Dirasat: Human and Social Sciences, Volume 50, No. 6, 2023

Deanship of Scientific Research

Estimation of Evaporation from the Surface Water of the Gulf of Aqaba using Band 10 Onboard Landsat 8

Ibrahim M. Oroud [1]*, ***Zeinab Shehadeh Ahmad AlTubeiri*** [2]

[1] Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Mutah University, Karak, Jordan.

[2] Department of Geography, College of Arts, Al Hussein Bin Talal University, Jordan.

Received: 3/1/2022
Revised: 10/8/2022
Accepted: 22/12/2022
Published: 30/11/2023

* *Corresponding author:*
ioroud@mutah.edu.jo

Citation: Oroud, I. M., & AlTubeiri, Z. S. A. (2023). Estimation of Evaporation from the Surface Water of the Gulf of Aqaba using Band 10 Onboard Landsat 8. *Dirasat: Human and Social Sciences*, *50*(6), 231–243. https://doi.org/10.35516/hum.v50i6.304

© 2023 DSR Publishers/ The University of Jordan.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Abstract

Objectives: Surface temperature and evaporation are important geophysical parameters because of their close linkage to the energy balance and the hydrological cycle across the surface- atmosphere boundary of the globe. The aim of this study is to estimate surface temperature and evaporation rates across the Gulf of Aqaba using a Dalton-type equation.

Methods: Band 10 onboard Landsat 8 was used to retrieve the brightness temperature, and the effect of the atmosphere on the retrieved surface temperature (SST) was corrected using the Radiative Transfer Equation. The retrieved SST was combined with near surface meteorological data to estimate daily evaporation from the Gulf of Aqaba using a Dalton-type equation.

Results: Results show that the highest SST temperature was recorded in August, reaching 27.8 OC, while the lowest temperature of 16.7 OC was observed in January. Calculations of evaporation using a Dalton-type equation indicate that evaporation ranged from a minimum of 2.06 mm/day in November to 5.54 mm/day in June.

Conclusions: The combination of high evaporation along with the meagre amount of freshwater input contributes to the high salinity observed in the Gulf of Aqaba compared to open seas and oceans.

Keywords: Evaporation estimates, sea surface temperature, thermal images, Gulf of Aqaba.

تقدير التبخر من سطح خليج العقبة باستخدام الحزمة الحرارية 10 للقمر الصناعي لاندسات 8

إبراهيم مطيع العرود [1]*، ***زينب شحادة أحمد الطبيري*** [2]

[1] قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة مؤتة، الكرك، الأردن

[2] قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الحسين بن طلال، الأردن.

ملخّص

الأهداف: تعدُّ درجة حرارة السطح والتبخر من العوامل الجيوفيزيائية المهمة بسبب ارتباطهما الوثيق بتوازن الطاقة والدورة الهيدرولوجية بين السطح والغلاف الجوي. تهدف الدراسة تقدير درجة حرارة السطح ومعدلات التبخر من خليج العقبة باستخدام معادلة دالتون .

المنهجية: استُخدِمَ النطاق الحراري 10 على متن لاندسات 8 لاسترجاع درجة الحرارة الاشعاعية، وجرى تصحيح تأثير الغلاف الجوي على درجة حرارة السطح المسترجعة باستخدام معادلة انتقال الإشعاع. وقد جرى دمج درجة الحرارة المسترجعة مع بيانات الأرصاد الجوية القريبة من السطح لتقدير التبخر اليومي من خليج العقبة باستخدام معادلة دالتون .

النتائج: أظهرت النتائج أن أعلى درجة حرارة سجلت في شهر آب بلغت 27.8 درجة سيلسيوس، بينما سجلت أدنى درجة حرارة عند 16.7 درجة سيلسيوس في شهر كانون ثاني. أشارت الحسابات إلى أن التبخر اليومي تراوح بين 2.06 ملم / يوم في تشرين ثاني إلى 5.54 ملم / يوم في حزيران .

الخلاصة: يساهم كل من التبخر العالي والكميات الضئيلة من مدخلات المياه العذبة في ارتفاع نسبة الملوحة في خليج العقبة مقارنة بالبحار المفتوحة والمحيطات.

الكلمات الدالة: تقدير التبخر، درجة حرارة سطح الماء، المرئيات الحرارية، خليج العقبة.

1- مقدمة

التبخر عنصر جيوفيزيائي مهم لكل من موازنة الطاقة والموازنة المائية على سطح الأرض. ويتم في المجمل تبديد حوالي 77٪ من صافي الاشعاع على سطح الأرض عن طريق التبخر من المسطحات المائية والسطوح الرطبة الأخرى (e.g., Allen et al., 2007; Brutsaert, 1982; Oroud, 2020). ويحتاج تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية إلى قدر كبير من الطاقة كون الحرارة الكامنة للتبخر عالية جدا للماء. إذ يلزم لتبخير كيلوغرام واحد من الماء حوالي 2.45 ميجا جول من الطاقة. ويسهم التبخر من المسطحات المائية في الحفاظ على درجة حرارة سطحية معتدلة لمياه البحار والمحيطات، ونادرا أن تتجاوز درجة حرارة المياه السطحية للبحار والمحيطات حاجز 30 درجة سيلسيوس. يضاف لذلك ارتفاع السعة الحرارية لمياه البحار والمحيطات التي تعمل بدورها كمنظم/"واقي" (buffer) لدرجة حرارة النظام الأرضي، وهكذا تعمل البحار والمحيطات باستمرار على تغذية راجعة سالبة تقلل من حجم التأرجح في درجة حرارة النظام الأرضي.

وقد أدى إطلاق الأقمار الصناعية ذات القدرة التمييزية المكانية الجيدة وقصر الفترة الزمنية بين المرئيات الفضائية المتتابعة والمساحة الهائلة التي تغطيها المرئية في نفس الوقت (synoptic view) على إحداث ثورة كبيرة في فهم الكثير من العمليات المتعلقة بتبادل الطاقة والمادة بين سطح الأرض والغلاف الجوي. وتتيح الأقمار الصناعية تحسس درجة حرارة السطح ولمساحة واسعة بدقة عالية مما يجعلها مناسبة لأغراض تقدير التبخر من المسطحات المائية والسدود والنباتات والترب الرطبة (Bastiaanssen et al., 1998; Oroud, 2021; Oroud, 2022). بالإضافة إلى تأثيرات العوامل الجوية، فإن التبخر من البحار والمحيطات يتأثر في نسبة الملوحة في هذه المسطحات المائية. إذ تنخفض كمية التبخر كلما زادت الملوحة السطحية (Oroud, 2019a).

ويعد خليج العقبة أحد البيئات المائية ذات الخصائص الفريدة مقارنة بالبحار الأخرى لعدة أسباب منها أن هذا الجسم المائي يقع في بيئة شديدة الجفاف حيث أن كمية المطر الهاطل هناك لا تتجاوز 20-30 ملم في السنة، بينما يبلغ التبخر-نتح الكامن في هذه البيئة القاحلة قيما كبيرة جدا تزيد على 2000 ملم سنويا. يضاف لذلك أن كمية الأشعة الشمسية الساقطة هناك عالية جدا طوال العام لسيادة الظروف الجوية الصافية معظم أيام السنة. كما أن نسبة الملوحة في خليج العقبة عالية وتبلغ حوالي 40 غرام لكل كغم مما يؤثر على درجة حرارة الماء السطحية في خليج العقبة. وحسب بيانات برنامج المراقبة الوطني لخليج العقبة (JREDS) فإن دورة تجدد المياه في الخليج تتم مرة كل ثلاث سنوات تقريبا مما يعني أن فترة مكوث الماء طويلة نسبيا وتعكس درجة الحرارة المرصودة في هذه البيئة الظروف المناخية السائدة في منطقة الدراسة. وترتفع درجة حرارة الهواء في خليج العقبة طوال العام لارتفاع كمية الاشعاع الشمسي الواصل من جهة وبعدها عن التأثيرات الجوية القادمة من الشمال خلال فصل الشتاء لوقوع الخليج ضمن خلية هادلي (Hadley Cell) التي تتصف بارتفاع الضغط الجوي طوال العام. وتتراوح درجة حرارة الهواء في منطقة خليج العقبة بين 15 درجة س في فصل الشتاء إلى حوالي 38 درجة س في فصل الصيف مما يجعلها منطقة جذب سياحي كبير، خصوصا في الفصل البارد من السنة. ونظرا لسيادة ضغط جوي مرتفع لوقوع خليج العقبة في منطقة هبوط هوائي، فإن الرياح السطحية تتصف بالهدوء طوال العام، باستثناء فترات تترافق مع حدوث عواصف رعدية نادرة الحدوث.

ويهدف البحث الحالي إلى تقدير درجة حرارة سطح المياه في خليج العقبة خلال السنة باستخدام الحزمة الحرارية 10 المحمولة على القمر الصناعي لاندسات 8. وقد تم استخدام درجات الحرارة المسترجعة في تقدير التبخر من مياه الخليج باستخدام معادلة دالتون. وتعد الدراسة الحالية مفيدة لما توفره من قاعدة بيانات تتعلق بدرجة حرارة سطح مياه خليج العقبة طوال العام، كما أنها تعطي معلومات مبنية على أسس علمية عن الدورة السنوية لكل من درجة الحرارة السطحية للماء والتبخر، وهكذا تسهم مثل هذه الدراسة في بناء قاعدة بيانات تتعلق بمياه الخليج. وقد تم اختيار سنة 2019 لإجراء هذه الدراسة.

2- خلفية نظرية

يمكن استخدام أكثر من طريقة لتقدير درجة حرارة السطوح الأرضية عن طريق الحزم الحرارية المحمولة على الأقمار الصناعية مثل طريقة استخدام حزمتين حراريتين (Split Window algorithm) والحزمة الأحادية (mono-channel algorithm/ single channel) (أنظر: Jimenez-Munoz et al., 2014; Kustas, 2009;) et al., 2009; Jimenez-Munoz . وتعتمد خوارزمية الحزمتين (SW) على استخدام حزمتين من الطيف الحراري ضمن نافذة الغلاف الجوي (atmospheric window) لهما معامل نفاذ مختلف ضمن الغلاف الجوي. ومن خلال اختلاف الامتصاص من قبل مكونات الغلاف الجوي يتم تصحيح الأثر الناتج عن الفروق في الامتصاصية الطيفية (differential spectral absorption) للإشعاع المنبعث عبر مكونات الغلاف الجوي (عادة الماء وثاني أكسيد الكربون)، حيث يكون لكل حزمة درجة حرارة سطحية تختلف قليلا عن الأخرى بسبب اختلاف الخفض في درجة الحرارة بين الحزمتين الناتج عن الاختلاف في الامتصاص لكلا الحزمتين. ويمكن استخدام هذه الطريقة عند توفر أكثر من حزمة طيفية محمولة على نحو متزامن على القمر الصناعي.

أما طريقة الحزمة الأحادية فيتم فيها استخدام حزمة حرارية واحدة (Cristobal et al., 2018). ويتم تصحيح دور الغلاف الجوي اعتمادا على معادلة انتقال الاشعاع في الغلاف الجوي (Radiative Transfer Equation) أو عن طريق معادلات تجريبية (empirical equations) تأخذ بعين الاعتبار محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء والتوزيع الشاقولي لدرجة حرارة الغلاف الجوي. ووجد كثير من الباحثين أن الطريقة الثانية أكثر دقة (e.g., Cristobal et al., 2018; Jimenez Munoz et al., 2014; Käfer et al., 2019).

ويعد الماء أكثر سهولة في تقدير درجة حرارته السطحية من اليابس والتصحيح الوحيد لدرجة حرارة الماء السطحية هو الناتج عن تأثير الغلاف الجوي فقط. إذ أن معامل اشعاعية الماء في الحزم الحرارية ضمن نافذة الغلاف الجوي تبلغ بحدود 0.99 (Salisbury and D'Aria, 1992)، وهكذا يتم بتصحيح بسيط عند تحويل درجة الحرارة الاشعاعية السطحية (surface brightness temperature) إلى درجة حرارة حركية أو فيزيائية (physical temperature). أما اليابس، فنظرا لتكونه من سطوح ذات خصائص متباينة، فإن معامل الاشعاعية يتفاوت على نحو كبير اعتمادا على محتوى الرطوبة وخشونة السطح، وتتراوح اشعاعية السطوح الأرضية من حوالي 0.85 للسطوح الرملية إلى حوالي 0.98 للنباتات (Salisbury and D'Aria, 1992; Qin et al., 2001; Curran, 1988).

وعلى عكس الكثير من العناصر الجوية الأخرى التي يمكن قياسها على نحو مباشر مثل الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح وكمية الهطول والضغط الجوي، فإن التبخر عنصر يتم اشتقاقه (derived not measured) من خلال عناصر جوية أخرى. فعلى سبيل المثال نحتاج لتقدير التبخر كل من صافي الأشعة وسرعة الرياح والرطوبة النسبية ضمن أول عدة أمتار فوق السطح. ويعد صافي الأشعة الذي يمثل كل من الأشعة المكتسبة القادمة من الشمس والغلاف الجوي من جهة والأشعة المعكوسة والمنبعثة من سطح الماء من جهة أخرى العنصر الأكثر أهمية في تحديد كمية التبخر (Allen et al., 2007; Oroud, 2019a).

ويتم قياس التبخر من المسطحات المائية بالطرق الحقلية (field campaigns) باستخدام وسائل متعددة مثل أحواض التبخر العائمة (floating pans) وموازنة الطاقة (energy balance) وطريقة باون (Bowen ratio) وطريقة بنمان-بريستلي (Penman-Priestly) (أنظر: Foken, 2008; Bras, 2004; 1982; Dembélé et al., 2020; Brutsaert, Oroud, 2001a; 2001b). وعلى الرغم من أن الطرق الحقلية دقيقة، إلا أنها مكلفة لما تحتاجه من تجهيزات مادية كبيرة وكوادر بشرية مدربة. والأهم من كل ذلك أن الطرق الحقلية محدودة جدا في تغطيتها المكانية. وتمثل القياسات الحقلية عادة المناطق الصغيرة التي تمت ضمنها القياسات، كما تتأثر كثيرا في المناطق المحيطة (footprints of nearby surfaces) مما يجعل فائدتها محدودة من الناحية العملية.

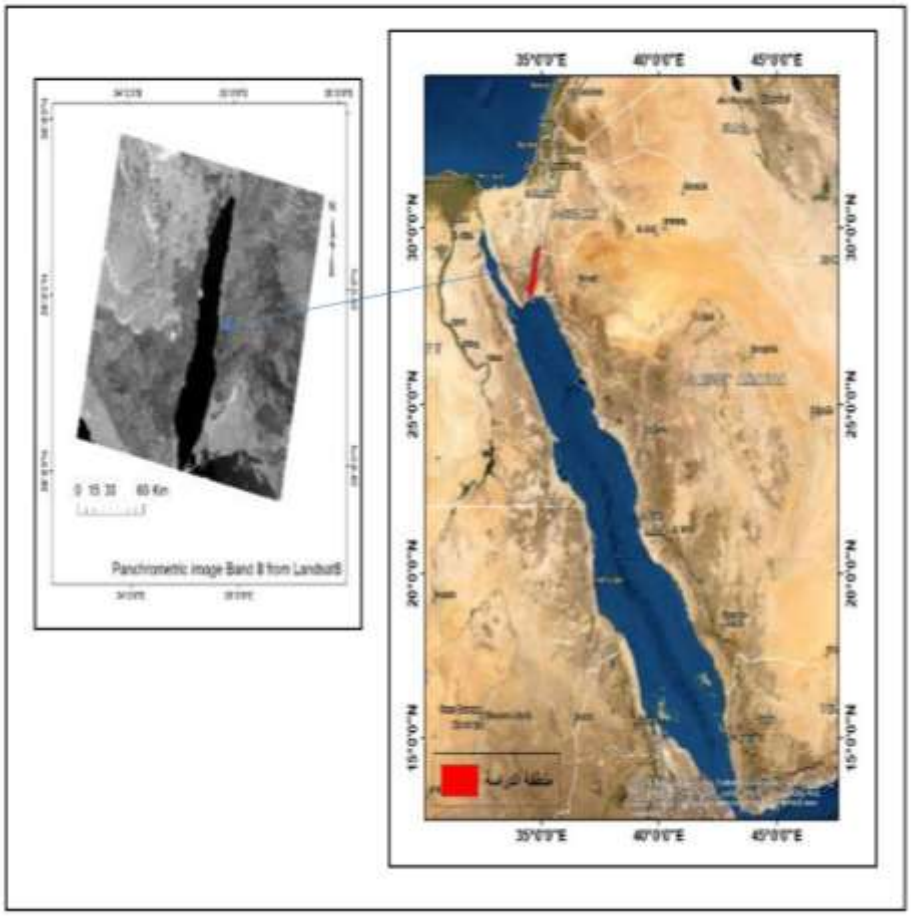
3- الدراسات السابقة

هناك كم كبير من الدراسات العلمية التي أجريت على نمذجة وقياس درجة الحرارة السطحية للمياه واليابس وكذلك عن التبخر من البحيرات والنباتات والبحار المفتوحة. وسيتم التطرق إلى بعض هذه الدراسات ذات العلاقة لوجود عدد كبير جدا منها بعضها يتعلق بتقدير التبخر من المسطحات المائية والجزء الأكبر من أسطح النباتات (Brutsaert, 1982; Foken, 2008) (أنظر أيضا: Yang et al., 2020; Torbick et al., 2016; Wang et al., 2015; Yu et al., 2014). فقد حاول أحمد (Ahmed,1999) تقدير التبخر من بحيرة نافاشا في كينيا من خلال مرئية القمر الصناعي لاندسات 5 الملتقطة في 21 يناير،1995 وحساب تدفق الحرارة الكامنة اللحظية والتبخر الكلي اليومي. وحاول (Murrihy et al., 2009) تقدير التبخر من بحيرات منطقة منيند في استراليا للمقارنة بين حساب التبخر من سطح المياه باستخدام المرئيات الفضائية للقمر لاندسات واستر ومقارنة ذلك بالطرق الحسابية الحقلية المتبعة لحساب التبخر. وتوصلت الدراسة إلى وجود تقارب في القيم المقدرة بكلتا الطريقتين، كما لاحظ أن القيم المقدرة من المرئيات الفضائية أعلى من المقاسة بالطرق الحقلية في أشهر الشتاء. كما درس (Melesse et al., 2009) التبخر من بحيرات الوادي المتصدع في أثيوبيا باستخدام مرئيات القمر الصناعي لاندسات 5 للأعوام 1986 و2000، ومقارنتها بالبيانات المقاسة بالطرق التقليدية. وتوصلت الدراسة إلى وجود تقارب في القيم بين الطريقتين. واستخدم (Al-Subhi, 2012) معادلة دالتون لتقدير التبخر في الجزء الجنوبي من البحر الأحمر، وقدرت معدلات التبخر في ثلاث مناطق- جدة، جازان، الحديدة (اليمن). وكانت أعلى قيمة للتبخر في منطقة جدة خلال شهر نوفمبر وديسمبر ويناير، وفي الحديدة في شهر أكتوبر أما في جازان فكانت أعلى قيمة في شهر حزيران. كما درست الجوازنة (2018) المساحة السطحية والتبخر من البحر الميت للفترة 1985-2017 وتوصلت إلى وجود تراجع ملحوظ في مساحته من 678 كم^2 سنة 1985 إلى 606 كم^2 سنة 2017. كما أظهرت النتائج أن درجة حرارة البحر الميت ازدادت خلال شهر تموز من 31.6°عام 1985 إلى 32.6° عام 2017. وتوصلت الدراسة أن تراجع المساحة السطحية للبحر الميت ناتج عن عدم التوازن بين كميات المياه الواردة وكمية المياه المفقودة عن طريق التبخر. ودرس (Oroud, 2019a) الدورة السنوية لدرجة الحرارة لسطح البحر الميت باستخدام المرئيات الحرارية من لاندسات 8. وأشارت النتائج إلى وجود اختلاف في درجة الحرارة من حوالي 20 درجة مئوية في فبراير إلى 35 درجة مئوية في تموز. كما أوضحت تأثير تدفق المياه العذبة على التبخر من البحيرات شديدة الملوحة. وأشارت الدراسة إلى أهمية مرئيات الأقمار الصناعية بديلا ممتازا عن القياسات الميدانية التي

تتطلب الكثير من المال والعمالة وتستغرق وقتا طويلا ومحدودة جدا في تغطيتها المكانية. كما درس (Oroud, 2019c) إمكانية دمج كل من الحزم الحرارية والبيانات الجوية السطحية في تقدير التبخر من المسطحات المائية الكبرى مثل البحيرات والخلجان. وتم مقارنة نتائج الدراسة مع دراسات حقلية مكثفة أجريت فوق البحر الميت وكانت النتائج المتعلقة بكل من درجة الحرارة السطحية وكميات التبخر المستخلصة من المرئيات الفضائية والرصد الحقلي قريبة من بعضها بعضا.

4- منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة بين خطي طول34.406 و 34.96 شرقا وبين دائرتي عرض 27.997 و 29.54 شمالا. يبلغ طول منطقة الدراسة حوالي 180.6 كم وأقصى عرض لها 28 كم. وتبلغ مساحة المنطقة 3090 كم^2. يعد خليج العقبة الفرع الشرقي للبحر الأحمر ويمثل الذراع الغربي خليج السويس. يحاذي خليج العقبة أربع دول هي الأردن والسعودية ومصر وفلسطين المحتلة (شكل 1). يعد خليج العقبة من البيئات شديدة الجفاف لارتفاع كمية الاشعاع الشمسي من جهة نطرا لوجود الخليج ضمن منطقة مرتفع جوي دائم ولذلك تسود أجواء صافية معظم أيام السنة. كما أن الرياح في هذه المنطقة هادئة. وتبلغ كمية المطر الهاطل في المعدل بحدود 20-30 ملم سنويا، وقد تمر بعض السنوات دون أي هطول مطري. وتعد هذه المنطقة ذات مناخ ملائم للسياحة خصوصا في الفصل البارد من السنة لاعتدال درجات الحرارة هناك وندرة الأمطار. ونظرا للظروف الجوية الملائمة فقد أنشئت العديد من المنتجعات السياحية التي تستقطب الزوار من شتى بقاع الأرض. ولهذا تكمن أهمية هذه الدراسة في معرفة الخصائص الحرارية لمياه الخليج.



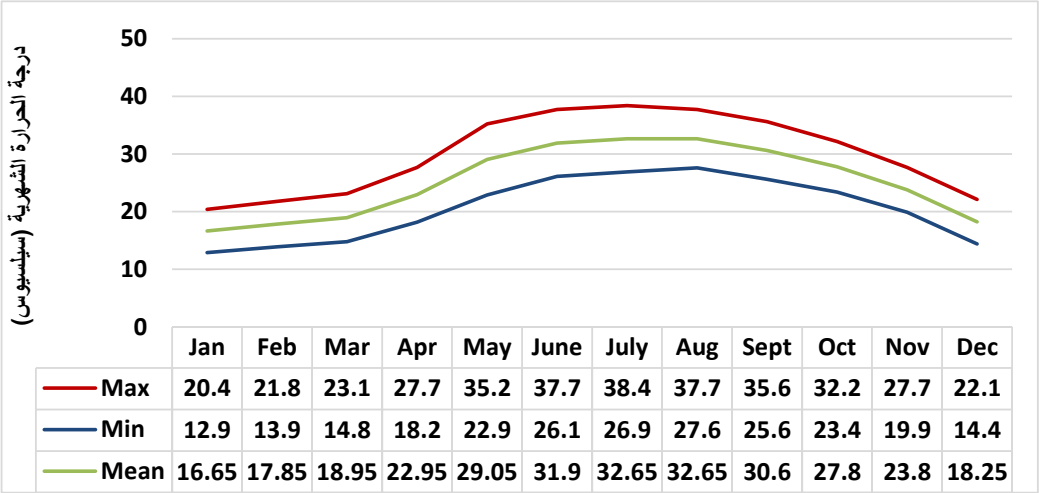
شكل 1. موقع منطقة الدراسة مشارله باللون الأحمرعلى اليمين.

5- مناخ منطقة الدراسة

هناك العديد من العوامل المناخية والجغرافية التي تؤثر على معدلات التبخر من المسطحات المائية(العرود،2002)، وفي ما يلي أهم العوامل المناخية المتعلقة بحساب التبخر من خليج العقبة:

4.1- درجة حرارة الهواء

تعد درجة الحرارة من العناصر المناخية المؤثرة على نحو كبير في التبخر. يصل معدل درجات حرارة الهواء العظمى في خليج العقبة في أيام الصيف كما هو موضح في شكل 2 إلى حوالي 38.4 د. س وإلى 20° في شهر كانون ثاني. علما أن درجة الحرارة العظمى قد تصل في أشهر الصيف أكثر من 45 د. س في بعض الأحيان. ويزداد التبخر من الماء كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء لقدرة الهواء الساخن على حمل كميات كبيرة من بخار الماء مقارنة بدرجات الحرارة المنخفضة (أبو سمور والخطيب، 1999). ويبين شكل (2) الدورة السنوية لمتوسط درجة حرارة الهواء العظمى والصغرى لعام 2019.

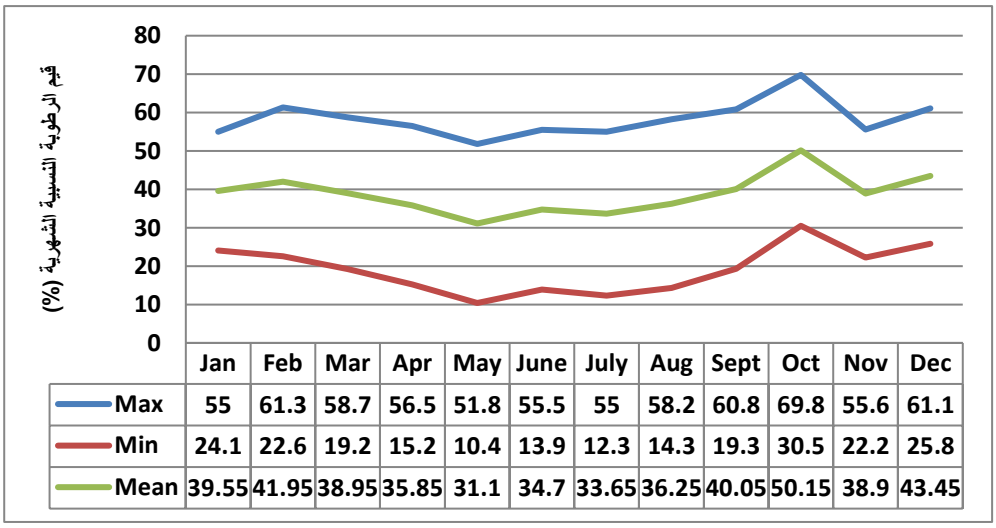


	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Max	20.4	21.8	23.1	27.7	35.2	37.7	38.4	37.7	35.6	32.2	27.7	22.1
Min	12.9	13.9	14.8	18.2	22.9	26.1	26.9	27.6	25.6	23.4	19.9	14.4
Mean	16.65	17.85	18.95	22.95	29.05	31.9	32.65	32.65	30.6	27.8	23.8	18.25

شكل 2. متوسط درجة حرارة الهواء (درجة سيلسيوس) (اللون الأخضر) وكل من متوسط درجة الحرارة العظمى (الأزرق) ومتوسط درجة الحرارة الصغرى (الأحمر) خلال أشهر السنة المختلفة لعام 2019. المصدر: برنامج المراقبة الوطني لخليج العقبة.

4.2- الرطوبة النسبية

تعرف الرطوبة النسبية أنّها النسبة بين ضغط بخار الماء الفعلي إلى ضغط بخار الماء الاشباعي. ويتم التعبير عنها عادة بنسبة مئوية، فعندما ترتفع الرطوبة النسبية في الجو يقل معدل التبخر في المسطحات المائية، أي أن ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو الناجم عن انخفاض درجة الحرارة ومع بقاء الظروف الأخرى ثابتة يقلل من معدلات التبخر. لذلك فإن كمية التبخر في الطقس البارد تكون محدودة مقارنة بتلك في الطقس الحار (أبو سمور والخطيب، 1999). وتصل القيمة العظمى لمعدلات الرطوبة النسبية في خليج العقبة أعلاها في شهر تشرين أول وبحدود 69.8%. ويوضح شكل 3 الدورة السنوية لمعدل الرطوبة النسبية فوق خليج العقبة.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Max	55	61.3	58.7	56.5	51.8	55.5	55	58.2	60.8	69.8	55.6	61.1
Min	24.1	22.6	19.2	15.2	10.4	13.9	12.3	14.3	19.3	30.5	22.2	25.8
Mean	39.55	41.95	38.95	35.85	31.1	34.7	33.65	36.25	40.05	50.15	38.9	43.45

شكل 3. معدل الرطوبة النسبية الشهرية (%) لخليج العقبة خلال أشهر عام 2019. المصدر: برنامج المراقبة الوطني لخليج العقبة.

4.3- سرعة الرياح Wind speed

تعد الرياح من العناصر الهامة في زيادة معدلات التبخر لقدرتها على تحرير جزيئات الماء وتحريكها ورفعها. تعمل الرياح على خلط بخار الماء الموجودة في طبقات الهواء الملامسة لسطح الماء مع طبقات الهواء الأعلى الأكثر جفافا مما يساعد في زيادة المياه المتبخرة. ومن الصعب جدا أن تجد في الطبيعة هدوءً تاما للهواء لذلك فان الرياح تؤثر في كميات المياه المتبخرة. يصل متوسط معدل سرعة الرياح الى 12 كم/ساعة.

4.4-الإشعاع الشمسي Solar radiation

الإشعاع الشمسي هو من أهم العوامل المؤثرة في التبخر على الإطلاق، فقد أثبتت العديد من التجارب التي أجريت على أهمية الدور الذي يقوم به هذا العامل الذي يفوق كثيرا الدور الذي يقوم به أي عامل آخر منفرد. وقد تبين من هذه التجارب وجود علاقة طردية قوية بين شدة الإشعاع الشمسي والتبخر. ويعتمد الإشعاع الشمسي على مدة سطوع الشمس وزاوية سقوط الأشعة الشمسية التي تتراوح في خليج العقبة عند الظهر ما بين 37.5 درجة في نهاية كانون الأول إلى حوالي 84 درجة في نهاية حزيران. ويبلغ المعدل اليومي للإشعاع الشمسي الواصل لخليج العقبة بحدود 22 ميجا جول م$^{-2}$، وعدد ساعات السطوع الشمسي ما بين 8 ساعات في الشتاء إلى ما يزيد عن 13 ساعة في شهر حزيران.

5- منهجية البحث

تم جمع **البيانات المكانية** من المصادر التالية:

1- مرئيات فضائية تم الحصول عليها من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) لكل شهر خلال عام 2019 (Worldwide Reference System Path 174, Worldwide Reference System Row 040).

2- بيانات مناخية من الجمعية العلمية الملكية لحماية البيئة البحرية (JREDS)، البرنامج الوطني لمراقبة خليج العقبة

3- برنامج Google Earth pro لتحديد حدود منطقة الدراسة.

ويوضح الجدول (1) الخصائص الطيفية للجزم المحمولة على القمر الصناعي Landsat8. وقد تم اتباع الخطوات التالية لتحقيق هدف الدراسة كما هو موضح في شكل 4.

شكل 4. آلية تقدير درجة الحرارة والتبخر في منطقة الدراسة.

الجدول (1). تواريخ أخذ المرئيات الفضائية.

تاريخ المرئية	وقت الالتقاط (GMT)	الدقة التمييزية(م)
2019/1/6	08:11:41	30
2019/2/11	08:11:39	30
2019/3/15	08:11:29	30
2019/4/16	08:11:21	30
2019/5/18	08:11:30	30
2019/6/19	08:11:44	30
2019/7/5	08:11:49	30
2019/8/6	08:11:59	30
2019/9/7	08:12:07	30
2019/10/9	08:12:16	30
2019/11/26	08:12:13	30
2019/12/28	08:12:08	30

4- اقتطاع منطقة الدراسة من جميع المرئيات لِـ Band 10 بالاعتماد على ملف (Shapefile) لمنطقة الدراسة.

5- تقدير درجة الحرارة السطحية

تم في هذه الدراسة استخدام النطاق 10 بطول موجي 10.60-11.19 µm، وبطول موجي فعال (effective wavelength) بحدود 10.91 مايكرون. وتم حساب درجة حرارة السطح باستخدام المعادلة التالية (Cristobal et al., 2018)

$L\lambda$ =0.000334201×DN-0.1 (1)

4- حساب درجة الحرارة على قمة الغلاف الجوي بالاعتماد على المعادلة الآتية:

$$Ts = \left(\frac{K2}{Ln\left(\frac{K1}{L\lambda}+1\right)}\right)-273.15 \quad (2)$$

وتم الحصول على الثوابت للمرئيات من الملف المرفق مع المرئيات (MTL) الخاص بالقمر الصناعي Landsat8 (أنظر: Oroud, 2021) في ما يتعلق بالثوابت المستخدمة في تقدير درجة الحرارة للسطح.

6- تم تقدير التبخر باستخدام معادلة دالتون،

$$E=0.096\ U\ (e_s- e_a) \quad (3)$$

حيث أن E التبخر اليومي (ملم)

U: سرعة الرياح (م/ث)

e_s: ضغط بخار الماء الإشباعي عند سطح البحر(مليبار)

e_a: ضغط بخار الماء في الهواء القريب من السطح (مليبار). وقد تم حساب ضغط بخار الماء الاشباعي على النحو التالي:

$$e_s = 6.1078e^{\left(\frac{17.269Ts}{237.3+Ts}\right)} \quad (4)$$

حيث أن درجة الحرارة بالسيلسيوس.

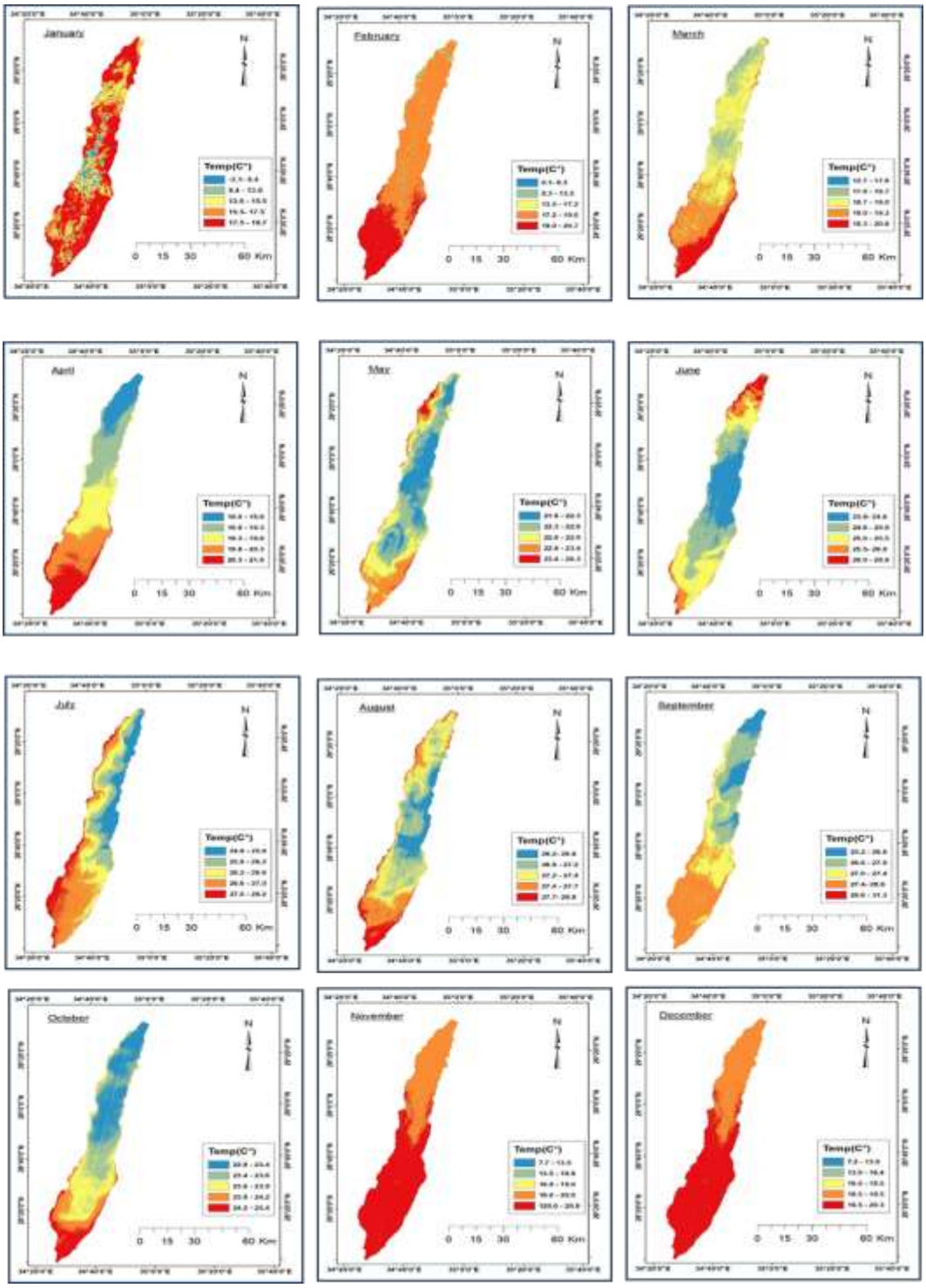
6- نتائج الدراسة

6.1- درجة الحرارة

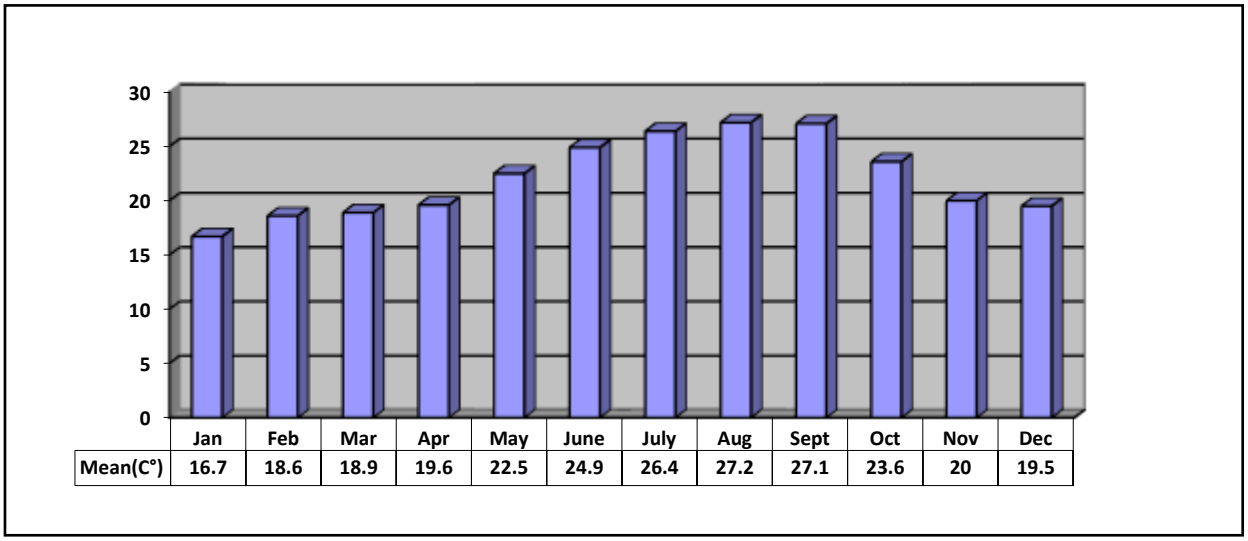
يتضح من شكل 5 ارتفاع درجة حرارة مياه الخليج الذي يعمل بدوره على زيادة معدلات التبخر. يوضح شكل 5 متوسط الحرارة الشهرية كما تم الحصول عليها من الخصائص الإحصائية للمرئيات الفضائية. ويتضح وجود ارتفاع في معدلات الحرارة على نحو عام في جميع الشهور، ويبلغ أقصى معدل في شهر آب، وأقل معدل في شهر كانون الثاني. ويلاحظ من خلال المرئيات وجود تدرج حراري ضمن خليج العقبة حيث تزداد درجة حرارة المياه

بالاتجاه جنوبا. وهذا يعود لعوامل مناخية حيث أن درجة الحرارة للهواء تزداد جنوبا لارتفاع كمية الاشعة الشمسية في الأجزاء الجنوبية مقارنة بالأجزاء الشمالية، خصوصا في الأشهر الباردة. كما أن المناطق الجنوبية أبعد عن تأثيرات الرياح الباردة القادمة من الشمال في الفصل البارد التي تتصاحب مع مرور المنخفضات الجوية التي تؤثر على شرق البحر المتوسط في الفصل البارد التي قد يطال تأثيرها المناطق الشمالية لخليج العقبة.

وتشير البيانات المرصودة من برنامج المراقبة الوطني لخليج العقبة أن معدل درجة حرارة سطح خليج العقبة في كانون الثاني تبلغ حوالي 17.2 درجة سيلسيوس وفي شهر آب حوالي 27.5 درجة سيلسيوس في عام 2019. وتتوافق هذه النتائج مع ما تم الحصول عليه من خلال المرئيات الفضائية.



شكل 5. التوزيع المكاني لدرجة الحرارة في خليج العقبة خلال أشهر السنة لعام 2019.



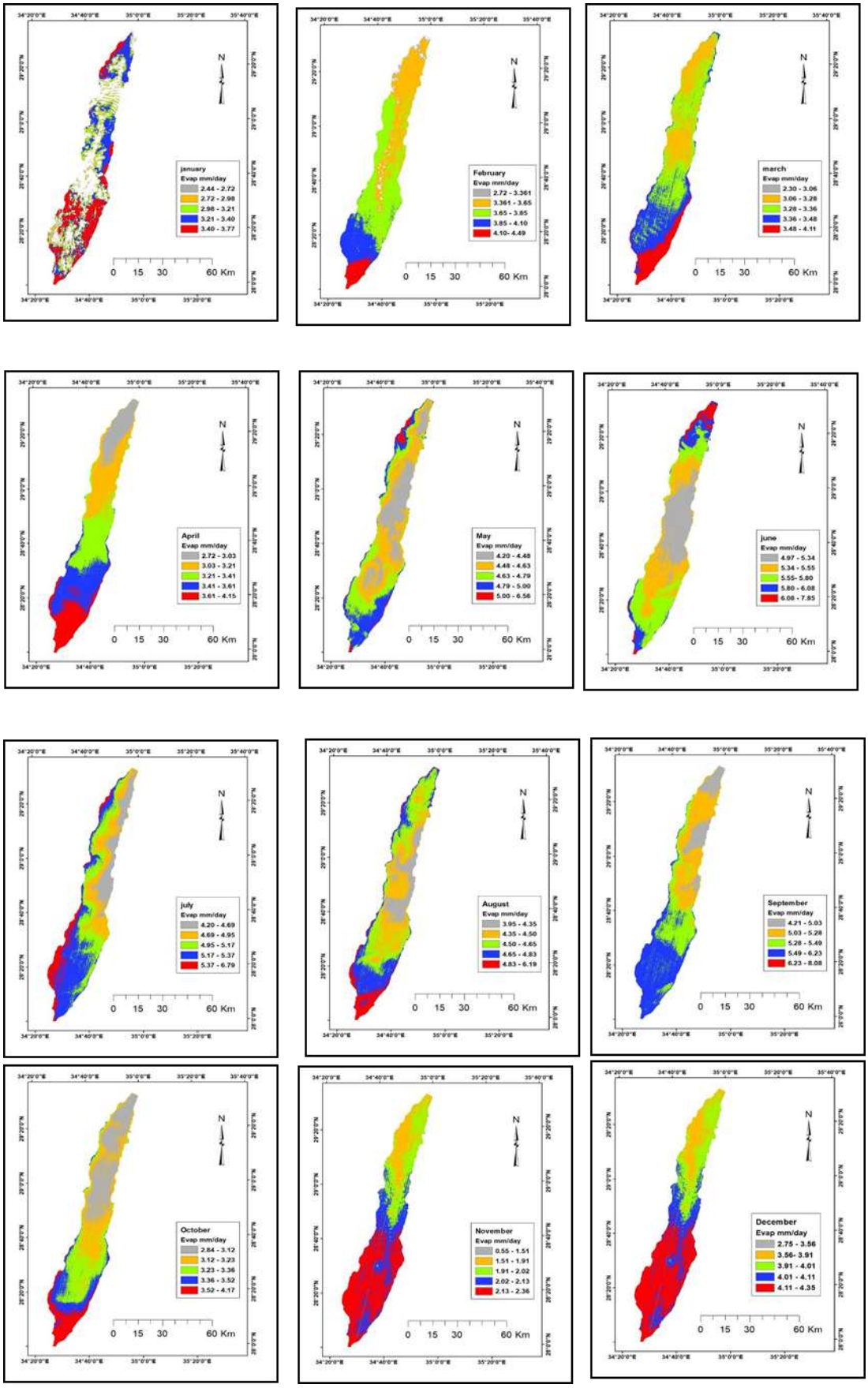
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Mean(C°)	16.7	18.6	18.9	19.6	22.5	24.9	26.4	27.2	27.1	23.6	20	19.5

شكل 6. معدل درجات الحرارة الشهري (درجة سيلسيوس) لعام 2019 كما تم حسابها من المرئيات الفضائية. القيم الشهرية موضحة مقابل كل شهر على محور الصاد.

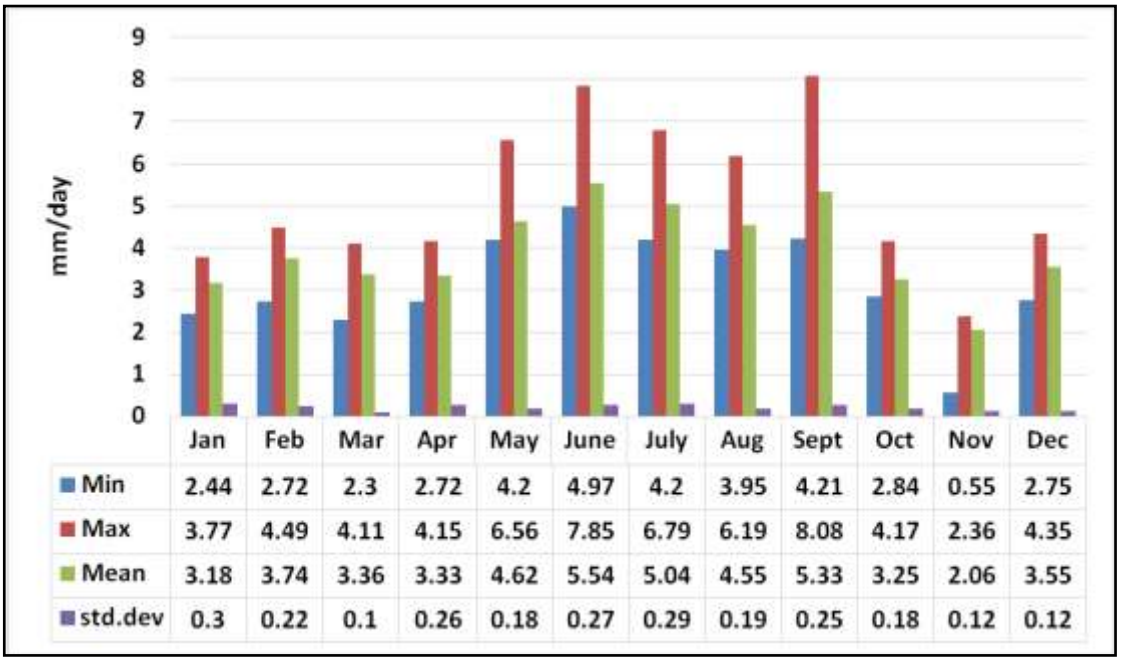
6.2- تقدير التبخر

تم تقدير التبخر بالاعتماد على بيانات المرئيات الفضائية والمعلومات المناخية من الجمعية العلمية الملكية لحماية البيئة البحرية. وقد تم استثناء المناطق المغطاة بالغيوم حيث تم إجراء عملية إزالة (Mask out) للمناطق البارد التي لا تتوافق درجة حرارتها مع درجة حرارة ماء الخليج خلال الأشهر المختلفة. ويوضح الشكل 7 نتائج التبخر لخليج العقبة لعام 2019.

يتضح من التوزيع الشهري للتبخر (شكل 7) وجود تباين في قيم التبخر اليومي في خليج العقبة، كما نلاحظ تركز معظم المعدلات المرتفعة للتبخر في الجنوب والجنوب الغربي من الخليج. وتتوافق قيم التبخر الشهري مع معدلات درجة الحرارة المسترجعة من المرئيات الحرارية. ويوضح شكل 8 القيم العليا والدنيا والمتوسط العام والانحراف المعياري للتبخر لكل شهر بالسنة. وترتفع قيم التبخر في أشهر الصيف لارتفاع درجة حرارة سطح الماء إذ أن قدرة الهواء على حمل بخار الماء تتناسب بصورة غير خطية مع ارتفاع درجة الحرارة. كما أن الرطوبة النسبية تنخفض خلال أشهر الصيف مما يعزز من ارتفاع الفروق في العجز الاشباعي على سطح الطبقة الحدية الفاصلة بين سطح الماء والغلاف الجوي القريب (vapor pressure deficit across the surface- atmosphere boundary).



شكل 7. التوزيع المكاني للتبخر ضمن خليج العقبة خلال أشهر السنة لعام 2019.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Min	2.44	2.72	2.3	2.72	4.2	4.97	4.2	3.95	4.21	2.84	0.55	2.75
Max	3.77	4.49	4.11	4.15	6.56	7.85	6.79	6.19	8.08	4.17	2.36	4.35
Mean	3.18	3.74	3.36	3.33	4.62	5.54	5.04	4.55	5.33	3.25	2.06	3.55
std.dev	0.3	0.22	0.1	0.26	0.18	0.27	0.29	0.19	0.25	0.18	0.12	0.12

شكل 8. القيم العليا والصغرى والمتوسط العام والانحراف المعياري للتبخر اليومي في خليج العقبة خلال أشهر السنة للعام 2019 كما تم الحصول عليها من الخصائص الإحصائية للتبخر من المرئيات التي تم معالجتها.

ترتفع معدلات التبخر في معظم الشهور خلال العام، غير أنه يلاحظ الارتفاع الواضح في أشهر الصيف للفترة الممتدة بين أيار وأيلول. ويبلغ أقصى متوسط معدل تبخر لهذه الشهور 5.54ملم/يوم في شهر حزيران.

7- المناقشة والخاتمة

تم من خلال المرئيات الحرارية استخلاص الدورة السنوية لدرجة حرارة مياه خليج العقبة لسنة 2019. ويتضح من المرئيات الحرارية أن أقصى معدل درجة الحرارة للخليج قد حدث في شهر آب حيث وصل معدل درجة الحرارة السطحية حوالي 27.8 درجة سيلسيوس بينما كان أدنى معدل لحرارة مياه الخليج في شهر كانون الثاني وبلغت حوالي 16.7 درجة سيلسيوس. ويتأخر عادة وصول درجة الحرارة العظمى للبحار والمحيطات حوالي شهرين عن اليابس. إذ على سبيل المثال يصل الاشعاع الشمسي قمته في شهر حزيران بينما يبلغ أعلى معدل سنوي لدرجة الحرارة على اليابس في شهر تموز وبداية آب نتيجة خزن الحرارة الذي يتم في الطبقات تحت السطحية. أما للبحار المفتوحة، فإن درجة الحرارة للطبقة المائية السطحية فتصل أعلى قيمها بعد ثلاثة أشهر من قمة الإشعاع الشمسي الواصل للسطح، أي في شهر أيلول. وبالنسبة لخليج ضيق مثل خليج العقبة ولبطء تبادل الماء مع البحار المفتوحة يصل المعدل السنوي لدرجة الحرارة في نهاية شهر آب، أي يتأخر حوالي شهرين عن قمة الاشعاع الشمسي. ويتبع التبخر من خليج العقبة الدورة السنوية لدرجة حرارة الماء. ولكون طريقة دالتون تعتمد على الفرق في ضغط بخار الماء الاشباعي بين السطح والهواء المجاور، فإن التبخر يتبع إلى حد كبير الدورة السنوية لدرجة الحرارة، كما يتأثر على نحو مباشر في الدورة السنوية لسرعة الرياح.

ويسهم كل من ارتفاع معدلات التبخر مقرونا ببطء تبادل الماء مع البحار المفتوحة بسبب الامتداد الجانبي للخليج وقلة المياه العذبة سواء كانت من مياه الأمطار أو الجريان السطحي في ارتفاع ملوحة خليج العقبة التي تبلغ 40غم/كغم مقارنة بالبحار المفتوحة التي تبلغ ملوحتها 35غم/كغم.

المصادروالمراجع

أبو سمور، ح.، والخطيب، ح. (1999). *جغرافية الموارد المائية*. (ط1). عمان: دار صفا للنشر والتوزيع.

الجوازنة، ص. (2018). *تقدير التبخر من البحر الميت باستخدام الاستشعار عن بعد وأنظمة المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة*، جامعة مؤتة، الكرك.

الجمعية العلمية الملكية لحماية البيئة البحرية (JREDS)، بيانات غير منشورة.

العرود، إ. (2002). *مبادئ الجغرافيا الطبيعية*. عمان: دار الشروق.

References

Ahmed, A. (1999). Estimation of Lake Evaporation Using Meteorological Data and Remote Sensing: A Case Study of Lake Naivasha, Cental Rift Valley Kenya. ITC.

Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *133*(4), 380-394.

Al-Subhi, A. M. (2012). Estimation of evaporation rates in the southern Red Sea based on the AVHRR sea surface temperature data. *J King Abdulaziz Univ Mar Sci*, *23*(1), 77-89.

Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, *212*, 198-212.

Bras, R. L. (1990). Hydrology: an introduction to hydrologic science. *(No Title)*.

Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the Atmospheric*. Netherland: Reidel Publishing Company.

Cristobal, J., Jimenez-Munoz, J., Prakash, A., Mattar, C., Skokovic, D., & Sobrino, J. (2018). An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the Landsat-8 thermal band. *Remote Sensing*, 10, 431. https://doi.org/10.3390/rs10030431.

Curran, P. J. (1988). *Principles of Remote Sensing*. Longman Group Ltd.

Dembélé, M., Ceperley, N., Zwart, S. J., Salvadore, E., Mariethoz, G., & Schaefli, B. (2020). Potential of satellite and reanalysis evaporation datasets for hydrological modelling under various model calibration strategies. *Advances in Water Resources*, *143*, 103667. https://doi.org/10.1016/j. advwatres.2020.103667

Evans, R., Hulbert, S., Murrihy, E., Bastiaanssen, W. M. R., & Molloy, R. (2009). Using satellite imagery to measure evaporation from storages–solving the great unknown in water accounting. In *Irrigation and Drainage Conference*.

Faysash, D., & Smith, E., (1999). Simultaneous land surface temperature-emissivity retrieval in the infrared split window. *Journal of Atmosphere and Ocean Technology*, 16, 1673–1689.

Foken, T., & Foken, T. (2017). Modeling of the Energy and Matter Exchange. *Micrometeorology*, 207-243. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74666-9_5

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristobal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, *11*(10), 1840-1843. https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2312032

Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of geophysical research: atmospheres*, *108*(D22). https://doi.org/10.1029/2003JD003480

Jimenez-Munoz, J.C., Cristobal, J., Sobrino, J.A., Soria, G., Ninyerola, M., & Pons, X. (2009). Revision of the single channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data, EEE trans. *Geoscience Remote Sensing*, 47, 339–349.

Käfer, P. S., Rolim, S. B. A., Iglesias, M. L., da Rocha, N. S., & Diaz, L. R. (2019). Land surface temperature retrieval by LANDSAT 8 thermal band: applications of laboratory and field measurements. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *12*(7), 2332-2341. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2913822

Kustas, W., & Anderson, M. (2009). Advances in thermal infrared remote sensing for land suruface modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 2071–2081.

Melesse, A. M., Abtew, W., & Dessalegne, T. (2009). Evaporation estimation of Rift Valley Lakes: comparison of models. *Sensors*, *9*(12), 9603-9615. https://doi.org/10.3390/s91209603

Oroud, I. M. (2001a). A new formulation of evaporation temperature dynamics of saline solutions. *Water Resources Research*, 37, 2513–2520.

Oroud, I. M. (2001). Dynamics of evaporation from saline water bodies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *106*(D5), 4695-4701.

Oroud, I. M. (2019). Evaporites: Relative humidity control of primary mineral facies revisited. *Hydrological Processes*, 33, 395-404. https://doi.org/10.1002/hyp.13334

Oroud, I. M. (2019b). The annual surface temperature patterns across the Dead Sea as retrieved from thermal images. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 695.

Oroud, I. M. (2019c) The utility of thermal satellite images and land-based meteorology to estimate evaporation from large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 45(4), 703-714. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.05.004

Oroud, I. M. (2020). Spatial and temporal surface temperature patterns across the Dead Sea as investigated from thermal images and thermodynamic concepts. *Theoretical and Applied Climatology*, *142*(1-2), 569-579. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03343-9

Oroud, I. M., & Balling Jr, R. C. (2021). The utility of combining optical and thermal images in monitoring agricultural drought in semiarid Mediterranean environments. *Journal of Arid Environments*, *189*, 104499. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104499

Oroud, I. M. (2022). Derivation of spatially distributed thermal comfort levels in Jordan as investigated from remote sensing, GIS tools, and computational methods. *Theoretical and Applied Climatology*, *148*(1-2), 569-583. http://dx.doi.org/10.1007/s00704-022-03951-7

Qin, Z., Karnieli, A., & Berliner, P. (2001) A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3729–3746.

Salisbury, J. W., & D'Aria, D. M. (1992). Emissivity of terrestrial materials in the 8–14 μm atmospheric window. *Remote sensing of Environment*, *42*(2), 83-106.

Torbick, N., Ziniti, B., Wu, S., & Linder, E. (2016). Spatiotemporal lake skin summer temperature trends in the Northeast United States. *Earth Interactions*, *20*(25), 1-21.

Wang, F., Qin, Z., Song, C., Tu, L., Karnieli, A., Zhao, S. (2015) An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote Sensing*, 7, 4268–4289. https://doi.org/10.3390/rs70404268

Yang, J., Duan, S. B., Zhang, X., Wu, P., Huang, C., Leng, P., & Gao, M. (2020). Evaluation of seven atmospheric profiles from reanalysis and satellite-derived products: Implication for single-channel land surface temperature retrieval. *Remote Sensing*, *12*(5), 791. https://doi.org/10.3390/rs12050791

Yu, X., Guo, X., & Wu, Z. (2014). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing*, 6, 9829–9852. https://doi.org/10.3390/rs6109829