

نمذجة خرائط البازل Puzzle للجزيرة الحرارية في مدينة اربيل باستخدام الاستشعار عن بعد

"Modeling Puzzle Maps of the Urban Heat Island in Erbil City Using Remote Sensing"

سعد ثامر إبراهيم^{*1}، جامعة تكريت (العراق)، saad.t.ibrahim@tu.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0004-1391-0617>

2025-10-02	تاريخ القبول	2025-03-21	تاريخ الاستلام
------------	--------------	------------	----------------

ملخص

يهدف البحث الى رصد ومراقبة الجزيرة الحرارية في مدينة اربيل للفترة 1990 - 2023، وذلك من خلال الاستعانة بأكواد لغة البرمجة JavaScript داخل منصة (Google Earth Engine) التي تتيح امكانية تحميل مرئيات فضائية خاصة بدرجة حرارة سطح الارض Lst في منطقة الدراسة، ومن ثم نخضع بيانات LST التي تم استنتاجها من المنصة وفق معايير عالمية خاصة بأصناف الجزيرة الحرارية والعمل عليها داخل بيئة برنامج نظم المعلومات الجغرافية، واخيرا العمل على نمذجة خريطة نمط الجزيرة الحرارية للفترة 2023-1990 باستخدام مجموعة من الطرائق الخرائطية المتقدمة والمتمثلة (Puzzle Map) وفق معايير خرائطية خاصة، وأظهرت النتائج أن مدينة أربيل تواجه تحديات ملحوظة بسبب الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة، وبلغت نسبة مساحة المناطق الدافئة خلال فترة الدراسة (34.8 ٪)، والمناطق الحارة (37.6 ٪)، اما المناطق الحارة جداً (27.7 ٪)، وهذا بدوره يؤثر بشكل كبير على البيئة الحضرية وجودة الحياة.

الكلمات المفتاحية

الجزيرة الحرارية؛ خرائط البازل؛ مدينة اربيل؛ الاستشعار عن بعد.

Abstract

This research monitors the urban heat island in Erbil city over the period 1990 to 2023 by using JavaScript code within the Google Earth Engine platform to retrieve satellite-based land surface temperature data. The extracted datasets were processed according to global classification standards for urban heat islands and analysed within a geographic information system environment. A thermal pattern map for the study period was then produced using advanced cartographic techniques, specifically the Map Puzzle method, in line with specialised mapping standards. The results suggest that Erbil has experienced substantial warming, with warm zones covering 34.8 percent of the period, hot zones 37.6 percent, and very hot zones 27.7 percent. These trends have clear implications for the urban environment and for quality of life.

Keywords

Urban Heat Island; Puzzle Maps; Erbil City; Remote Sensing.

مقدمة

تعد نمذجة الخرائط من الأدوات الأساسية في تحليل وتفسير الظواهر الجغرافية، حيث تسهم في توضيح الأنماط المكانية والعلاقات البيئية بمختلف مقاييسها، وفي سياق دراسة الجزر الحرارية الحضرية، تبرز أهمية استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد كوسيلة فعالة لرصد التغيرات الحرارية وتحليل توزيعها المكاني، وتمثل خرائط البازل إحدى أساليب النمذجة التي تعتمد على تقسيم المنطقة المدروسة إلى أجزاء متجانسة، مما يسهل دراسة توزيع الحرارة وتحديد المناطق الأكثر تأثراً بظاهرة الجزر الحرارية في مدينة أربيل. وقد شهدت التوسعات العمرانية والتغيرات في استخدامات الأراضي تأثيرات واضحة على التوزيع الحراري، مما يجعل من الضروري توظيف الاستشعار عن بعد لنمذجة هذه التغيرات وفهم العوامل المؤثرة فيها، ويساعد هذا النهج في تقديم تحليل دقيق يسهم في دعم القرارات البيئية والتخطيطية، مما يسهم في تطوير استراتيجيات للحد من التأثيرات السلبية لارتفاع درجات الحرارة في المناطق الحضرية (Voogt & Oke, 2003)، ومن أجل فهم هذه الظاهرة بشكل دقيق أصبح من الضروري استخدام تقنيات حديثة وفعالة مثل الاستشعار عن بعد لرصد وتحليل هذه الظاهرة، وفي هذا السياق تهدف الدراسة إلى نمذجة خرائط الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل للمدة من 1990 إلى 2023 باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وبالتحديد منصة Google Earth Engine التي توفر أدوات قوية لتحليل البيانات الفضائية، إذ تعتمد الدراسة على استخدام بيانات درجة حرارة سطح الأرض (LST) المستخلصة من الأقمار الصناعية، والتي تم معالجتها وتحليلها باستخدام أكواد لغة البرمجة JavaScript داخل هذه المنصة، ومن ثم تحليل بيانات LST واخضاعها لمعايير تصنيف الجزيرة الحرارية، ثم يتم العمل على تمثيل هذه البيانات داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتوليد خرائط دقيقة للمناطق التي تأثرت بهذه الظاهرة، وتتضمن الدراسة أيضاً نمذجة خرائط أنماط الجزيرة الحرارية خلال هذه الفترة الزمنية وباستخدام أساليب خرائطية متقدمة بهدف تقديم رؤية شاملة حول التطور التقني في التقنيات الجغرافية الحديثة .

مشكلة الدراسة

- 1- كيف يمكن استخدام الاستشعار عن بعد RS وبالتحديد منصة Google Earth Engine لتحليل وتفسير بيانات درجة حرارة سطح الأرض (LST) في مدينة أربيل للمدة 1990-2023؟
- 2- هل أن للمستشعرات الحرارية المثبتة على الأقمار الصناعية دور في رصد ومراقبة ظاهرة الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل؟
- 3- كيف يمكن إعداد وبناء خرائط متقدمة تمثل نطاقات تغطية واسعة لبيانات أنماط الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة؟

فرضية الدراسة

- 1- يمكن استخدام الاستشعار عن بعد RS في رصد ومراقبة درجة حرارة سطح الأرض (LST) في مدينة أربيل للمدة 1990 - 2023 باستخدام منصة Google Earth Engine لما توفره المنصة من أدوات متقدمة لتحليل البيانات المكانية والزمنية.

2- أن للمستشعرات الحرارية دور فعال وأساسي في رصد ومراقبة ظاهرة الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل، وذلك من خلال توفير بيانات دقيقة حول توزيع درجات حرارة سطح الأرض وتحليل الأنماط الحرارية داخل المناطق الحضرية.

3- يمكن إعداد وبناء خرائط متقدمة لبيانات أنماط الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة من خلال التطورات والتحديثات التقنية التي توفرها شركة أيزري، وكذلك بالاعتماد على برمجيات نظم المعلومات الجغرافية المتمثلة في (ARC MAP) و (ARC GIS PRO).

هدف الدراسة

1. استخدام الاستشعار عن بعد RS وبالتحديد منصة Google Earth Engine لرصد ومراقبة وتحليل وتفسير بيانات درجة حرارة سطح الأرض (LST) في مدينة أربيل للمدة 1990-2023.

2. ابراز دور المستشعرات الحرارية المثبتة على الاقمار الصناعية في رصد ومراقبة ظاهرة الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل، وذلك من خلال توفير بيانات دقيقة حول توزيع درجات حرارة سطح الأرض وتحليل الأنماط الحرارية داخل المناطق الحضرية.

3. استخدام منصة Google Earth Engine ولغة البرمجة JavaScript لتطوير خرائط دقيقة تمثل التوزيع المكاني للجزيرة الحرارية عبر فترات زمنية مختلفة.

4. تطوير نموذج خرائط أنماط الجزيرة الحرارية باستخدام أدوات التحليل المتقدمة في نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد المناطق الأكثر تأثراً بالظاهرة عبر الفترات الزمنية المختلفة.

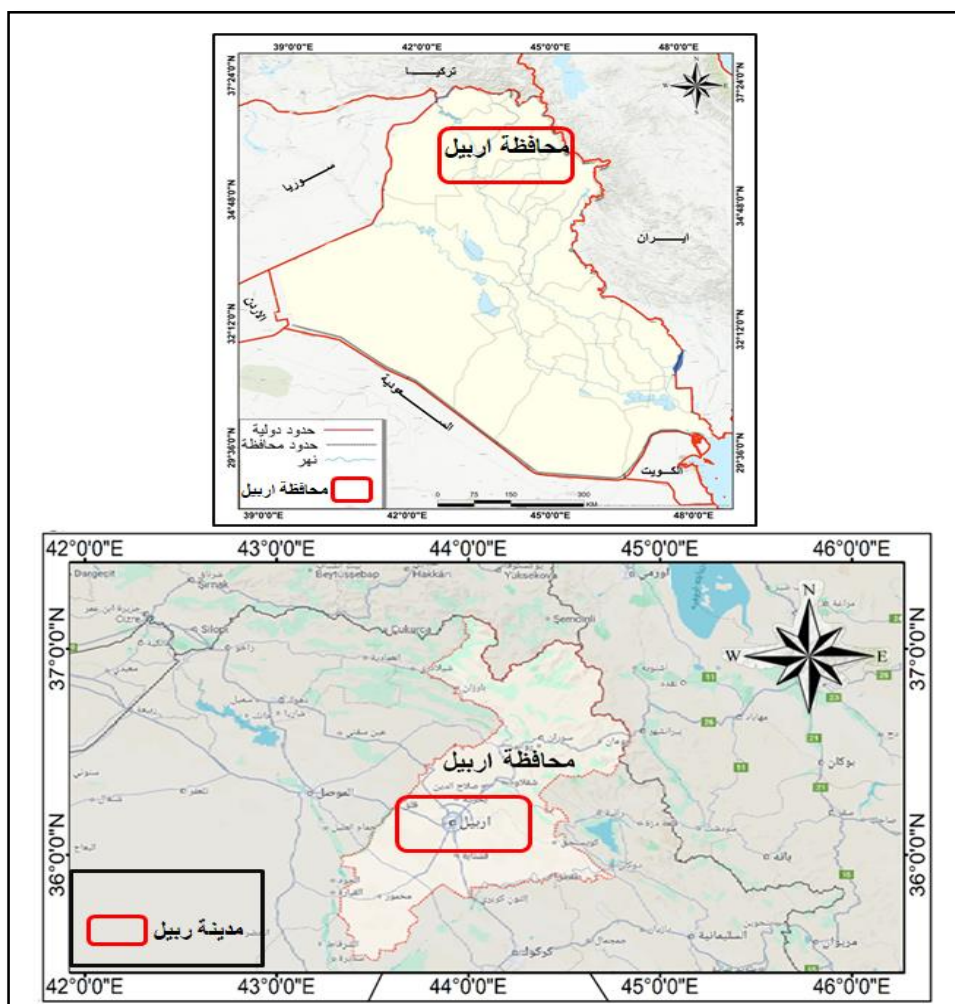
منهجية الدراسة

تم استخدام المنهج التحليلي والمنهج الاستقرائي الذي يهدف إلى الانتقال من دراسة الجزئيات ومن ثم الوصول إلى الكليات، بالإضافة إلى اعتماد المنهج التقني الذي يعتمد على توظيف برمجيات نظم المعلومات الجغرافية في تحليل ومعالجة البيانات.

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في الجزء الشمالي الشرقي من العراق، وتتميز بموقعها المركزي داخل إقليم كردستان العراق، حيث تتوسط الإقليم مع ميلان نحو الشمال والشمال الغربي. تقع المنطقة فلكياً بين دائرتي العرض (34°18' - 36°05') شمالاً، وخطي الطول (43°54' - 44°09') شرقاً. يحدها من الشمال ناحيتا عينكاوة وبحركة، ومن الجنوب ناحية دارة تو، بينما تحدها من الشرق ناحية كسنزان، ومن الغرب ناحية رزكاري، كما هو موضح في الخريطة (1).

الخريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على برنامج Arc Map.v.10.8.

رصد ومراقبة الجزيرة الحرارية باستخدام الاستشعار عن بعد RS

لرصد وتمييز ظاهرة الجزيرة الحرارية داخل المدن باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، يعتمد الباحثون على مجموعة متنوعة من المستشعرات التي توفر بيانات دقيقة عن درجات حرارة سطح الأرض (LST) والخصائص المرتبطة بها، حيث أن كل مستشعر يساهم بخصائص فريدة تساعد على فهم الأنماط الحرارية والتغيرات البيئية الحضرية، وسيتم ذكر أهم المستشعرات المستخدمة وهي كالآتي (جيمس، 2020):

يعد مستشعر MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) المثبت على الأقمار الصناعية Terra و Aqua التابعة لوكالة NASA ، والذي يتميز بقدرته على توفير بيانات حرارية يومية بدقة متوسطة تصل إلى 1 كيلومتر، مع تغطية الكرة الأرضية مرتين يوميًا،

ويستخدم لمراقبة التغيرات الحرارية اليومية والموسمية وتحليل الأنماط الحرارية في المناطق الحضرية والريفية.

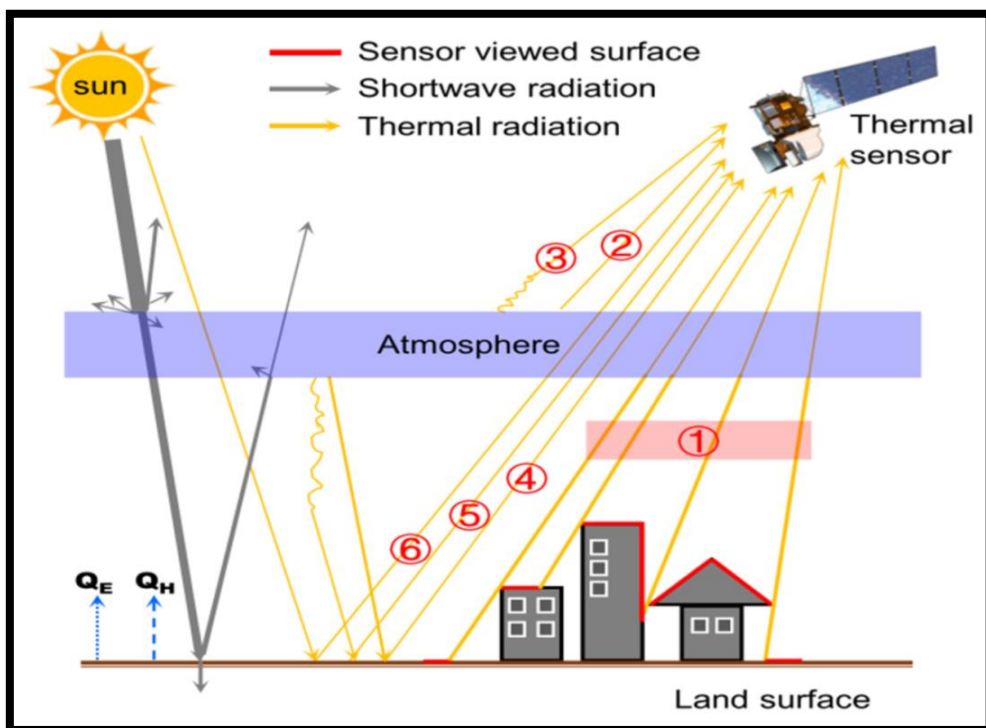
أما مستشعر Landsat Thermal Infrared Sensor (TIRS) فهو جزء من سلسلة أقمار Landsat مثل Landsat 8 وLandsat 9، ويوفر بيانات حرارية بدقة مكانية تصل إلى 100 متر، مما يسمح بتمييز التفاصيل الحرارية بدقة، ويُستخدم لإنشاء خرائط دقيقة لدرجات حرارة سطح الأرض وتحليل العلاقة بين النشاط البشري وارتفاع درجات الحرارة، بينما مستشعر ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)، المثبت على القمر الصناعي Terra التابع لوكالة NASA، يعد خياراً آخر يتميز بدقة مكانية عالية تصل إلى 90 متراً، ويوفر بيانات متعددة النطاقات تغطي المناطق الحضرية، ويستخدم هذا المستشعر لتقييم التأثير الحراري للبيئة التحتية الحضرية ودراسة الفروق الحرارية بين المناطق الحضرية والريفية.

بالإضافة إلى ذلك يعد مستشعر Sentinel-3 SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) جزءاً من برنامج Copernicus التابع لوكالة الفضاء الأوروبية، ويوفر بيانات حرارية بدقة متوسطة تصل إلى 500 متر مع تغطية مساحات كبيرة وتحديثات دورية، ويستخدم لمراقبة الأنماط الحرارية الإقليمية ودراسة تأثير التوسع الحضري على درجات الحرارة. أما منصة Google Earth Engine (GEE) فهي تستخدم في رصد الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة: وتعد واحدة من أقوى المنصات السحابية المتخصصة في تحليل بيانات الاستشعار عن بعد RS وصور الأقمار الصناعية، وتوفر هذه المنصة وصولاً سهلاً إلى مجموعة كبيرة ومتنوعة من بيانات الأقمار الصناعية مثل Landsat، MODIS، و Sentinel، مما يجعلها أداة أساسية للباحثين والمختصين في مجال الجغرافيا والاستشعار عن بعد.

وتتميز GEE بإمكانياتها العالية في تحليل البيانات المكانية والزمانية باستخدام لغات برمجة متقدمة مثل JavaScript وPython، مما يتيح للمستخدمين إجراء تحليلات معقدة بكفاءة وسرعة، كما تدعم المنصة العمل على نطاقات زمنية واسعة، مما يمكن الباحثين من دراسة الظواهر البيئية والمناخية وتطورها عبر الزمن.

فيما يتعلق برصد ودراسة الجزيرة الحرارية داخل المدن تستخدم منصة GEE لتحميل بيانات درجات حرارة سطح الأرض (LST) من الأقمار الصناعية المختلفة، مما يتيح تحليل الأنماط الحرارية في المناطق الحضرية ومقارنتها على مدار فترات زمنية مختلفة، ويساهم في فهم تأثير التوسع العمراني والأنشطة البشرية على التغيرات الحرارية داخل المدن، وبالتالي تقديم رؤى مفيدة لدعم التخطيط الحضري المستدام.

الشكل (1) الأشعة تحت الحمراء التي يتم التقاطها بواسطة مستشعر الأقمار الصناعية



المصدر: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/1/48>

يوضح الشكل (1) مجموعة من المسارات الإشعاعية المرتبطة بالاستشعار عن بعد، ويتضمن المسار الأول: الإشعاع المنبعث مباشرة من سطح الهدف، بينما يشير المسار الثاني: إلى الإشعاع الحراري الجوي المتصاعد، أما المسار الثالث فيمثل الإشعاع الشمسي المنتشر أثناء صعوده عبر الغلاف الجوي، في حين أن المسار الرابع يتعلق بالإشعاع الحراري الجوي المتجه نحو الأسفل، ويوضح المسار الخامس الإشعاع الشمسي المنتشر نحو الأسفل، أما المسار السادس فيوضح الإشعاع الشمسي المباشر المنعكس عن السطح.

قبل أن تصل هذه الإشعاعات إلى المستشعر، تخضع للتخفيف بفعل الغلاف الجوي، ومن بين هذه المسارات، يعد المسار الأول الأكثر ارتباطاً بدرجة حرارة سطح الأرض والانبعاثية المستهدفة، حيث يتم إهمال الإشعاعات المرتبطة بالطاقة الشمسية في الغالب، أما المسارات الثالث والخامس والسادس المتعلقة بالطاقة الشمسية (Langsdale et al., 2020)، فهي ذات تأثير ضئيل للغاية في استرجاع درجة حرارة سطح الأرض (LST) بسبب النفاذة الحرارية للأشعة تحت الحمراء، والتي تقع ضمن أطوال موجية تتراوح بين 8 إلى 14 ميكرومتر و 3 إلى 5 ميكرومتر (Li et al., 2013).

مراحل استخلاص الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة أربيل

لمراقبة ورصد جزر الحرارة باستخدام منصة Google Earth Engine، يمكن الاستفادة من إمكانياتها المتقدمة لتحليل البيانات المكانية والزمنية، لما توفره المنصة من واجهة برمجية سهلة

الاستخدام تتيح للمطورين الوصول إلى قاعدة بيانات ضخمة من البيانات الجغرافية وأدوات التحليل عبر الإنترنت، وفي هذا السياق تم استخدام المنصة لاستخراج صورة لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) تغطي الفترة من 1990 إلى 2023، وتوفر منصة (GEE) للمستخدمين إمكانية استخدام لغة JavaScript لتطوير تطبيقات مخصصة للرصد البيئي والجغرافي، مستفيدة من مجموعة متنوعة من الأدوات والبيانات الجغرافية المتاحة، وفيما يلي عرض لبعض الأكواد الخاصة بـ Google Earth Engine التي يمكن استخدامها لمراقبة ورصد جزر الحرارة:

1. قراءة صور الجزيرة الحرارية

```
Var landsat = ee. Image Collection("LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA") ;
```

2. اختيار المنطقة المراد رصدها

```
var region = ee. Geometry.Point(lon, lat). buffer(radius); //
```

البحث حولها

3. اختيار تاريخ محدد

```
var start Date = '2022-01-01';
```

```
var end Date = '2022-12-31';
```

```
var landsatFiltered = landsat. filterDate (start Date, end Date);
```

4. حساب معدل درجة الحرارة

```
var temperature = landsatFiltered. Select('B10'). mean ();
```

5. رسم خريطة الحرارة

```
Map.addLayer(temperature, {min: 270, max: 300, palette: ['blue', 'green', 'red']}, 'Temperature Map');
```

6. تصدير الصورة

```
Export. Image. to Drive ({
```

```
image: temperature,
```

```
description: 'temperature_map',
```

```
scale: 30,
```

```
region: region,
```

```
maxPixels: 1e10
```

هذا مثال على الكود الذي يمكن استخدامه في Google Earth Engine لرصد درجة حرارة

سطح الأرض، إذ يمكن تخصيص هذه الأكواد وتطويرها لتلبية المتطلبات الخاصة والقيام بتحليلات أكثر تعقيداً ودقة.

الرابط الخاص باستنباط درجة حرارة سطح الأرض لمدينة اربيل للمدة (1990 - 2023):

وتم استخدام الأكواد الخاصة لاستنباط حرارة سطح الأرض لمدينة اربيل للمدة (1990 -

2023) بشكل صورة واحدة، والصورة أدناه توضح ذلك:

LST/image:<https://code.earthengine.google.com/230ea1f754c8655b1c158749d6da7a7c?noload=true>

Google Earth Engine

Search places and datasets...

positive-nuance-428309-h1

Scripts Docs Assets

Link 230ea1f754c8655b1c158749d6da7a7c*

Get Link Save Run Reset Apps

Inspector Console Task

Filter scripts NEW

Owner
No accessible repositories.
Click Refresh to check again.

Writer
No accessible repositories.
Click Refresh to check again.

Reader
No accessible repositories.
Click Refresh to check again.

Archive
No accessible repositories.
Click Refresh to check again.

Examples
Image
Image Collection
Feature Collection
Charts
Arrays
Primitive
Cloud Masking
Code Editor
User Interface
Datasets
AAFC
ACA
AHN
ASTER
AU
BIOPAMA

Imports (1 entry)
var point: Table projects/ee-mostafaayek1/assets/Arbil

```

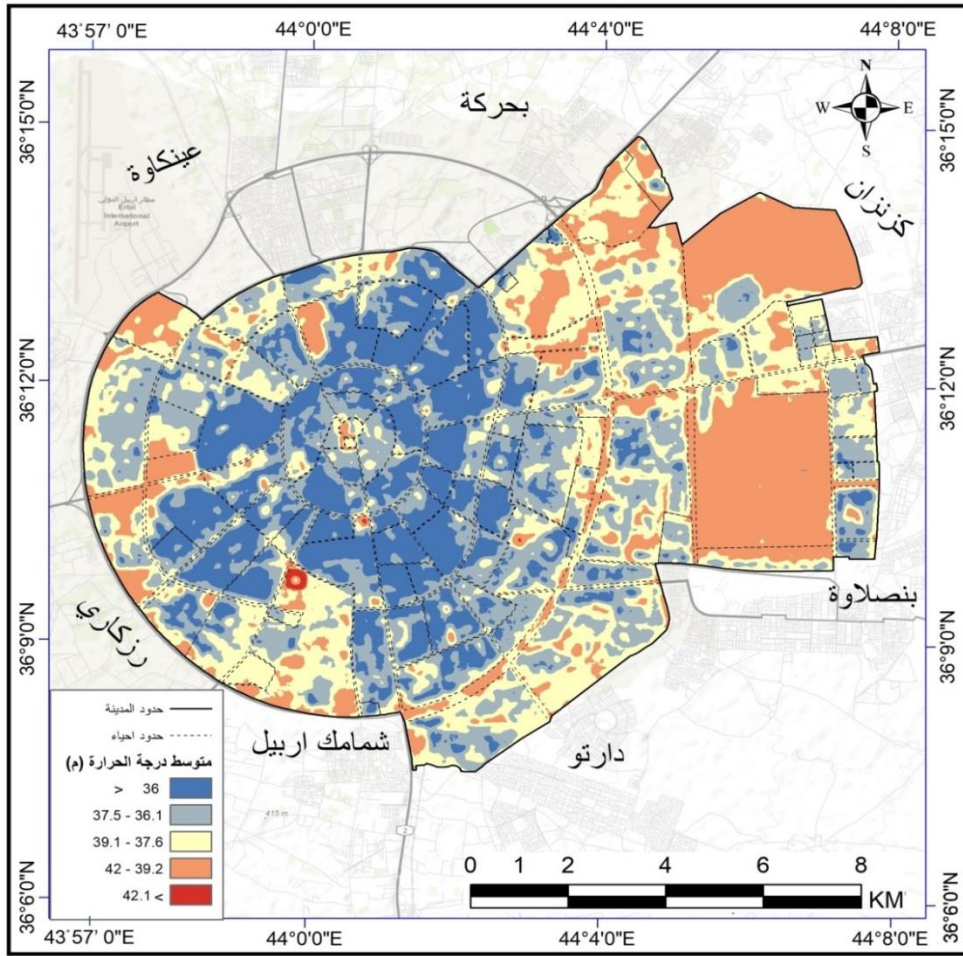
1 function maskLandsat(image) {
2   var qaMask = image.select('QA_PIXEL').bitwiseAnd(parseInt('11111', 2)).eq(0);
3   var saturationMask = image.select('QA_RADSAT').eq(0);
4   // Apply the scaling factors to the appropriate bands.
5   var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802)
6     .add(149.0).add(-273.15);
7   // Replace the original bands with the scaled ones and apply the masks.
8   return image
9     .addBands(thermalBands, null, true)
10    .updateMask(qaMask)
11    .updateMask(saturationMask);
12 }
13 var L457band = ['ST_B6'];
14 var L89 = ['ST_B10'];
15 // Assign a variable for the band names used later in the script.
16 var bandName = ['ST'];
17 var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2') // Landsat 8(entire collection)
18   .map(maskLandsat) .select(L89, bandName)
19   .filterBounds(point);
20 var L9 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC09/C02/T1_L2') // Landsat 9(entire collection)
21   .map(maskLandsat) .select(L89, bandName)
22   .filterBounds(point);
23 var L7 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C02/T1_L2') // Landsat 7(entire collection)
24   .map(maskLandsat) .select(L457band, bandName)
25   .filterBounds(point);
26 var L5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1_L2') // Landsat 5 (entire collection)
27   .map(maskLandsat) .select(L457band, bandName)
28   .filterBounds(point);
29 var L4 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT04/C02/T1_L2')// Landsat 4 (entire collection)
30   .map(maskLandsat).select(L457band, bandName)
31   .filterBounds(point);
32 var ss = L4.merge(L5).filterDate('1990-01-01', '1990-12-01').mean().clip(point);
33 Export.image.toDrive({
34   image: ss,
35   description: 'LST_1990',
36   folder: 'earthengine',
37   region: point,
38   crs: 'EPSG:32638',
39   scale: 30,
40   maxPixels: 1e13,
41 });
42 var histogram_ST_values = ui.Chart.image.histogram(ss, point, 30);
43 print(histogram_ST_values);
44
45 var ss = L4.merge(L5).merge(L7).filterDate('1990-01-01', '2023-12-01').mean().clip(point);
46 Export.image.toDrive({
47   image: ss,
48   description: 'LST_1990-2023',
49   folder: 'earthengine',
50   region: point,
51   crs: 'EPSG:32638',
52   scale: 30,
53   maxPixels: 1e13,
54 });
55 var histogram_ST_values = ui.Chart.image.histogram(ss, point, 30);
56 print(histogram_ST_values);

```

Use print(...) to write to this console.

Welcome to Earth Engine!
Please use the help menu above (?) to learn more about how to use Earth Engine, or visit our help page for support.

الخريطة (2) درجات حرارة سطح الأرض LST للمدة 1990 – 2023



المصدر: بالاعتماد على منصة Google Earth Engine

الجدول (1) درجات حرارة سطح الأرض LST للمدة 1990 – 2023

متوسط درجة الحرارة (م)	اللون الخرائطي	المساحة كم2	%
>36.0	أزرق غامق	29	20.6
37.5 - 36.1	أزرق فاتح	42	29.8
39.1 - 37.6	أصفر فاتح	39	27.7
42.0 - 39.2	أحمر فاتح	30	21.3
42.1<	أحمر غامق	1	0.7
المجموع		141	100.0

المصدر: بالاعتماد على الخريطة (2).

يتبين من الجدول (1) والخريطة (2) الخاص بدرجات حرارة سطح الأرض LST على مدى العقود الثلاثة الماضية من عام 1990 إلى 2023 ، إذ واجهت مدينة أربيل تغيرات ملحوظة في

درجات الحرارة، مما أثر بشكل كبير على ظاهرة الجزيرة الحرارية، ففي السنوات الأخيرة زادت متوسطات درجات الحرارة بشكل متصاعد، مما نتج عنه تأثيرات بيئية وسكانية واضحة، ففي الفئة الأولى تتجاوز متوسط درجة الحرارة فيها 36.0 درجة مئوية، وبمساحة 29 كم²، وتمثل 20.6% من المساحة الإجمالية لمنطقة الدراسة، وشهدت هذه المناطق تأثيراً كبيراً من درجات الحرارة المرتفعة، حيث تزايدت فترات الحرارة الشديدة وعانت من تأثيرات الجزيرة الحرارية الواضحة، مما ساهم في تدهور نوعية الحياة وزيادة الطلب على الطاقة للتبريد، أما الفئة الثانية التي تتراوح درجات الحرارة فيها بين 36.1 و 37.5 درجة مئوية وبمساحة 42 كم² وتمثل 29.8% من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وفي هذه الفئة كان تأثير الجزيرة الحرارية أكثر وضوحاً، حيث تشهد المدن حوضاً حرارياً يمنع الهواء من التحرك بحرية، مما يعزز الشعور بالحرارة حيث تظل درجات الحرارة مرتفعة حتى بعد غروب الشمس، وفي الفئة الثالثة تراوحت درجات الحرارة فيها بين 37.6 و 39.1 درجة مئوية وبمساحة 39 كم² وتمثل 27.7% من المساحة الإجمالية للمنطقة، وفي مثل هذه الظروف تتراكم الغازات الدفيئة والحرارة الناتجة عن النشاط البشري مما يعزز من تفاقم تأثير الجزيرة الحرارية، ويزيد من صعوبة الحياة اليومية وبالتالي يؤثر سلباً على الصحة العامة، أما بالنسبة للفئة الرابعة التي تشمل درجات حرارة تتراوح بين 39.2 و 42.0 درجة مئوية وبمساحة 30 كم² وتمثل 21.3% من المساحة الكلية للمنطقة، وفي هذه الظروف أصبحت درجات الحرارة المتطرفة أمراً شائعاً، مما يؤدي إلى حدوث نشاطات اقتصادية متأثرة بالحرارة، مثل الزراعة، التي تعاني من تحديات متعددة بسبب ظروف الطقس القاسية، أما بالنسبة للفئة التي تتجاوز 42.1 درجة مئوية وبمساحة 1 كم² وتمثل 0.7% من المساحة الإجمالية، و تمثل هذه المناطق النقاط الأكثر حرارة، حيث تنعكس تأثيرات الجزيرة الحرارية بشكل أكثر وضوحاً، مما يؤدي إلى مشكلات صحية خطيرة ويزيد من صعوبة المعيشة، وبشكل عام فإن الفترة من 1990 إلى 2023 شهدت زيادات مستمرة في درجات الحرارة في مدينة أربيل، مما كان له تأثير كبير على الجزيرة الحرارية، مع تفاقم تحديات الحياة اليومية والنمو الحضري، ويتطلب هذا الوضع اتخاذ إجراءات فعالة للتخفيف من تأثيرات الحرارة وضمان بيئة حياتية أكثر استدامة وصحة للسكان.

نمط الجزيرة الحرارية

يعد نمط الجزر الحرارية الحضرية بأنه التباين المكاني والزمني لأنماط الجزر الحرارية الحضرية في مدينة اربيل، إذ يوضح كيف تتغير شدة وتأثير الجزر الحرارية في المدينة بناءً على الموقع والوقت (Yu & Hien, 2012)، ومن هنا يمكن تقسيم نمط الجزيرة الحرارية وفقاً لدرجات الحرارة كما في الجدول (2).

الجدول (2) تصنيف أنماط الجزر الحرارية

الوصف	درجة الحرارة (°C)	الجزيرة الحرارية
مناطق ذات درجات حرارة منخفضة، غالباً في فصل الشتاء أو في الليل.	أقل من 10	باردة
مناطق ذات درجات حرارة مريحة غالباً في الفصول الانتقالية (الربيع والخريف).	10 - 20	معتدلة
مناطق ذات درجات حرارة دافئة، تحدث عادةً خلال النهار و الربيع والخريف أو في ليل الصيف.	20 - 30	دافئة
مناطق ذات درجات حرارة مرتفعة، تحدث غالباً في نهار الصيف.	30 - 40	حارة
مناطق ذات درجات حرارة شديدة الارتفاع، تحدث خلال الأيام الحارة جداً في الصيف.	أكثر من 40	حارة جداً

المصدر:

Santamouris, M, An analysis of the environmental performance of the urban heat island and its impact on the energy consumption of buildings. Journal Solar Energy, 2015, p22. ; Roth, M, Review of urban climate research in (sub)tropical regions. International Journal of Climatology, 2007.

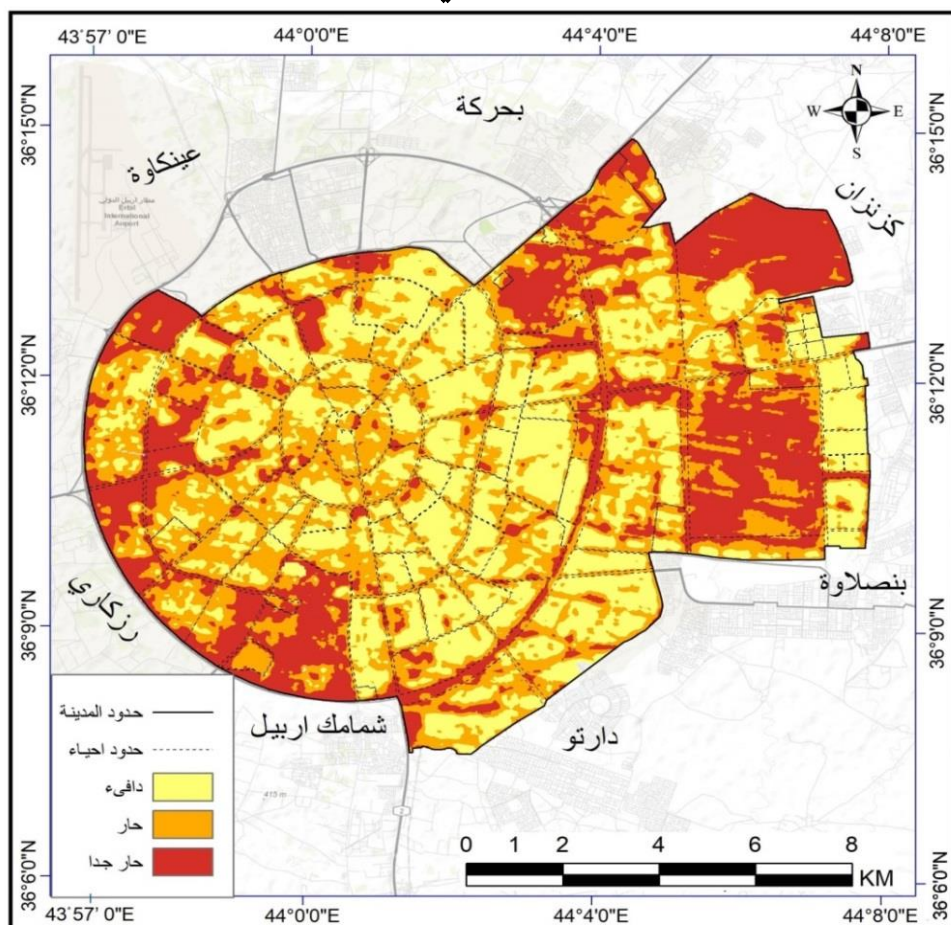
تشكل هذه المعايير مجتمعة أسس تصنيف وتقييم الجزيرة الحرارية في أي منطقة معينة، مما يساعد في الفهم الكلي لتأثيراتها وتقديم حلول مناسبة لتخفيف هذه التأثيرات، وبالاعتماد على الجدول (2) يمكن تصنيف أنماط الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة للمدة (1990 - 2023) كالآتي:

الجدول (3) نمط الجزيرة الحرارية في مدينة اربيل للمدة 1990 - 2023

اصناف الجزيرة الحرارية	اللون الخرائطي	مساحة كم2	%
دافئ	اصفر	49	34.8
حار	برتقالي	53	37.6
حار جدا	احمر غامق	39	27.7
المجموع	-	141	100

المصدر: بالاعتماد على الخريطة (3)

الخريطة (3) نمط الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل للمدة 1990 - 2023



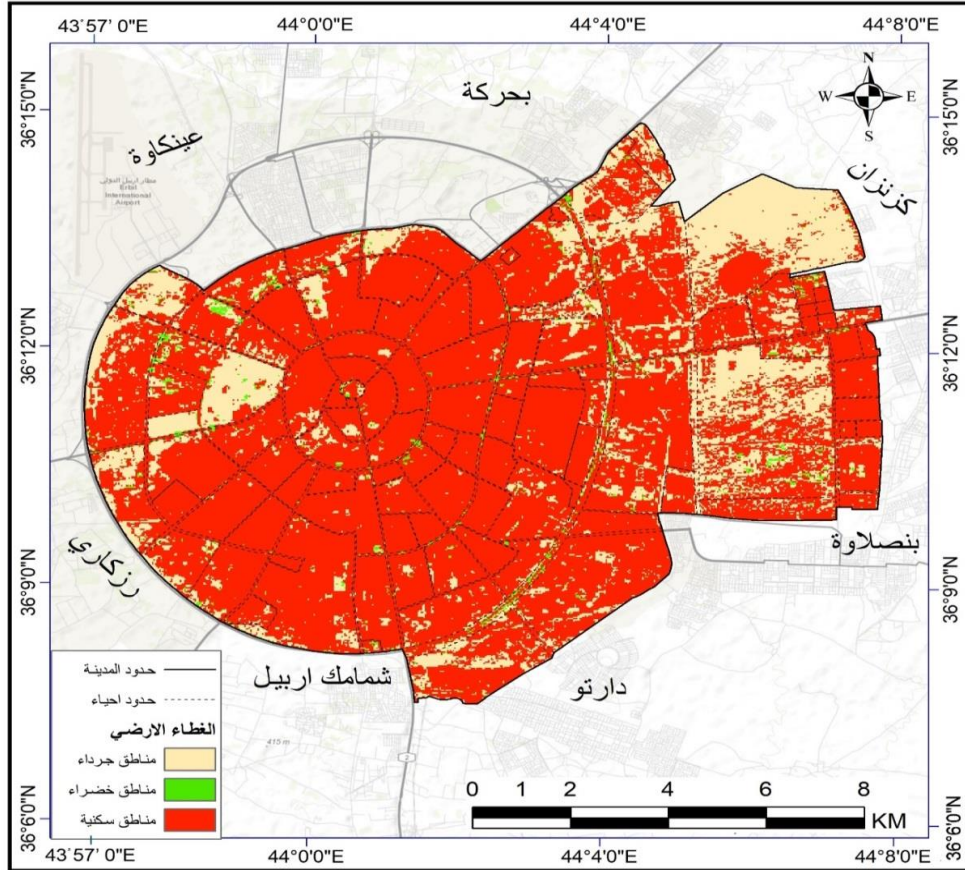
المصدر: بالاعتماد على برنامج Arc Map.v.10.8

التوسع العمراني وأثره على الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل

يتبين من الجدول (4) الخاص بأنماط استخدامات الأرض في مدينة أربيل لسنة 2023 ، والتي تظهر تحولاً ملحوظاً في الأنماط الأرضية، إذ تبلغ مساحة المناطق الجرداء (30 كم²) ، مما يمثل حوالي (21.3%) من إجمالي المساحة في مدينة أربيل، وهذا التراجع في المساحات الجرداء يعد إيجابياً بعض الشيء، مشيراً إلى إمكانية استخدام الأراضي في تطوير البنية التحتية والمشاريع الحضرية، أما بالنسبة للمناطق الخضراء فقد ارتفعت قليلاً لتصل إلى (2 كم²) ، وهو ما يعادل (1.4%) من المساحة الكلية، وبالرغم أن هذه الزيادة تعتبر خطوة صغيرة نحو تحسين الغطاء النباتي، إلا أنها لا تزال ضعيفة للغاية مقارنة بالاحتياجات البيئية لمدينة مكتظة بالسكان، أما فيما يتعلق بالمناطق السكنية فقد استمرت بالارتفاع بشكل ملحوظ، وسجلت مساحة (109 كم²) مما يعني أنها تشكل (77.3%) من مساحة المنطقة، وهذا النمو الكبير يعكس زيادة سكانية وتوسعاً حضرياً سريعاً، ولكن في غياب التوازن مع المساحات الخضراء، فإنه يعزز من تأثير الجزيرة الحرارية في المدينة، ونستنتج من ذلك انخفاض المساحات الجرداء إلى مستويات منخفضة، وزيادة طفيفة

في المساحات الخضراء، وزيادة كبيرة في المناطق السكنية، وبالرغم من الجهود في تقليل المناطق الجرداء، فإن النقص المستمر في المساحات الخضراء مع الزيادة السريعة في المناطق السكنية يدعمان استمرار ظاهرة الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل.

الخريطة (4) انماط استخدامات الأرض في مدينة أربيل لعام 2023



المصدر: بالاعتماد على منصة Google Earth Engine ومخرجات برنامج Arc Map.

الجدول (4) انماط استخدامات الأرض في مدينة أربيل لعام 2023

الصنف	اللون الخرائطي	المساحة كم2	%
مناطق جرداء	البنّي الفاتح	30	21.3
مناطق خضراء	الأخضر	2.0	1.4
مناطق سكنية	الأحمر	109	77.3
المجموع		141	100.0

المصدر: بالاعتماد على الخريطة (4).

ومن خلال التحليل البصري للخريطة (4) فيمكن تحليل خرائط استخدامات الأراضي في مدينة أربيل بوضوح من خلال توظيف متغيرات بصرية متعددة، فقد تم استخدام الألوان للتعبير عن الأنواع المختلفة من أنماط استخدامات الأرض، إذ يظهر اللون الأحمر المناطق السكنية، واللون

الأخضر المناطق الخضراء، أما الأصفر الفاتح فيوضح المناطق الجرداء، ودائماً ما يتم استخدام الألوان بوضوح لتمييز الأنواع المختلفة من أنماط استخدامات الأرض مما يسهل فهم الخريطة وإدراكها.

نمذجة خرائط أنماط الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل للفترة (1990-2023)

تم الاعتماد على بيانات أنماط الجزيرة الحرارية في الجدول (3) ومن ثم العمل على استخدام طرائق خرائطية متقدمة لتمثيل هذا النوع من البيانات، وفي هذا السياق تم الاعتماد على الطريقة الآتية:

نمذجة خرائط بازل Puzzle Maps

خريطة البازل هي نوع مبتكر من الخرائط والتي يتم تصميمها على هيئة قطع متشابكة تشبه أحجية البازل (Jigsaw Puzzle)، إذ تعمل على تقسيم البيانات الجغرافية أو المناطق إلى أجزاء مترابطة يمكن تفكيكها وتجميعها لتكوين الخريطة الكاملة، ويهدف هذا التصميم إلى تقديم البيانات الجغرافية بطريقة تفاعلية وبصرية تساهم في تعزيز الفهم، خاصة عند تحليل العلاقات المكانية أو البيانات الإحصائية، ويعود الفضل في استنباط فكرة خريطة البازل إلى الرسام والخطاط الإنجليزي جون سبيلسبري (John Spilsbury) عام (1766)، إذ قام سبيلسبري بإصاق خريطة العالم على لوح خشبي وقصها إلى قطع تمثل حدود الدول، بهدف استخدامها كأداة تعليمية مبتكرة لمساعدة الأطفال على تعلم الجغرافيا بطريقة ممتعة وتفاعلية، ومع التقدم التقني تم تطوير نسخ رقمية من خرائط البازل تستخدم في التحليل المكاني، وتم استخدامها في نمذجة الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة. والخريطة (5) توضح ذلك.

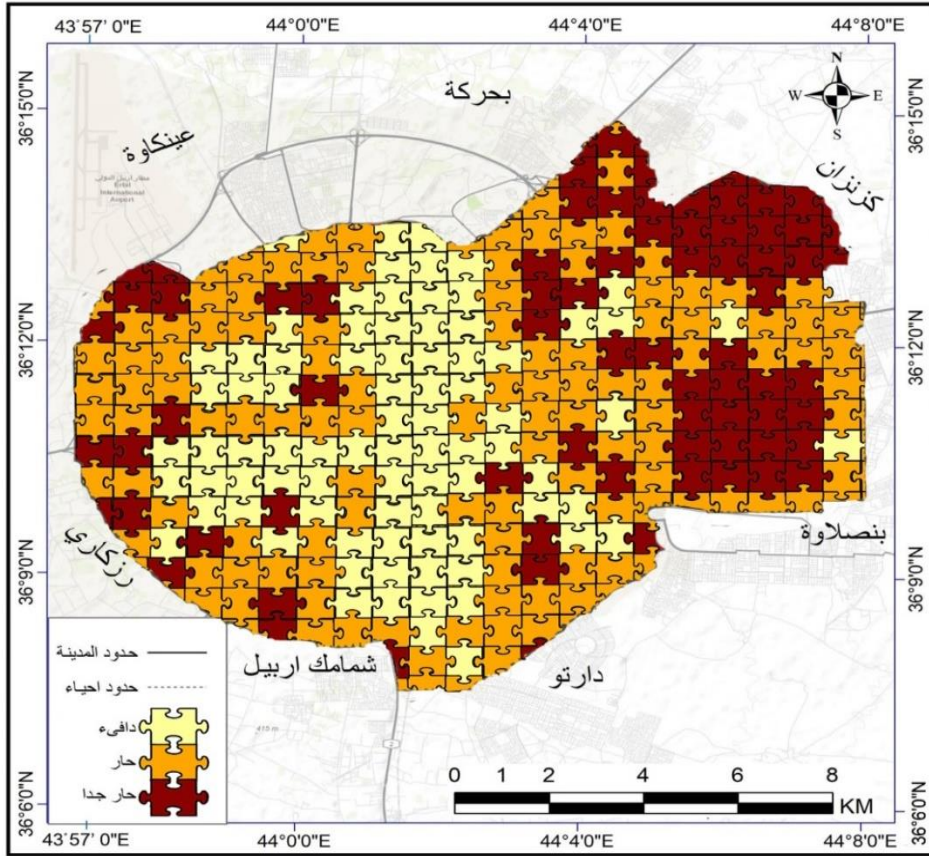
أهداف خريطة البازل Puzzle

- تسهيل فهم المعلومات الجغرافية المعقدة.
- تشجيع التفاعل مع البيانات الجغرافية.
- تعزيز استيعاب الروابط بين المناطق المختلفة (الشرنوبي، 2018).
- تقديم عرض مبتكر للبيانات يناسب أغراض التعليم.

مشكلات خرائط البازل Puzzle

تواجه خرائط البازل الكثير من التحديات، منها إمكانية فقدان الدقة الجغرافية نتيجة لتقسيم المناطق إلى أجزاء صغيرة قد تشوه التفاصيل، كما أن التبسيط المفرط يجعلها غير مناسبة للأغراض التحليلية أو العلمية التي تتطلب عرضاً أكثر تفصيلاً، وتعتمد هذه الخرائط على التفاعل اليدوي لتجميع الأجزاء مما يقلل من كفاءتها في بعض البيئات التعليمية أو الرقمية، وأخيراً ضعف تكاملها مع الأدوات الرقمية الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) (إبراهيم، محمود، 2020).

الخريطة (5) استخدام طريقة (Puzzle Map) في نمذجة خريطة الجزيرة الحرارية للمدة (2023-1990)



المصدر: بالاعتماد على الجدول (3) برنامج Arc Gis Pro.

تحليل وتفسير بصري لخريطة البازل

تمثل هذه الخريطة نموذجاً بصرياً مبتكراً لنمذجة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة أربيل باستخدام التقنيات الرقمية الحديثة، حيث تم تقسيم المنطقة إلى قطع متداخلة على شكل قطع (Puzzle) تعكس التوزيع الحراري للمدينة، وتم الاعتماد على التدرج اللوني المستخدم على ثلاثة مستويات رئيسية هي كالآتي:

- أ- **الأصفر الفاتح**: يمثل المناطق ذات درجات الحرارة المنخفضة نسبياً، والتي قد تكون مناطق خضراء أو تحتوي على مساحات مفتوحة.
- ب- **البرتقالي**: يشير إلى المناطق الدافئة، والتي قد تشمل المناطق السكنية ذات الكثافة المتوسطة.
- ت- **الأحمر الداكن**: يعبر عن المناطق الأكثر حرارة، وهي غالباً المناطق ذات الكثافة العمرانية العالية والأسطح الإسفلتية والخرسانية التي تحتفظ بالحرارة.

تحليل العناصر البصرية في الخريطة

- 1- نمط البازل (Puzzle Mapping) : يضيف لمسة بصرية جذابة لكنه قد يخفي التفاصيل الدقيقة لبعض المناطق، حيث أن القطع الكبيرة نسبياً قد تقلل من دقة التحليل المكاني.
- 2- التدرج اللوني المستخدم: إن استخدام اللون الأصفر إلى الأحمر يسهل قراءة الخريطة ويعكس تدرج الحرارة بوضوح، ولكنه لا يوضح الفروقات الدقيقة بين المناطق ذات الفوارق الحرارية الطفيفة.

خاتمة ونتائج الدراسة

الاستنتاجات

- تمكنت هذه الدراسة من رصد ومراقبة ظاهرة الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل للمدة 1990-2023 باستخدام أكواد لغة البرمجة JavaScript عبر منصة Google Earth Engine، وتتيح هذه المنصة تحميل مرئيات فضائية دقيقة لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) في المنطقة المدروسة، ما ساعد في تحليل وتحقيق تصنيف شامل للأنماط الحرارية في منطقة الدراسة.
- أظهرت النتائج أن مدينة أربيل تواجه تحديات ملحوظة بسبب الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة، وبلغت نسبة مساحة المناطق الدافئة خلال فترة الدراسة (34.8%)، والمناطق الحارة (37.6%)، أما المناطق الحارة جداً (27.7%)، وهذا بدوره يؤثر بشكل كبير على البيئة الحضرية وجودة الحياة.
- لقد شهدت مدينة أربيل خلال الفترة من 1990 إلى 2023 زيادة مستمرة في درجات الحرارة، مما أدى إلى تفاقم ظاهرة الجزيرة الحرارية بشكل ملحوظ، وقد أسفرت هذه الزيادة في درجات الحرارة عن تأثيرات بيئية وسكانية خطيرة، إذ تعاني المناطق الأكثر تأثراً من تدهور نوعية الحياة، وزيادة الطلب على الطاقة الكهربائية، وتفاقم مشاكل الصحة العامة، خاصة في المناطق التي تتجاوز درجات الحرارة فيها 39 درجة مئوية.
- تعتبر خرائط البازل (Puzzle Maps) أداة فعالة لتمثيل التوزيعات المكانية، حيث تعتمد على تقسيم المنطقة الجغرافية إلى شبكة منتظمة من أشكال قطع (البازل)، التي تعكس بيانات أو تصنيفات معينة.
- تواجه خرائط البازل الكثير من التحديات، منها إمكانية فقدان الدقة الجغرافية نتيجة لتقسيم المناطق إلى أجزاء صغيرة قد تشوه التفاصيل، كما أن التبسيط المفرط يجعلها غير مناسبة للأغراض التحليلية أو العلمية التي تتطلب عرضاً أكثر تفصيلاً، وتعتمد هذه الخرائط على التفاعل اليدوي لتجميع الأجزاء مما يقلل من كفاءتها في بعض البيئات التعليمية أو الرقمية.

التوصيات

- ينبغي اتخاذ إجراءات فعالة للتخفيف من تأثيرات الجزيرة الحرارية في مدينة أربيل، مثل تعزيز المساحات الخضراء الحضرية، واستخدام الأسطح العاكسة للحرارة، وتطوير أنظمة تهوية طبيعية للمناطق الحضرية، كما يجب تطبيق سياسات تنظم النمو العمراني بشكل مستدام بحيث يتم تقليل استخدام الأسطح الصلبة والمواد التي تعزز من تأثيرات الحرارة.

- تقترح الدراسة بإنشاء شبكة مراقبة حرارية مستدامة في مدينة أربيل، تعتمد على بيانات الأقمار الصناعية ومرئيات منصة Google Earth Engine ، لتحديث وتحليل التغيرات في درجات الحرارة بشكل دوري، مما يساهم في تحسين استراتيجيات التكيف مع ارتفاع درجات الحرارة.
- توصي الدراسة بإجراء دراسات بيئية متكامل مع نتائج نمذجة الجزيرة الحرارية لتقييم تأثير الظاهرة على الصحة العامة، كزيادة انتشار الأمراض المرتبطة بالحرارة، وعلى الاقتصاد المحلي، مثل تأثيرها على استهلاك الطاقة وإنتاجية الزراعة.
- الاهتمام باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل الجغرافي المكاني المتقدم لتحليل الأنماط الحرارية بدقة أكبر، ودراسة السيناريوهات المستقبلية لارتفاع درجات الحرارة في ظل تغير المناخ، مما يساعد في اتخاذ تدابير استباقية للتخفيف من الآثار السلبية.
- يمكن تحسين فعالية خرائط قطع البازل (Puzzle Maps) من خلال تطوير تقنيات تحليل البيانات داخل نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مما يتيح للمستخدمين التعامل مع بيانات أكثر تعقيداً وحجماً أكبر.

التعليقات والشروح

1- GEE : عبارة عن منصة مقدمة من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية والإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) والتي يمكنها إجراء العمليات الحسابية ومعالجة البيانات بسرعة، وهناك وظائف مختلفة لمعالجة الصور على هذا النظام الأساسي، بما في ذلك التحليل الإحصائي، وتحليل قيمة بث الصورة، واختبار المصفوفة.

2 - <https://earthengine.google.com/>

قائمة المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

1. جيمس، م. ك. (2020). تاريخ الخرائط المناخية: من الجغرافيا الكلاسيكية إلى العصر الحديث. أكسفورد، المملكة المتحدة: مطبعة جامعة أكسفورد.
2. الشرنوبي، م. ع. ر. (2018). نظم المعلومات الجغرافية: الأسس والتطبيقات. القاهرة، مصر: دار الفكر العربي.
3. إبراهيم، س. ث.، ومحمود، ن. ع. ر. (2020). مشكلات التمثيل الحجمي في الخرائط الموضوعية الكمية. مجلة آداب الفراهيدي، 12(42)، 1-16

ثانياً: المراجع باللغة الأجنبية

4. Li, Z., Tang, B., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. Remote Sensing of Environment, 131, 14–37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
5. Langsdale, M. F., Dowling, T. P. F., Wooster, M., Johnson, J., Grosvenor, M. J., de Jong, M. C., Johnson, W. R., Hook, S. J., & Rivera, G. (2020). Inter-comparison of field- and laboratory-derived surface emissivities of natural and manmade materials in support of land surface temperature (LST) remote sensing. Remote Sensing, 12(24), 4127. <https://doi.org/10.3390/rs12244127>
6. Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, 86, 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
7. Yu, C., & Hien, W. N. (2012). Thermal impact of strategic landscaping in cities: A review. In Advances in Building Energy Research (pp. 243–266). London: Routledge.
8. Santamouris, M. (2015). An analysis of the environmental performance of the urban heat island and its impact on the energy consumption of buildings. Journal of Solar Energy, 22, 1–22.
9. Roth, M. (2007). Review of urban climate research in (sub)tropical regions. International Journal of Climatology, 27(14), 1859–1873.