

تقييم استخدامات الأراضي / تغيرات الغطاء الأرضي وتأثيرها على درجة حرارة سطح الأرض باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد القنيطرة نموذجًا (المغرب)

غيثة نصرأوي^{1*}، خالد بن الزيدية²

¹ مختبر دينامية المشاهد، المخاطر والتراث، كلية الآداب والعلوم الانسانية جامعة السلطان مولاي سليمان بني ملال، المغرب

² مختبر دينامية المشاهد، المخاطر والتراث، الكلية المتعددة التخصصات بخريبكة، جامعة السلطان مولاي سليمان بني ملال، المغرب

Assessment of land use/land cover changes and its effect on land surface temperature using remote sensing techniques in Kenitra, Morocco

Rhita NASRAOUI^{1*}, Khalid BENZIDIYA²

¹ Laboratory Dynamics of Landscapes, Risks and Heritage, Faculty of Arts and Humanities Sultan Moulay Slimane University of Beni Mellal, Morocco

² Laboratory Dynamics of Landscapes, Risks and Heritage, Polydisciplinary Faculty of Khouribga, Sultan Moulay Slimane University of Beni Mellal, Morocco

*Corresponding author: rhita.nasraoui@gmail.com

Received: August 05, 2023

Accepted: September 29, 2023

Published: October 06, 2023

الملخص

يقدم هذا العمل تشخيصًا لتأثير استخدام الأراضي وسطح القشرة الأرضية (LULC) Land use land cover على درجة حرارة السطح الأرض (LST) Land Surface Temperature لمدينة القنيطرة. تستند هذه الدراسة على تحديد متغيرات درجة حرارة السطح بالاعتماد على الأساليب الإحصائية والتحليلية المعتمدة لتحليل بيانات المرئيات الفضائية حيث توصلت إلى أن هناك امتدادات واسعة وكبيرة للمناطق العمرانية على حساب كافة الأصناف الأرضية الأخرى، إضافة إلى تشكل نمط من الجزيرة الحرارية الحضرية. ساعدت بيانات المرئيات الفضائية أيضًا في وضع خرائط لمؤشر المياه (NDWI) وخرائط مؤشر البناء (NDBI) كانت هناك زيادة في المساحة المبنية من 29620 (3.63%) إلى 88038 هكتار (10.8%) على مدى 29 عامًا (ثلاث عقود). تمت ملاحظة معاملات الانحدار بين LST و NDVI و NDBI و NDWI خلال فترة الدراسة تبين أن NDVI و NDWI ارتباطًا سلبيًا مع LST ومع ذلك أظهر NDBI ارتباطًا إيجابيًا مع ارتفاع LST. من خلال هذه الدراسة تم استخلاص معلومات مهمة عن LST و LULC، سيشكل أداة مفيدة لوضع السياسات للتطوير في إدارة وتخطيط المجال الحضري.

الكلمات المفتاحية: درجة حرارة السطح الأرض، استخدام الأراضي والغطاء الأرضي، القنيطرة، المؤشرات الطيفية، الاستشعار عن بعد.

Abstract

This work presents a diagnosis of the effect of land use and land cover (LULC) on the Land Surface Temperature (LST) of the city of Kenitra. The study is based on determining the

surface temperature variables using statistical and analytical methods to analyse satellite imagery. The study concludes that there are large areas of urban land at the expense of other land types and that a pattern of urban heat island has formed.

The satellite imagery also helped to develop Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Built-up Index (NDBI) maps. The study found that the built-up area increased from 29,620 hectares (3.63%) to 88,038 hectares (10.8%) over a 29-year period. Regression coefficients were observed between LST, NDVI, NDBI, and NDWI during the study period. The study showed that NDVI and NDWI were negatively associated with LST, while NDBI had a positive association with LST elevation. The study provides useful information for policymakers to use in urban management and planning.

Keywords: Land Surface Temperature (LST), Land use/land cover (LULC), Kenitra, Spectral indices, Remote sensing.

مقدمة

تعتبر درجة حرارة سطح الأرض مهمة في دراسات المناخ لتأثيرها على طبقات الغلاف الجوي السفلى من خلال التوازن الحراري، حيث تنظم الخصائص الحرارية لطبقات الغلاف الجوي السفلى في المناطق الحضرية وكذلك تحديد المناخات المغلقة في المباني وحدوث لتبادل الطاقة التي تعكس الخصائص الفسيولوجية لسكان المدن وتؤدي إلى التباين [1].

يتعرض سطح المدينة والغلاف الجوي لتغير المناخ المحلي، فهي أكثر دفئاً من البيئة غير الحضرية، خاصة في الليل. تؤثر العديد من العوامل على الطاقة الإشعاعية التي تصل إلى سطح الأرض، من أهمها شفافية الغلاف الجوي، [2] وطول النهار وفصول السنة، وزاوية سقوط الإشعاع.

يؤدي تغيير استخدام (استعمال) الأراضي و سطح القشرة الأرضية مباشرة إلى تغييرات في الخصائص الفيزيائية لسطح الأرض، التي تؤثر على مجموعة متنوعة من العوامل التي تحدد المناخ الإقليمي، مثل الإشعاع والحرارة وبخار الماء [3].

تهدف هذه الدراسة إلى استخدام البيانات الطيفية للاستشعار عن بعد (TIRS) لتقدير درجة حرارة سطح الأرض والمؤشرات الطيفية للمناطق الحضرية والغطاء النباتي للكشف عن جزر الحرارة الحضرية في القنيطرة.

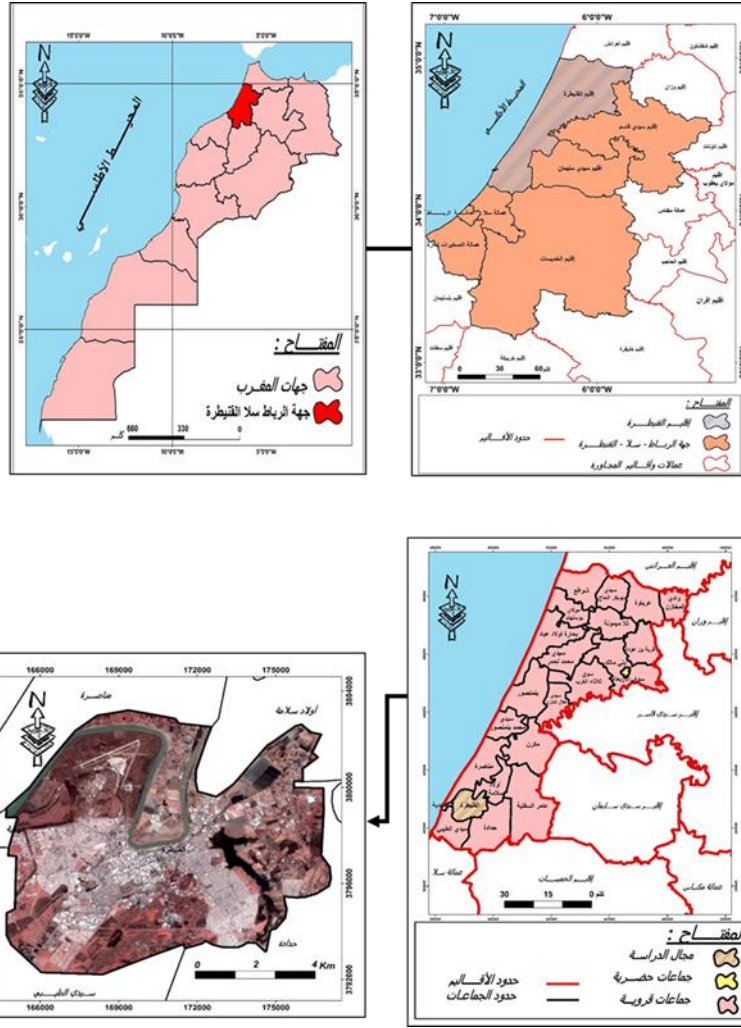
أولاً: مجال الدراسة

تعتبر مدينة القنيطرة واحدة من أهم مناطق شمال غرب المغرب، تقع على الضفة اليسرى لواد سبو وعلى بعد 12 كم من شاطئ المهدية الذي يشكل مصب هذا الأخير على المحيط الأطلسي.

إدارياً ينتمي مجال الدراسة، إلى جهة الرباط سلا القنيطرة، يحدها شمالاً إقليمي العرائش ووزان ومن جهة الغرب، المحيط الأطلسي. أما شرقاً فتجاور إقليم سيدي قاسم وسيدي سليمان، في حين يشكل إقليم سلا وعمالة الخميسات حدوده الجنوبية. تتشكل المدينة من 5 دوائر و3 جماعات حضرية و20 جماعة قروية.

وقد ساهم الموقع الجغرافي للمدينة والذي يقع على مفترق الطرق التي تربط بين المدن الشمال وشرق بالجنوب، في استقطاب عدد كبير من المهاجرين من جميع أنحاء المملكة مما أدى إلى تطوير المنطقة العمرانية وتكثيف بنيتها التحتية وكذلك وحداتها الصناعية الشيء الذي ساهم في توسع مجالها الحضري وازدياد عدد ساكنتها التي انتقلت من 573 ألف نسمة سنة 2004 إلى 711713 نسمة سنة 2022. ذلك نتيجة تكاثف حركات الهجرة وبخاصة من منطقة الريف.

تقع مدينة القنيطرة عند النهاية الغربية لسهل الغرب التهدلي المتميز بانحداراته الضعيفة، حيث يصل متوسط الارتفاعات إلى حوالي 60 m عند مستوى الكثبان الرملية المشرفة على المحيط. ذلك تسبب في حدوث تدهور بيئي خاصة في غياب خطط عمل وقائية مدمجة في التنمية الاجتماعية والاقتصادية للمنطقة.



شكل 1: توطين المجال المدروس.

منهجية الدراسة

نتيجة اعتمدت هذه الدراسة بشكل أساسي على بيانات الأقمار الصناعية لفترة الدراسة (1995-2021) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لحساب المؤشرات الطيفية واشتقاق درجة الحرارة لسطح الأرض ورصد أنماط التغطية الأرضية واستخدام الأرض تم تحميل هذه الصور الفضائية من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) جدول (1).

جدول 1: خصائص صور الأقمار الصناعية.

الدقة المكانية (m)	المنصة	مستشعر	مربعات الفضائية
30-15-100	TM	LANDSAT 5	1995-08-08
30-15-100	OLI TIRS	LANDSAT 8	2021-08-08

تم معالجة البيانات الصور الفضائية لاندسات من نوع LANDSAT5 TM LANDSAT8 OLI /TIRS وفق منهجية كما هو مبين في خطاطة شكل (2) لاشتقاق درجة الحرارة سطح الأرض لتحديد وجود الجزيرة الحرارية الحضرية للكشف عن التغيرات في أنماط الغطاء الأرضي واستعمالاتها ومساحاتها داخل المدينة باعتماد على النطاق الحراري السادس بالنسبة للمستشعر LANDSAT5TM والنطاق العاشر بالنسبة للمستشعر LANDSAT8OLI/TIRS مع الأخذ بعين الاعتبار للصور الفضائية التي تم اختيارها خالية قدر الإمكان من السحب و الغيوم بقيمة لا تتجاوز 10% لأن كثافة الغيوم تحجبها جزء من سطح الأرض و تؤثر على دقة النتائج.

تم تحليل الصور الفضائية باعتماد على تقنية الاستشعار عن بعد من خلال برنامج ENVI 8.4 ونظم المعلومات الجغرافية برنامج Arc gis 10.8 بقيام مجموعة من العمليات الرياضية للكشف عن التغيرات وأهم هذه الأساليب والادوات المستخدمة في الدراسة:

1. تصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالاتها (LULC) LAND USE LAND COVER

تم الاعتماد في هذه الدراسة على التصنيف الإشرافي Supervised Classification باستخدام طريقة خوارزمية الخاضع للإشراف تسمى التصنيف الاحتمالية القصوى Maximum Likelihood (MLC) Classification لكشف عن التغيرات في أنماط الغطاء الأرضي واستعمالاتها ومساحاتها [4] حيث تم استخراج أربعة أصناف خلال فترة الدراسة 2021-1995 وهي كالآتي:

- المجال المبني
 - الأراضي الجرداء
 - الغطاء النباتي
 - المجاري المائية
- لكونها أكثر دقة في عملية التصنيف ومن بين أهم طرق المستخدمة في الاستشعار عن البعد.

2. درجة حرارة سطح الأرض (LST): Land Surface Temperature

تم اشتقاق LST درجة حرارة الأرض من بيانات Landsat باستخدام للأشعة تحت الحمراء Band-6 بالنسبة للمستشعر LANDSAT5 TM والنطاق العاشر بالنسبة للمستشعر LANDSAT8OLI /TIRS تم تصحيحها إشعاعياً وذلك عن طريق تحويل القيم الرقمية Digital Number لنطاق الحرارية (Band10/Band6) إلى إشعاعية طيفية محسوبة أعلى الغلاف الجوي Top of Atmospheric (TOA) ينبغي تحويل درجة حرارة الانعكاس والسطوع في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (TOA) من الإشعاع الطيفي [5] ثم حساب درجة حرارة سطح الأرض (LST) بالمعادلة التالية (1).

$$LST = T + \lambda\sigma * (T / p) * \ln(e) \quad (1)$$

حيث:

LST : درجة حرارة سطح الأرض.

T : درجة حرارة السطوع (النطاق 10 أو 11 أو 6 حسب الحالة).

$\lambda\sigma$: الطول الموجي للحزمة الحرارية.

P : القيمة الثابتة التي تم الحصول عليها بواسطة الصيغة: $p = h * c / s$.

e : الإنبعاثية الطيفية للغطاءات الأرضية.

3. مؤشرات المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة

• مؤشر التغطية النباتية: Normalized Difference Vegetation Index

يعد مؤشر الغطاء النباتي أو التغطية النباتية من الأكثر المؤشرات استخداماً في جميع أنحاء العالم و التي تستعمل للتحقق من حالة الغطاء النباتي عن طريق حساب نسبة الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والنطاقات الحمراء من خلال تطبيق المعادلة الرياضية (2) [6] وكشف حالته وكثافته وتوزيعه والتميز بين النبات والتربة والماء تتراوح قيم NDVI بين -1 و +1 كلما كانت القيمة الموجبة كان الغطاء النباتي كثيف والعكس صحيح، عادةً ما تتراوح قيمة الغطاء النباتي الأخضر بين 0.2 و 0.8 كما يعتمد هذا المؤشر على نطاق الأشعة تحت الحمراء والحمراء في حساب القيم المتعلقة بالغطاء النباتي التي يبرز من خلالها التركيبة اللونية التي تجمع بني اللون الأحمر وتحت الحمراء نظراً لكون أن الغطاء النباتي تكون له انعكاسية كبيرة في هذا النطاق .

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

حيث:

NIR :قيم الانعكاسية للأشعة تحت الحمراء القريبة.

Red :قيم الانعكاسية للأشعة الحمراء من الجزء المرئي.

• مؤشر الاختلافات الحضرية (المجال المبني): Normalized Difference Built-up Index

يمكن حساب مؤشر الاختلافات الحضرية (NDBI) باستخدام المعادلة الرياضية (2) تتراوح قيم NDBI من -1 إلى +1 تتوافق القيمة السلبية لـ NDBI مع المسطحات المائية، بينما تتوافق القيمة الإيجابية مع التجمعات العمرانية، بينما الغطاء النباتي له قيمة منخفضة [7] من خلال تطبيق المعادلة الرياضية (3) .

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (3)$$

حيث:

SWIR : قيم الانعكاس الاشعة تحت الحمراء القصيرة.

NIR : قيم الانعكاس الاشعة تحت الحمراء القريبة.

• مؤشر الفرق المياه الطبيعي: Normalized Different Water Index

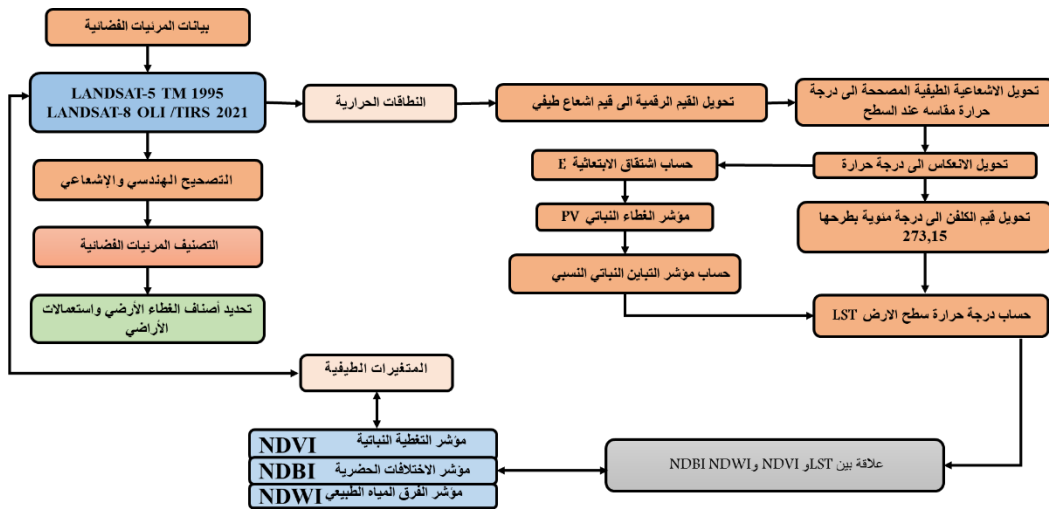
يستخدم مؤشر الفرق المياه الطبيعي NDWI لتحديد المسطحات المائية لمراقبة التغيرات في محتوى المائي تمتص المسطحات المائية الضوء المرئي إلى الطيف الكهرومغناطيسي للأشعة تحت الحمراء، حيث ان الانعكاسية الطيفية للماء تكون عالية في مدى الطول الموجي الأخضر (52.0-60.0 μm) وقليلة جدا في مدى الطول الموجي تحت الحمراء القريبة (76.0-90.0 μm) كما ان الانعكاسية العالية للنبات والتربة في مدى الطول الموجي تحت الحمراء تجعل قيم ال (NDWI) موجبة [8] فيما يخص المناطق المائية في حين تبدو المناطق الخضراء والمبينة داكنة ومظلمة وذو قيم سالبة او صفر من خلال تطبيق المعادلة الرياضية (4).

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (4)$$

حيث:

GREEN: قيم الاشعة المرئية الخضراء .

NIR: قيم الانعكاس الاشعة تحت الحمراء القريبة.



شكل 2: منهجية المتبعة في للدراسة.

نتائج الدراسة ومناقشتها

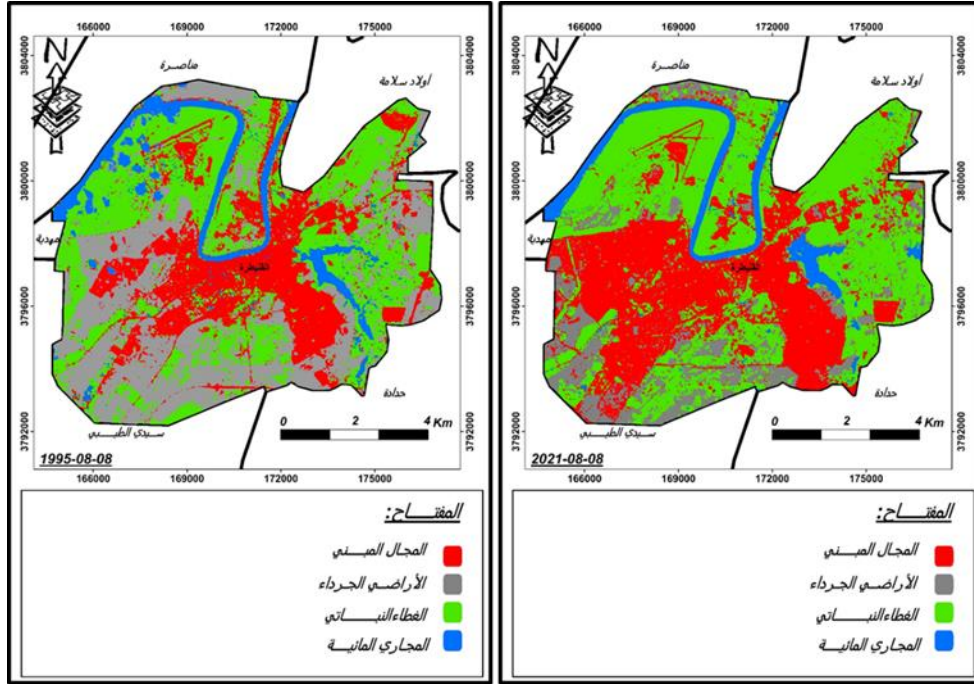
1. تحديد أصناف الغطاء الأرضي واستعمالات الأراضي:

اتضح من الدراسة الحالية ان المنطقة شهدت تغيرات خلال فترة ما بين (1995-2021) تبين بان التغيرات الرئيسية حدثت في المناطق الخضراء والاراضي المبنية او السكنية فضلا عن المناطق المائية كما يوضح ذلك جدول (2)، إذ أظهرت نتائج تصنيف الأراضي لمدينة القنيطرة في عام 1995، أن المناطق الخضراء شكلت أكبر امتداد بمساحة تقدر بحوالي 3574 km² ، بما نسبته 36%، بينما شكلت الأنواع الأخرى من استخدامات الأراضي التي تشترك في باقي المساحة (المناطق الجرداء بحوالي 32,20 km²، في حين أن المناطق العمرانية بحوالي 24,25 km² ، المناطق المائية بحوالي 8,13 km²) خلال هذه الفترة كانت مدينة القنيطرة تتطور ولكن بشكل تدريجي شكل (3).

كما أظهرت نتائج التصنيف لعام 2021 ملامح التطور والامتداد العمراني وبنسبة زيادة تقدر 39% على حساب المناطق الجرداء بنسبة تراجع بلغت 27% بمساحة تقدر 27,32 km² ، كما تراجع صنف الغطاء النباتي المتمثل في المساحات الخضراء والأراضي الزراعية بنسبة 27% بمساحة تقدر 27,32 km² ، مما يدل دلالة واضحة على عدم وجود سياسات واستراتيجيات واضحة لتوجيه وتحديد الامتدادات العمرانية في مدينة القنيطرة للحفاظ على الغطاء النباتي وحمائته من التراجع المتزايد وكذلك استصلاح الأراضي الزراعية كما عرف الصنف المياه تراجع بنسبة 1%، شكل (3) من بين العوامل المسؤولة عن هذا التغير الذي يجب الإشارة إليه تطور النشاط الصناعي الذي شهدته المدينة في السنوات الأخيرة مع ضم الوحدات الصناعية الكبرى في المنطقة الحرة في أولاد بوراهمه ، والتي أنتجت الآلاف من وظائف ، خاصة في

قطاع السيارات ، وجعلت المدينة مركزًا صناعيًا مهمًا على الصعيدين الوطني والدولي. ونتيجة لذلك، بدأت هجرة جماعية للباحثين عن العمل، وفي بعض الأحيان هاجرت عائلات بأكملها إلى القنيطرة.

وقد استقر جزء كبير من اليد العاملة في جميع أنحاء المدينة (حي الساكنية والتقدم وحي أولاد عرفة وعين السبع، إلخ). كما عرفت المدينة تحسن في شبكات النقل الطرقي مع انجاز الطريق السريع، وثنية الطريق الرابط بين القنيطرة والرباط وتوحيد النقل بالسكك الحديدية كما ساهم الربط السككي للقطار فائق السرعة TGV في تيسير تنقل الساكنة من مدينة القنيطرة نحو مقرات عملهم في كل من الرباط أو الدار البيضاء.



شكل 3: الغطاء الأرضي/ استخدامات الأراضي لمنطقة الدراسة (1995-2021)

جدول 2 : نتائج تصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالاتها (2021-1995)

2021		1995		
المساحة بـ Km ²	النسبة	المساحة بـ Km ²	النسبة	
34,5	34%	24,25	24%	المجال المبنى
13,9	14%	32,2	32%	الأراضي الجرداء
45,4	45%	35,74	36%	الغطاء النباتي
6,7	7%	8,13	8%	المياه

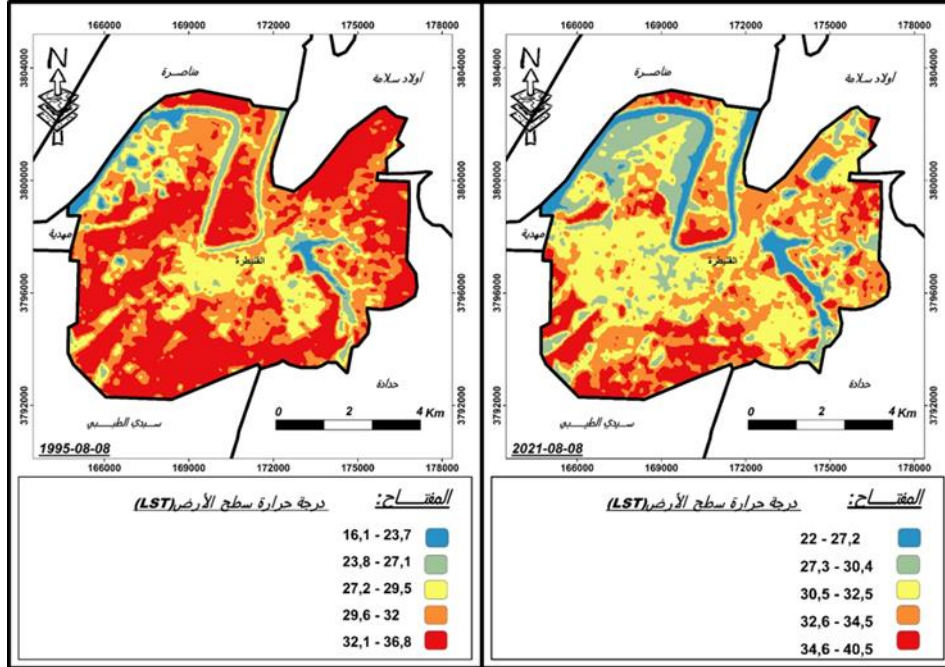
2. التوزيع المكاني والزمني لدرجات حرارة سطح الأرض:

وفقاً لنتائج التي تم الحصول عليها استناداً إلى صورتي أقمار صناعية تم التقاطهما في سنوات مختلفة لنفس الموقع (1995-2021) على التوالي، في فصل الصيف يتضح من خلال بيانات جدول (3) وشكل (4) تم قياس أعلى قيمة درجة حرارة لسطح الأرض (LST) في عام 2021 بمقدار 40,5°C وأقل قيمة درجة حرارة لسطح الأرض بمقدار 22°C بينما سجلت أعلى قيمة درجة حرارة لسطح الأرض (LST) في عام 1995 بمقدار 36,8°C وأقل قيمة درجة حرارة لسطح الأرض بمقدار 16,1°C.

ارتفعت درجة حرارة سطح الأرض القصى بمدينة القنيطرة خلال الفترة 2021-1995 بمقدار 3,7°C وارتفع متوسط LST بمقدار 1°C وتعزى هذه الاختلافات إلى ظروف الأرصاد الجوية التي لوحظت خلال هذه الفترة 1995-2021 في فصل الصيف ترتكز LST المرتفعة في جميع المناطق الحضرية ذات الكثافة السكانية العالية والمناطق السياحية والصناعية خصوصاً المناطق الجرداء كما هو موضح في خرائط LST.

يتوافق ارتفاع المستمر في درجة حرارة سطح الأرض في مدينة القنيطرة خلال فترة الدراسة مع ما توصلت إليه الدراسة من نتائج أعلاه تؤكد على منطقة الدراسة شهدت نموا حضريا هائلا، وكذا حدث انخفاض كبير في الغطاء النباتي، كل ذلك كان من شأنه حدوث زيادة كبيرة في درجة حرارة سطح الأرض في منطقة الدراسة.

يشير ذلك إلى ارتفاع معامل الامتصاص للسطوح الحضرية والمتمثلة بالأحياء السكنية عالية الكثافة، والمراكز التجارية والفضاءات الإسمنتية المتصلة بها، ومناطق الصناعية.



شكل 4: توزيع درجة حرارة سطح الأرض

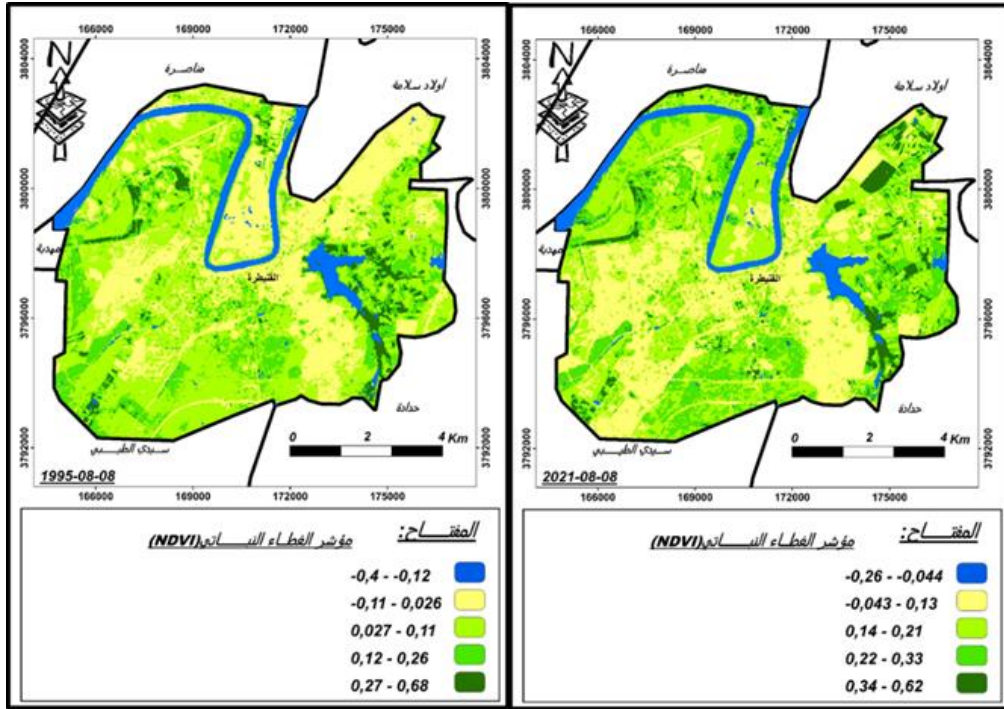
جدول 3: خصائص درجة حرارة سطح الأرض (LST) من 1995 إلى 2021

LST				
التاريخ	أدنى	أعلى	متوسط	الانحراف المعياري
08/08/1995	16.1	36.8	30.9	2.87
08/08/2021	22	40.5	31.9	2.71

3. تحليل مؤشرات الغطاء الأرضي لمدينة القنيطرة خلال فترات الدراسة:

• مؤشر التغطية النباتية Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

تم استخراج قيم NDVI كما هو موضح في الجدول (4) وشكل (5) حيث تراوحت قيم القسوى والدنيا خلال سنة 1995 ما بين 0,395 و 0,679 أما خلال سنة 2021 فقد تراوحت القيم ما بين 0,26 و 0,62. في حين انخفضت قيم المؤشر القسوى بمدينة القنيطرة خلال الفترة 1995-2021 بمقدار 0,05 كما انخفض متوسط NDVI بمقدار 0,1 مما يعني أن هناك فرق كبير في كل من قيم وتغير في شكل الغطاء النباتي ونقص في خواصه من حيث اللون الأخضر والكثافة وحجم الانتشار وسبق الإشارة الجدول (2) إلى أن الغطاء النباتي قد انخفض بنسبة 27% في عام 2021.

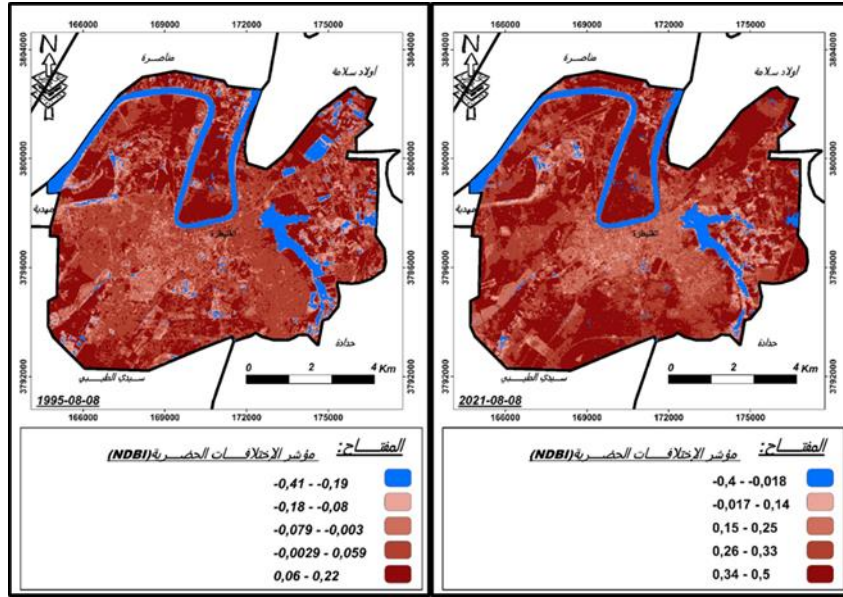


شكل 5: مؤشر الغطاء النباتي

جدول 4: خصائص مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) من 1995 إلى 2021

NDVI				تاريخ
الانحراف المعياري	متوسط	أعلى	أدنى	
0,102	0,06	0,679	-0,395	08/08/1995
0,1	0,16	0,62	-0,26	08/08/2021

- مؤشر الاختلافات الحضرية: Normalized Difference Built-up Index (NDBI) لمدينة القنيطرة خلال فترة الدراسة حيث تراوحت قيم القصوى والدنيا خلال سنة 1995 تراوحت القيم ما بين 0,413 و-0,217 سنة 2021 تراوحت القيم ما بين 0,413 و-0,503. ارتفعت القيمة القصوى لمؤشر NDBI خلال الفترة 1995-2021 بمقدار 0,29 كما ارتفع متوسط NDBI بمقدار 0,286 وهذا يعطي دلالة على التغيرات العمرانية التي حدثت في المدينة خلال فترة الدراسة حيث ازدادت تغطية المساحات المبنية على حساب الأراضي الجرداء والغطاء النباتي.



شكل 6: مؤشر الاختلافات الحضرية

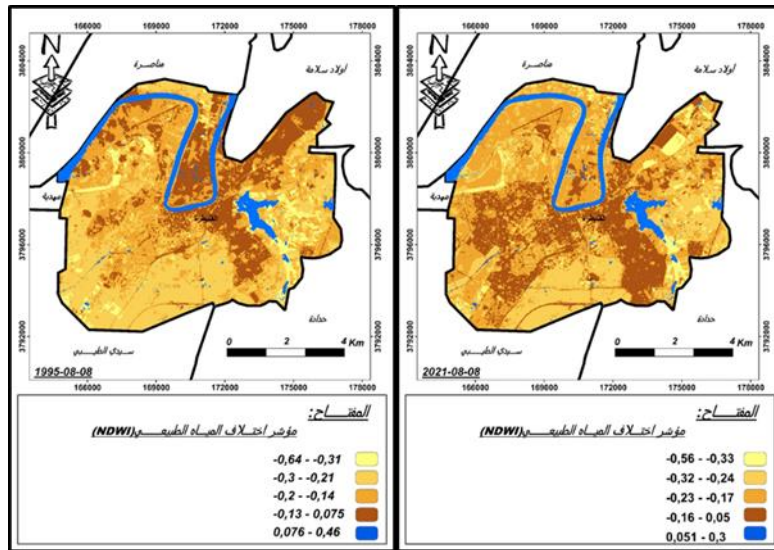
جدول 5: خصائص مؤشر الاختلافات الحضرية (NDBI) من 1995 إلى 2021

NDBI				تاريخ
الانحراف المعياري	متوسط	أعلى	أدنى	
0,082	0,011	0,217	-0,413	08/08/1995
0,105	0,284	0,503	-0,4	08/08/2021

• مؤشر الفرق المياه الطبيعي: Normalized Different Water Index

تم حساب مؤشر في هذه الدراسة لاستخراج المسطحات المائية كما هو مبين في الجدول (6) وشكل (7) حيث تراوحت قيم القصوى والدنيا خلال سنة 1995 تراوحت القيم ما بين 0,64 و-0,458 سنة 2021 تراوحت القيم ما بين -0,557 و0,303.

انخفضت قيم المؤشر القصوى بمدينة القنيطرة خلال الفترة 1995-2021 بمقدار 0,155 كما انخفض متوسط NDWI بمقدار -0,015 وهذا راجع إلى تأثير المناخ على مجال.



شكل 7: مؤشر الاختلافات الحضرية

جدول 6: خصائص مؤشر الفرق المياه الطبيعي (NDWI) من 1995 إلى 2021

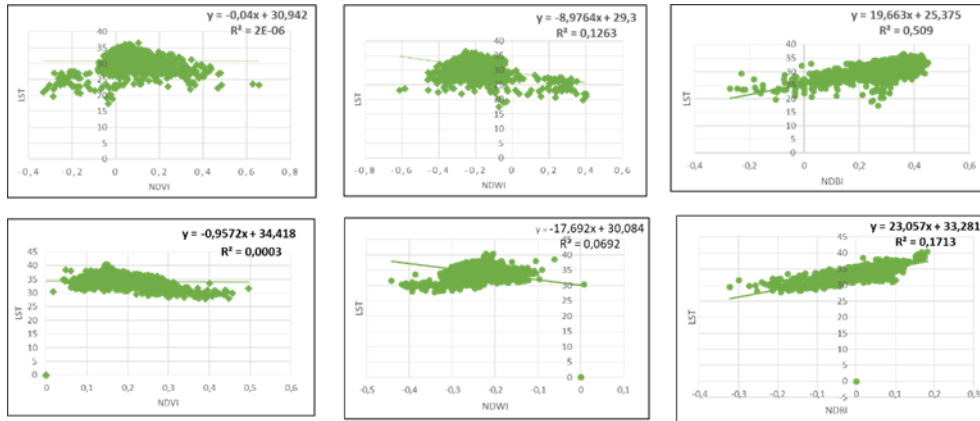
NDWI				تاريخ
الانحراف المعياري	متوسط	أعلى	أدنى	
0,112	-0,182	0,458	-0,64	08/08/1995
0,105	-0,197	0,303	-0,557	08/08/2021

4. علاقة مؤشرات الطيفية بدرجات حرارة سطح الأرض:

العلاقة بين المؤشرات الطيفية ودرجة الحرارة السطحية بمدينة القنيطرة تم استخدام تحليل الانحدار والارتباط الخطي لإنشاء علاقة مشتركة بين ثلاثة مؤشرات الغطاء الأرضي وهي كالآتي:

يوضح الشكل (8) نتائج التحليل الإحصائي والعلاقة بين درجة حرارة السطح من جهة ومؤشرات الغطاء من جهة أخرى خلال فترة الدراسة (1995-2021) تظهر النتيجة أن هناك ارتباطاً سلبياً بين LST و NDVI و NDWI، كما هو موضح في المبيان، مع معاملات الارتباط $R^2 = 0,1263$ و $R^2 = 2.10 \cdot 10^{-6}$ و $R^2 = 0,0692$ مما يشير إلى أن الانخفاض في كمية المسطحات المائية والغطاء النباتي في منطقة الدراسة كان مسؤولاً عن زيادة LST.

يوضح الشكل (8) أن هناك ارتباطاً إيجابياً بين LST و NDBI مع معاملات الارتباط $R^2 = 0,509$ و $R^2 = 0,1713$ خلال فترة الدراسة (1995-2021) وهذا يدل على أن المناطق المبنية تولد العديد من التغييرات في درجات حرارة سطح الأرض والمساهم الرئيسي في ظهور الجزر الحرارية الحضرية.



شكل 8: معامل الارتباط بين LST و NDVI و NDBI و NDWI لسنة 1995-2021

خاتمة:

أجريت هذه الدراسة لتحليل ورسم خريطة توزيع درجات حرارة سطح الأرض باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية التي توفر طرق قوية لمراقبة البيئة الحضرية والأنشطة البشرية، لتقدير تأثير التغييرات في درجة حرارة السطح على التنمية الحضرية في محاولة لاقتراح تدابير للتخفيف من تأثيراتها. تتأثر درجة حرارة السطح بشكل أساسي بأنواع استخدام الأراضي التي ازدادت من قبل السكن والمصانع ووجود الأراضي الجرداء، وانخفاضها أيضاً بسبب الغطاء النباتي والمائي. مكننا العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض وأنواع غطاء الأرضي من اكتشاف إستراتيجيات التخطيط الحضري التي تمكن من الحد من الجزر الحرارية. بحيث يمكن أن يكون دمج بيانات الاستشعار عن بعد في نظم المعلومات الجغرافية أداة قوية في تخطيط وإدارة العمل الذي يتضمن تحليل البيانات المكانية لاتخاذ القرارات المناسبة. هناك علاقة إيجابية بين LST و NDBI التي تبين ارتفاع درجة حرارة السطح في المساحة المبنية، كما تظهر علاقة سلبية بين LST و NDVI على وجود غطاء نباتي يساهم في خفض درجة حرارة سطح الأرض. يوصى بخلق مساحات خضراء داخل المجال الحضري والحد من التوسع العمراني على حساب الغطاء النباتي على نطاق واسع للتقليل من تأثيرات الجزر الحرارية الحضرية على الراحة الحرارية للإنسان.

- [1] T. R. Oke, *Boundary Layer Climates*. Psychology Press, 1987.
- [2] J. Mallick, Y. Kant, et B. Bd, "Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-& ETM+," *Journal of Indian Geophysical Union*, vol. 12, p. 131-140, août 2008.
- [3] J. Tan, D. Yu, Q. Li, X. Tan, et W. Zhou, "Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China," *Sci Rep*, vol. 10, no 1, Art. now 1, juin 2020, doi: 10.1038/s41598-020-66168-6.
- [4] H. Dibs et H. Alnajjar, "Maximum Likelihood for Land-Use/Land-Cover Mapping and Change Detection Using Landsat Satellite Images: A Case Study "South Of Johor"," *International Journal of Computational Engineering Research*, vol. 3, p. 26-33, juin 2013.
- [5] Z. Qin, A. Karnieli, et P. Berliner, "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*, vol. 22, no 18, p. 3719-3746, janv. 2001, doi: 10.1080/01431160010006971.
- [6] S. Huang, L. Tang, J. P. Hupy, Y. Wang, et G. Shao, "A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing," *J. For. Res.*, vol. 32, no 1, p. 1-6, févr. 2021, doi: 10.1007/s11676-020-01155-1.
- [7] Y. Zha, J. Gao, et S. Ni, "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, no 3, p. 583-594, janv. 2003, doi: 10.1080/01431160304987.
- [8] H. Xu, "Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, p. 3025-3033, juill. 2006, doi: 10.1080/01431160600589179.