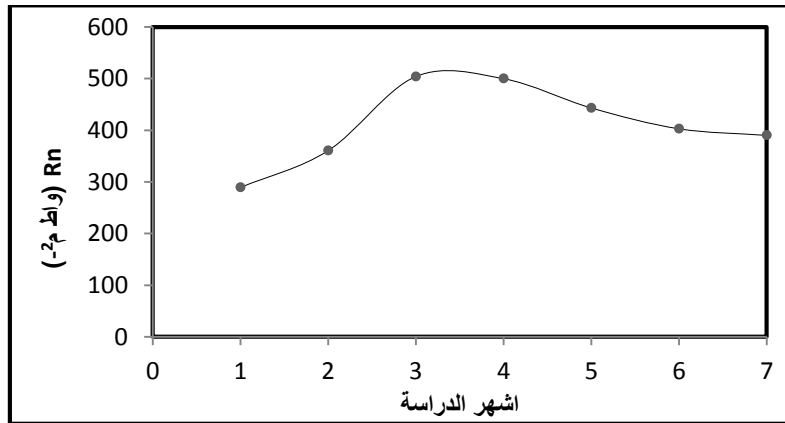
الخطوة 6: قدرت درجة حرارة سطح الأرض (Ts) باستخدام الخوارزمية في المعادلة السابقة 14 (Salifu et al., 2011).

النتائج والمناقشة

تأثير الغطاء النباتي في تدفق صافي الإشعاع (R_n)

يبين شكل (4) التغير الزمني في متوسطات تدفق صافي الإشعاع لمنطقة الدراسة خلال الأشهر من كانون الثاني إلى تموز 2020. إذ تبين ارتفاع صافي الإشعاع لحين الوصول إلى شهري آذار ونيسان ثم الانخفاض لبقية أشهر الدراسة. إذ بلغ متوسط R_n 504,2 (واط م²) لشهري آذار ونيسان على التتابع، في حين بلغ 390,2 (واط م²) لشهر تموز. وان أقل قيمة كانت لشهر كانون الثاني إذ بلغت 289,2 (واط م²) (جدول 9). كما يتبين من جدول 9 حصول ارتفاع في قيمة R_n بزيادة NDVI، إذ يحصل هذا التغير نتيجة لتغير المسافة بين الأرض والشمس إذ كلما اقتربت الأرض من الشمس زادت متوسطات تدفق صافي الإشعاع. كما يعزى سبب ذلك إلى أن الأسطح النباتية لها قيم انعكاسية منخفضة عند أي طول موجي مقارنة بالتراب الجرداء لذا فالأسطح النباتية تحتفظ بالطاقة القادمة من الشمس بدل أن تعكسها لذلك فالطاقة المتوفرة على الأسطح النباتية تكون عالية، إذ يعتمد تدفق صافي الإشعاع على قيم الأشعة الشمسية بشكل كبير التي تمثل مع الإشعاع القادم من الجو المصدر الرئيسي للطاقة ولأن النباتات لا تعكس الطاقة بشكل كبير وكونها ذات انبعاثية قليلة مقارنة بالتراب الجرداء فهي تحزن الطاقة القادمة من الشمس، وبذلك تزداد الطاقة المتوفرة بزيادة كثافة الغطاء النباتي. كذلك تزداد قيم تدفق صافي الإشعاع بزيادة ساعات النهار وكلما اقتربت الأرض من الشمس أي أصبحت زاوية الشمس أكثر عمودية على سطح الأرض، يزداد تدفق صافي الإشعاع في أشهر الصيف رغم قلة الغطاء النباتي (Pelgrum et al. 2005 و Trezza, 2002). كما يعود السبب أيضاً إلى أن الغطاء النباتي يستلم معظم الطاقة الشمسية مانعاً إياها بشكل كبير من الوصول إلى سطح التربة وتسخينها (Hamed, 2019)، تؤثر النباتات بشكل كبير في موازنة الطاقة بعدة طرائق منها تغير قيم البيدو السطح وعزل سطح التربة لتقليل التبادل الحراري وامتلاك النباتات قيم البيدو منخفضة بسبب قيم R_n عالية كما هو الحال في المسطحات المائية.

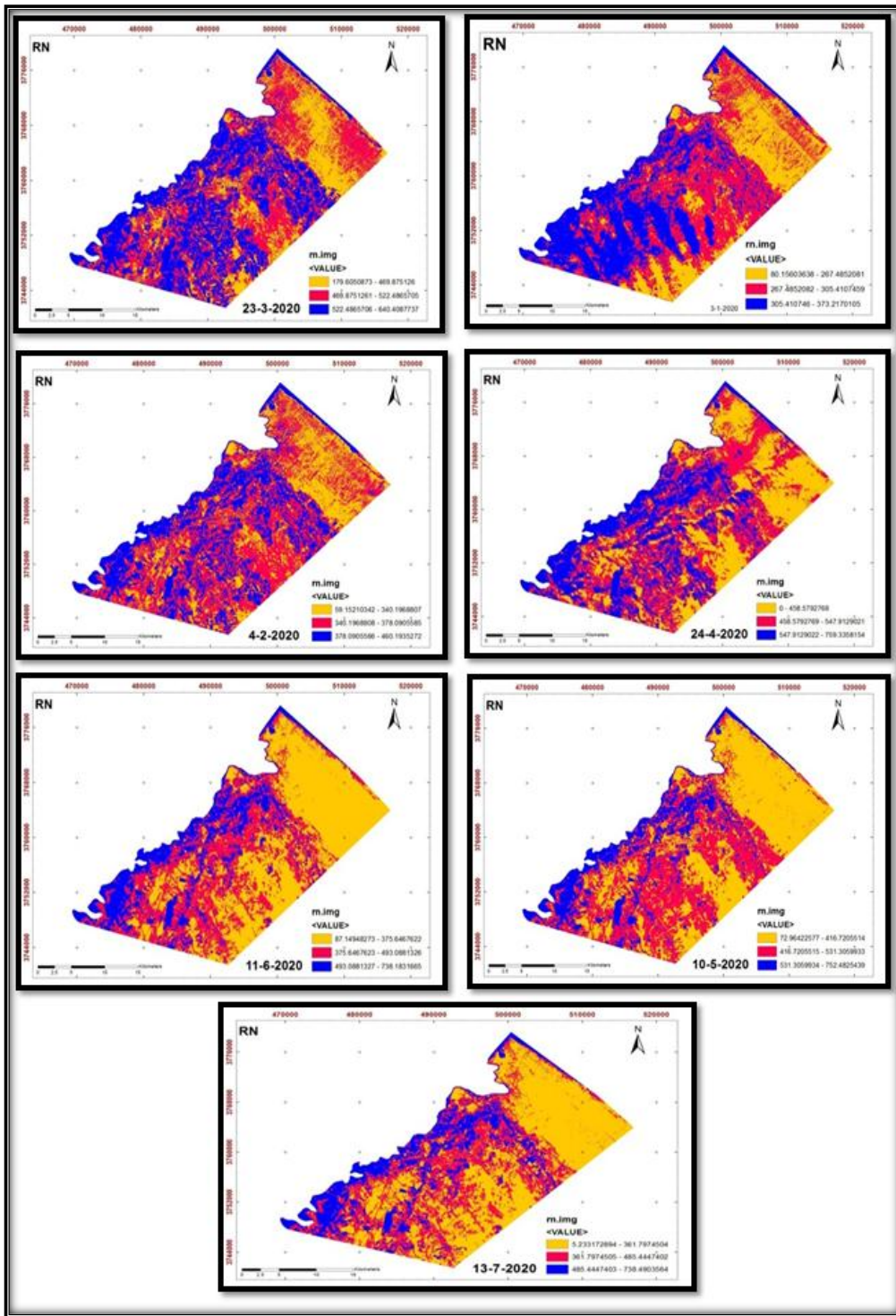
وهذا أيضاً مرتبط بخصائص التربة ومكوناتها إذ أن قيم البيدو للسطح الخالي من الغطاء النباتي يختلف باختلاف مكونات التربة التي تؤدي إلى لون مختلف للتربة (Roerink et al., 2000 و Liou et al., 2002 و Li et al., 2009). فاللون الفاتح للتربة مثلاً يحصل نتيجة لوجود الأملاح وزيادة محتوى الرمل وانخفاض المحتوى المائي والمادة العضوية. فضلاً عن نوع النبات وكثافته وموسم النمو فالأغطية النباتية تسمح بنفاذ الأشعة وهذا مرتبط بتركيب الأوراق النباتية ومساحتها السطحية لذا فإن الجزء المنعكس ينخفض وخاصة عند الأطوال الموجية المرئية كاللون الأحمر بسبب امتصاص الكلوروفيل لمعظم الأشهر الساقطة عند هذا الطول الموجي، وهذا واضح من خلال تغير الألوان في الأشكال 5 من اللون الأصفر إلى اللون البنفسجي التي تبين خرائط طاقة تدفق صافي الإشعاع لأشهر الدراسة.



شكل 4. التغير الزمني في متوسطات تدفق صافي الإشعاع خلال أشهر الدراسة

جدول 9. مديات ومتوسطات تدفق صافي الإشعاع ومقدار التغير في قيمة NDVI

| اشهر | التاريخ | متوسط NDVI | متوسط R_n (واط م ²) | مدى صافي الإشعاع R_n (واط م ²) |
|------|-----------|------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 2020/1/3 | 0.098 | 289.2 | 373.2-80.1 |
| 2 | 2020/2/4 | 0.146 | 360.5 | 460.1-59.1 |
| 3 | 2020/3/23 | 0.201 | 504.2 | 640.4-179.6 |
| 4 | 2020/4/24 | 0.171 | 500.1 | 759.3-0 |
| 5 | 2020/5/10 | 0.162 | 443.4 | 752.4-72.9 |
| 6 | 2020/6/11 | 0.156 | 403.0 | 738.1-87.1 |
| 7 | 2020/7/13 | 0.158 | 390.2 | 738.4-5.2 |

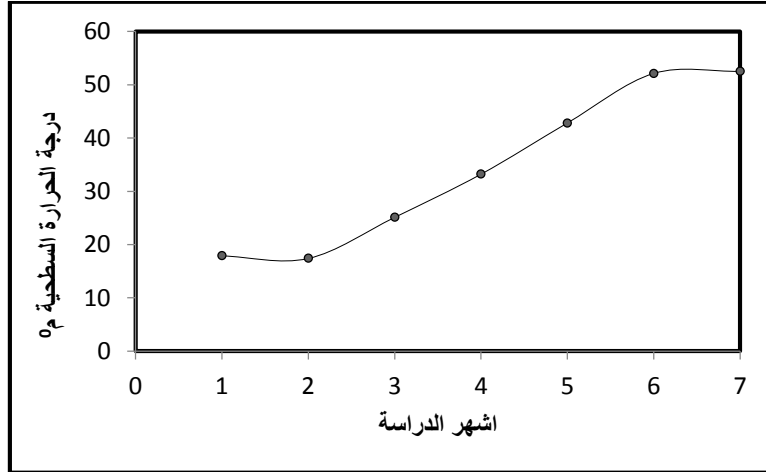


شكل (5) خرائط دليل صافي الإشعاع R_n للمنطقة للأشهر المدروسة

دليل حرارة سطح التربة (T_s)

يظهر شكل 6 التغير الحاصل في متوسطات درجة حرارة سطح التربة خلال مدة زمنية مختلفة لمنطقة الدراسة، فمن خلال النتائج التي حصلنا عليها وجدنا هناك اختلاف في قيم درجات الحرارة بين اشهر الدراسة، اذ بزيادة قيم NDVI حصل انخفاض في درجات الحرارة السطحية، اذ ان لوجود الغطاء النباتي وكثافته ونوعه ومساحته الورقية دور في انخفاض حرارة السطح مقارنة بالمناطق الخالية من الغطاء النباتي (Reyes-González, 2019). نلاحظ بان التغيرات في معدلات نمو النبات وكثافتها خلال موسم النمو اثر في معدلات درجات الحرارة اذ ان اقل قيمة درجة حرارة في المنطقة المستغلة بزراعة محصول الحنطة كانت في المرثية المكتسبة في شهر اذار ونيسان اذ بلغت 25.1 و33.2 م، ان هذا التغير يعود لاختلاف بعد الارض عن الشمس اذ كلما اقتربت الارض من الشمس زادت درجات الحرارة. في حين سجل شهر شباط اقل قيمة لمتوسطات درجات الحرارة، لوحظ في (جدول 10) ان شهر حزيران وتموز سجل اعلى قيم لدرجات الحرارة السطحية بلغت 52,1 م⁰ و52,5 م⁰ على التوالي. في حين بلغت قيم متوسطات NDVI للأشهر حزيران وتموز بلغت 0,156 و 0,158

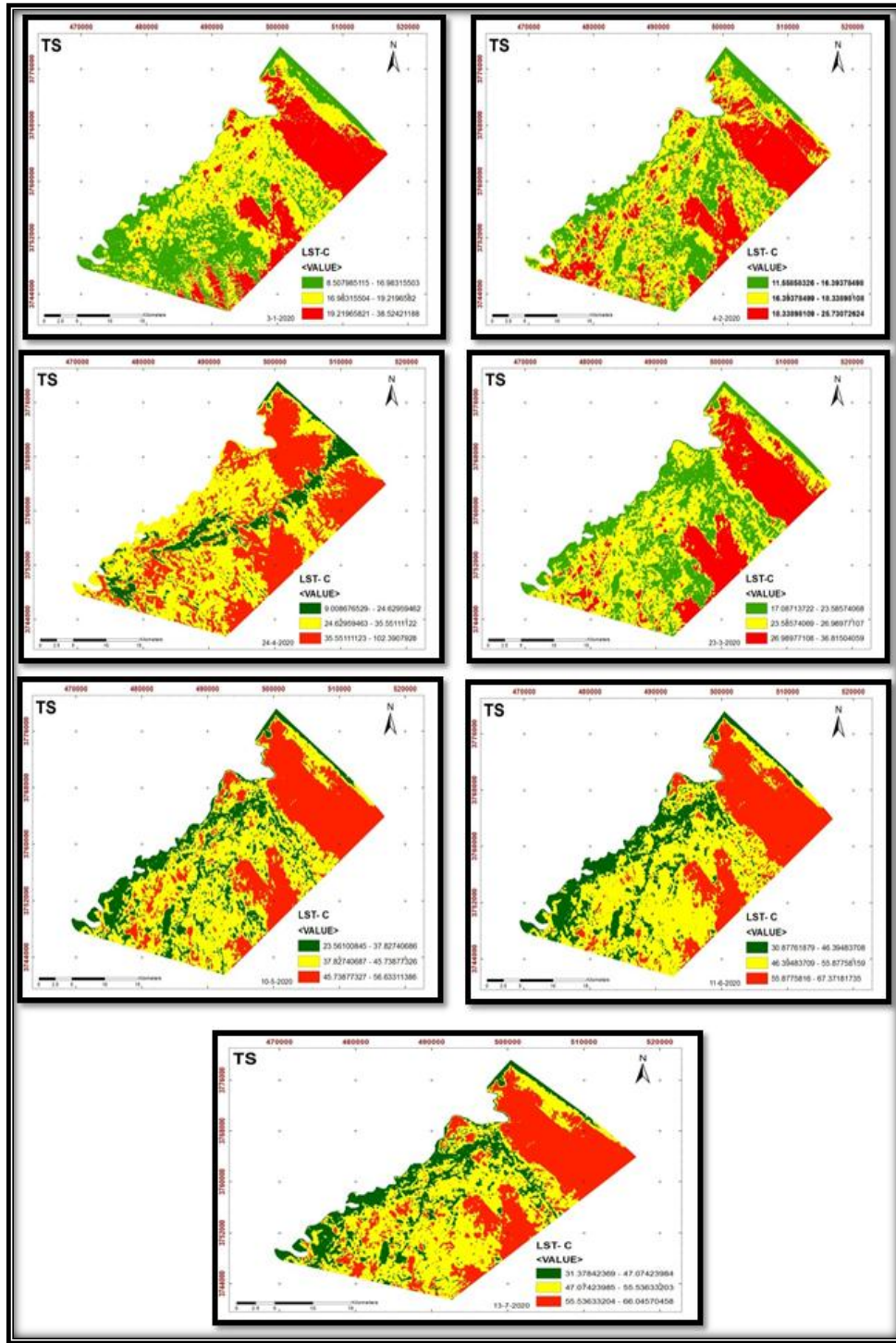
على التوالي، وهذا ما اتفق مع نتائج Hamed (2019) إذ وجد انخفاض في قيمة الحرارة السطحية مع زيادة في قيمة NDVI، وقد عزا هذا الباحث الى ان الانبعاث الحراري من الاسطح النباتية يكون قليل مقارنة بالترب الجرداء و كذلك الحال بالنسبة للانعكاسية فالغطاء النباتي يعكس اشعة اقل مقارنة مع الترب الجرداء، لذلك فان النباتات لا تظهر عليها درجات حرارة سطحية عالية مقارنة بالترب الجرداء وتقل الحرارة السطحية بزيادة الغطاء النباتي. فضلاً عن ذلك فان النباتات تعمل على فقدان الطاقة التي تعمل على تسخين سطوحها بواسطة التبخر نتج والتي تعد عملية تبريد لسطوح النباتات. كذلك فان المقاومة الايروديناميكية عالية نتيجة زيادة احتكاك الرياح بالنباتات وهذا يعمل بدوره على زيادة فقدان الطاقة الحرارية من الاسطح النباتية الى الجو المحيط بها. وهذاما توصل اليه ايضاً (Farina, 2012). كما يعزى سبب ذلك الى ان الغطاء النباتي يلعب دوراً في تقليل درجة الحرارة السطحية فزيادة كثافة الغطاء النباتي تقل درجة الحرارة السطحية وتقل حرارة الجو المحيط بالنبات من خلال التبخر نتج اذ تستعمل الطاقة الحرارية في النتج بدل تسخين الجو والسطح (Almhab, 2009). ويتبين ذلك واضحاً في شكل 7 اذ تزداد درجات الحرارة خلال اشهر الدراسة وصولاً الى شهر تموز.



شكل 6. التغير الزمني في متوسطات درجة الحرارة السطحية لجميع اشهر الدراسة

جدول 10. مديات ومتوسطات تدفق حرارة التربة السطحية ومقدار التغير في قيمة NDVI

| الاشهر | التاريخ | متوسط NDVI | متوسط حرارة التربة | مدى حرارة التربة (°م) |
|--------|-----------|------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | 2020/1/3 | 0.098 | 17.9 | 38.5 – 8.5 |
| 2 | 2020/2/4 | 0.146 | 17.4 | 25.7 – 11.5 |
| 3 | 2020/3/23 | 0.201 | 25.1 | 36.8 – 17.0 |
| 4 | 2020/4/24 | 0.171 | 33.2 | 43.2 – 22.1 |
| 5 | 2020/5/10 | 0.162 | 42.8 | 56.6 – 23.5 |
| 6 | 2020/6/11 | 0.156 | 52.1 | 67.5 - 30.8 |
| 7 | 2020/7/13 | 0.158 | 52.5 | 66.1 – 31.3 |



شكل 7. خرائط درجة الحرارة السطحية TS الشهري للمنطقة للأشهر المدروسة.

الاستنتاجات والتوصيات

- 1- وجدت علاقة طردية تربط قيم NDVI وقيم تدفق طاقة صافي الاشعاع R_n ، اذ ان الطاقة المتوفرة على الاسطح النباتية تكون اكبر من التربة الجرداء.
- 2- وجدت علاقة عكسية بين قيم NDVI ودرجة الحرارة السطحية LST، اي ان زيادة كثافة الغطاء النباتي تؤدي الى خفض في درجات الحرارة السطحية مقارنة بالتربة الجافة غير المزروعة.
- 3- لذا توصي الدراسة بأهمية تقنيات التحسس النائي في رصد التغيرات المكانية والزمانية في تقدير الاستهلاك المائي والتبخر نتح للمحاصيل الزراعية من خلال بناء موديلات رياضية مكتسبة من تحليل وتفسير المرئيات الفضائية.

4- اجراء مقارنة بين نتائج التحسس النائي مع طرق تقدير التبخر نتح المتوفرة ميدانيا في بيئات مناخية مختلفة وعلى محاصيل زراعية مختلفة بغية التوصل لعلاقة تنبؤية.

Reference

- **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
- **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
- **Allen** R. G., Luis 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." *Hydrological processes* 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. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. 7(2): 91-100.
- **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 Postcalibration Dynamic Ranges." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions* 41: 2674-7.
- **FAO/Unesco/ISRIC**, (1990). Revised Legend of the Soil Map of the World. World Soil Resources Report, FAO, Rome, Italy.
- **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.
- **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." *Journal of Hydrology* 370: 122-38
- **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." *Sensors* 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.
- **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.
- **Lillesand, T. M.**, Kiefer, R. W., and Chipman, J. W.(2004). Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons Ltd.
- **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.
- **NASA.** (2002). Landsat 7 Handbook, . National Aeronautics and Space Administration. <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/LAS/handbook>.
- **Pelgrum, H.**, G. Davids, B. Thoreson, R. Allen, W. Bastiaanssen and ENoordman (2005). "SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions." *Journal of irrigation and drainage engineering* 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: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 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. *International Journal of Applied Agricultural Research* 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. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE* / 297.
- **Trezza R.** (2002). Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. a dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering. Utah state University. Logan, Utah.
- **Weng, Q.**, Lu, D., and Schubring, J. (2004). "Estimation of Land Surface Temperature–Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies." *Remote Sensing of Environment* 89: 467-83
- **Wang. J.**, T. W. Sammis, V. P. Gutschick, M. Gebremichael, and D. R. Miller. (2007). Sencitivity analysis of the surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 9 *American Society of Agricultural and Biological Engineers* ISSN 0001-2351.