

Evaluation of Sea Surface Temperature Derived from Landsat TIRS Imagery - A case Study in the Syrian Coastal Waters of Baniyas City

Dr. Assem Khatib*
Dr. Badr Al-Araj**
Zeina Salhab***

(Received 14 / 12 / 2023. Accepted 21 / 5 /2024)

□ ABSTRACT □

This research aims to evaluate the accuracy of SST derived from thermal Landsat TIRS imagery by conducting field measurements and comparing them with images of SST. In this work, we carried out a sea voyage to measure SST at 22 in the Syrian coastal waters of Baniyas city. After that, we compared measurements with SST values extracted from thermal images using three techniques in geographic information systems. The research results show a strong correlation between the sea surface temperature values measured in the field and those derived from thermal images, as the correlation coefficient values ranged between (0.87-0.89). Our results indicate that SST measurements derived from Landsat TIRS imagery can be used directly in marine and environmental applications that require measurements with a permissible RMS error of 0.9°C.

Keywords: Sea surface temperature, thermal images, Landsat, remote sensing, geographic information system, marine research, environmental research.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: assem.khatib@tishreen.edu.sy

**Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: badr.alaaraj59@gmail.com

***Master Student, Department of Marine physics, High Institute of Marine Research, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: zvnhsalhab@gmail.com

تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور المستشعر الحراري المحمول على متن الأقمار الصناعية لاندسات - حالة دراسية في المياه الشاطئية السورية المقابلة لمدينة بانياس

د. عاصم خطيب*

د. بدر الأعرج**

زينه سلهب***

(تاريخ الإيداع 14 / 12 / 2023. قُبِلَ للنشر في 21 / 5 / 2024)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور المستشعر الحراري لأقمار لاندسات وذلك من خلال إجراء قياسات ميدانية ومقارنتها مع القياسات المشتقة من هذه الصور. لتحقيق هذا الهدف تم القيام برحلة بحرية وأخذ قياسات لدرجة حرارة مياه البحر السطحية في 22 موقع في المياه الشاطئية المقابلة لمدينة بانياس في محافظة طرطوس. أظهرت نتائج البحث وجود ارتباط قوي بين قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً والمشتقة من الصور الحرارية حيث تراوحت قيم معامل الارتباط بين (0.87-0.89). كشفت دراسة أخطاء القياسات عن وجود أخطاء نظامية بحدود 0.85°C في درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية. تشير نتائج البحث إلى إمكانية الاستخدام المباشر لقياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور المستشعر الحراري المحمول على متن أقمار لاندسات في التطبيقات البحرية والبيئية التي تتطلب قياسات يكون خطأ جذر متوسط التريبع المسموح فيها بحدود 0.9°C .

الكلمات المفتاحية: درجة حرارة مياه البحر السطحية، الصور الحرارية، لاندسات، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، بحوث بحرية، بحوث بيئية.

مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



حقوق النشر

CC BY-NC-SA 04

*مدرّس، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. assem.khatib@tishreen.edu.sy

**أستاذ، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. badr.alaaraj59@gmail.com

***طالبة ماجستير، قسم الفيزياء البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

zynhslhab@gmail.com

مقدمة:

تعتبر درجة حرارة مياه البحر السطحية أحد البارامترات الجيوفيزيائية الأساسية المستخدمة في الدراسات والبحوث البحرية والبيئية المختلفة. فقد تم استخدامه هذا البارامتر في دراسة تأثير العوامل الهيدروكيميائية على محتوى الرسوبيات البحرية من العناصر المعدنية (Laika & Ghadeer, 2022)، دراسة سلوك المغذيات المنحلة عند مصبات الأنهار (Krawi et al., 2018)، والنمذجة الهيدروديناميكية في البحيرات (Allan et al., 2016). كما تم استخدامه بشكل واسع في الكشف عن مناطق التسرب النفطي (Xing et al., 2015)، تقييم صلاحية مياه البحيرات للشرب (Sabbouh, 2020)، وتقييم جودة المياه (Jafar, 2022; Tu et al., 2018). تم استخدام هذا البارامتر أيضاً في تطبيقات بيئية ومناخية متنوعة مثل التقدير الكمي للتلوث الحراري الناتج عن تصريف محطات الطاقة الساحلية (Lin et al., 2021)، التلوث الحراري في الأنهار والناجم عن إقامة السدود (Ling et al., 2017)، دراسة الموائل المخربة والمهددة (Ibrahim et al., 2023)، دراسة التغير المناخي (Merchant et al., 2012)، من بين عديد التطبيقات الأخرى.

تعتمد الطرائق التقليدية في قياس درجة حرارة مياه البحر السطحية على استخدام مستشعرات حرارية توضع على متن القوارب والسفن والعوامات. وبالرغم من دقتها الكبيرة في قياس درجة حرارة مياه البحر السطحية إلا أن هذه الطرائق تعاني من بعض القيود المتمثلة في صعوبة الحصول على بيانات مستمرة وممتدة على مساحات شاسعة وبتواتر زمني مناسب. في العقود الخمسة الأخيرة، ومع النمو السريع لتكنولوجيا الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وتقنيات معالجة الصور الرقمية، أصبح من الممكن التغلب على القيود المتعلقة باستخدام الطرائق التقليدية من خلال استخدام المسح الحراري (Amani et al., 2022).

تسمح أنظمة التصوير بالأشعة تحت الحمراء القريبة المحمولة على متن الأقمار الصناعية بالحصول على قياسات مستمرة ومنتظمة، وعلى كافة مقاييس التغطية المكانية، لدرجة حرارة مياه البحر السطحية. يوجد اليوم عدد كبير من الأقمار الصناعية التي تحمل مستشعرات حرارية يمكن من خلالها اشتقاق درجة حرارة مياه البحر السطحية على كافة مستويات التغطية المكانية العالمية والإقليمية والمحلية. إن وجود أرشيف ممتد منذ عام 1984م للصور الحرارية مفتوحة المصدر، المأخوذة من مستشعرات سلسلة أقمار لاندسات ذات التغطية الزمانية والمكانية المناسبة لمراقبة المياه الشاطئية، والمعالجة هندسياً ورايومترياً، وإمكانية اشتقاق درجة حرارة مياه البحر السطحية منها يسمح باستخدام هذه الصور في رصد بعض الظواهر البحرية المحلية وفي عديد تطبيقات البحوث البحرية في سورية. إن البحث عن إمكانيات استخدام قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية في تطبيقات البحرية المختلفة يتطلب معرفة جيدة بدقة القياسات من هذه الصور، وهذا ما شكّل الدافع لدينا لإجراء هذا البحث.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في تحديد إمكانية استخدام الصور الحرارية المأخوذة من مستشعرات أقمار لاندسات في تطبيقات البحوث البحرية في سورية. يهدف هذا البحث إلى تحديد مدى ارتباط قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور لاندسات الحرارية والمقاسة ميدانياً وتقييم الأخطاء الناتجة.

طرائق البحث ومواده:**1. التخطيط لمسار الرحلة البحرية وأخذ القياسات الميدانية:**

تقع منطقة الدراسة في المياه الشاطئية السورية المقابلة لمدينة بانياس في محافظ طرطوس بين ميناء بانياس والمحطة الحرارية لتوليد الكهرباء. تعتبر هذه المنطقة مناسبة للدراسة حيث تتباين فيها درجات الحرارة نتيجة تشغيل المحطة الحرارية. تم التخطيط لأخذ قياسات ميدانية حسب زمن مرور الأقمار الصناعية لاندسات وحسب ظروف الطقس (الغيوم واتجاه الرياح) لضمان عدم وجود سحب فوق منطقة الدراسة، الأمر الذي يقيد الحصول على صور مناسبة للتحليل. تم تحديد أوقات عبور الأقمار الصناعية فوق منطقة الدراسة من خلال تحليل مواعيد الصور السابقة حيث يصور المستشعر الخاص بكل قمر نفس المشهد في نفس التوقيت المحلي كل 16 يوم، وتمت مراقبة الطقس لتحديد الوقت الأمثل الذي يجب إجراء القياسات فيه. تم رسم مسار تقريبي للرحلة البحرية على برنامج Google Earth Pro، وتم تحديد البعد بين كل موقعي قياس حوالي 500م وذلك على مسارين موازيين لخط الشاطئ بتباعد 500م مع تكثيف القياسات بالقرب من المحطة. يوضح الشكل (1) مسار الرحلة البحرية ومواقع القياس.



الشكل (1): مسار الرحلة البحرية (بالخط الأزرق) ومواقع القياس (الدوائر الحمراء)

تم أخذ القياسات بتاريخ 4/10/2023 حيث كانت السماء فوق المحطة خالية من الغيوم والرياح غربية إلى شمالية غربية بين الخفيفة والمعتدلة والسرعة، والبحر خفيف ارتفاع الموج. تم تأمين القارب من ميناء بانياس، وأخذت القياسات في 22 موقع بين الساعة العاشرة والساعة الثانية عشرة ظهراً بمسار طوله حوالي 8 كم. في كل موقع تم تحديد الإحداثيات باستخدام قياسات GPS وتم قياس درجة حرارة مياه البحر السطحية باستخدام قانسي حرارة المياه المذكورين أدناه والذين تم تأمينهما من المعهد العالي للبحوث البحرية:

(1) القانسي MI 306 EC/TDS Meter.

(2) القانسي TPI 390a Handheld TDS/Salt Meter.

تم استخدام قانسين من قبل شخصين مختلفين لضمان عدم ظهور أخطاء شخصية في قراءة القياسات.

2. تحميل الصور الحرارية المأخوذة من المستشعر الحراري لأقمار لاندسات.

يسمح المستشعر الحراري (Thermal Infrared Sensor (TIRS) الموجود على متن الأقمار الصناعية لاندسات-8 (أطلق في شهر شباط من عام 2013م) ولاندسات-9 (أطلق في شهر أيلول من عام 2021م) بالحصول على صور حرارية ضمن نطاقين من الأشعة تحت الحمراء الحرارية (10.6 – 11.2 μm) و (11.5–12.5 μm)، بدقة تمييزية مكانية (Spatial Resolution) قدره 100م وقد تم إعادة تشكيله (Resampling) ليصبح بعد المعالجة 30م. تعمل أقمار لاندسات-8 ولاندسات-9 في مدارات متزامنة مع الشمس بدقة تمييزية زمنية تبلغ 16 يوم لكل قمر. تم تطوير خوارزميات عديدة لاشتقاق درجة حرارة مياه البحر السطحية من الصور المأخوذة ضمن نطاق الأشعة الحرارية (10.6 – 11.2 μm)، وأهمها خوارزمية القناة الواحدة (Single Channel Algorithm) التي تم إنشاؤها بشكل مشترك من قبل باحثين في معهد روشيستر للتكنولوجيا (RIT) ومختبر الدفع النفاث التابع للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) لاشتقاق درجة حرارة مياه البحر السطحية من صور لاندسات (USGS, 2021). تتضمن خوارزمية القناة الواحدة ثلاث خطوات: (1) تصحيح الإشعاع الحراري من تأثيرات الغلاف الجوي بالاعتماد على نموذج النقل الإشعاعي (radiative transfer model)، (2) تصحيح الإشعاع الحراري حسب انبعاثية مواد سطح الأرض اعتماداً على بيانات الانبعاثية من مجموعة بيانات القمر ASTER (ASTER Global Emissivity Dataset v3)، (3) اشتقاق درجة الحرارة من الإشعاع المصحح باستخدام المعادلة (Malakar et al., 2018):

$$T_s = \frac{c_2}{\lambda_c \ln\left(1 + \frac{c_1 \lambda_c^{-5}}{L_s}\right)}$$

حيث:

c_1 و c_2 - عبارة عن ثوابت،

λ_c - القيمة المركزية لنطاق الطول الموجي،

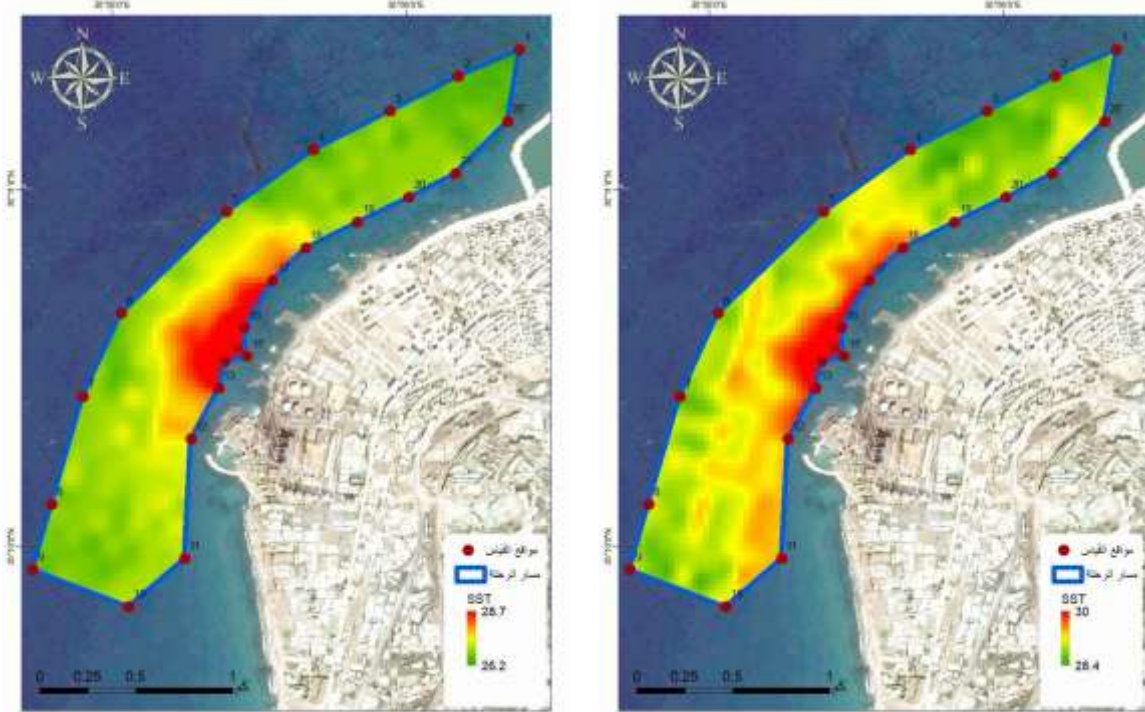
L_s - الإشعاع الحراري المنبعث من السطح ويُحسب من خلال بارامترات الغلاف الجوي والانبعاثية.

تم تحميل صورتين حراريتين خاليتين من الغيوم لمنطقة الدراسة، معالجتين هندسياً إلى المسقط UTM منطقة Zone_37N والإهليلج WGS84، ومصححتين من تأثيرات الغلاف الجوي، وذلك من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS وهذه الصور مجانية:

- الصورة الأولى: مأخوذة من مستشعر القمر لاندسات-8 بتاريخ 4/10/2023، وقت مسح الصورة حوالي الساعة 11:10 ظهراً بتوقيت دمشق.
- الصورة الثانية: مأخوذة من مستشعر القمر لاندسات-9 بتاريخ 12/10/2023، وقت مسح الصورة حوالي الساعة 11:10 ظهراً بتوقيت دمشق.

إن أخذ صورتين بفارق أسبوع تقريباً وفي نفس التوقيت من النهار يسمح بافتراض وجود تغيرات متجانسة فقط في درجة حرارة مياه البحر السطحية في مواقع القياس. أي أن الفرق في درجة حرارة مياه البحر السطحية عند مواقع القياس يُفترض أن يكون ثابتاً خلال هذا الأسبوع. وهذا يسمح بأخذ القياسات في تاريخ واحد وتقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية في كلا التاريخين. في تاريخ 12/10/2023 كانت الرياح أيضاً شمالية غربية والبحر خفيف ارتفاع الموج.

تم معالجة الصور الحرارية من المستوى الثاني (Level-2) وتحويل قيم درجات الحرارة من واحدة الكلفن إلى واحدة الدرجة المئوية الصور الحرارية المستخدمة باستخدام نظام المعلومات الجغرافية GIS (ArcGIS Desktop 10.8). يُظهر الشكل (2) جزء مقتطع من الصور الحرارية لمستشعرات قمري لاندسات-8 ولاندسات-9 في منطقة الدراسة.



الشكل (2): الصور الحرارية المقتطعة في منطقة الدراسة: (أ) صورة حرارية من مستشعر قمر لاندسات-8، (ب) صورة حرارية من مستشعر قمر لاندسات-9
3. حساب قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية من الصور الحرارية في مواقع القياس:

تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية GIS (ArcGIS Desktop 10.8) لحساب درجة حرارة مياه البحر السطحية من الصور الحرارية في كلا التاريخين عند جميع مواقع القياس وذلك باستخدام ثلاث تقنيات (Jensen, 2015):

- الجار الأقرب (Nearest neighbor): قيمة درجة حرارة مياه البحر السطحية عند موقع القياس تعتبر مساوية لقيمة أقرب بكسل إلى موقع القياس في الصور الحرارية.

- الاستكمال الخطي الثنائي (Bilinear Interpolation): درجة حرارة مياه البحر السطحية عند موقع القياس تعتبر مساوية للقيمة المتوسطة لقيم أقرب 4 بكسلات إلى موقع القياس في الصورة الحرارية.

- الطي التكعيبي (Cubic Convolution): درجة حرارة مياه البحر السطحية عند موقع القياس تعتبر مساوية للقيمة المتوسطة لقيم أقرب 16 بكسل إلى موقع القياس في الصورة الحرارية.

قد تظهر على الصور الحرارية أخطاء عشوائية في قيم درجة الحرارة في بعض البكسلات المنفردة وهذا ما يُعرف بضجيج الصور (Image noise). إن استخدام الثلاث تقنيات السابقة يسمح بالكشف عن مثل هذه الأخطاء، حيث أن وجود فروق كبيرة في قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية في مواقع القياس عند استخدام الثلاث تقنيات السابقة هو نتيجة لوجود مثل هذه الأخطاء.

4. معالجة النتائج:

تم حساب معامل الارتباط ورسم شكل الانحدار بين قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً باستخدام قائسي حرارة المياه MI-306 و TPI-390a باستخدام برنامج (Microsoft Excel). كما تم حساب معامل الارتباط بين قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً والمشتقة من الصور الحرارية باستخدام التقنيات الثلاثة في كلا التاريخين، وتم حساب خطأ جذر متوسط التربيع ((Root Mean Square Error (RMSE) الذي يعبر عن الخطأ الكلي، والخطأ المتوسط ((Mean Error (ME)، الذي يعبر عن الأخطاء النظامية (Vanhellemont, 2020) وفق المعادلات:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(SST(Rs_imagery)_i - SST(In_situ)_i)^2}{n}}$$

$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{SST(Rs_imagery)_i - SST(In_situ)_i}{n}$$

حيث:

- $SST(Rs_imagery)$ - قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية المُستشعرة عن بعد،
- $SST(In_situ)$ - قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً،
- n - عدد القياسات.

لحساب وتقييم الأخطاء في النتائج ينبغي أن تكون درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية (صورة لاندسات-8 وصورة لاندسات-9) متجانسة. لتحقيق هذا الهدف تم إعادة حساب قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صورة لاندسات-9 وفق المعادلات:

$$SST'(Rs_imagery_{L9})_i = SST(Rs_imagery_{L8})_i + \Delta$$

علماً أن:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \frac{SST(Rs_imagery_{L8})_i - SST(Rs_imagery_{L9})_i}{n}$$

حيث:

- $SST(Rs_imagery_{L8})$ ، $SST(Rs_imagery_{L9})$ - قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صورتين لاندسات-8 ولاندسات-9 على التوالي.
- Δ - متوسط الفروقات في درجات حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصورتين عند مواقع القياس،
- n - عدد مواقع القياس.

النتائج والمناقشة:

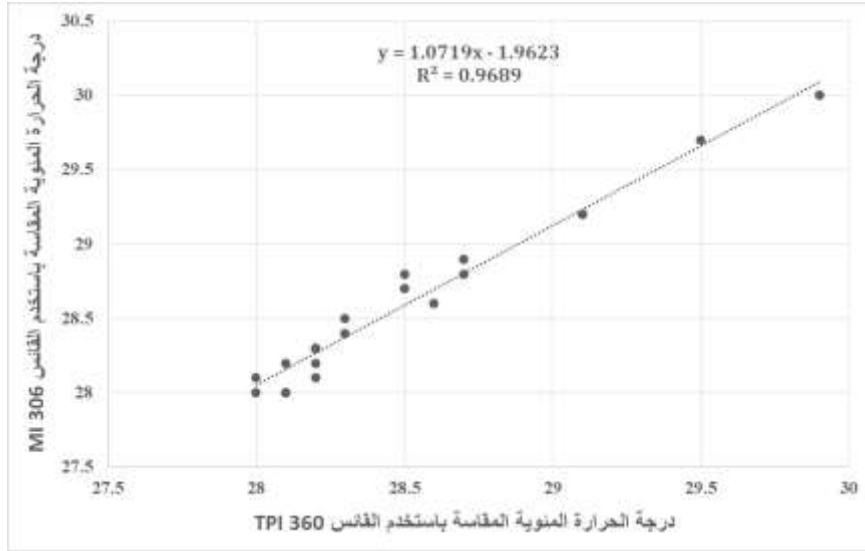
1. القياسات الميدانية:

نتائج القياسات الميدانية تظهر في الجدول (1). تراوحت قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية بين (28-30°C). نلاحظ أن الفروقات في قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة باستخدام القائسين لم تتجاوز 0.3°C مما يشير إلى عدم وجود أخطاء شخصية.

الجدول (1): القياسات الميدانية

رقم القياس	خط العرض (بالدرجات)	خط الطول (بالدرجات)	الفرق (°C)	درجة الحرارة باستخدام القانس MI-306 (°C)	درجة الحرارة باستخدام القانس TPI-390a (°C)
1	35.19055	35.93983	0.1	28.3	28.2
2	35.18924	35.93641	0.1	28.3	28.2
3	35.18751	35.9326	-0.1	28	28.1
4	35.18558	35.9283	0	28.2	28.2
5	35.18258	35.92349	0.2	28.5	28.3
6	35.17771	35.91772	0.1	28.4	28.3
7	35.17374	35.91567	-0.1	28.1	28.2
8	35.16869	35.91407	-0.1	28	28.1
9	35.16561	35.91313	0.1	28.1	28
10	35.16405	35.91867	0	28	28
11	35.16636	35.92171	0.1	28.3	28.2
12	35.17193	35.92187	0.1	28.3	28.2
13	35.17434	35.92335	0.2	28.9	28.7
14	35.17562	35.92367	0.1	29.2	29.1
15	35.17588	35.92488	0.2	29.7	29.5
16	35.17719	35.9247	0.1	30	29.9
17	35.17944	35.92622	0.1	29.2	29.1
18	35.181	35.92803	0.2	28.7	28.5
19	35.1823	35.93094	0.1	28.8	28.7
20	35.18352	35.9338	0	28.6	28.6
21	35.18469	35.93642	0.1	28.2	28.1
22	35.18719	35.93929	0.3	28.8	28.5

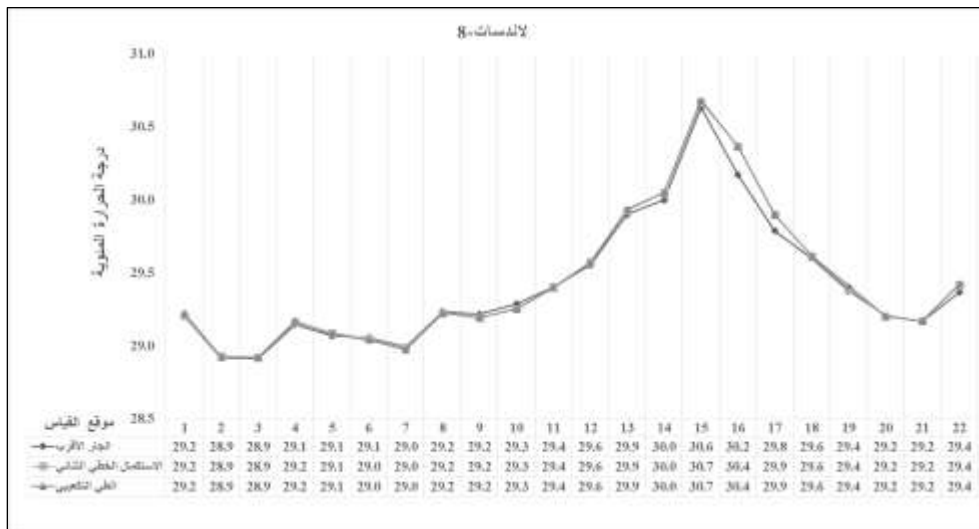
تُظهر نتائج قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة باستخدام القانسين وجود ارتباط خطي (الشكل 3). بلغت قيمة معامل التحديد (Coefficient of determination) بين قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة باستخدام القانسين 0.97 مما يشير إلى ارتباط شبه تام وموثوقية كبيرة في نتائج القياسات الميدانية.



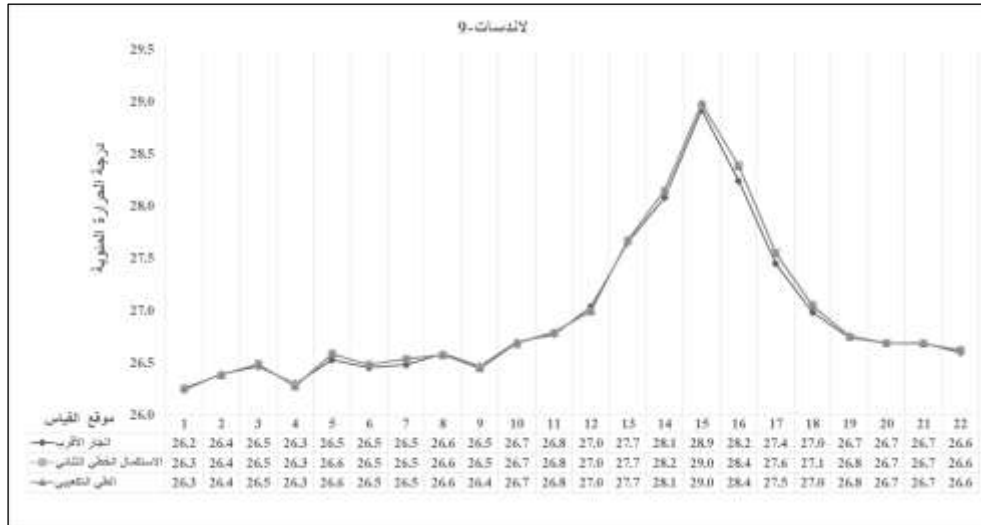
الشكل (3): ارتباط قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة باستخدام القاسين

2. درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية في مواقع القياس:

يُظهر الشكلان (4-أ) و(4-ب) درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور المستشعر الحراري المحمول على متن الأقمار الصناعية لاندسات-8 ولاندسات-9 باستخدام التقنيات الثلاثة في مواقع القياس. نلاحظ أن الفرق في قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية باستخدام التقنيات الثلاثة لم يتجاوز 0.2°C مما يشير إلى عدم وجود أخطاء عشوائية على الصور الحرارية في مواقع القياس. تشير النتائج في التاريخ الأول إلى أن الصور الحرارية تُظهر مياه البحر السطحية أدفاً مما هي عليه في الواقع وهذا يتطلب حساب الأخطاء النظامية.



(i)

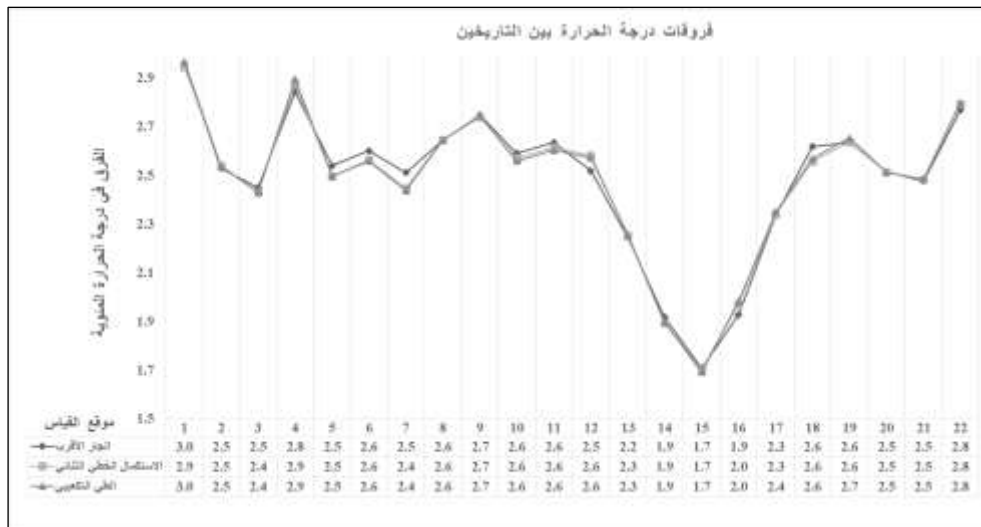


(ب)

الشكل (4): درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية باستخدام التقنيات الثلاثة: (أ) في تاريخ التقاط صورة لاندسات-

8، (ب) في تاريخ التقاط صورة لاندسات-9

يُظهر الشكل (5) الفروقات في درجة الحرارة المشتقة من صور كلا التاريخين عند مواقع القياس. بلغت قيمة المتوسط للفروقات 2.49°C ، 2.48°C و 2.48°C عند استخدام تقنيات الجار الأقرب والاستكمال الخطي الثنائي والطي التكعيبي على الترتيب.

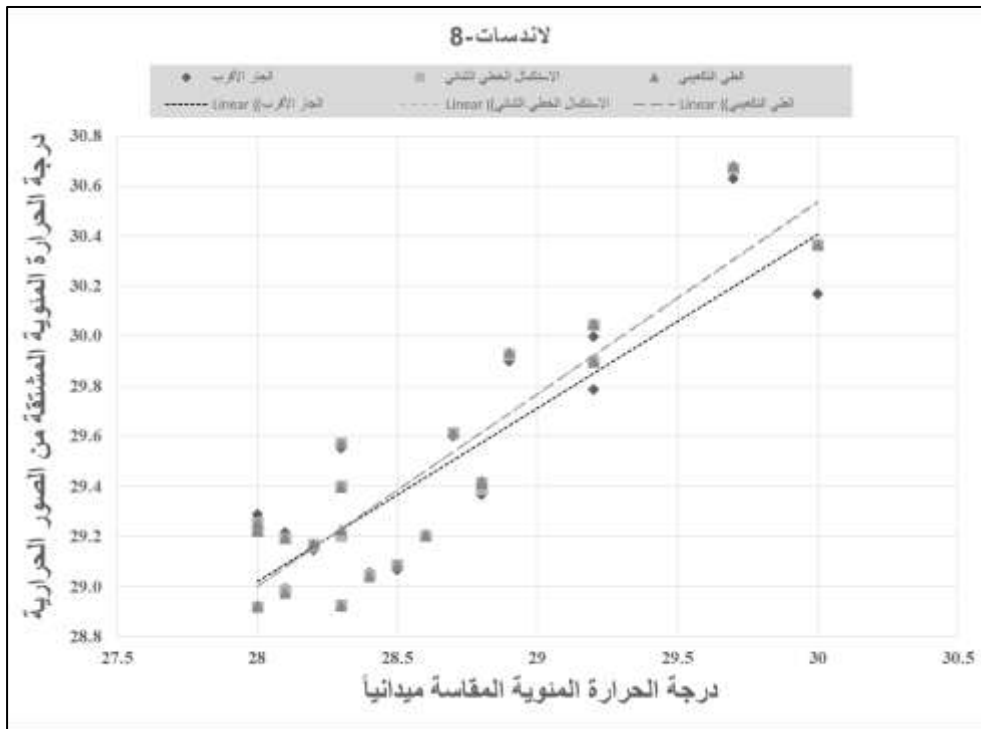


الشكل (5): الفروقات في درجة الحرارة المشتقة من الصورتين عند مواقع القياس.

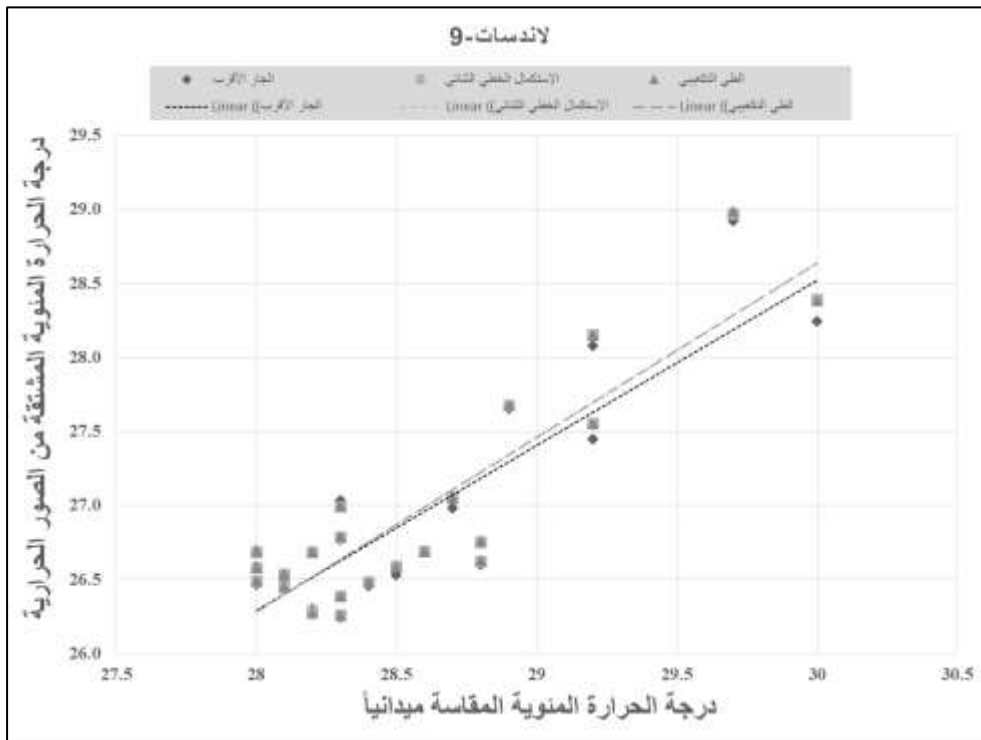
3. تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية:

يُظهر الشكلان (6-أ) و(6-ب) ارتباط قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً والمشتقة من صور المستشعر الحراري المحمول على متن الأقمار الصناعية لاندسات-8 ولاندسات-9 باستخدام التقنيات الثلاثة. بلغت قيمة معامل الارتباط بين قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً والمشتقة من الصورة الحرارية لمستشعر القمر الصناعي لاندسات-8 باستخدام تقنيات الجار الأقرب والاستكمال الخطي الثنائي والطي التكعيبي 0.87، 0.89

و0.89 على التوالي، بينما بلغت 0.87، 0.88 و0.88 على استخدام الصورة الحرارية لمستشعر القمر الصناعي لاندسات-9.



(أ)



(ب)

الشكل (6): ارتباط قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً والمشتقة من الصور الحرارية: (أ) لاندسات-8، (ب) لاندسات-9

بالنسبة لصور لاندسات-8 في التاريخ الأول فقد بلغت قيمة خطأ جذر متوسط التربيع 0.89°C ، 0.90°C و 0.90°C ، أما الخطأ المتوسط فبلغت قيمته 0.85°C ، 0.87°C و 0.87°C باستخدام التقنيات الثلاثة على التوالي. أما بالنسبة لصور لاندسات-9 في التاريخ الثاني فقد بلغت قيمة خطأ جذر متوسط التربيع 0.91°C ، 0.93°C و 0.94°C ، أما الخطأ المتوسط فبلغت قيمته 0.85°C ، 0.87°C و 0.87°C باستخدام التقنيات الثلاثة على التوالي.

تشير نتائج تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية إلى:

1. وجود ارتباط قوي بين قيم درجة حرارة مياه البحر السطحية المقاسة ميدانياً والمشتقة من الصورة الحرارية لمستشعر الأقمار الصناعية لاندسات-8 ولاندسات-9 وذلك باستخدام التقنيات الثلاثة: الجار الأقرب والاستكمال الخطي الثنائي والطبي التكعيبي.
 2. وجود خطأ جذر متوسط التربيع، تتراوح قيمته ضمن المجال ($0.9-0.94^{\circ}\text{C}$)، في قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية من الصور الحرارية لمستشعر الأقمار الصناعية لاندسات-8 ولاندسات-9.
 3. وجود أخطاء نظامية بحدود 0.85°C في قيم درجات الحرارة المشتقة من الصور الحرارية لمستشعر الأقمار الصناعية لاندسات-8 ولاندسات-9.
- نتائج البحث تتوافق مع نتائج دراسات أخرى لم تتجاوز قيمة خطأ جذر متوسط التربيع عند تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية فيها قيمة 1°C . ففي ساحل بحر تشوشان في الصين بلغت قيمة هذا الخطأ (0.5°C Fu et al., 2020)، وتراوح بين ($0.59-0.72^{\circ}\text{C}$) عند تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية في ساحل شبه الجزيرة الكورية (Jang & Park, 2019)، كما بلغت قيمة هذا الخطأ 0.7°C عند تقييم دقة درجة حرارة مياه البحر السطحية في الساحل البلجيكي (Vanhellemont, 2020).
- تشير نتائج البحث التجريبي الذي أجريناه إلى إمكانية عالية لاستخدام الصور الحرارية في تطبيقات البحوث البحرية في سورية، والتي تتطلب قياسات درجة حرارة المياه السطحية مثل البحوث الخاصة بتقييم جودة المياه والكشف عن التلوث الحراري ودراسة سلوك المغذيات وغيرها.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. يمكن استخدام قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور المستشعر الحراري لأقمار لاندسات بشكل مباشر في التطبيقات البحرية والبيئية التي تتطلب قياسات لا يتجاوز فيها خطأ جذر متوسط التربيع المسموح قيمة 0.9°C .
2. استخدام قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية لمستشعر أقمار لاندسات في التطبيقات التي تتطلب وجود خطأ جذر متوسط التربيع لا يتجاوز 0.9°C يستوجب إجراء تصحيحات للأخطاء النظامية، وذلك من خلال طرح قيمة ثابتة من درجة الحرارة المشتقة من الصور الحرارية.
3. يعتبر استخدام قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية لمستشعر أقمار لاندسات مناسباً في تطبيقات كشف التغيرات الحرارية ومراقبة التلوث الحراري حيث أن دقة المنتجات في مثل هذه التطبيقات لا تتأثر بشكل كبير عند وجود الأخطاء النظامية.

التوصيات:

1. إن قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من صور لاندسات الحرارية قائمة على استخدام خوارزمية القناة الواحدة، وقد يكون من المفيد إجراء أبحاث لمقارنة دقة هذه الخوارزمية مع خوارزميات أخرى.
2. توسيع منطقة الدراسة وزيادة عدد مواقع القياس ضمن المياه الإقليمية السورية وهذا يتطلب وجود فرق بحث متعددة.
3. وضع معايير للقيم المسموحة لخطأ جذر متوسط التربيع في قياسات درجة حرارة مياه البحر السطحية المشتقة من الصور الحرارية عند استخدام هذا البارامتر في مختلف تطبيقات البحوث البحرية.

References:

1. Allan, M. G., Hamilton, D. P., Trolle, D., Muraoka, K., & McBride, C. (2016). Spatial heterogeneity in geothermally-influenced lakes derived from atmospherically corrected Landsat thermal imagery and three-dimensional hydrodynamic modelling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.03.006>
2. Amani, M., Mehravar, S., Asiyabi, R. M., Moghimi, A., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Ebrahimi, H., Moghaddam, S. H. A., Naboureh, A., Ranjgar, B., Mohseni, F., Nazari, M. E., Mahdavi, S., Mirmazloumi, S. M., Ojaghi, S., & Jin, S. (2022). Ocean Remote Sensing Techniques and Applications: A Review (Part II). *Water*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/w14213401>
3. Fu, J., Chen, C., Guo, B., Chu, Y., & Zheng, H. (2020). A split-window method to retrieving sea surface temperature from Landsat 8 thermal infrared remote sensing data in offshore waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106626>
4. Ibrahim, A., Hussein, C., & AlShawi, F. (2023). Destructed and Endangered Habitats in the Syrian Coast, and Ways of Rehabilitation. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series*, 45(3), 169–187.
5. Jafar, R. (2022). Assessment of Surface Water Quality by Using Multivariate Statistical Techniques. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, 44(4), 11–31.
6. Jang, J. C., & Park, K. A. (2019). High-resolution sea surface temperature retrieval from Landsat 8 OLI/TIRS data at coastal regions. *Remote Sensing*, 11, 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs11222687>
7. Jensen, J. R. (2015). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 4th edition. In *Pearson series in geographic information science*.
8. Krawi, H., Darwich, F., Laika, H. E., & Joulak, S. (2018). Dissolved Nutrients Behavior Along The Salinity Gradient At The AL-Kabir Alshemali River Mouth (Mediterranean - Syria). *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series*, 40(5), 85–103.
9. Laika, H. E., & Ghadeer, S. (2022). Identify the concentration of some heavy metal elements in different types of marine sediments dispersed on Latakia and Baniyas coast. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series*, 44(2), 11–29.
10. Lin, J., Zou, X., Huang, F., & Yao, Y. (2021). Quantitative estimation of sea surface temperature increases resulting from the thermal discharge of coastal power plants in China. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112020>

11. Ling, F., Foody, G. M., Du, H., Ban, X., Li, X., Zhang, Y., & Du, Y. (2017). Monitoring Thermal Pollution in Rivers Downstream of Dams with Landsat ETM+ Thermal Infrared Images. *Remote Sensing*, 9(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs9111175>
12. Malakar, N., Hulley, G., Hook, S., Laraby, K., Cook, M., & Schott, J. (2018). An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data : Methodology and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(10), 5717–5735. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2824828>
13. Merchant, C. J., Embury, O., Rayner, N. A., Berry, D. I., Corlett, G. K., Lean, K., Veal, K. L., Kent, E. C., Llewellyn-Jones, D. T., Remedios, J. J., & Saunders, R. (2012). A 20year independent record of sea surface temperature for climate from Along-Track Scanning Radiometers. *Journal of Geophysical Research*, 117(12), 1–18. <https://doi.org/10.1029/2012JC008400>
14. Sabbouh, H. (2020). Evaluation of the Water Quality of Lakes of Some Small Surface Dams in the Area of Latakia and Determine its Suitability to Drink Case Study - Dam lakes: Al Qanjara - Karsana – Khirbet Al Jouzieh. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*, 42(2), 11–31.
15. Tu, M. C., Smith, P., & Filippi, A. M. (2018). Hybrid forward-selection method-based water-quality estimation via combining Landsat TM, ETM+, and OLI/TIRS images and ancillary environmental data. *PLoS ONE*, 13(7), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201255>
16. USGS. (2021). *Landsat 8-9 Calibration and Validation (Cal/Val) Algorithm Description Document (ADD)*. https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1747_Landsat8-9_CalVal_ADD-v4.pdf
17. Vanhellemont, Q. (2020). Automated water surface temperature retrieval from Landsat 8/TIRS. *Remote Sensing of Environment*, 237, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111518>
18. Xing, Q., Li, L., Lou, M., Bing, L., Zhao, R., & Li, Z. (2015). Observation of Oil Spills through Landsat Thermal Infrared Imagery: A Case of Deepwater Horizon. *Aquatic Procedia*, 3, 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.205>
19. USGS: < <https://earthexplorer.usgs.gov> > (accessed: 17-10-2023)