

## Comparing the Effectiveness of the NBR and NDVI Spectral Indicators in Mapping and Estimating the Burned Areas: a Case Study of Umm Al-Taiour and the Forested Area in the Northern Countryside of Lattakia

Rose Hwaijeh \*

(Received 10 / 9 / 2022. Accepted 7 / 11 / 2022)

### □ ABSTRACT □

The purpose of this paper is to identify the burnt areas occurred in Umm Al-Taiour and forested area in the northern countryside of Lattakia during the summer of 2020 using remote sensing techniques. The analyzes were based on the changes in two spectral indicators, the Normalized Burn Ration (NBR) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) computed using the Landsat 8 and Sentinel 2A satellite imagery.

The images used cover the same area at different times from before and after the fire. We first calculated the change in the NBR using the Landsat 8 satellite bands and repeated the same work using the Sentinel 2A satellite bands. The burnt areas were mapped based on the NBR and NDVI changes, their area was calculated and the results were compared. Later, we applied the same methodology to calculate the change NDVI, map the burnt areas, calculate their areas, and compare the results.

The results showed that the use of the NBR indicator is more effective in mapping fires than the NDVI one, whereby an error matrix was generated for the two tested indicators, and the values indicating the image classification accuracy showing burnt and unburned areas were calculated (User Accuracy, Product Accuracy, Over all Accuracy and kappa coefficient). These parameters revealed the high accuracy of the results that can be achieved by the NBR indicator.

**Keywords:** Remote Sensing, Spectral indicators, Burned area maps, Landsat 8, Sentinel 2A.

---

\*Work Supervisor, Department of Topography- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.Email: [h.rose80@gmail.com](mailto:h.rose80@gmail.com)

## مقارنة فعالية المؤشرات الطيفية NBR و NDVI في تخطيط المناطق المحترقة وتقدير مساحاتها: حالة دراسة لقرية أم الطيور والمنطقة الحراجية في ريف اللاذقية الشمالي

روز حويجه\*

(تاريخ الإيداع 10 / 9 / 2022. قُبِلَ للنشر في 7 / 11 / 2022)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تخطيط المناطق المحترقة في قرية أم الطيور والمنطقة الحراجية الواقعتين في ريف اللاذقية الشمالي التي ظهرت خلال حرائق صيف العام 2020 بتطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد. قامت التحليلات على استخدام التغيرات في مؤشرين طيفيين هما: نسبة الحريق المطبّعة (NBR) Normalized Burn Ration ومؤشر تغير النبات المطبّع (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index المحسوبين باستخدام مرئيات القمرين الصناعيين Landsat 8 و Sentinel 2A.

تغطي المرئيات المستخدمة نفس المنطقة في أوقات مختلفة ترجع إلى فترة ما قبل الحريق وما بعده. قمنا أولاً بحساب التغير في نسبة الحريق المطبّع باستخدام حزم القمر الصناعي Landsat 8 وكررنا نفس العمل باستخدام حزم القمر الصناعي Sentinel 2A. تم تخطيط المناطق المحترقة بناءً على تغيرات المؤشرين الطيفيين NBR و NDVI وحساب مساحتها ومقارنة النتائج. قمنا لاحقاً بتطبيق نفس المنهجية لحساب التغير في مؤشر النبات وتخطيط المناطق المحترقة وحساب مساحتها ومقارنة النتائج.

بيّنت النتائج أن استخدام المؤشر الطيفي NBR هو أكثر فعالية في تخطيط المناطق المحترقة من المؤشر الطيفي NDVI حيث تم إنشاء مصفوفة الخطأ Error matrix للمؤشرين المختبرين، وحساب القيم التي تشير إلى دقة التصنيف والتي توضح المناطق المحترقة وغير المحترقة (دقة المستخدم، دقة المنتج، الدقة العامة، ومعامل كابتا)، كما بيّنت هذه المعاملات الدقة العالية للنتائج التي يمكن تحقيقها بالاعتماد على المؤشر NBR.

**الكلمات المفتاحية:** الاستشعار عن بعد، المؤشرات الطيفية، خرائط المناطق المحترقة، Landsat 8، Sentinel 2A.

\* مشرف على الأعمال - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. [h.rose80@gmail.com](mailto:h.rose80@gmail.com)

**مقدمة:**

يُعتبر استخدام الاستشعار عن بعد مجالاً مهماً للأبحاث التي تهدف إلى مراقبة الحرائق النشطة وتأثيرها على نوعية الهواء والآثار التي تتركها على المحيط البيئي [1,2]، وهو ما يعرف باسم المناطق المحترقة (Burned Areas (BA). في الواقع، يعتبر التخطيط السريع والدقيق للمناطق المتأثرة بالحريق ضرورياً من أجل تقدير الخسارة البيئية وإعداد استراتيجيات التخطيط ومراقبة ترميم الغطاء النباتي [3]. إن القدرة على تحديد المناطق المحترقة باستخدام الأقمار الصناعية المخصصة لرصد الأرض ذات الدقة الهندسية والزمنية والطيفية العالية، تجعل من الممكن مراقبة حالة المواقع الطبيعية. ولذلك، فإنه من ضروري لتحديد المنهجيات المناسبة لرصد المناطق المحروقة وفي نفس الوقت، إنتاج خرائط تقدير الخطورة باستخدام بيانات الأقمار الصناعية وذلك من أجل الحفاظ على المناظر الطبيعية. يتم تكييف الأقمار الصناعية بشكل خاص لرسم خرائط نطاقات النيران من خلال رؤيتها الشاملة والدقيقة لمناطق ممتدة جغرافياً، حيث يمكن استخدام البيانات ذات دقة تمييز منخفضة وصولاً إلى العالية جداً وذلك اعتماداً على حجم الحريق. تُعبر الحرائق حالة النباتات في المنطقة المُصابة، وينعكس ذلك على شكل تغييرات طيفية تعكس حالة الاحتراق أو التغيير الحاصل في الغطاء النباتي، وهذه التغييرات يتم تسجيلها عن طريق القمر الصناعي على شكل تغييرات كبيرة في انعكاسية الأشعة تحت الحمراء NIR تتبع لكثافة الغطاء النباتي الأصلي [4].

إن إطلاق القمر الصناعي Landsat-8 OLI (Operational Land Imager) من خلال التعاون بين وكالة ناسا وهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية والقمر الصناعي Sentinel-2 (مهمة مراقبة الأرض من برنامج كوبرنيكوس) سمح بالحصول على مرئيات ذات دقة تمييز مكانية أفضل من أجهزة الاستشعار السابقة. فالقمر Sentinel-2 على وجه الخصوص، يجمع مرئيات متعددة الأطياف لسطح الأرض بواسطة قمرين صناعيين بوقت إعادة زيارة مدتها 5 أيام وبدقات تمييز مكانية 10 m, 20 m, 60 m باستخدام أداة وحيدة هي جهاز التصوير متعدد الأطياف (MSI) Multispectral Imager، الذي يجمع البيانات في 13 حزمة طيفية باستخدام تقنية الماسح الضوئي الخطي Line-scanner مع مجال رؤية واسع [5].

إن دقة التمييز الهندسية والطيفية المتزايدتين لمستشعرات الأقمار الصناعية [6]، جنباً إلى جنب مع تطوير مؤشرات تخص استشعار المناطق المحترقة، يفيد في الكشف عن المناطق المحترقة الصغيرة بدقة عالية. هذا، ويرتبط اكتشاف المناطق المحترقة ارتباطاً وثيقاً بمراقبة الغطاء النباتي. لهذا السبب، تم اقتراح العديد من المنهجيات التي تعتمد على مؤشرات طيفية مثل مؤشر الجفاف متعدد النطاقات NMDI، ومؤشر منطقة الحرق المعدل BAIM مؤشر الغطاء النباتي NDVI، ودليل الغطاء النباتي المقاوم للغلاف الجوي ARVI، ومؤشر المنطقة المحترقة، BAI بالإضافة إلى ذلك، تم تطوير مؤشرات محددة تسجل تأثيرات الحريق مع تباين طيفي أكبر، مثل نسبة الاحتراق المطبّعة NBR [7,8,9].

إن مؤشر الفرق المطبّع للغطاء النباتي NDVI، يُعرّف على أنه النسبة المقيسة للاختلاف بين حزمتي الأشعة تحت الحمراء والأشعة الحمراء [10]. يسمح لنا هذا المؤشر بالتحقيق في العلاقة بين كمية الغطاء النباتي المستهلكة وخطورة الحريق [11]. أما نسبة الاحتراق المطبّعة NBR فهي النسبة المطبّعة للفرق بين حزم الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة تحت الحمراء ذات الموجات القصيرة (SWIR) Short Wave Infrared. يتيح الجمع بين هذه الحزم إمكانية تحليل الظاهرة في شروط ما قبل وما بعد الحريق. ففي مجال الأطوال الموجية NIR، يكون امتصاص الغطاء النباتي منخفضاً في حين يكون الانعكاس والنفاذية مرتفعين. أما ضمن نطاق الأطوال الموجية SWIR، فيكون انعكاس

الغطاء النباتي ونفاذه منخفضين، والامتصاص مرتفعاً جداً. أما في منطقة ما بعد الحريق، تظهر المناطق المحترقة انعكاساً منخفضاً نسبياً في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة وانعكاساً عالياً في نطاق الأشعة تحت الحمراء قصير الموجة. تم تطبيق هذه المنهجية بنجاح على بيانات الأقمار الصناعية مثل Landsat-7 و Landsat-8 و [12] Sentinel-2 و [13]، للتعرف على المناطق المحروقة.

### أهمية البحث وأهدافه:

تتم أهمية البحث في محاولته القيام بالتحديد الدقيق للمناطق المحترقة ومساحاتها في قرية أم الطيور ومحيطها، في محافظة اللاذقية، والتبين تعرضنا للحريق في صيف العام 2020م، وذلك عن طريق تحليل مخرجات تغييرات نسبة الحريق المطبقة dNBR، وتغيرات مؤشر التغير المطبقة للنبات dNDVI، خلال الفترة الواقعة قبل الحريق وبعده، وذلك باستخدام نوعين من المرئيات الفضائية هما Landsat 8 و Sentinel 2A.

وبالتالي فأهداف البحث هي:

1. مقارنة أداء المؤشرين الطيفيين NBR و NDVI المحسوبين انطلاقاً من مرئيات الأقمار الصناعية Landsat-8 و Sentinel-2A في تخريط المناطق المحترقة وغير المحترقة.
2. رسم خرائط للمناطق المحترقة وغير المحترقة للمنطقة المدرسة، بالاستعانة بمرئيتين من القمر الصناعي Landsat-8، وكذلك بمرئيتين من القمر الصناعي Sentinel-2A، لفترتي ما قبل الحريق وبعده، لحساب التغيرات في المؤشرات الطيفية.

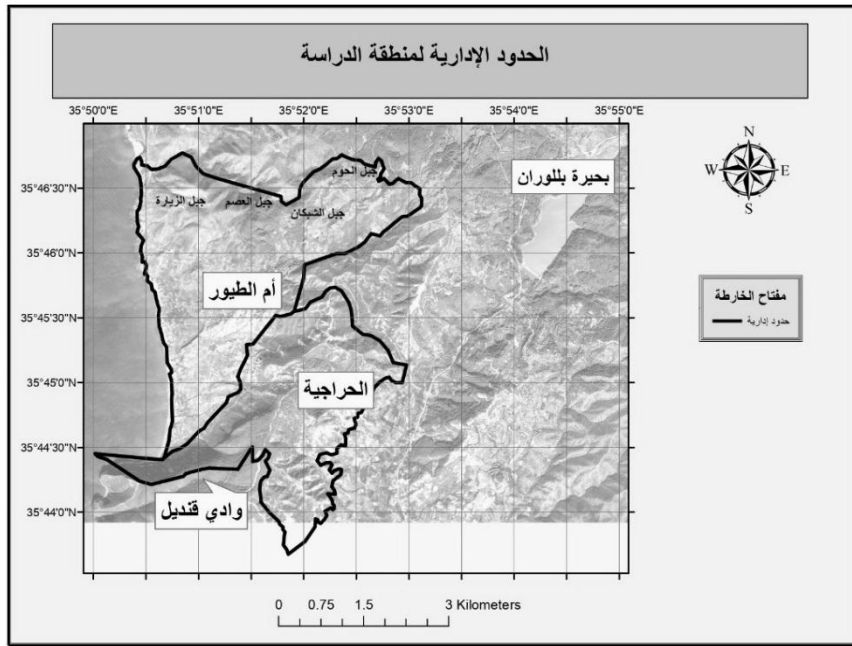
### طرائق البحث ومواده:

#### 1- منطقة الدراسة

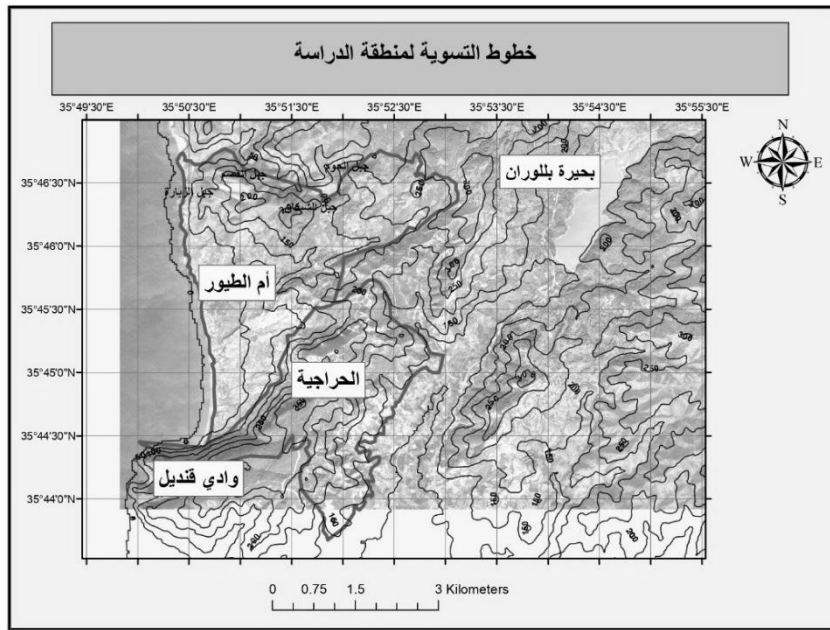
منطقة الدراسة هي قرية أم الطيور والمنطقة الحراجية (الشكل (1)) الواقعتان في الريف الشمالي لمحافظة اللاذقية. يبعد موقع أم الطيور 30 km إلى الشمال من مدينة اللاذقية ويبلغ طول شاطئه 12 km من جبل قوزطرنجة جنوباً حتى البسيط شمالاً ويحده على اليابسة الطريق الزراعية طرنجة - العيسويية - البسيط غرباً والبحر حتى الحدود الإقليمية. تتصف المنطقة الشاطئية في الجنوب بساحل رملي تقع فيه أم الطيور ثم شاطئ صخري ذي صخور اندفاعية حتى رأس البسيط كما تتصف المنطقة بنباتات مميزة لغاية البحر الأبيض المتوسط المتدهورة.

أعلنت المنطقة محمية طبيعية للمحافظة على الطيور المهاجرة والمناطق الحراجية. وهذه المحمية بيئية حراجية شاطئية بمساحة قدرها 10000 دونم وذلك للمحافظة على الطيور المهاجرة التي تقصد الموقع والأشجار الحراجية السائدة في الموقع حيث ينتشر الخرنوب والبطم اللانتسكي والزيتون البري.

من الناحية الطبوغرافية، تقع منطقة الدراسة بين خطي العرض "36° 46' 41.98" شمالاً و"35° 43' 38.99" جنوباً وبين خطي الطول "35° 50' 6.63" شرقاً و"35° 46' 28.45" غرباً وتتميز بطبيعة طبوغرافية وعرة مع ميول كبيرة وتتراوح الارتفاعات فيها من 0 m وصولاً إلى ما يزيد عن 350 m (الشكل (2)).



الشكل (1). الحدود الإدارية لمنطقة الدراسة



الشكل (2). طبوغرافية منطقة الدراسة

## 2- البيانات المستخدمة

تم استخدام مرئيتين من القمر الصناعي 8 Lansat بدقة تمييز 30 m ومرئيتين من القمر الصناعي Sentinel 2A بدقة تمييز 20 m. تغطي هذه المرئيات منطقة الدراسة قبل الحريق (تاريخ 23/6/2020) وبعد الحريق (تاريخ 12/11/2020) ضمن المرجع المكاني WGS 1984. تم الحصول على هذه المرئيات من موقع Earth Explorer التابع لوكالة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS.

يملك القمر 8 Lansat مستشعرين هما المستشعر (OLI) Operational Land Imager والمستشعر Thermal Infrared Sensor (TIRS). يوفر هذان المستشعران تغطية موسمية للكثلة الأرضية العالمية بدقة مكانية تبلغ 30 متر (مرئي، NIR، SWIR)، 100 متر (حراري)، و 15 متر (بانكروماتيك). تم تطوير 8 Landsat كتعاون بين وكالة ناسا وهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS.

يحمل القمر الصناعي Sentinel-2A مصوراً متعدد الطيف Multispectral Imager (MSI) وهذا المستشعر يعطي 13 حزمة طيفية تتراوح دقاتها الطيفية من 10 m (مرئي، NIR، VNIR) إلى 20 m (VNIR، NIR، SWIR) وصولاً إلى 60 m (SWIR) يمكن استخدام مرئيات هذا القمر لدعم مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل إدارة المناطق والمياه والطوارئ. تم تطوير سلسلة الأقمار الصناعية Sentinel من قبل وكالة الفضاء الأوروبية ESA.

### 3- المؤشرات الطيفية NBR و NDVI

تم تصميم المؤشر NBR للإضاءة على المناطق المحترقة وهو يستخدم الأشعة تحت الحمراء NIR والأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة SWIR. في الواقع، تظهر النباتات السليمة انعكاساً عالياً في المنطقة NIR وانعكاساً منخفضاً في المنطقة SWIR من الطيف الكهرطيسي، وهذا عكس ما نلاحظه في المناطق المنكوبة بفعل الحريق. فالمناطق المحترقة حديثاً تظهر انعكاساً منخفضاً في المنطقة NIR وانعكاساً عالياً ضمن SWIR وهذا يعني أن الفرق بين الاستجابات الطيفية للنبات السليم والمناطق المحترقة تبلغ قيمها العظمى في المنطقتين NIR و SWIR من الطيف الكهرطيسي، وللاستفادة من كمية الاختلاف الطيفي يستخدم المؤشر NBR النسبة بين الحزم NIR و SWIR وفق الصيغة الآتية، [8, 9]:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

تبيّن القيم العالية لـ NBR النباتات السليمة، بينما تبيّن قيمه المنخفضة الأراضي العارية والمناطق المحترقة حديثاً، أما المناطق غير المحترقة فنخص القيم القريبة من الصفر.

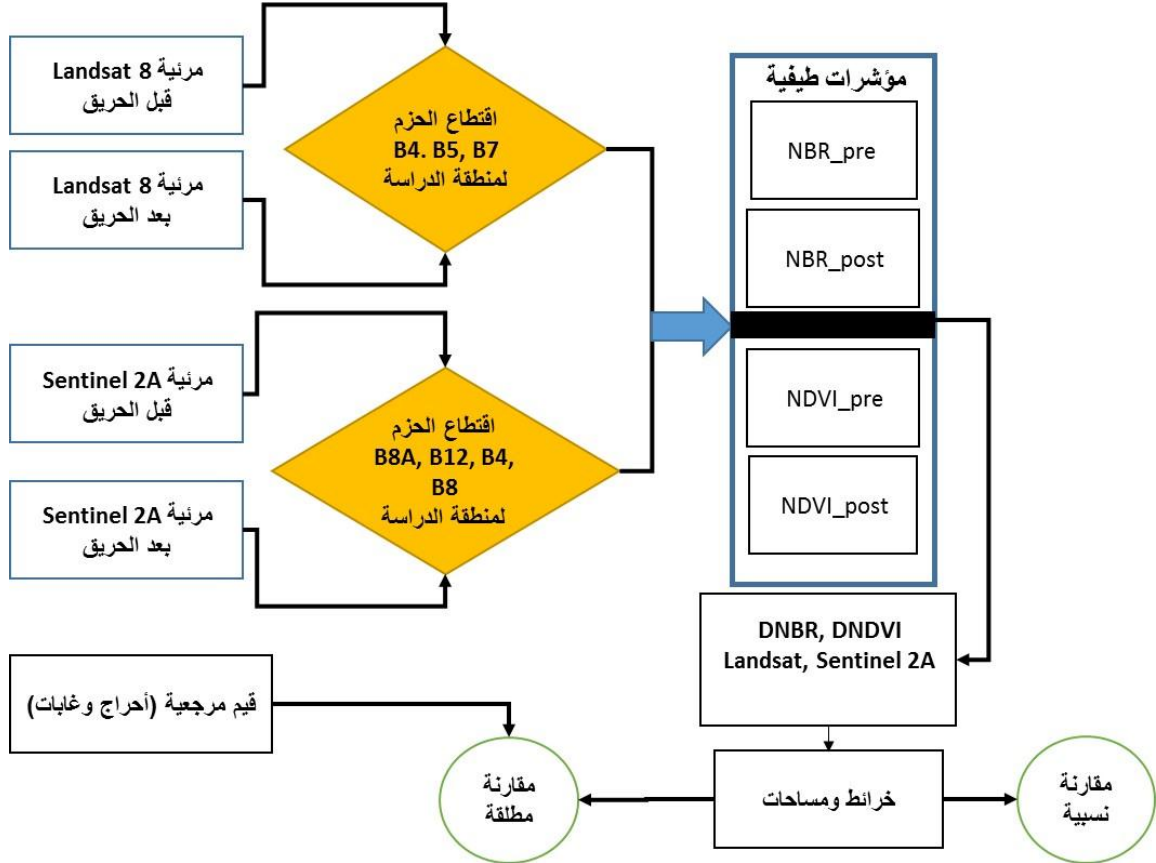
أما المؤشر NDVI فهو مقياس لحالة صحة النبات بناءً على كيفية عكس النبات للضوء عند ترددات معينة (يتم امتصاص بعض الموجات وينعكس البعض الآخر). يمتص الكلوروفيل (وهو مؤشر صحي) الضوء المرئي بقوة، ويعكس التركيب الخلوي للأوراق بقوة ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR. عندما يصاب النبات بالجفاف، والمرض، أو عندما يتعرض للحريق، تتدهور الطبقة الإسفنجية، ويمتص النبات المزيد من ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة، بدلاً من عكسه. وبالتالي، فإن مراقبة كيفية تغير NIR مقارنة بالضوء الأحمر RED يوفر مؤشراً دقيقاً لوجود الكلوروفيل، الذي يرتبط بسلامة الغطاء النباتي. يتم حساب NDVI وفقاً للصيغة، [8, 9]:

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

يعرف هذا المؤشر القيم الواقعة بين -1 و +1 حيث تتشكل القيم السالبة لـ NDVI من السحب والمياه والثلج، وتتشكل القيم القريبة من الصفر من التربة العارية والصخور وتتوافق القيم الصغيرة جداً مع المساحات الفارغة (التي تتوافق ضمناً مع المناطق المحترقة) أما القيم المتوسطة والعالية فتمثل النباتات السليمة من شجيرات ومناطق غابات [8, 9].

### النتائج والمناقشة:

نوضح في الشكل (3) المنهجية المتبعة في تحضير ومعالجة المرئيات الفضائية Landsat 8 و Sentinel 2A من أجل الوصول إلى تخطيط المناطق المحترقة وغير المحترقة في منطقة الدراسة وحساب مساحتها. ونشير هنا إلى البرنامج المستخدم في هذه المنهجية هو البرنامج المعروف ArcGIS 10.6.



الشكل (3). المنهجية المتبعة في تحضير ومعالجة المرئيات الفضائية لتخطيط المناطق المحترقة وغير المحترقة وحساب مساحتها.

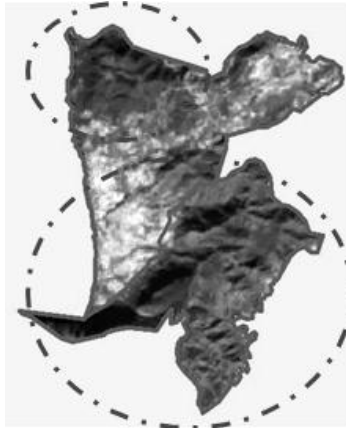
#### أولاً: تحضير الحزم الخاصة بمنطقة الدراسة

تم اقتطاع الحزم الداخلة في حساب الـ NBR والـ NDVI من المرئيات المستخدمة. فيما يخص المرئيات Landsat 8، فقد تم اقتطاع الحزمة B4 (حزمة الأحمر) والحزمة B5 (وهي حزمة تحت الأحمر القريب) والحزمة B7 (حزمة الأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة). أما بالنسبة لمرئيات القمر الصناعي Sentinel 2A، فقد تم اقتطاع الحزمة B4 (حزمة الأحمر) والحزمتين B8 و B8a (وهما حزمتا تحت الأحمر القريب وتحت الأحمر القريب المرئي) والحزمة B12 (حزمة الأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة).

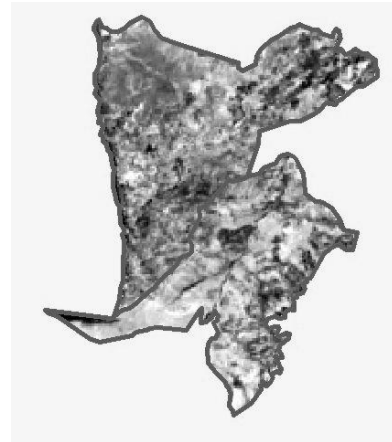
#### ثانياً: تخطيط الحرائق وحساب مساحتها باستخدام فروق نسبة الحريق المطبّعة

تم في الخطوة الأولى حساب المؤشر NBR\_pre والذي يخص منطقة الدراسة قبل وقوع الحريق انطلاقاً من صورتي Landsat 8 و Sentinel 2A الملتقطتين بتاريخ 23/06/2020. نوضح في الشكل (4) نتائج هذا الحساب. قمنا بعد ذلك بحساب المؤشر NBR\_post لمنطقة الدراسة بعد وقوع الحريق انطلاقاً من صور Landsat 8.0 و Sentinel 2A الملتقطتين بتاريخ 12/11/2020. نوضح في الشكل (5) نتائج هذا الحساب. بالتدقيق البصري في الشكل (4)

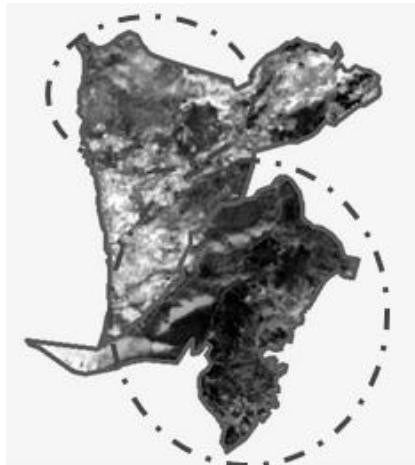
نلاحظ وجود تغير واضح في قيم المؤشر NBR الخاص لمنطقة الدراسة بين تاريخي التقاط الصور قبل وبعد الحريق وذلك نتيجة لهذا الحريق.



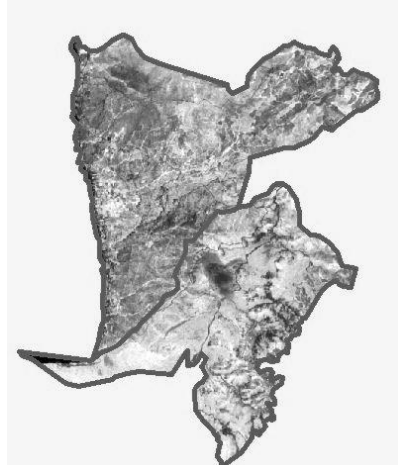
المؤشر NBR بعد الحريق باستخدام Landsat 8



المؤشر NBR قبل الحريق باستخدام Landsat 8



المؤشر NBR بعد الحريق باستخدام Sentinel



المؤشر NBR قبل الحريق باستخدام Sentinel

الشكل (4). المؤشر NBR لمنطقة الدراسة قبل وبعد الحريق.

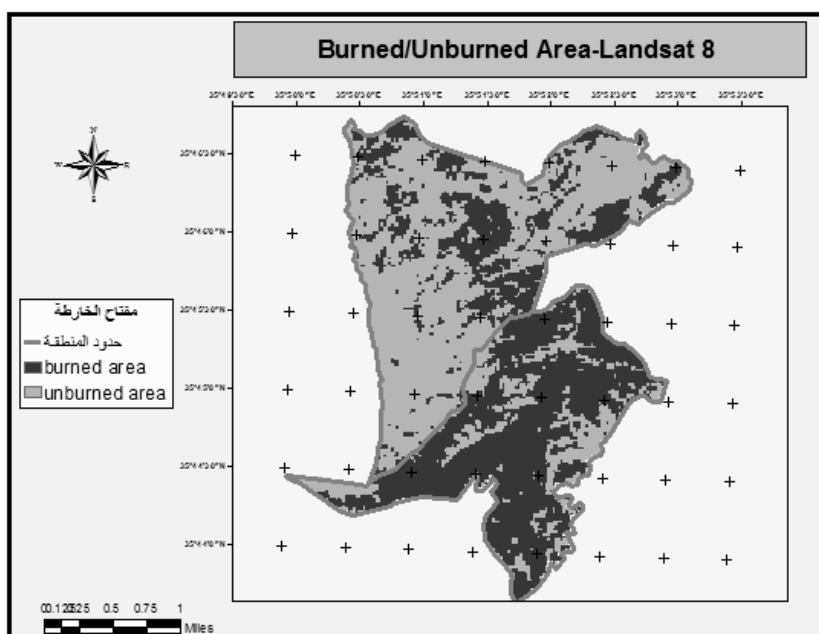
تم بعد ذلك حساب الفروق بين قيم المؤشر NBR لمنطقة الدراسة قبل وبعد الحريق باستخدام العلاقة الآتية:

$$DNBR = NBR_{post} - NBR_{pre} \quad (3)$$

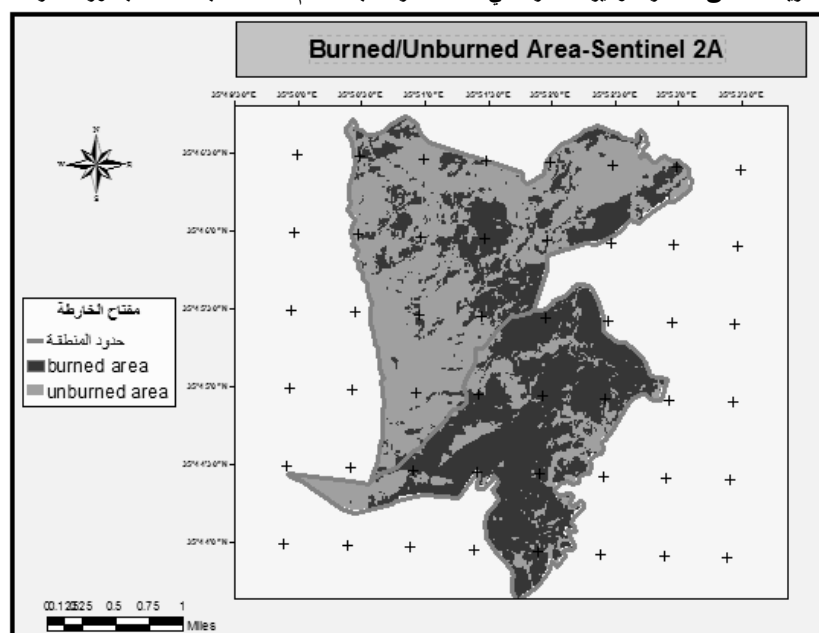
يتم استخدام هذا الفرق في تخريط المناطق المحترقة نظراً لحساسيته لكمية التغيرات في الغطاء النباتي والرطوبة وبعض خواص التربة التي يمكن أن تحدث بعد الحريق وهو يمكننا من استشعار التغيرات المكانية المعقدة للخطورة داخل محيط الحريق، [8, 9].

تمت عملية إعادة تصنيف المرئيات المعبرة عن هذه الفروق إلى صنفين أساسيين هما المناطق المحترقة Burned area (مشار إليها باللون الأسود في كل من الشكلين (5) و(6)) المناطق غير المحترقة Unburned area (مشار إليها باللون الرمادي في كل من الشكلين (5) و(6)).





الشكل (5). تخطيط للمناطق المحترقة وغير المحترقة في منطقة الدراسة باستخدام dNBR، بالاستعانة بصورة القمر Landsat 8



الشكل (6). تخطيط للمناطق المحترقة وغير المحترقة في منطقة الدراسة باستخدام dNBR، بالاستعانة بصورة القمر Sentinel 2A باستخدام المراثيات المصنفة سابقاً استناداً إلى الـ dNBR تم حساب مساحات المناطق المحترقة وغير المحترقة بالهكتار وهي موضحة في الجدول (1).

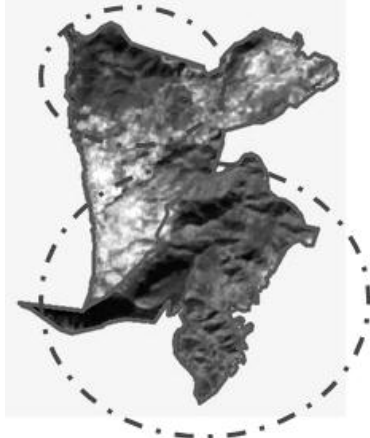
الجدول (1). مساحات المناطق المحترقة وغير المحترقة باستخدام dNBR

مساحة المناطق غير المحترقة (هكتار)		مساحة المناطق المحترقة (هكتار)		القمر الصناعي
الحراجية	أم الطيور	الحراجية	أم الطيور	
125.96	554.81	417.22	210.27	Landsat 8
133.42	559.07	410.68	211.08	Sentinel 2A

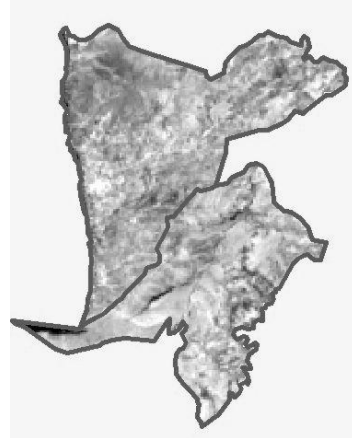
نلاحظ من الجدول تقارباً كبيراً بين نتائج تطبيق الـ dNBR لحساب المساحات المحترقة وغير المحترقة باستخدام مرئيات القمرين الصناعيين Landsat 8 و Sentinel 2A وذلك بالنسبة لمنطقة ام الطيور والمنطقة الحراجية.

ثالثاً: تخريط الحرائق وحساب مساحاتها باستخدام فروق مؤشر النباتات المطبّع

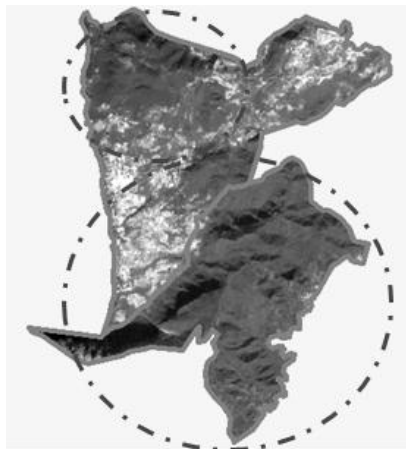
تم أولاً حساب المؤشر NDVI\_pre الخاص منطقة الدراسة قبل وقوع الحريق انطلاقاً من صورتي Landsat 8 و Sentinel 2A الملتقطتين بتاريخ 23/06/2020. نوضح في الشكل (6) نتائج هذا الحساب. بالتدقيق البصري في الشكل (7) نلاحظ وجود تغير واضح في قيم المؤشر NDVI الخاص منطقة الدراسة بين تاريخي التقاط الصور قبل وبعد الحريق وذلك نتيجة لهذا الحريق.



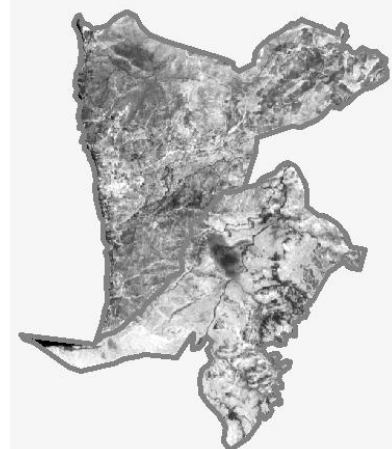
المؤشر NDVI بعد الحريق باستخدام Landsat 8



المؤشر NDVI قبل الحريق باستخدام Landsat 8



المؤشر NDVI بعد الحريق باستخدام Sentinel



المؤشر NDVI قبل الحريق باستخدام Sentinel

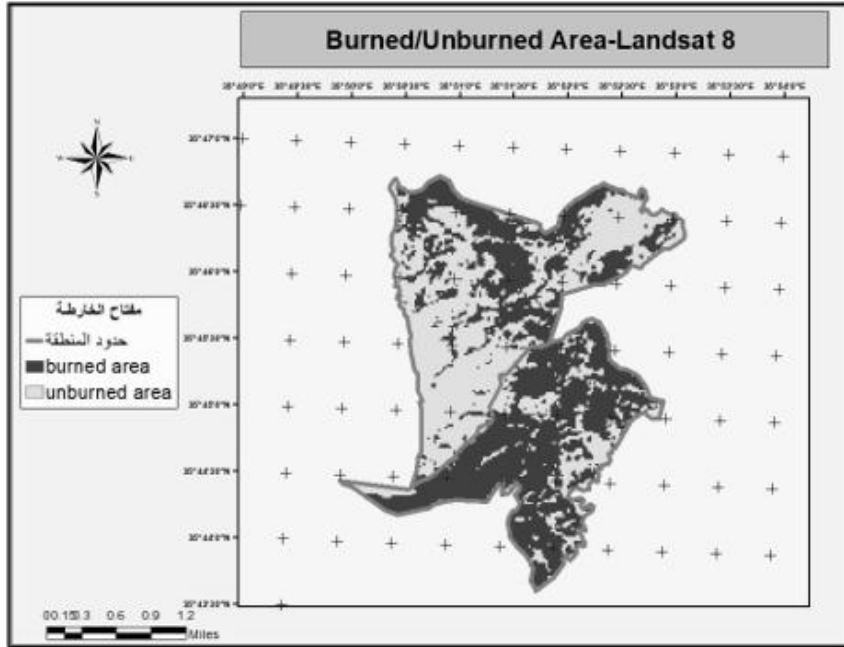
الشكل (7). المؤشر NDVI لمنطقة الدراسة قبل وبعد الحريق.

ثم تمّ حساب الفروق بين قيم المؤشر NDVI لمنطقة الدراسة قبل وبعد الحريق، باستخدام العلاقة الآتية [8, 9]:

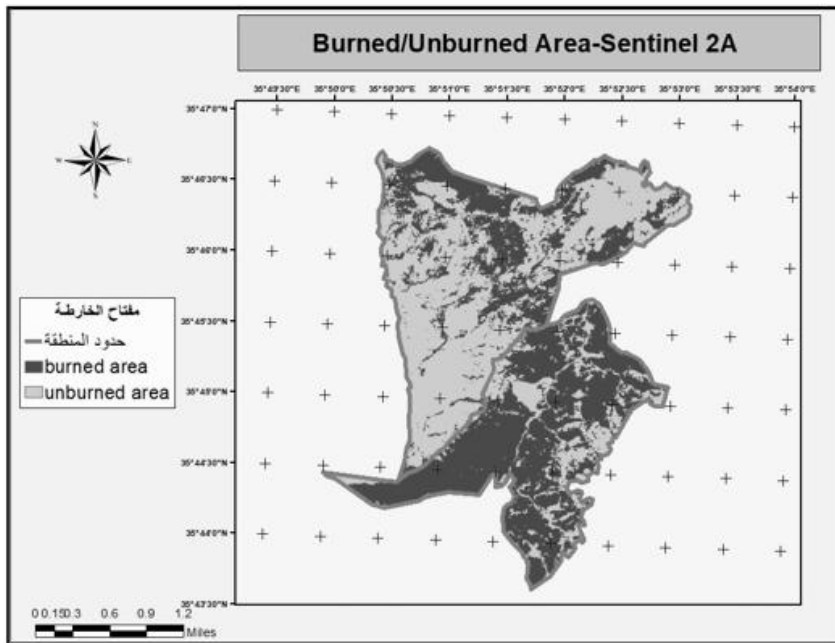
$$DNDVI = NDVI_{post} - NDVI_{pre} \quad (3)$$

يعتبر DNDVI طريقة جيدة لحساب شدة الحريق ويمكن أن يستخدم أيضاً في إجراء تصنيف شدة الحريق عندما لا تتوفر الحزمة SWIR في المرئية الملتقطة بمساعدة القمر الصناعية (مثل الأقمار الصناعية SPOT 6/7, Pleiades, WV-2, WV-3, WV-4). تمت عملية إعادة تصنيف المرئيات المعبرة عن هذه الفروق إلى صنفين أساسيين هما

المناطق المحترقة Burned area (مشار إليها باللون الأسود في كل من الشكلين (8) و(9) المناطق غير المحترقة Unburned area (مشار إليها باللون الرمادي كل من الشكلين (8) و(9)).



الشكل (8). تخطيط للمناطق المحترقة وغير المحترقة في منطقة الدراسة باستخدام dNBR - صورة القمر Landsat 8



الشكل (9). تخطيط للمناطق المحترقة وغير المحترقة في منطقة الدراسة باستخدام dNBR - صورة القمر Sentinel 2A

باستخدام المرئيات المصنفة سابقاً استناداً إلى الـ dNDVI تم حساب مساحات المناطق المحترقة وغير المحترقة بالهكتار، وهي موضحة في الجدول (2).

الجدول (2). مساحات المناطق المحترقة وغير المحترقة باستخدام dNDVI

القمر الصناعي	مساحة المناطق المحترقة (هكتار)		مساحة المناطق غير المحترقة (هكتار)	
	أم الطيور	الحراجية	أم الطيور	الحراجية
<b>Landsat 8</b>	282.74	416.45	482.87	126.47
<b>Sentinel 2A</b>	246.17	415.20	516.99	126.54

نلاحظ من الجدول (2) تقارباً واضحاً بين نتائج تطبيق الـ dNDVI لحساب المساحات المحترقة وغير المحترقة في المنطقة الحراجية باستخدام مرئيات القمرين الصناعيين Landsat 8 و Sentinel 2A، بينما نلاحظ اختلافاً في النتائج فيما يخص منطقة أم الطيور. يمكن تفسير هذا الاختلاف بقرب منطقة أم الطيور من البحر أكثر من المنطقة الحراجية مما يؤدي إلى رفع نسبة الرطوبة وبالتالي يوجد امتصاص أكبر للأشعة تحت الحمراء، وهذا يؤثر على القيمة المحسوبة للمؤشر الطيفي NDVI والذي يعتبر حساساً لكمية بخار الماء الموجودة في الجو [14]. يمكن أن نستنتج أن استخدام المؤشر الطيفي NBR هو أكثر فعالية في تخريط الحرائق من المؤشر الطيفي NDVI وخاصة في الأماكن الرطبة.

#### رابعاً: تقييم الدقة المطلقة لخرائط الحرائق باستخدام مصفوفة الخطأ

للتحقق من دقة الخرائط الموضوعية للمناطق المحترقة وغير المحترقة بفروق نسبة الحريق المطبّعة dNBR وفروق مؤشر النبات المطبّع dNDVI، قمنا باستخدام مصفوفة الالتباس Confusion matrix أو مصفوفة الخطأ Error Matrix، وهي مصفوفة مستخدمة كطريقة كمية لتقييم دقة تصنيف المرئيات الفضائية، وهي عبارة عن جدول يوضح التوافق بين نتائج التصنيف وصورة مرجعية للأصناف (الشكل (10)). يمثل قطر المصفوفة البيانات المتطابقة مع بعضها، والبيانات غير القطرية بالصف هي عدد وحدات الصورة التي تم تصنيفها خطأ، أما بالعمود فتمثل البيانات المحذوفة أو المهملة. ولتمثيل مصفوفة الخطأ رياضياً نفترض أن  $(n)$  هو عدد من العينات الموزعة على خلايا المصفوفة، بحيث تنسب كل عينة مصنفة إلى إحدى الفئات  $(k)$  في الصفوف، وبشكل مستقل تنسب مجموعة البيانات المرجعية إلى الفئات  $(k)$  نفسها في الأعمدة، ونفترض أن  $(j)$  تمثل الأعمدة في المصفوفة، بحيث  $(j=1,2,3..k)$  هي الأصناف أو الغطاءات الأرضية للبيانات المرجعية، ونفترض أن  $(i)$  تمثل الصفوف في المصفوفة، بحيث  $(i=1,2,3..k)$  وهي الأصناف أو الغطاءات الأرضية في الخارطة المصنفة. [15]

حيث  $n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij}$  هو مجموع العينات المصنفة ضمن الصنف  $i$ ، و  $n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij}$  هو مجموع العينات المصنفة ضمن الصنف  $j$ . [15]

		الأعمدة = j			مجموع
		(البيانات المرجعية)			الصفوف
الصفوف = i		1	2	k	$n_{i+}$
(البيانات المصنفة)	1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
	2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
	k	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{kk}$	$n_{k+}$
مجموع الأعمدة	$n_{+j}$	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+k}$	$n$

الشكل (10). التمثيل الرياضي لمصفوفة الخطأ (المصدر: [15])

من هذه المصفوفة يمكننا أن نستنتج المعايير الآتية للدقة، وهي [15]:

- الدقة الكلية (Overall Accuracy (OA): والتي تعد الأكثر شيوعاً في تقييم الدقة إحصائياً، وهي مجموع الخلايا القطرية (أي خلايا عينة الاختبار المصنفة بشكل صحيح) مقسومة على العدد الإجمالي للخلايا في مصفوفة الأخطاء بأكملها، ويمكن حسابها على النحو التالي:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (4)$$

- دقة المستخدم (User Accuracy (UA): وهو مقياس لموثوقية التصنيف؛ لأنها تخبر المستخدم بعدد المرات التي سيكون فيها الصنف على الخارطة موجوداً فعلياً على الأرض، ويمكن حسابها رياضياً على النحو التالي:

$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (5)$$

- خطأ الإدراج (Commission Error (CE): بالنسبة لأي صنف، يحدث خطأ الإدراج عندما تقوم عملية التصنيف بتعيين وحدات بكسل لصنف معين لا تنتمي إليه في الواقع، وكلما زادت أخطاء الإدراج انخفضت دقة المستخدم. ويمكن حسابها رياضياً على النحو التالي:

$$CE (\%) = 100\% - UA (\%) \quad (6)$$

- دقة المنتج (Procedure's accuracy (PA): وهي تعبر عن دقة الخارطة من وجهة نظر صانعها (المنتج)، حيث تشير إلى عدد المرات التي تظهر فيها البيانات الحقيقية على الأرض بشكل صحيح على الخارطة المصنفة، وهي تساوي عدد المواقع المرجعية المصنفة بدقة مقسومة على العدد الإجمالي للمواقع المرجعية لذلك الصنف. وتقيس دقة المنتج مدى دقة تصنيف منطقة معينة، ويمكن حسابها كما يأتي:

$$PA = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \quad (7)$$

▪ خطأ الاستبعاد (OE) Omission Error: والذي يشير إلى استبعاد المنطقة من الصنف الذي تنتمي إليه وكلما زادت أخطاء الاستبعاد انخفض مستوى دقة المنتج، ويمكن حسابه كما يأتي:

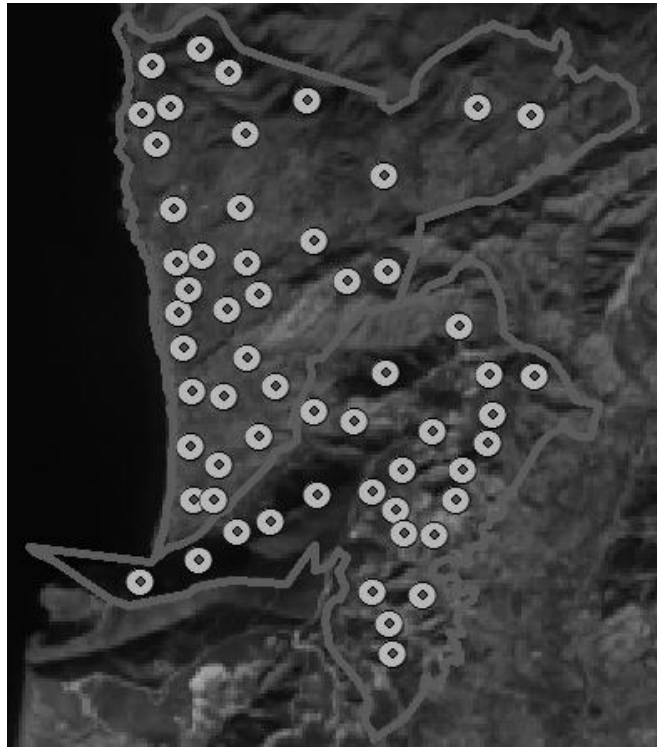
$$OE (\%) = 100\% - PA (\%) \quad (8)$$

كما يمكن التعرف على دقة التصنيف باستخدام معامل كبا (k) kappa coefficient والذي يستخدم لقياس العلاقة بين الاتفاق المتوقع لاحقاً (beyond chance agreement) وعدم الاتفاق (الاختلاف) المتوقع (expected disagreement)، وتستخدم في إيجاد كل عناصر مصفوفة دقة التصنيف وليس فقط العناصر القطرية في المصفوفة. وتم حسابه وفق المعادلة الآتية:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (9)$$

حيث: عدد وحدات الصورة المستخدمة في تقييم الدقة تساوي n وعناصر المصفوفة هي  $x_{ii}$ . مجموع عناصر الأعمدة z في الصف i هي  $\sum x_{ij} = X_i^+$ . مجموع عناصر الصفوف في العمود z هي  $\sum x_{ij} = X_{+z}$ . يجب أن تكون قيمة K  $\geq 0.75$  لنحصل على نتائج جيدة جداً في التصنيف وإذا كانت قيمة  $K < 0.4$  فذاك مؤشر لدقة متواضعة.

قمنا في بحثنا هذا باستخدام المرئيات Landsat 8 و Sentinel 2A الملتنقطة بعد الحريق كصور مرجعية، لتعريف الأصناف الواقعية ومقارنتها لاحقاً مع الأصناف التي تنبأت بها خوارزمية التصنيف. ولتوليد مصفوفة الالتباس تم استخدام 57 نقطة اختبار قيست على الخرائط الموضوعية (المرئيات المصنفة)، ومن ثم تم فتح الملف ومقارنة هذه النقاط المصنفة بالنقاط الحقيقية من المرئيات بعد الحريق لتوليد مصفوفة الالتباس (الشكل (11)).



الشكل (11). نقاط الاختبار المقاسة على المرئيات المصنفة (الخرائط الموضوعية للحريق).

نتيجة لعملية القياس حصلنا على مصفوفات الخطأ الآتية:

• حالة المؤشر dNBR مع المرئية 8 Landsat

الصف	محترق	غير محترق
محترق	21	2
غير محترق	5	29

• حالة المؤشر dNBR مع المرئية 2A Sentinel

الصف	محترق	غير محترق
محترق	22	1
غير محترق	3	31

• حالة المؤشر dNDVI مع المرئية 8 Landsat

الصف	محترق	غير محترق
محترق	19	4
غير محترق	8	26

• حالة المؤشر dNDVI مع المرئية 2A Sentinel

الصف	محترق	غير محترق
محترق	20	3
غير محترق	6	28

لحساب المعامل K في بحثنا قمنا بالاستعانة بالحاسبة المتوفرة على الموقع <http://vassarstats.net/kappa.html>. وبنتيجه عمليات الحساب والمقارنة حصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (3).

الجدول (3). الدقة الكلية والمعامل k لتقييم دقة للتصنيف.

PA		UA		OA	K	المرئية	المؤشر
محترق	غير محترق	محترق	غير محترق				
81%	94%	85%	91%	88%	0.75	Landsat 8	dNBR
88%	97%	96%	91%	93%	0.87	Sentinel 2A	dNBR
87%	70%	76%	83%	79%	0.57	Landsat 8	dNDVI
77%	90%	87%	82%	84%	0.68	Sentinel 2A	dNDVI

نلاحظ من الجدول (3) ما يأتي:

1. وجود دقة عالية في الأداء تم تحقيقها بواسطة المؤشر الطيفي NBR وذلك عند استخدامه من أجل التعرف على المناطق المحترقة وغير المحترقة في المرئيات Landsat8 و Sentinel 2A، مع التأكيد على تحقيق نتائج أدق عند استخدام المرئية 2A Sentinel.
2. دقة التصنيف جيدة في حالة استخدام المؤشر NDVI مع المرئية 2A Sentinel مقارنة بنتائج استخدام نفس المؤشر الطيفي مع المرئية 8 Landsat.
3. وجود ضعف في أداء المؤشر الطيفي NDVI في التعرف على المناطق المحترقة وغير المحترقة مقارنة بأداء المؤشر NBR.

## الاستنتاجات والتوصيات:

- نتيجة لهذا البحث، تم التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات، يمكن إيجازها بالآتي:
1. استخدام المؤشر الطيفي NBR هو أكثر فعالية في تخريط الحرائق من المؤشر الطيفي NDVI في الأماكن الرطبة.
  2. يعتبر استخدام فرق نسبة الحريق المطبّعة لما قبل وما بعد الحريق أكثر قدرة على الكشف عن المناطق المحترقة وغير المحترقة من استخدام فرق المؤشر NDVI وتحديد مساحتها بدقة وبموثوقية عالية.
  3. تراوحت الدقة الكلية للتصنيف إلى محترقة وغير محترقة باستخدام فرق المؤشر بين 88% و 93% وقيم المعامل k بين 0.75 و 0.87، في حين تراوحت هذه القيم عند استخدام فرق المؤشر NDVI بين 79% و 84% للدقة الكلية وبين 0.57 و 0.68 للمعامل k.
- استناداً إلى نتائج البحث الحالي، نوصي باستخدام فرق نسبة الحريق المطبّعة مع المرئيات من النوع Sentinel 2A في تخريط المناطق المحترقة وغير المحترقة، كمنهجية تحقق الدقة العالية، مقارنةً باستخدام نفس المؤشر مع المرئيات من النوع Landsat 8.

## References:

1. Lasaponara, R.; Proto, A.M.; Aromando, A.; Cardettini, G.; Varela, V.; Danese, M. *On the mapping of burned areas and burn severity using self organizing map and sentinel-2 data. IEEE Geosci. Remote Sens.* 17, 2019, pp 854–858.
2. Hawaigeh, R.; Ghassoun, Y. *Design a Model to Determine the Appropriate Pointes to Build Fire to Build Fire Towers.* Tishreen University Journal of Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series. 2012, pp 19.
3. Filippini, F. *Burned area index for Sentinel-2.* Multidiscip. Digit. Publ. Inst. Proc. 2, 2018, 364.
4. Amos, C.; Petropoulos, G.P.; Ferentinos, K.P. *Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection.* Int. J. Remote Sens. 40, 2019, pp 905–930.
5. Szantoi, Z.; Strobl, P. *Copernicus Sentinel-2 Calibration and Validation;* Taylor & Francis: New York, NY, USA, 2019.
6. Hawaigeh, R.; Ghassoun, Y. *Using the spectral change ray technique to monitor land cover and land use in Lattakia city.* Tishreen University Journal of Research and Scientific Studies 2015, pp 19.
7. Maham, K.; Shahzad, A.; Farhan, S.; Kazmi, S. J. H.; Shaikat, S. S.; Shaikh, S.; Aziz, A. *Forest-Fire Burned Area Mapping using Combinations of Spectral Indices as Membership Function in Object-Based Image Analysis (OBIA).* International Journal of Biology and Biotechnology. 2018, 15(October), 729–734.
8. Merhej, O.; Ali, M.; Thabeet, A.; Idress, M.; Essa, L. *Mapping Fire Severity and its Area Using Satellite Imagery Sentinel 2A (Case Study: Farzala Fire 2019).* Syrian Journal of Agricultural Research. 2021, SJAR 8(3), 154-163 June.
9. Pepe, M.; Parente, C. *Burned Area Recognition By Change Detection Analysis Using Images Derived From Sentinel-2 Satellite: the Case Study of Sorrento Peninsula, Italy.* Journal of Applied Engineering Science. 2018, 16(2), 225–232
10. Ulaby, F. *Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land, and Cryosphere Applications.* IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 6, 4, 2018, pp 109-110.
11. Meneses, B.M. *Vegetation recovery patterns in burned areas assessed with Landsat 8 OLI imagery and environmental biophysical data.* Fire, 4, 2021, 76.



12. Roy, D.P.; Zhang, H.K. ; JU, J. ; Gomez, J.L. ; Lewis, P.E. ;Schaaf; C.B. ;Kovalskyy, V. *A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance*. Remote Sens. 2016, Environ.176, pp 255–271.
13. Vanderhoof, M.K.; Hawbaker, T.J.; Teske, C.; Noble, J.; Picotte, J. *Mapping wetland burned area from Sentinel-2 across the Southeastern United States and its contributions relative to Landsat-8 (2016–2019)*. 2021, Fire, 4, 52.
14. Kerekes, J. P. *NDVI sensitivity to atmospheric water vapor as a function of spectral band width*. Proceedings of IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 1994, Vol.3, pp 1506-1508.
15. Congalton, RG.; GREEN, K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Third Edition. CRC press, 2008.