

# Evaluating the dynamics of forest fires using Remote Sensing and GIS Technologies: Case study forests of the Lattakia region

Dr. Maher Ali\* 

(Received 16 / 5 / 2025. Accepted 13 / 10 /2025)

## □ ABSTRACT □

Forest fires, with their sudden and devastating nature, pose immense threats to both natural ecosystems and human communities in a changing climate. In this regard, assessing and monitoring burned areas is a critical step in developing sustainable forest management measures. Because traditional forest fire monitoring is time-consuming and inaccurate, this problem must be addressed using remote sensing technologies. This study aimed to evaluate the dynamics of burned forest sites and the severity of disturbance caused by fires in 2007 and 2015-2020 in the Lattakia region of Lattakia Governorate, Syria, using Landsat satellite image archives and spectral indices data. The study results indicate that during the period under study, approximately 8,230.74 hectares of forest area were burned in the Lattakia region, including 5,290.15 hectares of forest cover in 2020 alone. The study also demonstrated the recurrence of forest fires in the same location. The accuracy of the data obtained was verified using modern standards for geographic information statistics. This study can be used to develop effective preventive a by identifying the locations most vulnerable to forest fires.

**Keywords:** Forest fires, satellites, Landsat, Lattakia region, NBR index.

**Copyright**  :Latakia University journal (formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

\* Assistant Professor - Faculty of Agricultural Engineering- Lattakia University(formerly Tishreen) - Lattakia- Syria. [maher.s.ali@tishreen.edu.sy](mailto:maher.s.ali@tishreen.edu.sy).

## تقييم ديناميكية حرائق الغابات باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: حالة دراسية غابات منطقة اللاذقية

د. ماهر علي \* ID

(تاریخ الإیادع 16 / 10 / 2025 . قبل للنشر في 13 / 10 / 2025)

### □ ملخص □

تشكل حرائق الغابات، بطبيعتها المفاجئة والمدمرة، تهديدات هائلة للنظم البيئية الطبيعية والمجتمعات البشرية في ظل مناخ متغير. وفي هذا الصدد، يعد تقييم المناطق المحروقة ورصدها خطوة حاسمة في تطوير تدابير الإدارة المستدامة للغابات. وبما أن مراقبة حرائق الغابات التقليدية تستغرق وقتاً طويلاً وهي غير دقيقة، فلا بد من معالجة هذه المشكلة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم ديناميكيات موقع الغابات المحروقة وخ特ورة الأضطرابات الناجمة عن الحرائق في عامي 2007 و2015-2020 في منطقة اللاذقية بمحافظة اللاذقية، سوريا، باستخدام أرشيفات صور الأقمار الصناعية لاندسات وبيانات المؤشرات الطيفية. وتشير نتائج الدراسة إلى أنه خلال الفترة قيد الدراسة، احترق ما يقارب 8230.74 هكتاراً من مساحة الغابات في منطقة اللاذقية، منها 5290.15 هكتاراً من الغطاء الحرجي في عام 2020 وحده. وأظهرت الدراسة أيضاً تكرار حرائق الغابات في نفس الموقع كما حدث في عامي 2007 و2020. وتم التتحقق من دقة البيانات باستخدام المعايير الحديثة للاحصاءات المعلومات الجغرافية. يمكن استخدام هذه الدراسة لتطوير تدابير وقائية فعالة من خلال تحديد الموقع الأكثر عرضة لحرائق الغابات.

**الكلمات المفتاحية:** حرائق الغابات، الأقمار الصناعية، لاندسات، منطقة اللاذقية، مؤشر NBR.



حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية ( تشرين سابقاً ) - سوريا، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

\* مدرس - كلية الهندسة الزراعية - جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - اللاذقية - سوريا، [maher.s.ali@tishreen.edu.sy](mailto:maher.s.ali@tishreen.edu.sy)

## مقدمة:

تشكل حرائق الغابات إحدى أهم الاضطرابات الدورية التي تؤثر بشكل كبير في بنية وتوزيع النظم البيئية للغابات العالمية [43,2]. يمكن أن تؤدي حرائق الغابات إلى تأكل وزوال التربة، مما يتسبب في فقدان التنوع البيولوجي للنظام البيئي [10] والموائل والإنتاج والإنتاجية، وتعرض حياة البشر للخطر وتدمير سبل العيش[22]. بالإضافة إلى ذلك، فإن حرائق الغابات لها تأثير قوي على تغير المناخ بسبب الإطلاق السريع للكربون المخزن في الكتلة الحيوية للغابات في الغلاف الجوي[35]. في العقود الأخيرة، أدى تغير المناخ السريع إلى زيادة في تكرار وشدة حرائق الغابات [9].

إن استخدام بيانات أجهزة استشعار عن بعد ساعدت بشكل كبير في اكتشاف الاضطرابات في النظم البيئية للغابات، وخاصة في تقييم ديناميكيات الحرائق المكانية والزمانية ورسم خرائط موقع الحرائق [13,20]. أصبحت طرائق الاستشعار عن بعد بديلاً غير مسبوق للأنشطة الميدانية المكلفة، والتي تتطلب عمالة مكلفة في مراقبة النظم البيئية للغابات على مناطق جغرافية واسعة ونائية [17]، حيث تعتبر الملاحظات الميدانية معقدة للغاية بشكل عام من ناحية المقاييس المكانية والزمانية، وخاصة عند تحديد فئات اضطرابات الغابات بعد الحرائق [30]. تُعد صور الأقمار الصناعية مصدراً رئيسياً للبيانات لتقييم مخاطر حرائق الغابات [21,32]. لقد تم استخدام صور الأقمار الصناعية متعددة الأطياف ذات الدقة المكانية العالية على نطاق واسع، وذلك من أجل رسم الخرائط على المستوى الإقليمي والعالمي، لتقييم مناطق الغابات قبل وبعد الحرائق بسرعة ودقة وبتكلفة منخفضة نسبياً [28]، وكذلك لتقييم شدة الحرائق [42]، واستعادة الغطاء النباتي [33]. في هذا الصدد، تساهم تقنيات الأقمار الصناعية سريعة التطور بشكل كبير في أتمتة عمليات الكشف عن الحرائق في الوقت الفعلي، فضلاً عن رسم خرائط المناطق المحروقة على نطاقات مكانية وزمانية مختلفة لتقييم مساحة حرائق الغابات وشدها [41,14]، باستخدام صور 8 Landsat، و Sentinel-2 بشكل متكرر [1]. في السنوات الأخيرة، أصبح الذكاء الاصطناعي أداة مركزية في مجال رصد الكوارث البيئية، ولا سيما في تحليل حرائق الغابات وتقييم شدتها. فقد ساعدت خوارزميات التعلم الآلي، مثل Random Forest و Support Vector Machines عن بيانات الأقمار الصناعية مثل dNBR، وتنظر الدراسات الحديثة أن استخدام صور 2 Sentinel مع تقنيات الذكاء الاصطناعي يمكن أن ينتج خرائط دقيقة لشدة الحرائق بمتوسط دقة يفوق 85%， مما يجعلها أدوات فعالة في تقييم الأثر البيئي والتخطيط لعمليات الترميم بعد الحرائق[38]. على سبيل المثال، أن الجمع بين بيانات 2-Sentinel و خوارزميات التصنيف أدى إلى نتائج عالية الموثوقية في تحديد شدة الحرائق، مع تحسين ملحوظ في مؤشرات الدقة الإحصائية مثل معامل كابا[39]. يعد استخدام المؤشرات الطيفية التي يتم الحصول عليها من صور الأقمار الصناعية لاندستات متعددة الفترات الزمنية، إحدى الطرق المستخدمة لتقييم المناطق المحروقة ودرجة الضرر بعد الحرائق [44]، تعتبر هذه السلسلة الزمنية الخاصة بـ Landsat الأكثر ملاءمة لمراقبة الديناميكيات المكانية والزمانية نظراً لدقتها المكانية المتوسطة 30 متر، وإمكانية تكرارها الزمني لمدة 16 يوم، بالإضافة إلى أرشفتها الزمنية[15]. يستخدم مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) بشكل متكرر في هذه التقنيات، باستخدام صور متعددة للأرضية (قبل وبعد الحرائق)، كما يتم استخدام مؤشر الحرق القياسي NBR على نطاق واسع [40]، مؤشر RdNBR [18,26]، مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة SAVI، ومؤشر الغطاء النباتي الأمثل EVI [16,27]. اقترحت إحدى الدراسات تقسيم طرق الاستشعار عن بعد لتقييم درجة الضرر الذي يلحق بالغابات في المناطق المحروقة إلى مجموعات فيزيائية وتجريبية، حيث تتضمن الطرق الفيزيائية الحصول على معلومات حول جسم محترق بناءً على تسجيل إشارة منعكسة

من سطح متضرر بواسطة جهاز كشف، تعتمد الأساليب التجريبية على الانحدار الإحصائي أو التعلم الآلي لتقدير المناطق المحروقة، وهي سهلة التنفيذ والتفسير نسبياً [31]. تفتقر العديد من بلدان العالم التي تعاني من حرائق الغابات إلى بيانات كافية عن مدى هذه الحرائق وتأثيرها وانتشارها ودرجة شدتها، وهو ما ينطبق بشكل خاص على الغطاء البراجي في سوريا [11]. في هذه البلدان التي تتميز بنية معقدة ومجزأة في المناظر الطبيعية، عادة ما تكون حرائق الغابات مساحات صغيرة، وفي الوقت نفسه غالباً ما تكون صور الأقمار الصناعية ذات الدقة المكانية العالية مصدرًا مهمًا، وفي بعض الحالات المصدر الوحيد للبيانات المستخدمة في تحديد المناطق المتضررة والمتدورة نتيجة حرائق الغابات [23]. أجريت دراسة لتحديد المناطق المحروقة في سوريا بين أيلول وتشرين الأول عام 2020 باستخدام صور Sentinel-2، تم استخدام مؤشرات مثل NBR وdNBR وBAIS2 وNDVI لتحديد مدى تدمير الغابات وتصنيف مناطق الخطير [7] استُخدمت صور القمر الأ الأوروبي Sentinel 2A لرسم خريطة حريق فرزلا في محافظة اللاذقية عام 2019 وتحديد شدة الحريق، وذلك عبر حساب مؤشر الاختلاف في نسبة الحريق القياسي (dNBR) إذ بلغت مساحة الحريق الإجمالية 871.27 هكتار منها 166.298 هكتار كانت شدة الحريق فيها مرتفعة [8]. في إيطاليا، استخدم الباحثون صور Sentinel-2 ومؤشرات طيفية مثل NBR وdNBR لتحديد شدة الحرائق وتقييم الأثر على الغطاء النباتي. أظهرت الدراسة قدرة عالية في التمييز بين مناطق الحريق المختلفة، ومتابعة التعافي النباتي بعد الحريق [6]. في إسبانيا، تم إجراء تحليل لحرائق الغابات باستخدام التعلم الآلي في إقليم كتالونيا عام 2023 ، حيث دمجت الدراسة بيانات الاستشعار عن بعد مع خوارزميات تعلم الآلة مثل Random Forest لتصنيف شدة الحريق وتحديد المناطق ذات الخطورة العالية لحرائق المستقبلية [3]. في تركيا، أُجريت دراسة حول مراقبة حرائق الغابات في بحر إيجة باستخدام صور الأقمار الصناعية عام 2021، استُخدمت في الدراسة صور Sentinel-2 وLandsat مع مؤشرات مثل NBR لتحليل حرائق الغابات وتقييم تأثيرها على الغطاء النباتي والتربة [4]. في قبرص، تم إجراء دراسة تقييم شدة حرائق الغابات باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد عام 2022، استُخدمت الدراسة بيانات Sentinel-2 وتقنيات GIS لتحديد المناطق المتضررة بشدة من الحرائق، مع التركيز على التغيرات الموسمية في الغطاء النباتي [5]. ظهرت الدراسات الحديثة أهمية استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في تقييم حرائق الغابات في سوريا من خلال تحديد مساحة المواقع المحروقة، حيث تُسهم هذه الدراسات في تقديم رؤى علمية تساعد في اتخاذ قرارات بيئية وإدارية فعالة للتعامل مع هذه الظاهرة.

### **أهمية البحث وأهدافه:**

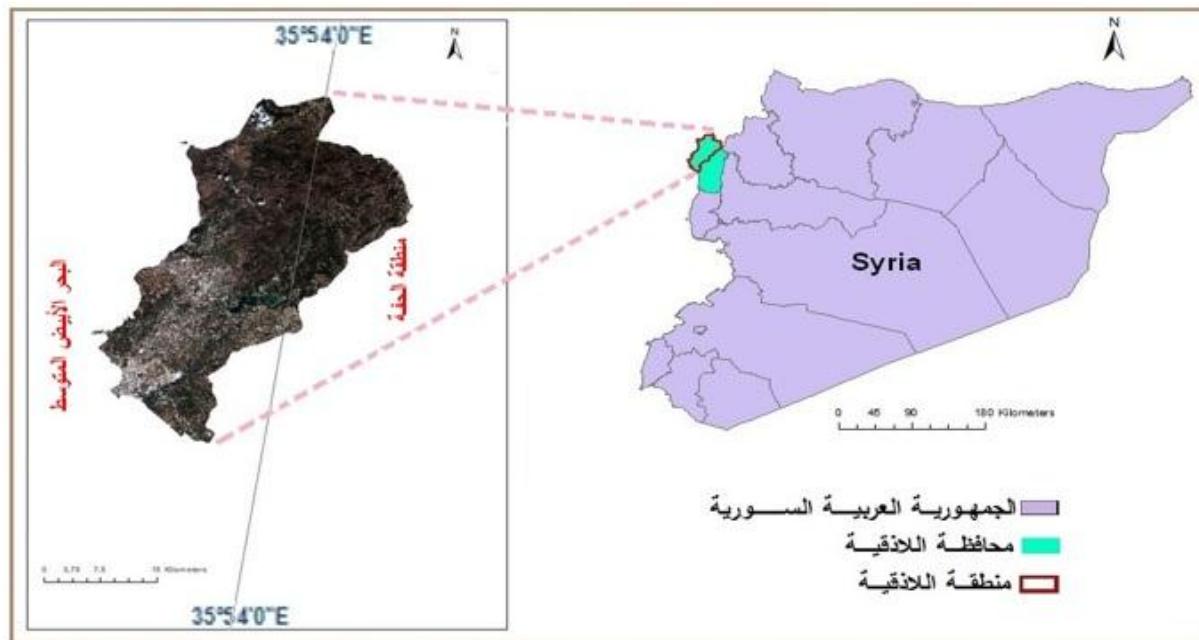
بذلت جهود بحثية مكثفة على مدار القرن الماضي، لكشف وتقييم الديناميكيات الزمنية والمكانية المعقدة لحرائق الغابات. تعد دراسة حرائق الغابات وتقييم مساحتها ودرجة ضررها أمراً أساسياً في تطوير حلول للإدارة المستدامة للغابات، وفي إعداد قاعدة بيانات مرجعية مؤرشفة حول الحريق التي حدثت في الماضي. تتعرض منطقة اللاذقية إلى حريق كارثية في كل عام، وهناك توقعات بازدياد عدد ومساحات هذه الحرائق في المستقبل، وهذا التزايد مرتبط بشكل أساسي بالتغييرات المناخية واستخدامات الأرضي [34,29]. يهدف العمل إلى تقييم مساحة المناطق المحروقة في منطقة اللاذقية التابعة لمحافظة اللاذقية في سوريا في العام 2007، والأعوام 2015-2020، باستخدام مؤشرات NBR وdNBR وNDVI.

### طائق البحث ومواده:

لتحقيق هدف البحث تم تنفيذ المهام التالية:

1. إجراء تحليل لصور متعددة الأزمنة للقمر الصناعي Landsat 8,5 Sentinel-2B، بصورة واحدة للقمر.
2. إجراء التصنيف المراقب (الموجه) لتصنيف فئات الغطاء الأرضي.
3. بناءً على العلاقة الرياضية لمؤشر NBR dNBR ضمن برنامج ArcGIS 10.3 وENVI 5.1، تم تحديد مساحة المواقع المحروقة خلال 2007، 2015 - 2020.
4. تحديد شدة الحرائق في عام 2020 وتوزيعها الجغرافي بناءً على قيم dNBR المحسوبة.
5. حساب مؤشر NDVI للحصول على خريطة للغطاء الحرجي في منطقة اللاذقية عام 2017.
6. القيام بجولات ميدانية لتحديد العينات الاختبارية.
7. تم تقييم دقة النتائج التي تم الحصول عليها ضمن برنامج ENVI 5.1 باستخدام مصفوفة الفرق (Confusion Matrix).
8. منطقة الدراسة:

تتضمن الغطاء الحرجي الذي يقع على أراضي منطقة اللاذقية بمحافظة اللاذقية في سوريا، الواقعة على الساحل الشرقي للبحر الأبيض المتوسط، وتعد منطقة اللاذقية من أهم وأغنى المناطق الحرجية في سوريا، يوضح الشكل 1 الحدود الإدارية لمنطقة الدراسة.



**الشكل 1.** خريطة توضح الحدود الإدارية لمنطقة اللاذقية، محافظة اللاذقية

تتميز منطقة اللاذقية بمناخ البحر الأبيض المتوسط، تتكرر فيه فترات الجفاف في الصيف مما يؤدي إلى ازدياد خطورة انتشار حرائق الغابات وصعوبة إخمادها. يعد شهر أيلول وتشرين الأول من أصعب الفترات الزمنية لحدوث حرائق الغابات، وذلك نتيجة لطول فترة الانحباس المطري التي تمتد من نهاية آذار وحتى نهاية تشرين الأول، بالإضافة إلى هبوب الرياح الشرقية الجافة والشديدة السرعة التي تؤدي إلى انتشار النار بسرعة وعلى مساحات واسعة. يؤدي قرب الغابات من الأراضي الزراعية ضمن منطقة اللاذقية إلى زيادة احتمالية تعرضها للحرائق نتيجة لأنشطة البشرية، بما في ذلك الحرائق [25].

### صور الأقمار الصناعية:

في الدراسة، تم استخدام قمران صناعيين بدقة مكانية وزمانية مختلفة:

- تم استخدام صور لاندسات لرسم خرائط موقع الحرائق كما هو موضح بالجدول (1)، تزامن زمن التقاط هذه الصور مع زمن حدوث الحرائق المتوسطة إلى الكبيرة، تم استخدام صور القمر Landsat لرسم مساحات هذه حرائق، أما الحرائق الصغيرة فلا يمكن تحديدها بدقة عند استخدام صور فضائية ذات دقة مكانية 30 م، وخاصة إذا كانت الحرائق تغطي مساحة أقل من بكسل واحد (أقل من 900 م<sup>2</sup>).

**الجدول 1. الخصائص الرئيسية لصور Landsat المستخدمة.**

المشهد	القمر الصناعي	الحالة	رقم الصورة	تاريخ التصوير
1	Landsat 5	قبل الحريق	LT05_L1TP_174035_20070620	20 حزيران 2007
2	Landsat 5	بعد الحريق	LC05_L1TP_174035_20070904	4 أيلول 2007
3	Landsat 8	قبل الحريق	LC08_L1TP_174035_20150608	8 حزيران 2015
4	Landsat 8	بعد الحريق	LC08_L1TP_174035_20150912	12 أيلول 2015
5	Landsat 8	قبل الحريق	LC08_L1TP_174035_20160620	20 حزيران 2016
6	Landsat 8	بعد الحريق	LC08_L1TP_174035_20161117	17 أيلول 2016
7	Landsat 8	قبل الحريق	LC08_L1TP_174035_20170629	29 حزيران 2017
8	Landsat 8	بعد الحريق	LC08_L1TP_174035_20171019	19 تشرين الأول 2017
9	Landsat 8	قبل الحريق	LC08_L1TP_174035_20180616	16 حزيران 2018
10	Landsat 8	بعد الحريق	LC08_L1TP_174035_20181107	7 تشرين الثاني 2018
11	Landsat 8	قبل الحريق	LC08_L1TP_174036_20190603	3 حزيران 2019
12	Landsat 8	بعد الحريق	LC08_L1TP_174035_20191126	26 تشرين الثاني 2019
13	Landsat 8	قبل الحريق	LC08_L1TP_174035_20200824	24 آب 2020
14	Landsat 8	بعد الحريق	LC08_L1TP_174035_20201027	27 تشرين الأول 2020

تم اختيار سلسلة من الصور متعددة الأطيف من القمر الصناعي Landsat فوق أراضي منطقة اللاذقية على مدار الأعوام: 2007-2020. ونتيجة لذلك، تم اختيار 14 مشاهد (صور) لجميع فترات الدراسة بدقة مكانية تبلغ 30 متر. خضعت الصور للاستدلال الجغرافي ضمن برنامج Arc GIS، ولتصحيح الهندسي والإشعاعي القياسي G1، تم إجراء تصحيح جوي (الغيوم) لجميع صور Landsat في وحدة FLAASH، وتم إجراء محاذاة طيفية خطية للصور باستخدام برنامج ENVI-5.1. تم الحصول على صور متجانسة في منطقة اللاذقية، وأصبحت هذه الصور جاهزة للتحليل الطيفي.

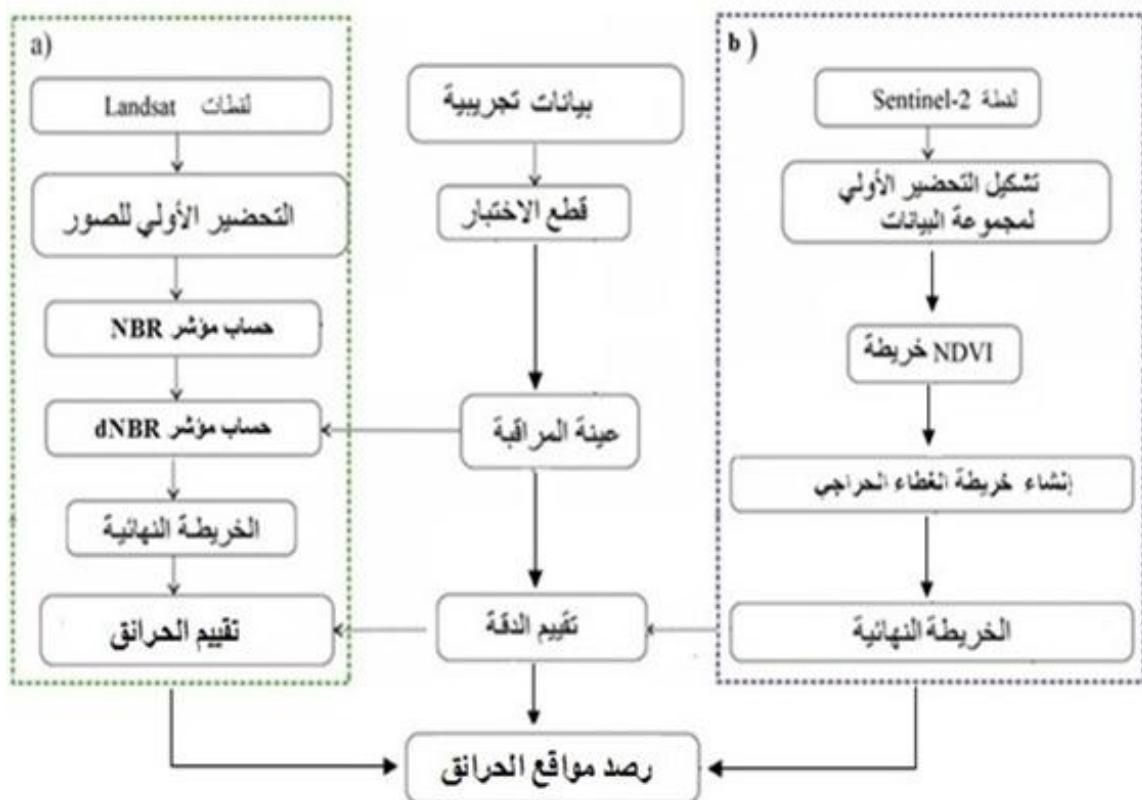
- استخدم القمر الصناعي Sentinel-2B في هذا البحث، باستخدام صورة واضحة من القمر الصناعي Sentinel-2B، التقطت في 3 أيلول 2017 فوق منطقة اللاذقية. خضعت صورة Sentinel-2B لتصحيح هندسي وإشعاعي أولي للإشعاع والظروف الجوية (الغيوم). استُخدمت 4 قنوات طيفية من أصل 13 للقمر الصناعي Sentinel-2B، وهي 2، 3، 4 (RGB) و 8 (NIR)، لإعداد خريطة للغطاء الحراري بدقة مكانية عالية تبلغ 10 أمتار، كما هو موضح في الجدول رقم (2).

**الجدول 2. خصائص القنوات الطيفية الأربع لـ Sentinel-2B**

№	قنوات Sentinel-2B	(mkm)المدى الطيفي	الدقة المكانية، م
1	Band 2 - Blue	0.490	10
2	Band 3 - Green	0.560	10
3	Band 4 - Red	0.665	10
4	Band 8 - NIR	0.842	10

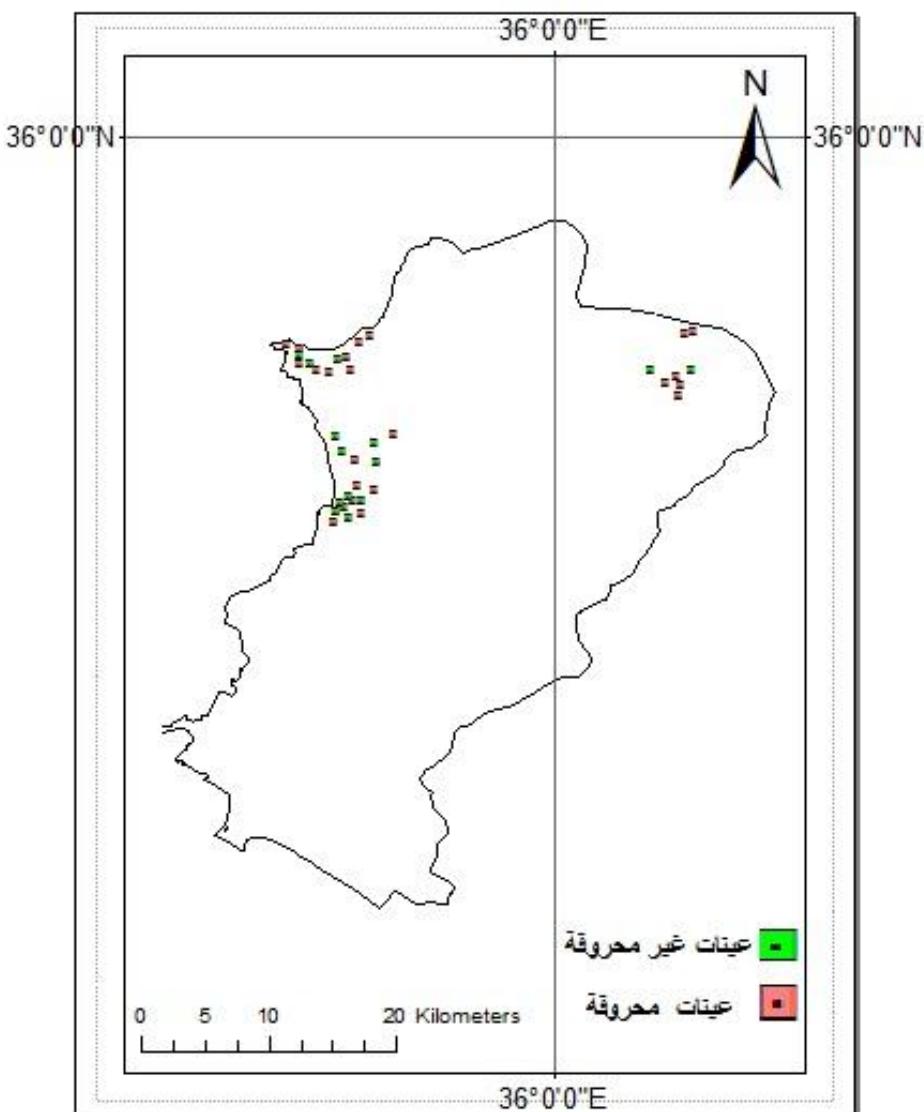
يوضح الشكل (2) مراحل تقييم ورصد موقع حرائق الغابات باستخدام قمران صناعيين مختلفي في الدقة المكانية. قسمت هذه المراحل إلى مرحلتين: المرحلة الأولى: إعداد خرائط الحرائق في منطقة اللاذقية بالاعتماد على صور أقمار لاندسات الصناعية لسنوات مختلفة، بدقة مكانية متوسطة تبلغ 30 متر، المرحلة الثانية: إعداد خريطة للغطاء الحراري بالاعتماد على صورة القمر الصناعي Sentinel-2B بدقة مكانية عالية تبلغ 10 أمتار. تم تحديد عينات المراقبة داخل المناطق المحروقة لتأكد من دقة الخرائط الموضوعية التي تم الحصول عليها باستخدام أدوات التحديد

Sampling Tool، تم اختيار 28 حوالى عينة عشوائية، 4 عينات في كل عام حريق، تم التأكد من أن جميع العينات تقع ضمن موقع الحرائق، تم استخدام أداة Extract Values to Points لأخذ قيم NBR/NDVI لكل عينة.



الشكل 2. منهجة رصد موقع حرائق الغابات: (أ) إعداد خرائط الحرائق بناءً على بيانات القمر الصناعي 8 Landsat بـ (ب) إعداد خريطة الغطاء الحرجي وفقاً لبيانات القمر الصناعي Sentinel-2B

لتقييم موقع ومساحات الحرائق في المناطق الحرجية في منطقة اللاذقية خلال الأعوام 2007-2015، 2015-2020، كما هو موضح في العمل الميداني الذي أُجري في المناطق المحروقة لتحديد قطع الأرضي الاختبارية في الفترة 2024-2022، تم تنفيذ العمل من خلال تحديد الموقع الجغرافي للحرائق على الأرض باستخدام (الزيارات الميدانية، وخرائط الأقمار الصناعية عالية الدقة، وباندكس عالي الدقة). يوضح الشكل (3) التوزيع المكاني لعينات المرجعية المستخدمة لتقييم الدقة. تم اختيار 37 نقطة مرجعية، تتكون من 23 عينة محروقة و 14 عينة غير محروقة. يتم تمثيل المناطق المحروقة والمناطق غير المحروقة برموز مميزة عن بعضها البعض. تم توزيع النقاط المرجعية عبر منطقة الدراسة لضمان التغطية المناسبة لكل من موقع الغابات المتضررة وغير المتضررة من الحرائق، مما يعزز دقة ومصداقية نتائج التصنيف.



الشكل 3. التوزيع المكاني لعينات الغابات المحروقة وغير المحروقة ضمن منطقة الدراسة

### تحليل صور أقمار الصناعية

#### 1. تحليل صور Landsat 8

لتقييم مساحة الحريق ودرجة الضرر التي لحقت بالغطاء الحرجي نتيجة الحرائق في منطقة اللاذقية خلال الأعوام 2007-2020، تم استخدام صور القمر الصناعي Landsat، تم تنفيذ عمل ميداني في الموقع المحروقة لتحديد قطع أرض تجريبية (عينات مراقبة) في الفترة 2022-2024، وتم تنفيذ العمل من خلال تحديد موقع الحرائق على الأرض باستخدام (خرائط الأقمار الصناعية، Google، خرائط الأقمار الصناعية Yandex عالي الدقة، والزيارات الميدانية).

تم استخدام مؤشر الحرق القياسي (NBR - Normalized Burn Ratio) ويعرف بالاختلاف في الانعكاسات الطيفية في قنوات الأشعة تحت الحمراء القريبة والقصيرة، والتي تمكن التعبير عنها بالعلاقة الرياضية:

$$\text{Landsat 5 NBR} = \frac{\text{TM4} - \text{TM7}}{\text{TM4} + \text{TM7}}$$

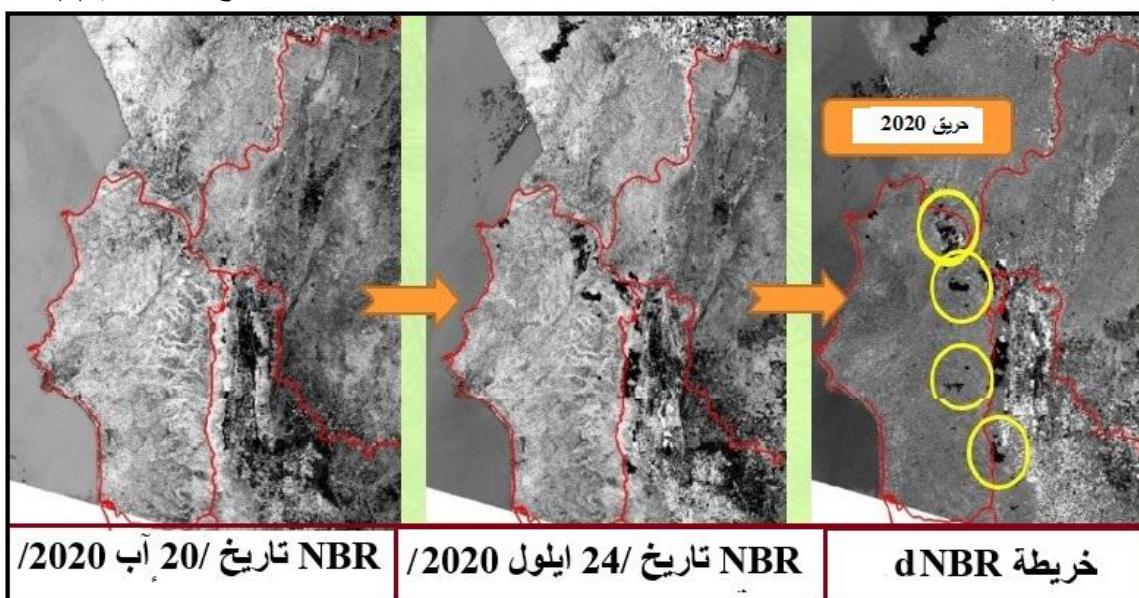
$$\text{Landsat8 NBR} = \frac{\text{TM5} - \text{TM7}}{\text{TM5} + \text{TM7}}$$

حيث،  $TM_7 - TM_4$  هي القيمة الطيفية لقناتين من القمر الصناعي لاندستس 5 و8 في المدى (0.75 - 0.9) ميكرومتر)، و (2.09 - 2.35 ميكرومتر) على التوالي.

يحتوي المؤشر NBR الطبيعي على نطاق من القيم من -1 إلى +1. في موقع الغابات غير المضطربة، يكون لهذا المؤشر قيمة موجبة، في المناطق المفتوحة والمتضررة من الحرائق تكون قيمته سالبة. تمثل قيمة NBR إلى الانخفاض مع زيادة الضرر الذي يلحق بالغطاء النباتي، والشرط الفيزيائي الحيوي لاستخدام هذا المؤشر في تقييم موقع الحرائق: هو مقارنة الانعكاسات من الغطاء النباتي السليم والمتضرر من الحريق بناءً على صورتين في أوقات مختلفة.

$$NBR = dNBR \quad (\text{قبل الحريق}) - NBR \quad (\text{بعد الحريق})$$

وبالنتيجة تم الحصول على صورة نقطية dNBR استناداً إلى صور Landsat كما هو موضح بالشكل رقم (4).



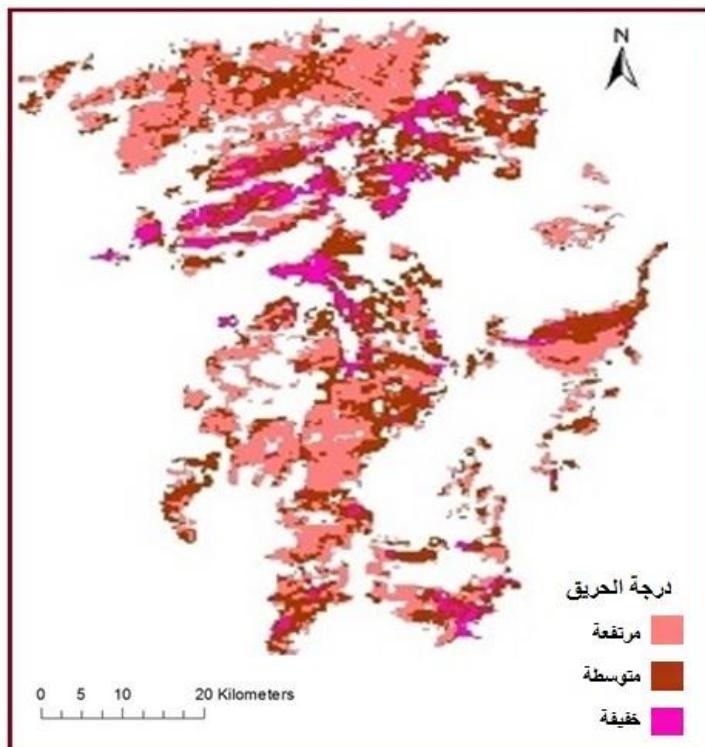
الشكل 4. الصورة النهائية لـ dNBR المستخرجة: قبل الحريق (آب 2020) وبعده (أيلول 2020) فوق أراضي محافظة اللاذقية باستخدام صور لاندستس متعددة الأزمنة

بناءً على قيم dNBR المحسوبة، صُنفت شدة الحرائق إلى ثلاثة مستويات:

- منخفض/غير محترق : ( $dNBR < 0.1$ ) مناطق لم تتأثر بالحرائق أو شهدت اضطراباً طفيفاً في الغطاء النباتي .
- متوسط ( $0.1 - 0.44$ ): مناطق ذات ضرر ملحوظ في الغطاء النباتي وفقدان جزئي للغطاء النباتي .
- مرتفع : ( $dNBR > 0.44$ ) مناطق متأثرة بالحرائق بشدة، تشمل مواقع فيها احراق شديد للغطاء النباتي وموت كلي الغطاء النباتي .

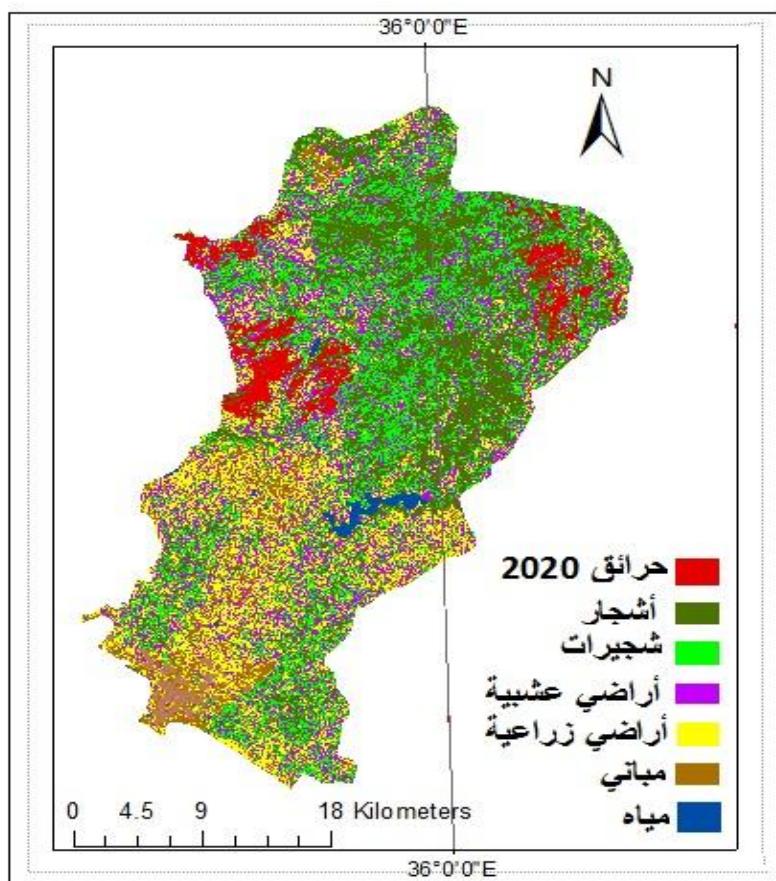
يساعد هذا التصنيف البسيط على تعزيز إمكانية تفسير النتائج ويوفر تمثيلاً موثقاً به لشدة الحرائق في جميع أنحاء منطقة الدراسة. تم تقسيم درجة الضرر في المناطق المحروقة من منخفضة إلى عالية (مناطق محروقة من الفئات 1 و 2 و 3)، وتم توضيح مساحتها في منطقة الدراسة بناءً على قيم dNBR المحسوبة. للقيام بذلك، واستناداً إلى بيانات الدراسات الميدانية وخرايط التضاريس الموجودة تم تشكيل طبقة نقطية نهائية لمناطق الغابات المحروقة في أراضي منطقة اللاذقية، تتكون من ثلاث فئات من الغطاء النباتي بدرجات متفاوتة من الضرر الناجم عن حرائق الغابات لعام 2020، كما هو مبين في الشكل رقم (5). تم إجراء فصل لفئات درجة الحرائق في

برنامج ENVI-5.1، ومن ثم تحويلها إلى صيغة (Shape) في 1.5-ENVI، ثم حساب مساحة كل فئة في برنامج ArcGIS-10.3.



الشكل 5. جزء من الطبقة الموضوعية لحرائق عام 2020 في منطقة اللاذقية، تحتوي على ثلاثة فئات من الغطاء النباتي وفقاً لدرجة الضرر الناجم عن الحرائق.

للحصول على خرائط موضوعية لحرائق الغابات من صور مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) باستخدام برنامج ENVI-5.1 ، تم التصنيف باستخدام أسلوب التصنيف المُشرف، بالاعتماد على مؤشر dNBR، مما أتاح تحديد موقع الحرائق وتحديد شدتها ومساحتها . ونتيجةً لهذا التصنيف، تم الحصول على خريطة موضوعية لطرطوس، مُقسمة إلى خمس فئات للغطاء الأرضي، وتم تمييز الحرائق باللون الأحمر، كما هو موضح في الشكل (6).



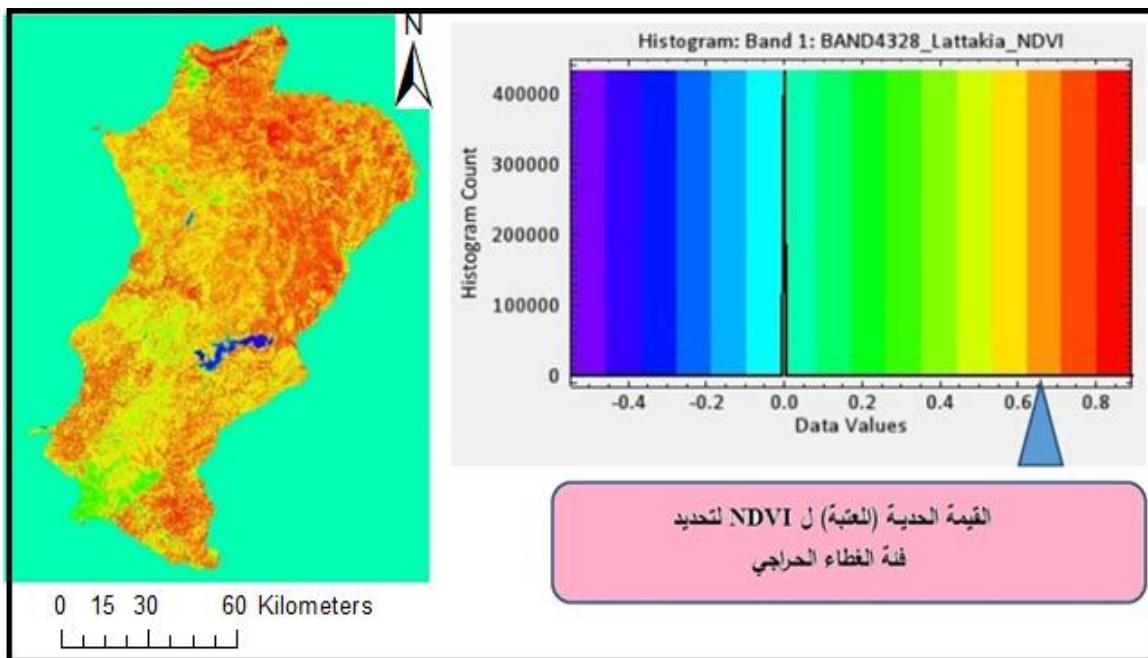
الشكل 6. الخريطة الموضوعية في منطقة اللاذقية لـ 7 فئات تغطية أرضية، تم الحصول عليها بواسطة التصنيف الموجي يمكن رؤية مساحة موقع الحرائق الكبيرة لعام 2020 على الخريطة (باللون الأحمر)

## 2. تحليل صور القمر الصناعي Sentinel-2B لإعداد خريطة الغطاء الحراجي.

تم الحصول على خريطة NDVI لمنطقة اللاذقية كما هو موضح في الشكل (6) وذلك بتطبيق العلاقة الرياضية المستخدمة على نطاق واسع من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة:

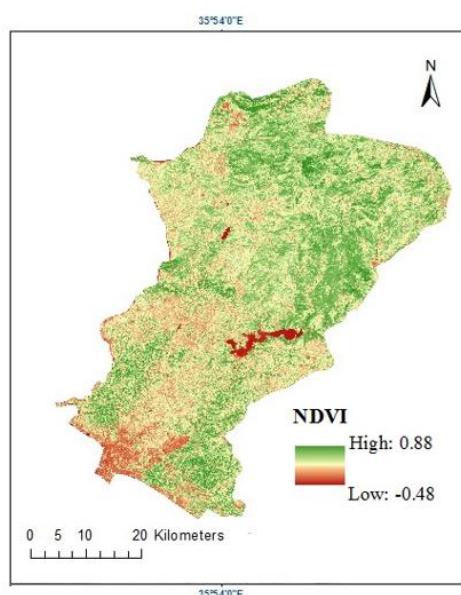
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}),$$

NIR - نطاق الطيفي الأشعية تحت الحمراء القريبة، RED - نطاق الطيف الأحمر. تتراوح قيم المؤشر بين 1 و+1. فأكثر، مما أتاح الحصول على خريطة لفئة الغطاء الأرضي على شكل طبقة نقطية (Raster)، كما هو موضح بالشكل رقم (7). بالنسبة للغطاء النباتي، تبدأ قيمة هذا المؤشر من 0.2 فأكثر، أما بالنسبة للغطاء الحرجي فتبدأ قيمة المؤشر من 0.65، بعد استبعاد فئات الغطاء الأرضي الأخرى كالأراضي الزراعية وأشجار الفاكهة وغيرها في ArcMap 10.3. أتاح الحصول على خريطة لفئة الغطاء الحرجي على طبقة (Shape)، كما هو موضح بالشكل رقم (8).

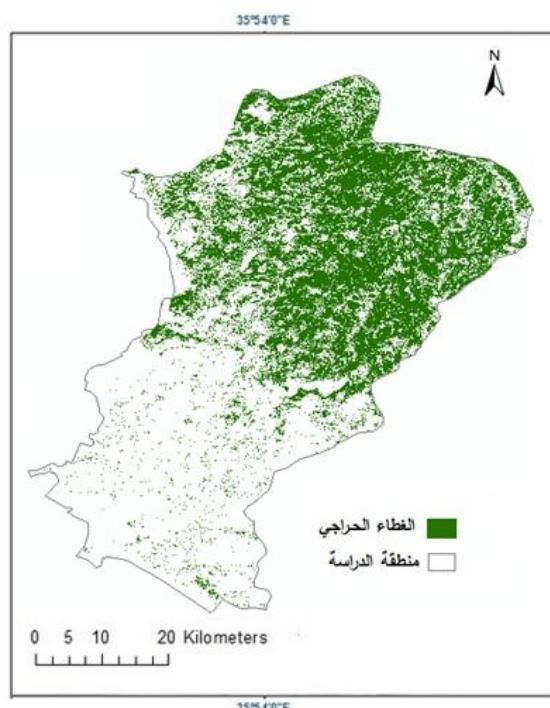


الشكل 6. المدى الطيفي للمؤشر NDVI ضمن منطقة الدراسة

تم التحقق من دقة ودرجة التطابق في الخرائط الموضوعية التي تم الحصول عليها مع الواقع الميداني (العينات الاختبارية) التي تم تحديدها ضمن الموقع المحروقة والموقع الغير محروقة، والبيانات المرجعية حول مساحات حريق الغابات في أعوام 2007 و 2015-2020 التي تم الحصول عليها من مديرية الزراعة في محافظة اللاذقية. تم إجراء تقييم دقة التصنيف بناءً على مصفوفة الفرق (Confusion Matrix) ضمن برنامج ENVI-5.1 حساب دقة التصنيف الإجمالية، ومؤشر كابا (Kappa)، والتي تُستخدم عادةً لهذه الأغراض في الأدبيات العلمية الحديثة [36-37].



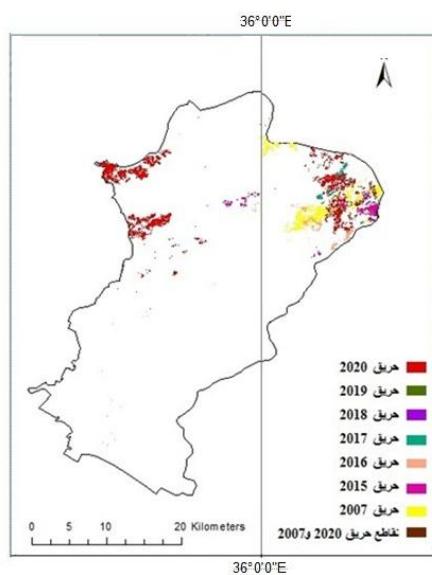
الشكل 7. الخريطة الموضوعية للغطاء الأرضي الناتجة عن مؤشر NDVI



الشكل 8. طبقة Shap للغطاء الحراجي استناداً إلى صورة القمر الصناعي Sentinel-2 وفقاً لمؤشر NDVI

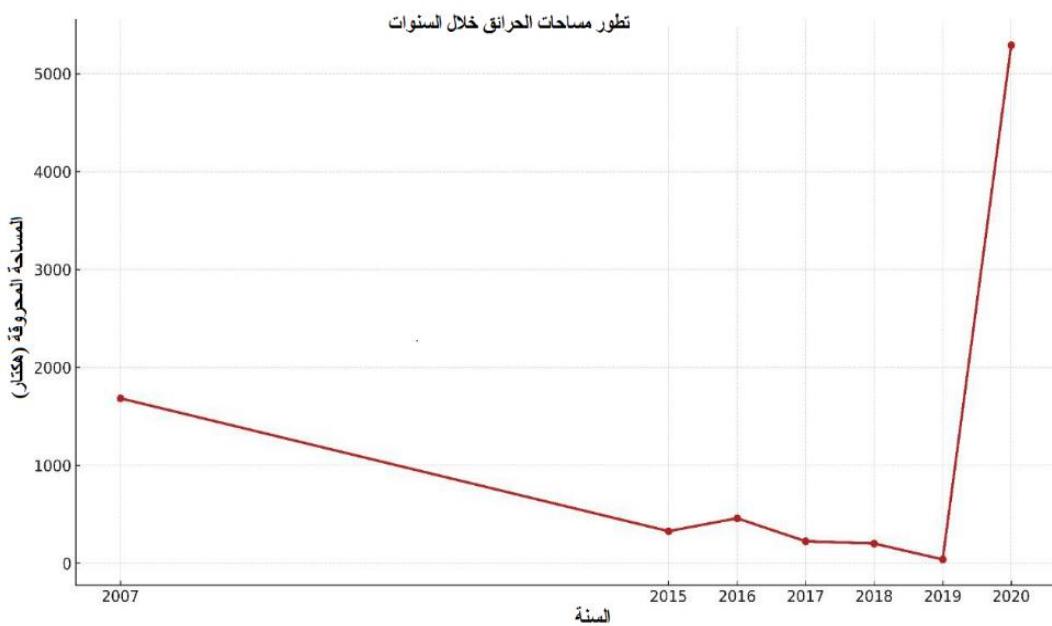
#### النتائج والمناقشة:

نتيجة لتصنيف (MASK) لحرائق الغابات في برنامج ENVI-5.1 مع تعيمها اللاحق ودمج الفئات ذات القيم الطيفية المماثلة في حزمة برامج ArcGIS 10.3، تم الحصول على خريطة موضوعية لتوزيع حرائق خلال الفترة الزمنية المدروسة، كما هو موضح في الشكل رقم (9).



الشكل 9. التوزيع الجغرافي لموقع الحرائق خلال الأعوام 2007-2015، 2015-2020 على أراضي منطقة اللاذقية

وشكل عام وحسب نتائج الدراسة، فإن المساحة الإجمالية المناطق المحروقة في الأعوام 2007-2015 بلغت حوالي 8230,74 هكتار، يوضح الخط البياني كما هو موضح في شكل رقم (10) تغير مساحة الأرضي المتضررة من الحرائق (بالهكتار) خلال الأعوام: 2007-2015، ويلاحظ أن هذه المساحات لم تكن منتظمة بل شهدت تذبذبات حادة مع وجود قمم وانخفاضات واضحة، حدث أكبر مساحة محروقة في عام 2020 بمساحة تقدر بـ (5290,15 هكتاراً أو 64.27%) في الموقع الحرجية للصنوبر البروتي بمنطقة اللاذقية؛ يُرجح أن هذه الفقرة ترتبط بعوامل غير اعتيادية من ظروف مناخية قاسية (موجات حر، رياح قوية، و جفاف شديد)، ضعف الاستجابة من قبل المعنيين على مكافحة الحرائق، بالإضافة إلى العامل البشري الذي لعب دور مهم في حدوث الحرائق عام 2020 بمساحات واسعة، يليها من حيث المساحة الحريق الذي حدث عام 2007 بمساحة إجمالية تقدر بحوالي 1684,86 هكتار أو ما يعادل نسبة 20.47% من مساحة الحرائق الإجمالية في منطقة اللاذقية خلال نفس الفترة، وهي ما تزيد عن البيانات الرسمية التي تم الحصول من مديرية الزراعة في محافظة اللاذقية.



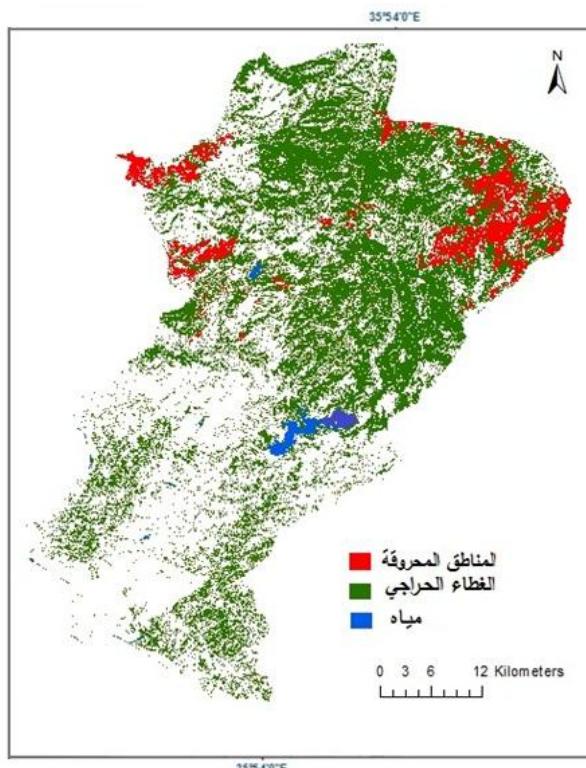
**الشكل 10.** يبين ديناميكية مساحة الحرائق الحرجية في منطقة اللاذقية خلال فترة الدراسة

يُلاحظ من تحليل موقع انتشار الحرائق حدوث مرور (تقاطع) أكثر من حريق على نفس الموقع الحرجي، وهذا ما حدث بالفعل في عامي 2007 و2020 بمساحة تقاطع تقدر حوالي 297,15 هكتار. يحدث تكرار للحرائق أو تغير أنماطها مع الزمن نتيجة عوامل مؤثرة مختلفة، كما حصل للحريقين عامي 2007 و2020 حيث ازدادت مساحة الحريقين نتيجة ارتفاع كبير في درجات الحرارة، ازدياد في سرعة الرياح الشرقية الجافة، ضعف التدخل المبكر، وزيادة عدد الحرائق الكبيرة، مما أدى إلى تفاقم الوضع وصعوبة السيطرة على النيران.

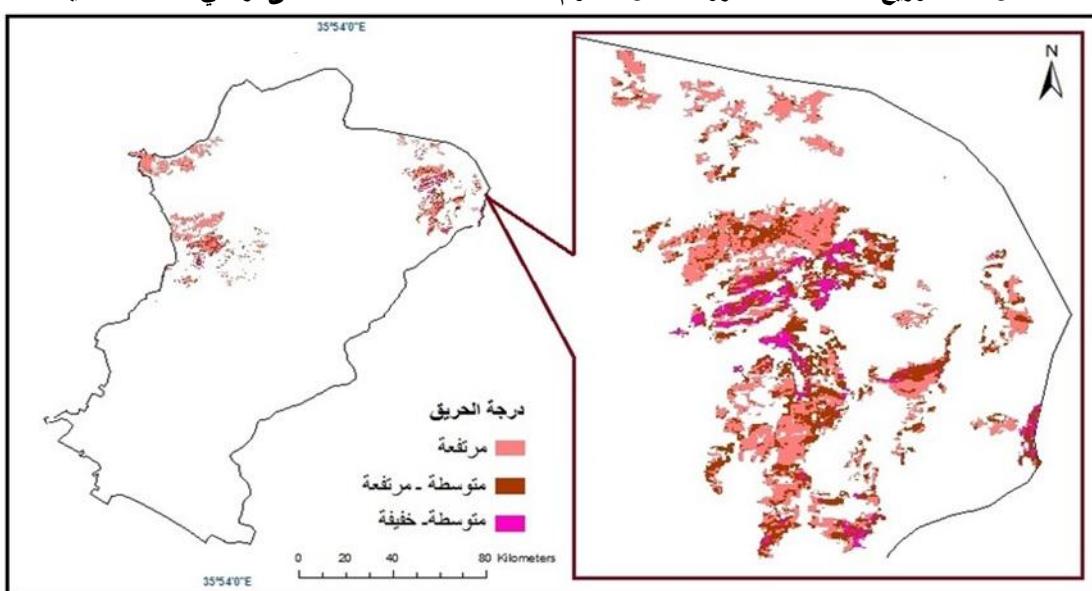
تركزت الحرائق بشكل أساسي في غابات الصنوبر البروتي، التي تعتبر من الأنواع الشديدة القابلية للاشتغال بسبب محتواها العالي من الزيوت الطيرية، ووجود كثافة عالية للغطاء الحرجي كما هو موضح بالشكل (11)، زاد من احتمال انتشار الحرائق، بالإضافة إلى التضاريس الجبلية الصعبة والوعرة التي شكلت عائق أمام رجال وأليات الإطفاء من القيام بواجباتها في إطفاء الحرائق بسرعة وفعالية، كل هذه الأسباب آنفة الذكر ساعدت مجتمعة على حرق وفقدان مساحات واسعة من الثروة الحرجية. إن تحليل نتائج هذه الحرائق يتطلب بالتأكيد إعداد خطة مفصلة للوقاية من حرائق

الغابات والسيطرة عليها في هذه المناطق. يوضح الشكل رقم (12) توزيع المواقع المتضررة من الحرائق وفقاً لشدة الحرائق الذي لحق بالغطاء الحراجي في عام 2020:

- الدرجة الأولى: 3462,40 هكتار.
- الدرجة الثانية: 1436.14 هكتار.
- الدرجة الثالثة: 391.61 هكتار.



الشكل 11. توزيع المساحات المحروقة خلال الأعوام 2007-2015-2020 على أراضي منطقة اللاذقية



الشكل 12. مستويات شدة الحرائق عام 2020 والتوزع الجغرافي له في منطقة اللاذقية

يوضح الجدول التالي (4) مصفوفة الارتباط لعينات الغابات المحروقة وغير المحروقة، بما في ذلك دقة المنتج، ودقة المستخدم، يضمن هذا التقييم دقة موثوقة لنتائج التصنيف.

**الجدول (4). مصفوفة الارتباط لعينات الغابات المحروقة وغير المحروقة**

دقة المستخدم	دقة المنتج	العينات الكلية	مصنف غير محروقة	مصنفة محروقة	العينات
%90	%87	23	3	20	المحروقة
%80	%85	14	12	2	غير محروقة
-	-	37	15	22	المجموع

تشير دقة المنتج (PA) إلى احتمال تصنيف عينة مرجعية بشكل صحيح. وهي تعكس خطأ التصنيف، حيث يحدث الخطأ عند استبعاد عينات من فئة ما. تمثل دقة المستخدم (UA) موثوقية التصنيف لكل فئة، أي احتمال أن تتبعي العينة المصنفة في فئة معينة إلى تلك الفئة بالفعل.

في هذه الدراسة، حققت الغابات المحروقة دقة منتج بنسبة 87٪ ودقة مستخدم بنسبة 90٪، بينما حققت الغابات الغير المحروقة دقة منتج بنسبة 85٪ ودقة مستخدم بنسبة 80٪. تؤكد النتائج الإجمالية الدقة العالية للتصنيف، حيث قدر معامل كابا البالغ حوالي 0.79، والدقة الكلية 0.86.

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

- أظهرت نتائج الدراسة أنه من الممكن بنجاح اكتشاف المناطق المحروقة وتقييم شدة الضرر باستخدام مؤشرات الاستشعار عن بعد وصور الأقمار لاندست.
- أظهرت مؤشرات NBR وNID المستخدمة في هذه الدراسة نتائج مقبولة، مما يدل على ملاءمة هذه المؤشرات.
- تعرضت بعض المواقع الحراجية لمرات عديدة من الحرائق، إذ تركزت النسبة الأكبر من مساحة حرائق الغابات في عام 2020 (5290.15 هكتاراً، أي بنسبة 64.27٪) في المناطق الجبلية بمنطقة اللاذقية.

#### التوصيات:

- إجراء المزيد من المراقبة للمناطق الحراجية المحروقة في سوريا باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-2 الذي يتمتع بدقة مكانية أعلى.
- تدريب الكوادر على استخدام أدوات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.
- تشكيل قاعدة بيانات تتعلق بمساحة الحرائق وتوزعها الجغرافي بشكل دوري بحيث تدخل هذه المعطيات ضمن برنامج للحاسوب يمكن من خلاله إعطاء معطيات ضرورية لإدارة حرائق الغابات.
- بعد حدوث حرائق الغابات من الضروري تحديد المساحات المحروقة وتحديد نوع الحريق وشدة من أجل تحديد الأماكن الواجب التدخل فيها لإزالة جذوع الأشجار المحروقة بشكل كلي أو جزئي، وكذلك تحديد المناطق التي قد تتعرض لخطر انحراف التربة، والمواقع التي يجب التدخل فيها بالتشجير.

## References:

- [1] A. V. Kashnitsky, Method of automatic detection of damage to vegetation cover by natural fires based on data from Landsat and Sentinel-2 series satellites, *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. Vol. **19**, №.6 pp. 29-38, (2022).
- [2] A. Alencar, J.Z. Shimbo, F. Lenti, C.B. Marques, B. Zimbres, M. Rosa, V. Arruda, et al. Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform, *Remote Sensing*. Vol. **12**, (2020).
- [3] M. S. Ali, S. A. Lezhnin, O.N. Vorobyov, E.A. Kurbanov, Monitoring the vegetation cover of the Latakia governorate of the Syrian Arab Republic using Landsat images, *Bulletin of the Volga Region State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. Vol. **47**, P. 19–31, (2020).
- [4] T. Katagis, I. Z. Gitas, Accuracy estimation of two global burned area products at national scale, *FORECO 2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. **932**, Pp. 1–10 , (2021).
- [5] C. H. Key, Remote sensing sensitivity to fire severity and fire recovery In J. de la Riva and E. Chuvieco, eds, Proceedings of the 5th International Workshop on remote sensing and GIS applications to forest fire management: fire effects assessment. *Universidad de Zaragoza*, Spain. Pp. 29–39, (2005).
- [6] E. Kurbanov, O. Vorobev, S. Lezhnin, J. Sha, J. Wang, X. Li, J. Cole, D. Dergunov, Y. Wang, Remote sensing of forest burnt area, burn severity, and post-fire recovery: a review, *Remote Sensing*. Vol. **14**, №.19, (2022).
- [7] E. Kurbanov, O. Vorobev, S. Lezhnin, Y. Polevshikova, E. Demisheva, Assessment of burn severity in Middle Povozhje with Landsat multitemporal data, *International journal of Wildland Fire*. Vol. **26**, №.9, (2017).
- [8] Y. Lan, J. Wang, W. Hu, E. Kurbanov, J. Cole, J. Sha, Y. Jiao, J. Zhou, Spatial pattern prediction of forest wildfire susceptibility in Central Yunnan Province, China based on multivariate data. *Natural Hazards*. Vol. **26**, №.9, P. 565-586, (2022).
- [9] S. Liu, Y. Zheng, M. Dalponte, X. Tong, A novel fire index-based burned area change detection approach using Land-sat-8 OLI Data, *European Journal of Remote Sensing*. Vol. **53**, P. 104-112, (2020).
- [10] X. Liu, C. Zheng, G. Wang, F. Zhao, Y. Tian, H. Li, Integrating Multi-Source Remote Sensing Data for Forest Fire Risk Assessment, *Forests*. Vol. **15**, (2024).
- [11] T. Loboda, O. Krainina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne, Land management and the impact of the 2010 extreme drought event on the agricultural and ecological systems of European Russia In *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*, Springer International Publishing: Cham, Switzerland. (2017).
- [12] T. Long, Z. Zhang, G. He, W. Jiao, C. Tang, B. Wu, X. Zhang, G. Wang, R. Yin, 30 m resolution Global annual burned area mapping based on Landsat images and Google Earth Engine, *Remote Sensing*. Vol. **11**, №.5, (2019).
- [13] L. Malambo, C.D. Heatwole, Automated training sample definition for seasonal burned area mapping, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. **160**, P. 107–123, (2020).
- [14] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Global Forest Resources Assessment: Main Report*. Rome, Italy, (2020).

- [15] S. Nasery, K. Kalkan, Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The Case of Karabağlar District, İzmir, Turkey, *Turkish Journal of Geosciences*. Vol. **1**, №.2, Pp. 72–77, (2020).
- [16] M. S. Ali, O.N. Vorobyov, E.A. Kurbanov, The “decision tree” algorithm for classifying forests of the Syrian Arab Republic based on the SENTINEL-2 image, *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. Vol. **45**, P. 5–30, (2020).
- [17] F. Ngadze, K.S. Mpakairi, B. Kavhu, M. S. Maremba, Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogenous savannah landscape, *PLoS ONE*. Vol. **15**, №.5, (2020).
- [18] G. Otón, R. Ramo, J. Lizundia-Loiola, E. Chuvieco, Global detection of long-term (1982–2017) burned area with AVHRR-LTDR data, *Remote Sensing*. Vol. **11**, №.18, (2019).
- [19] P. Pereira, M. Francos, E. C. Brevik, X. Ubeda, I. Bogunovic. Post-fire soil management, *Current Opinion in Environmental Science and Health*. Vol. **5**, P. 26–32, (2018).
- [20] N. Quintero, O. Viedma, I. R. Urbieta, J. M. Moreno, Assessing landscape fire hazard by multitemporal automatic classification of Landsat time series using the Google Earth Engine in West-Central Spain. *Forests*. Vol. **10**, P.1–30, (2019).
- [21] N. C. Santana, O.A. De Carvalho Júnior, R.A.T. Gomes, R.F. Guimarães, Burned-area detection in Amazonian environments using standardized time series per pixel in MODIS data. *Remote Sensing*. Vol. **10**, №.12, (2018).
- [22] N. O. Soverel, D.D.B. Perrakis, N.C. Coops, Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada, *Remote Sensing of Environment*. Vol. **114**, №.9, (2010).
- [23] E. Chuvieco, F. Mouillot, G.R. Van Der Werf, J. San Miguel, M. Tanasse, et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation, *Remote Sensing of Environment*. Vol. **225**, P. 45–64, (2019).
- [24] S. Talukdar, P. Singha, S. Mahato, S. Shahfahad, A. Rahman, Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review, *Remote Sensing*. Vol. 12, №.7, (2020).
- [25] O. N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, Remote monitoring of vegetation restoration dynamics on burnt-out areas of the Mari forest Trans-Volga region, *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. Vol. **2**, №.14, P. 124–134, (2017).
- [26] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of the World's Forests*. In Forests, Biodiversity and People. Rome, Italy, (2020).
- [27] O. N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A. V. Gubaev, S. A. Lezhnin, Y. A. Polevshchikova, Remote monitoring of forest burnt areas in the Mari Trans-Volga region, *Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management*. №.1, P. 12–22, (2012).
- [28] M. S. Ali, R. G. Zeina, Monitoring forest burned areas of Muhamafaza Latakiya of the Syrian Arab Republic using Remote Sensing and GIS Technologies, *Forest Ecosystems in the Context of Climate Change: Biological Productivity and Remote Monitoring*, №.9, P. 87–101, (2023).
- [29] C. Yue, P. Ciais, P. Cadule, K. Thonicke, T.T. Van Leeuwen, Modelling the role of fires in the terrestrial carbon balance by incorporating SPITFIRE into the global vegetation model ORCHIDEE—Part 2: Carbon emissions and the role of fires in the global carbon balance, *Geoscientific Model Development*. Vol. **8**, P. 1285–1297, (2015).

- [30] E. G. Shvetsov. Assessments of forest disturbance in central Siberia's southern regions according to satellite imagery. *Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring.* № 8, P. 26-34, (2022).
- [31] T. Artés, D. Oom, D. De rigo, T.H. Durrant, P. Maianti, G. Libertà, J. San-miguel-ayanz, A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behavior, *Scientific Data.* Vol. 6, pp. 296, (2019).
- [32] A. F. J. Brecka, Y. Boulanger, E.B. Searle, A.R. Taylor, D.T. Price, Y. Shahia, Sustainability of Canada's forestry sector may be compromised by impending climate change, *Forest Ecology and Management.* Vol. 474, (2020).
- [33] B. C. Bright, A.T. Hudak, R.E. Kennedy, J.D. Braaten, K.A. Henareh, Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three Western North American Forest Types, *Fire Ecology.* Vol. 15, №. 8, (2019).
- [34] M. L. Campagnolo, D. Oom, M. Padilla, J.M.C. Pereira, A patch-based algorithm for global and daily burned area mapping, *Remote Sensing of Environment.* Vol. 232, (2019).
- [35] H. Etchells, A.J. O'donnella, W.L. Mccawb, P.F. Grierson, Fire severity impacts on tree mortality and post-fire recruitment in tall eucalypt forests of southwest Australia, *Forest Ecology and Management.* Vol. 459, (2020).
- [36] FAO. The State of the World's Forests 2018. *Forest pathways to sustainable development,* Rome. P. 1 – 118, (2018).
- [37] F. Filippone, BAIS2: Burned area index for Sentinel-2, *Proceedings.* Vol. 2, №. 364, P. 1-7, (2018).
- [38] H. Gholamrezaie, M. Hasanlou, M. Amani, S.M. Mirmazloumi, Automatic mapping of burned areas using Landsat 8 time series images in Google Earth Engine: A case study from Iran, *Remote Sensing.* Vol. 14(24), (2022).
- [39] L. Giglio, L. Boschetti, D.P. Roy, M.L. Humber, C.O. Justice, The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product, *Remote Sensing of Environment.* Vol. 217, P. 72–85, (2018).
- [40] A. C. Gonçalves, A. Sousa, The Fire in the Mediterranean Region: A Case Study of Forest Fires in Portugal, *Mediterranean Identities – Environment, Society, Culture.* №. 13, P. 305-335, (2017).
- [41] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2014. Cambridge: *Cambridge University Press.* P. 465-570, (2014).
- [42] S. Saruhan, E. Koç Spatial and statistical analysis of burned areas with Landsat-8/9 and Sentinel-2 satellites: 2023 Çanakkale forest fires. *Remote Sensing Applications: Society and Environment,* 34, (2024).
- [43] J. A. Sobrino, R. Llorens, C. Fernández Filgueira, J. M. Fernández-Alonso, J. A. Vega, Methodology for burned areas delimitation and fire severity assessment using Sentinel-2 data. A case study of forest fires occurred in Spain between 2018 and 2023. *Remote Sensing Journal,* (2024).
- [44] N. Abade, A. C.da Costa, F. Moreira, Wildfire burn severity mapping using Sentinel-2 imagery and machine learning algorithms. *Remote Sensing of Environment,* 293, (2023).
- [45] E. Tercan, U. H. Atasever, Deep learning-based burned forest areas mapping via Sentinel-2 imagery: a comparative study. *Environmental Science and Pollution Research.* Advance online publication, (2023).

