

تحليل أثر حريق غابات سراة بني مالك على الغطاء النباتي ورصد التعافي النباتي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية

عبدالله معتق ظويهر رشيدى

ماجستير التقنيات الجغرافية والبيئية كلية اللغات والعلوم الإنسانية جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية

Gon8886@gmail.com

أحمد بن عبدالله الدخيري

أستاذ الجيومورفولوجيا والاستشعار عن بُعد، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية

adgerie@qu.edu.sa

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل آثار حريق غابات سراة بني مالك جنوب محافظة الطائف الذي اندلع في أواخر شهر مايو عام 2025م باستخدام بيانات Sentinel-2-L2A ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) عبر برنامج ArcGIS Pro. وهدفت الدراسة إلى الاعتماد على مؤشري NBR و dNBR لتحديد المناطق المتأثرة بالحريق وتصنيف شدة الضرر، إضافة إلى استخدام مؤشري NDVI و dNDVI لتحليل التغير في الغطاء النباتي ومتابعة التعافي النباتي لمدة سبعة أشهر مع الاستفادة من مؤشر الرطوبة NDMI والعوامل المناخية لتفسير التعافي بعد الحريق وأظهرت نتائج الدراسة بأن المساحة المتضررة بلغت نحو (1133.21) هكتار وشكل الضرر المنخفض النسبة الأكبر (96.53%)، بينما بلغ الضرر المتوسط (3.46%) والضرر العالي (0.01%). كما انخفضت مساحة الغطاء النباتي من (376.38) هكتار قبل الحريق إلى (12.87) هكتار بعده بنسبة فقد بلغت (96.6%)، مع ظهور تعافٍ جزئي للغطاء النباتي بنسبة بلغت نحو (15.5%) حتى يناير 2026م. وتسهم الدراسة في دعم جهود إعادة التأهيل البيئي وتوجيه برامج إعادة التشجير نحو المناطق الأكثر تضرراً كما تمثل توثيقاً علمياً لحريق لم يحظ بدراسات سابقة بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في الاستدامة البيئية وحماية الموارد الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: حرائق الغابات، NBR، dNBR، NDVI، dNDVI، NDMI، الاستشعار عن بُعد، سراة بني مالك، نظم المعلومات الجغرافية GIS.

Analysis of the Impact of Sarat Bani Malik Forest Fires on Vegetation Cover and Monitoring Vegetation Recovery Using Remote Sensing and GIS Techniques

Abdullah Mutiq Thuwayhir Rashdi

Master of Geographic and Environmental Technologies, College of Languages and Humanities,
Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia
Gon8886@gmail.com

Ahmed Abdullah Al-Dughairi

Professor of Geomorphology and Remote Sensing, College of Languages and Humanities,
Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia
adgierie@qu.edu.sa

Abstract

This study aims to analyze the impacts of the Sarat Bani Malik forest fire, south of Taif Governorate, which broke out in late May 2025, using Sentinel-2-L2A data and Geographic Information Systems (GIS) techniques through ArcGIS Pro. The study relied on the NBR and dNBR indices to identify the areas affected by the fire and classify damage severity, in addition to using NDVI and dNDVI to analyze changes in vegetation cover and monitor vegetation recovery over seven months, while utilizing the NDMI moisture index and climatic factors to explain post-fire recovery. The results showed that the affected area reached 1,133.21 hectares, with low-severity damage representing the largest proportion at 96.53%, while moderate damage reached 3.46% and high damage 0.01%. Vegetation cover area also declined from 376.38 hectares before the fire to 12.87 hectares after the fire, representing a loss of 96.6%, with partial vegetation recovery reaching approximately 15.5% by January 2026. The study contributes to supporting environmental rehabilitation efforts and guiding reforestation programs toward the most affected areas. It also represents scientific documentation of a fire event that has not been previously studied, in line with the objectives of Saudi Vision 2030 in environmental sustainability and natural resource protection.

Keywords: Forest Fires, NBR, dNBR, NDVI, dNDVI, NDMI, Remote Sensing, Sarat Bani Malik, Geographic Information Systems (GIS).

المقدمة

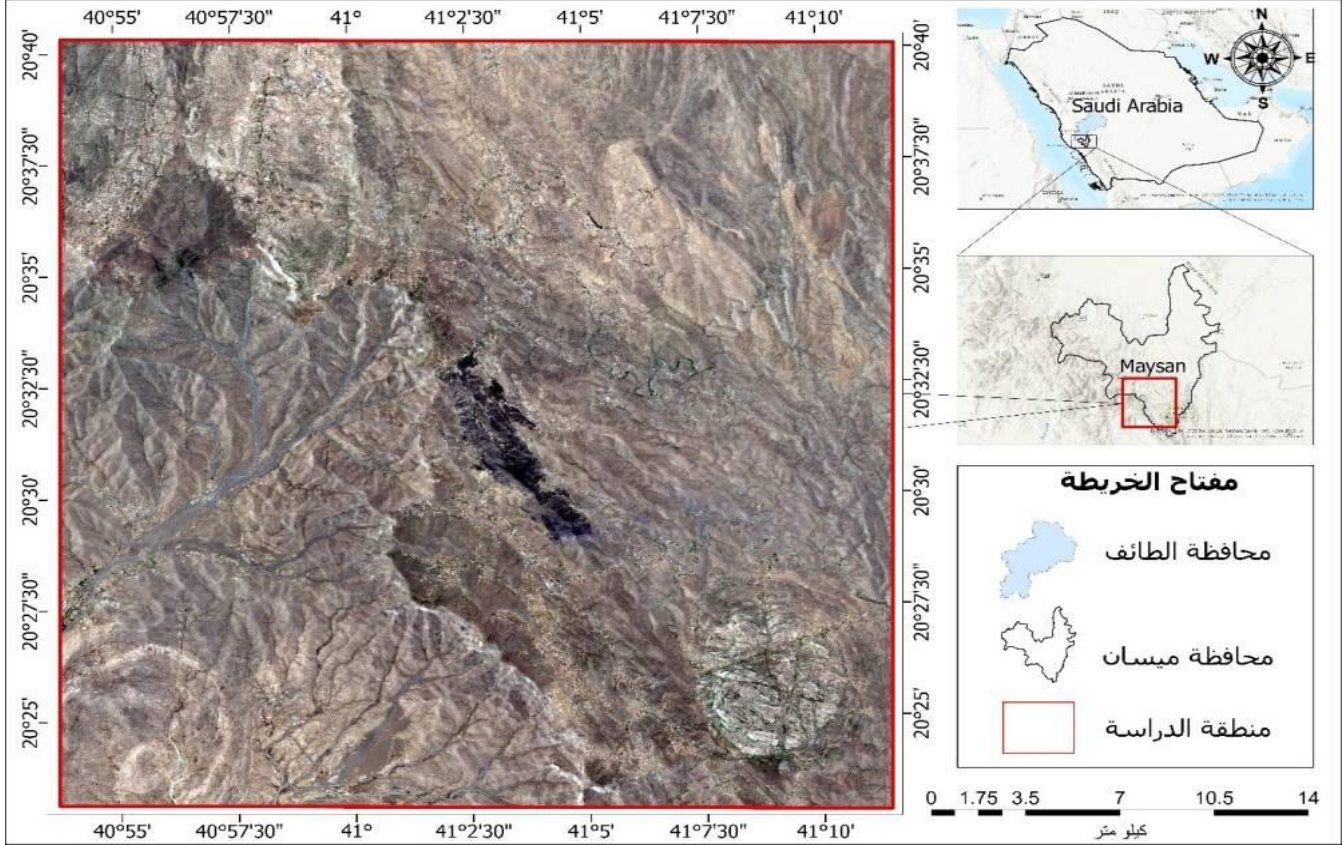
تزايدت أعداد حرائق الغابات في السنوات الأخيرة بسبب التغيرات المناخية والأنشطة البشرية وتعد حرائق الغابات من أكثر المخاطر الطبيعية في وقتنا الحالي حيث تؤدي إلى تدهور البيئة وفقدان الغطاء النباتي السريع كما أن هذه الحرائق تشكل خطراً على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى على المدى الطويل (Lee, et al., 2025) وعلى الصعيد المحلي شهدت عدة مناطق في جنوب المملكة العربية السعودية حرائق غابات أدت إلى تدمير مساحات واسعة من الغطاء النباتي وأشارت بعض الدراسات إلى وقوع حريق في عام 2020 في جبل غلامة الواقع في جنوب المملكة العربية السعودية حيث امتد 70٪ من الحريق إلى مسافات تتراوح بين 3 إلى 4 كم مما أدى إلى تدمير مساحات واسعة من الغطاء النباتي وتشتهر هذه المنطقة

بتنوع في الغطاء النباتي ومن أشهرها أشجار العرعر (سلام والعمرى، 2022) وتتميز مناطق جنوب المملكة العربية السعودية بأنواع مختلفة من الغطاء النباتي مثل أشجار العرعر والزيتون البري ويعد هذا التنوع النباتي مهماً في تحقيق التوازن البيئي والمحافظة على الموارد الطبيعية (الزبيدي، 2023) وفي إطار تقييم آثار الحرائق أظهرت الدراسات الحديثة قدرة التقنيات الحديثة على تقديم نتائج تحليلية حول الكوارث الطبيعية ومراقبة التغيرات البيئية حيث ساهمت المؤشرات الطبيعية مثل (dNBR) وتحليل (NDVI) متعدد السنوات في كشف تغيرات النظم البيئية المتضررة وتحديد مدى تعافي الغطاء النباتي كما تساهم في دعم التخطيط لإدارة الحرائق وتعزيز أنظمة الإنذار المبكر وتوجيه برامج وإعادة التأهيل البيئي بعد الحريق (AI-Qthanin & Aseri, 2025).

وتبرز مشكلة البحث في تعرض غابات سراة بني مالك جنوب محافظة الطائف لحريق غابات في أواخر شهر مايو من عام 2025م حيث تشير بعض المصادر الإعلامية ومواقع التواصل الاجتماعي إلى أن الحريق اندلع بتاريخ 2025/5/25م واستمر لعدة أيام حتى نهاية يوم 2025/5/27م كما أشارت إلى امتداد الحريق لمسافة (10) كيلو متر مما أدى إلى تضرر أجزاء واسعة من الغطاء النباتي وأظهرت نتائج تحليل الدراسة إلى أن المساحة الإجمالية للحريق بلغت نحو (1133.21 هكتار) وقدرت مساحة الغطاء النباتي في منطقة الحريق قبل وقوعه بنحو (376.38) هكتاراً أي ما يعادل حوالي (33.2%) من مساحة الحريق وانخفضت بعد الحريق بنحو (12.87) هكتاراً مما يعني أن الحريق قد دمر نحو (363.51) هكتاراً من الغطاء النباتي بنسبة فقد بلغت (96.6%) ويعكس هذا الانخفاض الحاد مدى التأثير الكبير للحريق على الغطاء النباتي في غابات سراة بني مالك وعلى الرغم من أهمية هذا الحدث إلا أن المنطقة لاتزال تفتقر إلى دراسات علمية تعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتقدير حجم الأضرار وبناء على ذلك تهدف هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة العلمية من خلال تحديد ورسم خرائط المناطق المتأثرة بالحريق وتقييم شدة الضرر باستخدام مؤشر (dNBR) المشتق من مقارنة قيم مؤشر (NBR) قبل الحريق وبعده بالإضافة إلى قياس التغير في كثافة الغطاء النباتي ومتابعة التعافي الطبيعي لمدة سبعة أشهر باستخدام مؤشري (NDVI) و(dNDVI) وتتمثل أهمية الدراسة في كونها توثيقاً علمياً وتقنياً لأول دراسة تعتمد على التحليل المكاني لحريق غابات سراة بني مالك باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية مما يوفر معلومات تدعم جهود إعادة التأهيل البيئي وتوجيه برامج التشجير نحو المناطق الأكثر تضرراً بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجال الاستدامة البيئية وحماية الموارد الطبيعية

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة (سراة بني مالك) فلكياً بين دائرتي عرض $20^{\circ}25'N$ إلى $20^{\circ}40'N$ وخطي طول $41^{\circ}10'E$ إلى $40^{\circ}55'E$ وتتمركز في أقصى جنوب محافظة الطائف بمسافة تتراوح بين 140 إلى 160 كم، على طريق الطائف - الباحة السياحي ضمن سلسلة جبال السروات بمنطقة مكة المكرمة وتتبع إدارياً لمحافظة ميسان وتتميز المنطقة بمرتفعات شاهقة يصل ارتفاعها إلى نحو 2500 متر فوق سطح البحر وتضم عدداً من المراكز الإدارية مثل حداد بني مالك والقرية وتقع سراة بني مالك القرية التي شهدت حدوث الحريق في حوض وادي عرّة وروافده وتحيط بها مجموعة من المرتفعات الجبلية ويحدها من الجنوب الشرقي جبال مثل جبل إبراهيم وجبل بني مالك ووادي تربة وتمتد نحو الشمال الغربي حتى جبل حبيص الرضمة وجبل صالح الذي يفصلها عن حداد بني مالك كما يحدها من الغرب والجنوب الغربي حافة جبال السروات ومن الشرق والشمال الشرقي خط الشعاف الذي يمثل خط تقسيم المياه بين تهامة ونجد بالإضافة إلى جبل بيضان في الشمال (الشريف، 1984) وتتميز سراة بني مالك بتنوع خصائصها الطبيعية والبشرية وتتمثل الخصائص الطبيعية في التضاريس الجبلية المتنوعة التي تضم جبلاً شاهقة مثل (عروان، بثره، الجبل الأبيض، عمد وبيضان)، إضافة إلى عدد من الأودية الخصبة مثل (عبال، الحضان وشوقب) مما يعكس على التنوع البيئي والغطاء النباتي كما يسود المنطقة مناخ يتميز بالبرودة والضبباب ورذاذ الأمطار في فصل الشتاء والاعتدال صيفاً الأمر الذي يسهم في كثافة الغطاء النباتي ويغلب على المنطقة غطاء نباتي طبيعي كثيف يضم (أشجار العرعر، الزيتون البري والطلح إضافة إلى النباتات العطرية مثل الورد الطائفي). أما من حيث الخصائص البشرية فتعد الزراعة النشاط الرئيسي للسكان حيث تشتهر المنطقة بإنتاج (اللوز البجلي، الرمان، العنب والخوخ)، إلى جانب انتشار نشاط تربية النحل وإنتاج أنواع عدة من العسل البلدي مثل عسل السدر والطلح.



الشكل (1): المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcGIS Pro بالاعتماد على بيانات الحدود الإدارية من موقع (GADM) لعام 2023م. يوضح الشكل 1 الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة (سراة بني مالك) وقد تم الاعتماد على مرئية بتاريخ 2025/5/27م خلال فترة حدوث الحريق.

الدراسات السابقة (الأجنبية)

أجرى (Lacouture, et al., 2020) دراسة بعنوان (Detecting Vegetation Recovery after Fire in A Fire-Frequented Habitat Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) للكشف عن تعافي الغطاء النباتي بعد الحريق في موطن متكرر الحرائق باستخدام مؤشر الفرق المعياري النباتي (NDVI) إلى اختبار فاعلية مؤشر NDVI في الكشف عن استعادة الغطاء النباتي بعد الحريق في سافانا السنوبر شبه الاستوائية في جنوب شرق الولايات المتحدة وركزت الدراسة على فحص ما إذا كانت هناك اختلافات يمكن اكتشافها خلال انتعاش الغطاء النباتي بعد الحريق خلال مواسم مختلفة موسم السكون الجاف (يناير وفبراير) وموسم النمو الرطب (أبريل ويونيو). كما اعتمدت الدراسة على قيم NDVI المتوسطة لمتابعة التغير العام للغطاء النباتي بمرور الوقت وأشارت الدراسة إلى أن القياسات بعد الحريق انخفضت بشكل واضح ثم تعافت تدريجياً وكان التعافي أسرع خلال موسم النمو مقارنة بموسم السكون رغم أن الباحثين لم يتمكنوا من تحديد وقت التعافي بدقة بسبب نقص الصور الخالية من السحب في بعض الفترات وكذلك تأثير عدم تجانس الحريق واختلاف نوع وكثافة الغطاء النباتي الشجري واستنتجت الدراسة أن مؤشر NDVI قد يكون أداة مفيدة لمراقبة التغيرات في الغطاء النباتي بعد الحريق وأشارت الدراسة بأن استخدام صور الأقمار الصناعية يساهم في تقليل الوقت والجهد المبذول عادةً لجمع البيانات الميدانية وتحسين متابعة النظم البيئية بعد الحرائق.

قدم (Al-Qthanin & Aseeri, 2025) دراسة بعنوان (Assessment of Forest Fire Impact and Vegetation Recovery in the Ghalahmah Mountains, Saudi Arabia) (تقييم أثر حرائق الغابات وتعافي الغطاء النباتي في جبال غلامة المملكة العربية السعودية) هدفت إلى دراسة شاملة حول أثر الحريق في جبل غلامة، حيث سعى الباحثان إلى تقييم العلاقة بين شدة حرائق الغابات والعوامل البيئية قبل الحريق باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد لتحليل حريق عام (2020). باستخدام Sentinel-2 و Landsat 8 للكشف عن شدة الحريق باستخدام مؤشر Relativized Burn Ratio (RBR) و NBR لتصنيف شدة الحريق، وأظهرت النتائج أن الحروق عالية الشدة غطت (49.9%) من المنطقة المتضررة تليها معتدلة بنسبة (25.6%) والحروق المنخفضة (18.3%)، وتم تحديد كثافة الغطاء النباتي قبل الحريق باستخدام مؤشر (NDVI) بالإضافة إلى مجموعة من المؤشرات الطيفية (LST, NDWI) والعوامل الطبوغرافية (الانحدار والارتفاع) لتحليل محركات شدة الحريق وسعت الدراسة إلى تحليل الاتجاهات الزمنية لانتعاش الغطاء النباتي بعد الحريق من عام 2021 إلى 2024. وأظهرت النتائج أن التعافي كان تدريجياً ومختلفاً زمنياً حيث كان التعافي في المناطق ذات النباتات الخشبية الكثيفة أبطأ انتعاشاً في حين لا يزال 26.55 هكتاراً يتعافى بحلول عام 2024، وفي المقابل أظهرت المناطق ذات النباتات الخشبية المتناثرة والأراضي العشبية انتعاشاً أكبر حيث تجاوز التعافي 134.46 هكتاراً بحلول عام 2024.

هدفت دراسة (Zahabnazouri, et al., 2025) بعنوان (Detecting Burn Severity and Vegetation Recovery After Fire Using dNBR and dNDVI Indices: Insight from the Bosco Difesa Grande, Gravina in Southern Italy) الكشف عن شدة الحريق وتعافي الغطاء النباتي بعد الحريق باستخدام مؤشري dNBR و dNDVI من بوسكو ديفيزا غراندي غرافينا في جنوب إيطاليا) إلى تقييم تأثير الحرائق على الغطاء النباتي وتحليل أنماط التعافي بعد الحريق في غابة Bosco Difesa Grande في جنوب إيطاليا، مع التركيز على حرائق عام 2017 و 2021. استخدمت الدراسة منصة Google Earth Engine (GEE) وتقنيات الاستشعار عن بعد لتقييم شدة الحريق والتعافي النباتي بعد الحريق، اعتمدت الدراسة على صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 لحساب مؤشر النسبة الطبيعية للحرق (NBR)، ومؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI)، حيث تم اشتقاق شدة الحريق من الفرق في (dNBR) و (dNDVI)، ومراقبة التعافي النباتي عبر الفرق في (dNDVI) و (NDVI) والسلاسل الزمنية متعددة السنوات. قدمت الدراسة منظوراً جديداً من خلال مقارنة التعافي عبر أربع مناطق ذات تواريخ حريق مختلفة، مناطق غير محترقة، مناطق تعرضت للحريق مرة واحدة (2017) أو (2021)، ومناطق تعرضت للحريق مرتين (2017 و 2021) حيث أظهرت النتائج أن المناطق ذات الشدة المنخفضة تعافت بشكل أسرع من المناطق ذات الشدة العالية. كما أن المناطق التي تعرضت للحريق المتكرر كانت أبطأ وأقل تعافي، بينما ظلت المناطق غير المحترقة مستقرة، وتشير نتائج هذه الدراسة إلى أن الحرائق المتكررة قد تحول الغطاء النباتي من غابات إلى أراضٍ شجرية، كما أكدت الدراسة على أهمية الاستشعار عن بعد في تقييم ما بعد الحريق، ودعم الإدارة التكيفية للأراضي لتعزيز المرونة البيئية طويلة الأجل.

الدراسات السابقة (العربية)

أشارت دراسة (سلام و العمري، 2022) بعنوان (تقييم المؤشرات الطيفية لتقدير المساحات المحروقة دراسة حالة جبل غلامة بمنطقة مكة) إلى استخدام المؤشرين الطيفيين NDVI و NBR لتحليل وتحديد المناطق المحترقة وغير المحترقة في جبل غلامة بمنطقة تنومه بالاعتماد على صور Landsat 8 وتقنيات الاستشعار عن بعد وقورنت دقة المؤشرين في تحديد المناطق المتضررة من حريق (2020) حيث استخدمت الدراسة مؤشرين قبل الحريق بتاريخ (17/10/2020) وبعد الحريق بتاريخ (18/11/2020) وتم إنشاء ورسم خرائط للمناطق المحترقة وغير المحترقة كما استخدمت الدراسة تقييم الدقة لتحليل دقة تصنيف المؤشرات حيث أظهرت النتائج أن مؤشر NBR يعطي نتائج أعلى دقة (دقة كلية 90% ومعامل كبا 0.73) في تحديد المساحات المحترقة مقارنة بمؤشر NDVI حيث أعطى (دقة كلية 80% ومعامل كبا 0.66).

هدفت (الزبيدي، 2023) في دراستها بعنوان (مخاطر حرائق الغابات جنوب غرب المملكة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية شحف شهران) إلى تقييم الفاقد من الغطاء النباتي الناتج عن حريق غابات شحف شهران الذي حدث في 23 يونيو 2021 واستمر لمدة 5 أيام. استخدمت الدراسة تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، واعتمدت على القمر الصناعي Pleiades-1 عالي الدقة وطبقت مؤشر OSVI لتقدير كثافة الغطاء النباتي قبل الحريق وبعده، كما طورت الباحثة مؤشراً للحريق يعتمد على العوامل الطبوغرافية والنباتية والمناخية والبشرية لتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر، واقترحت مواقع مثلى لإنشاء أبراج مراقبة الغابات. وأظهرت النتائج تراجعاً في الغطاء النباتي الغابي قدره نحو 5 كم²، مع

انخفاض واضح في الغطاء الكثيف والمتوسط وأوصت الدراسة بإنشاء نظام مراقبة متكامل للحفاظ على النظام البيئي في المنطقة.

تتقاطع الدراسة الحالية مع الدراسات السابقة في اعتمادها على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية واستخدام المؤشرات الطيفية في تحليل حرائق الغابات حيث تستفيد من دراسة (سلام والعمري، 2022) في استخدام مؤشر (NBR) والفرق منه (dNBR) لتحديد ورسم المناطق المتأثرة بالحريق كما تستفيد من دراسة (Al-Qthanin & Aseeri, 2025) في استخدام مؤشر (NBR) لتصنيف شدة الحريق والربط بين شدة الحريق وطبيعة الغطاء النباتي وكذلك دراسة (Lacouture et al, 2020) في استخدام مؤشر (NDVI) لمتابعة التغير في الغطاء النباتي بعد الحريق وكذلك في اعتمادها على القيم المتوسطة للمؤشر لمتابعة التغير بمرور الوقت وتستفيد من دراسة (Zahabnazouri et al., 2025) في استخدام مؤشر (NDVI) والفرق (dNDVI) لمتابعة التغير في الغطاء النباتي بعد الحريق وتستخدم من تأكيد (الزبيدي، 2023) على أهمية توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تحليل الحرائق وتتميز هذه الدراسة بتطبيق هذه المناهج لأول مرة على غابات سراة بني مالك جنوب الطائف مع التركيز على التعافي قصير المدى خلال سبعة أشهر بعد الحريق.

منهجية الدراسة

المنهج المتبع:

اعتمدت الدراسة على منهج التحليل المكاني الكمي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وذلك لتحديد المناطق المتأثرة بالحريق وحساب مساحتها وتصنيف شدة الحريق في غابات سراة بني مالك كما اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لوصف التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي من خلال تحليل المؤشرات الطيفية المستخرجة من الأقمار الصناعية وذلك بهدف تفسير التغير في الغطاء النباتي ومتابعة التعافي الطبيعي للغطاء النباتي بعد الحريق.

مصادر البيانات:

اعتمدت الدراسة على بيانات الاستشعار عن بعد من مرئيات متعددة الأطياف الملتقطة من القمر الصناعي Sentinel-2 L2A المصححة مسبقاً والتي تم الحصول عليها من منصة Copernicus Browser وذلك لما تمتاز به من دقة مكانية 10 متر حيث تم اختيار مجموعة من المرئيات الفضائية خلال فترة زمنية قبل الحريق وبعده وكذلك صور لسبعة أشهر لتتبع التعافي الطبيعي لنبات في منطقة الدراسة (غابات سراة بني مالك) مع مراعاة اختيار صور ذات غطاء غيمي منخفض لضمان دقة تحليل عالية.

جدول (1): بيانات المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة (المصدر: الباحث بالاعتماد على منصة Copernicus Browser)

التاريخ	الفترة الزمنية	نسبة الغطاء الغيمي	الدقة المكانية
مرئيات 2025/5/17	قبل الحريق	0.0004% / 0.0052%	10متر
مرئيات 2025/5/27	اثناء حدوث الحريق	0.000687% / 0.000249%	10متر
مرئيات 2025/6/6	بعد الحريق	0.0003% / 0.0021%	10متر
مرئيات 2025/7/6	الشهر الأول بعد الحريق	0.00007% / 0.0010%	10متر
مرئيات 2025/9/6	الشهر الثالث بعد الحريق	0.0020% / 0%	10متر
مرئيات 2025/10/6	الشهر الرابع بعد الحريق	0.0035% / 0.0007%	10متر
مرئيات 2025/11/8	الشهر الخامس بعد الحريق	0% / 0.0039%	10متر
مرئيات 2025/12/5	الشهر السادس بعد الحريق	0.1777% / 0%	10متر
مرئيات 2026/1/7	الشهر السابع بعد الحريق	0.7936% / 0.0014%	10متر

تم استخدام مرئيتين لكل تاريخ وذلك لأن منطقة الدراسة تقع ضمن تغطيتين من مرئيات القمر الصناعي Sentinel-2-L2A، وتم الحصول على نسبة الغطاء الغيمي من موقع Copernicus لكل مرئية وتمثل نسبة الغيوم كامل المرئية الملتقطة حيث تم التأكد بصرياً من خلو منطقة الدراسة من الغيوم لإجراء التحليل حيث تم اقتصاص المرئيات على منطقة الدراسة والتأكد من عدم وجود غطاء غيمي في المنطقة المدروسة. كما لم يتم توفر صور كاملة تغطي منطقة الدراسة لشهر ٨، لذا تمثل مرئية شهر ٩ التعافي بعد ثلاثة أشهر من الحريق.

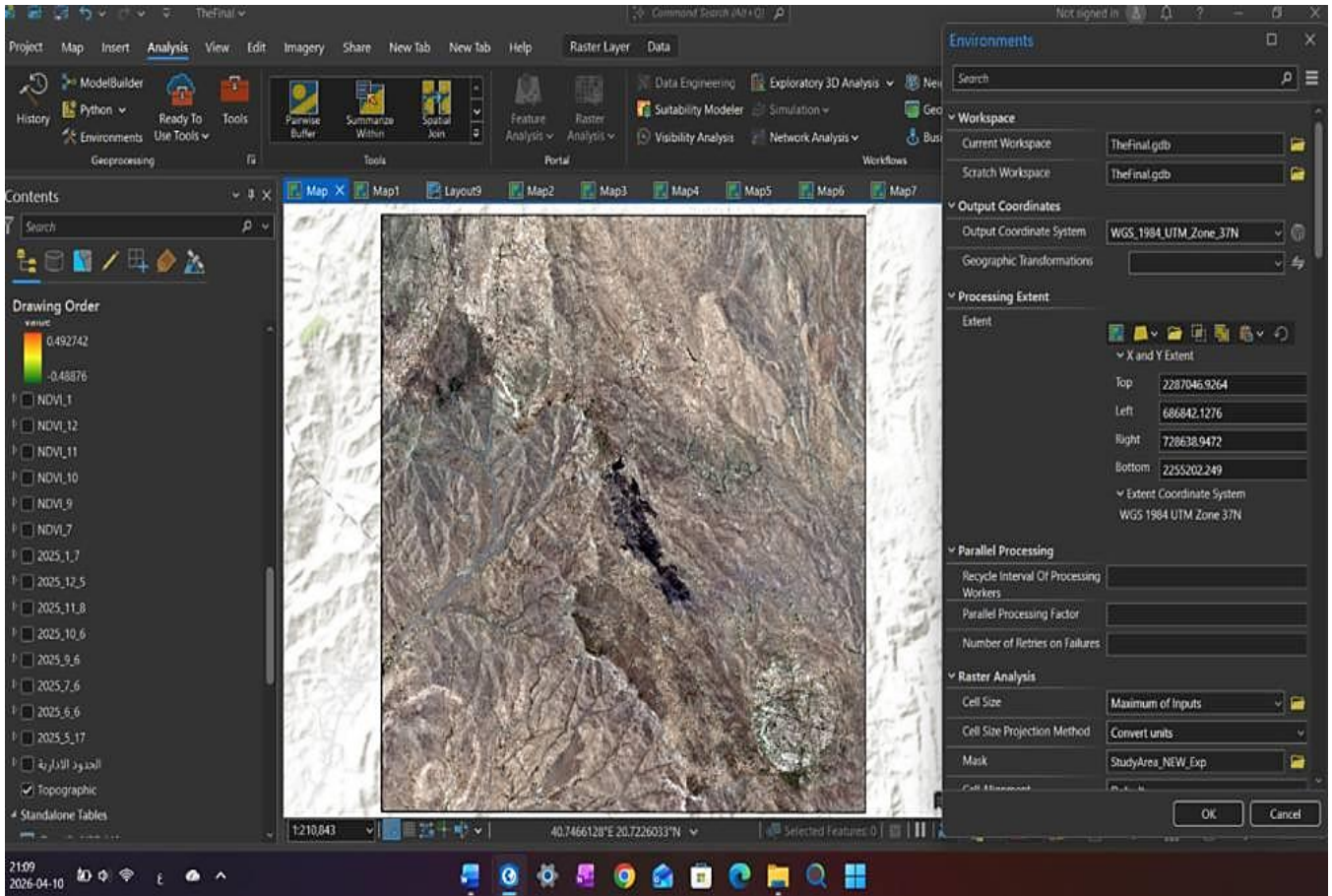
معالجة المرئيات الفضائية:

تم إجراء عدد من عمليات المعالجة على المرئيات الفضائية بهدف تجهيزها لحساب المؤشرات الطيفية.

1. تم استخدام أداة Mosaic To New Raster في برنامج Arc Gis Pro وذلك لدمج المرئيات الفضائية لكل تاريخ نظراً لوقوع منطقة الدراسة ضمن أكثر من نطاق تصويري وذلك للحصول على مرئية واحد تغطي منطقة الدراسة لإجراء التحليل.

2. تم توحيد الدقة المكانية لبعض الحزم الطيفية المستخدمة في التحليل حيث تم إعادة حجم بعض الحزم الطيفية مثل (BAND11) و(BAND12) من دقة مكانية 20 متر إلى 10 متر باستخدام أداة Resample وذلك بهدف توحيدها مع الحزم الطيفية الأخرى (band4, band8).

3. تم تحديد منطقة الدراسة بالاعتماد على الوصف الجغرافي والطبيعي لسراة بني مالك نظراً لعدم توفر حدود إدارية حيث تم رسم الحدود بشكل تقريبي يعكس الامتداد المكاني للمنطقة مع التأكد من شمول كامل نطاق الحريق الذي وقع بتاريخ مايو ٢٠٢٥م ومن ثم تم ضبط إعدادات (Geoprocessing Environments) في برنامج ArcGIS Pro قبل المعالجة والتحليل لكافة المرئيات بحيث يتم اقتصاص جميع المرئيات على حدود منطقة الدراسة وذلك من خلال تفعيل خاصية Mask باستخدام polygon منطقة الدراسة وتوضيح الصورة 1 التالية هذه الخطوات.



الصورة (1)

حساب المؤشرات الطيفية:

بعد ما تم معالجة المرئيات الفضائية تم حساب المؤشرات الطيفية باستخدام أداة Raster Calculator في برنامج ArcGIS Pro وذلك بهدف تحليل وتحديد المناطق المتأثرة بالحريق في غابات سراة بني مالك حيث تم حساب مؤشر نسبة الاحتراق

المعياري (NBR) Normalized Burn Ratio وفق المعادلة التالية:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

(Zahabnazouri, et al., 2025)

حيث يمثل الباند 8 (B8) نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) كما يمثل الباند 12 (B12) الأشعة تحت الحمراء القصيرة.

حساب الفرق (dNBR) Differenced Normalized Burn Ratio المشتق من مؤشر نسبة الاحتراق المعياري NBR قبل الحريق وبعد لإظهار الفرق وتصنيف شدة الحريق إلى عدة مستويات وفق المعادلة التالية:

$$dNBR = NBR_{\text{بعد}} - NBR_{\text{قبل}}$$

(Zahabnazouri, et al., 2025)

حساب مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index لقياس التغير في

كثافة الغطاء النباتي وفق المعادلة التالية

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

(Zahabnazouri, et al., 2025)

حيث يمثل الباند 8 (B8) نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) ويمثل الباند 4 (B4) الأشعة الحمراء كما تتراوح قيم المؤشر بين 1- إلى 1+ بحيث تشير القيم القريبة من 1+ إلى غطاء نباتي كثيف وصحي وتشير القيم القريبة من الصفر إلى مناطق حضرية أو تربة جرداء بينما تشير القيم السالبة إلى مياه أو مناطق خالية من النبات.

وكذلك حساب الفرق (dNDVI) Differenced Normalized Difference Vegetation Index المشتق من مؤشر الغطاء النباتي المعياري NDVI قبل الحريق وبعده لمعرفة التغير في كثافة الغطاء النباتي وفق المعادلة التالية:

$$dNDVI = NDVI_{\text{بعد}} - NDVI_{\text{قبل}}$$

(Zahabnazouri, et al., 2025)

وتم الاعتماد على استخدام مؤشر NDVI نظراً لكونه من أكثر المؤشرات الطيفية استخداماً في دراسة الغطاء النباتي كما اثبتت الدراسات بأن مؤشر NDVI أقل تأثراً نسبياً بتضاريس الأرض كالمناطق الجبلية وذلك لاعتماده على نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة الحمراء مما يقلل من تأثير الظلال الناتجة عن اختلاف التضاريس بينما أظهرت نتائج الدراسات بأن المؤشرات الأخرى مثل SAVI وEVI وكذلك NIRv تكون أكثر حساسية للتضاريس وقد تتطلب في بعض الحالات تطبيق تصحيحات إضافية للحصول على نتائج أكثر دقة (Chen et al., 2020).

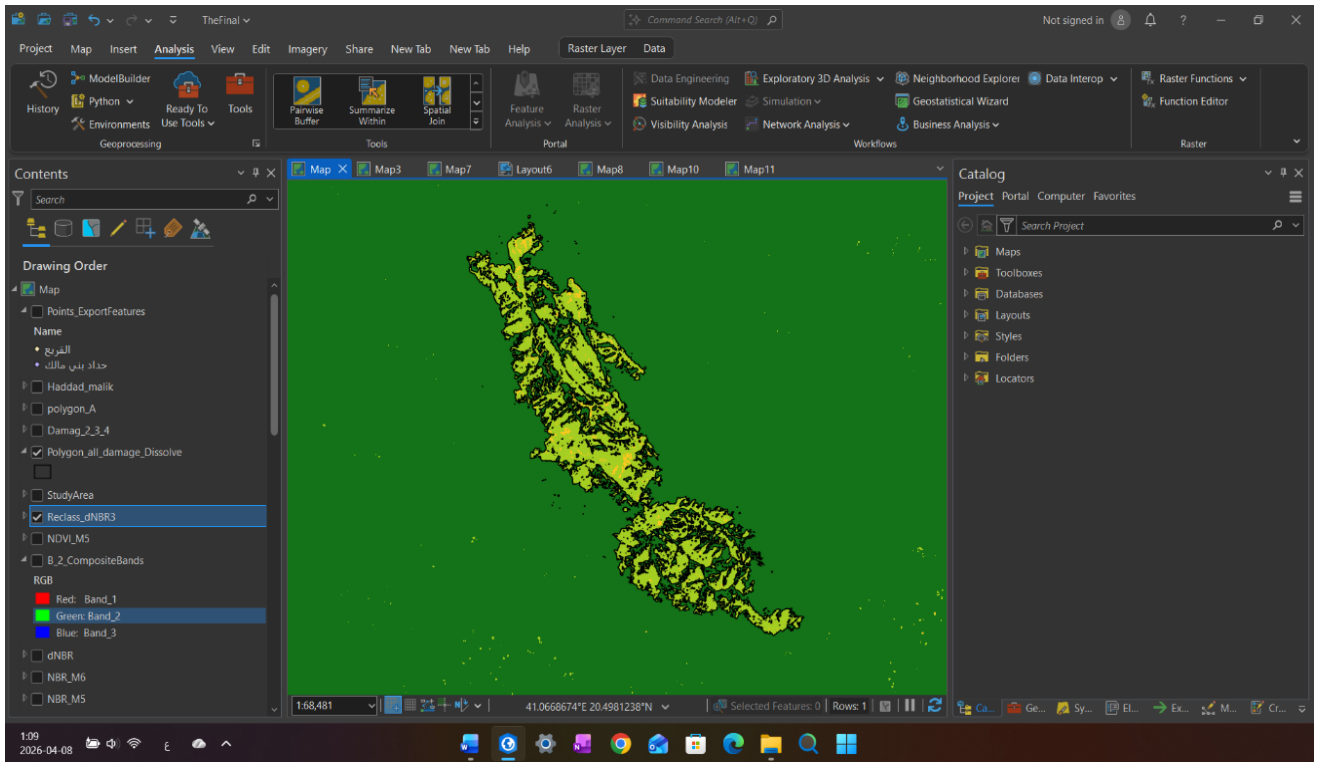
وكذلك تم حساب مؤشر الفرق المعياري للرطوبة (NDMI) Normalized Difference Moisture Index لكافة

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

$$NDMI = \frac{B8 - B11}{B8 + B11}$$

(Tudorescu et al, 2024)

حيث يمثل الباند (B8) نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) ويمثل الباند (B11) الأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR) وتتراوح قيم المؤشر بين -1 و+1 وتشير القيم المرتفعة إلى غطاء نباتي أكثر رطوبة بينما تشير القيم السالبة إلى غطاء نباتي أقل رطوبة مما يشير إلى جفاف النباتات، ويهدف استخدام هذا المؤشر إلى تحليل دور الرطوبة وتفسير علاقتها في التعافي النباتي.



الصورة (2)

تحديد وتصنيف المناطق المتأثرة بالحريق:

تم تحديد المناطق المتأثرة بالحريق وذلك من خلال حساب مؤشر الفرق dNBR الذي يمثل الفرق بين قيم مؤشر NBR قبل الحريق وبعده وذلك لإظهار المناطق التي تعرضت لفقد في الغطاء النباتي بسبب الحريق وتم إعادة تصنيف قيم مؤشر dNBR باستخدام أداة Reclassify وذلك بالاعتماد على تصنيف هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية لتحديد مستويات شدة الحريق ونظراً لعدم ظهور فئة الضرر العالي جداً في قيم مؤشر dNBR في نتائج الدراسة تم تصنيف المنطقة إلى أربعة فئات (غير متضرر، ضرر منخفض، ضرر متوسط، ضرر عالي) ويظهر الجدول 2 مستويات التصنيف المعتمدة.

جدول (2): تصنيف شدة الحريق وفق هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (Lee, et al., 2025)

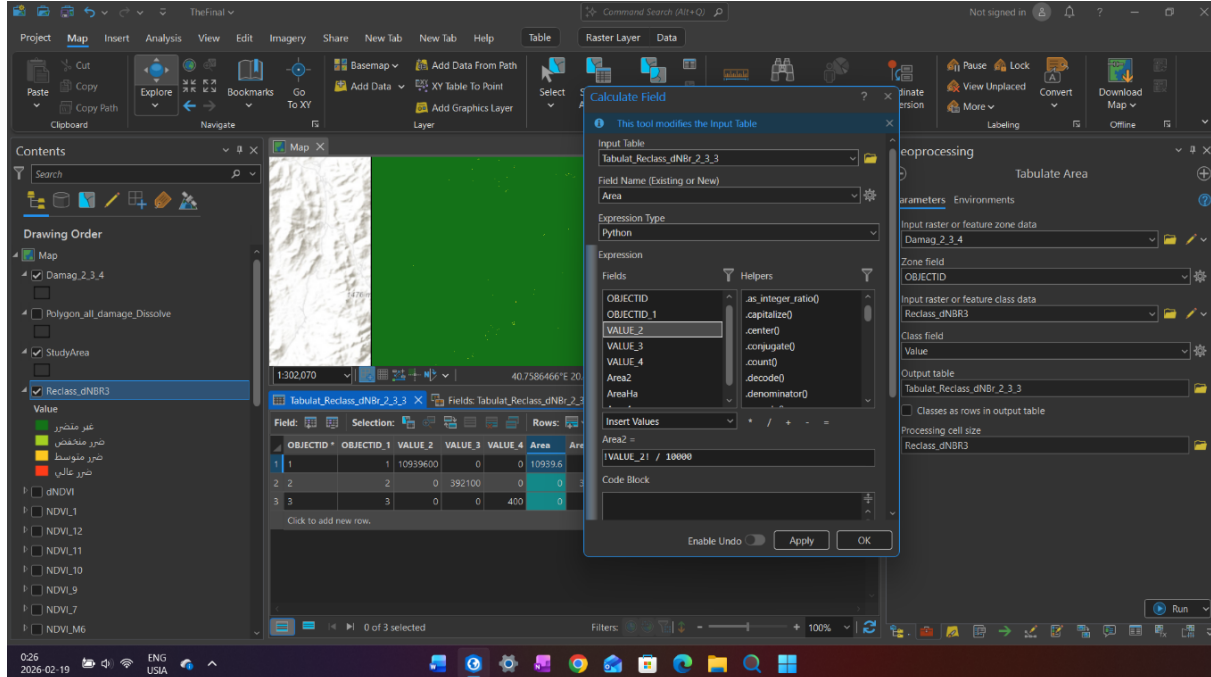
قيم dNBR	مستوى الشدة
أكبر من 0.66	ضرر عالي جداً
0.44-0.66	ضرر عالي
0.27-0.44	ضرر متوسط
0.10-0.27	ضرر منخفض
أصغر من 0.10	غير متضرر

وبعد إعادة تصنيف قيم مؤشر dNBR إلى أربع فئات تمثل شدة الحريق تم رسم بوليغون يحدد الامتداد الفعلي للحريق بنا على نتائج التصنيف كما هو موضح في الصورة (2) ومن ثم استخدام Extract by Mask لاستخراج القيم الواقعة داخل حدود الحريق فقط ومن ثم استبعاد الفئة غير المتضررة والإبقاء على الفئات المتضررة فقط وبعد ذلك تم تحويل الطبقة الراستر إلى بوليغون باستخدام أداة Raster to polygon ومن ثم استخدام أداة Dissolve لإنشاء طبقتين من البوليغونات اعتماداً على فئات شدة الحريق الناتجة من تصنيف مؤشر dNBR حيث تم إنشاء بوليغون أول يمثل كل فئة من فئات الضرر (ضرر منخفض، ضرر متوسط وضرر عالي) بشكل منفصل لاستخدامه في حساب المساحات المتضررة لكل فئة كما تم إنشاء بوليغون آخر يمثل إجمالي مناطق الضرر من خلال دمج جميع فئات الضرر في طبقة واحدة وذلك لاستخدامه في متابعة التعافي في الغطاء النباتي.

الصورة (2)

حساب المساحات المتضررة بالحريق:

تم حساب المساحات المتضررة بالحريق وذلك بالاعتماد على ناتج تصنيف مؤشر dNBR وفق تصنيف هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية المعتمد بالجدول (2) السابق حيث تم تحديد فئات شدة الضرر المنخفض والمتوسط والعالي في البوليغون الممثل لفئات الحريق ومن ثم استخدام أداة Tabulate Area لحساب مساحة كل فئة من هذه الفئات وتمثل القيم الناتجة من الأداة مساحة كل فئة بوحدة المتر مربع وذلك لاستخدام نظام الإحداثيات WGS 1984 UTM Zone 37N بعد ذلك تم تحويل هذه القيم إلى هكتار من خلال قسمة المساحة على 10000 كما هو موضح بالصورة (3).

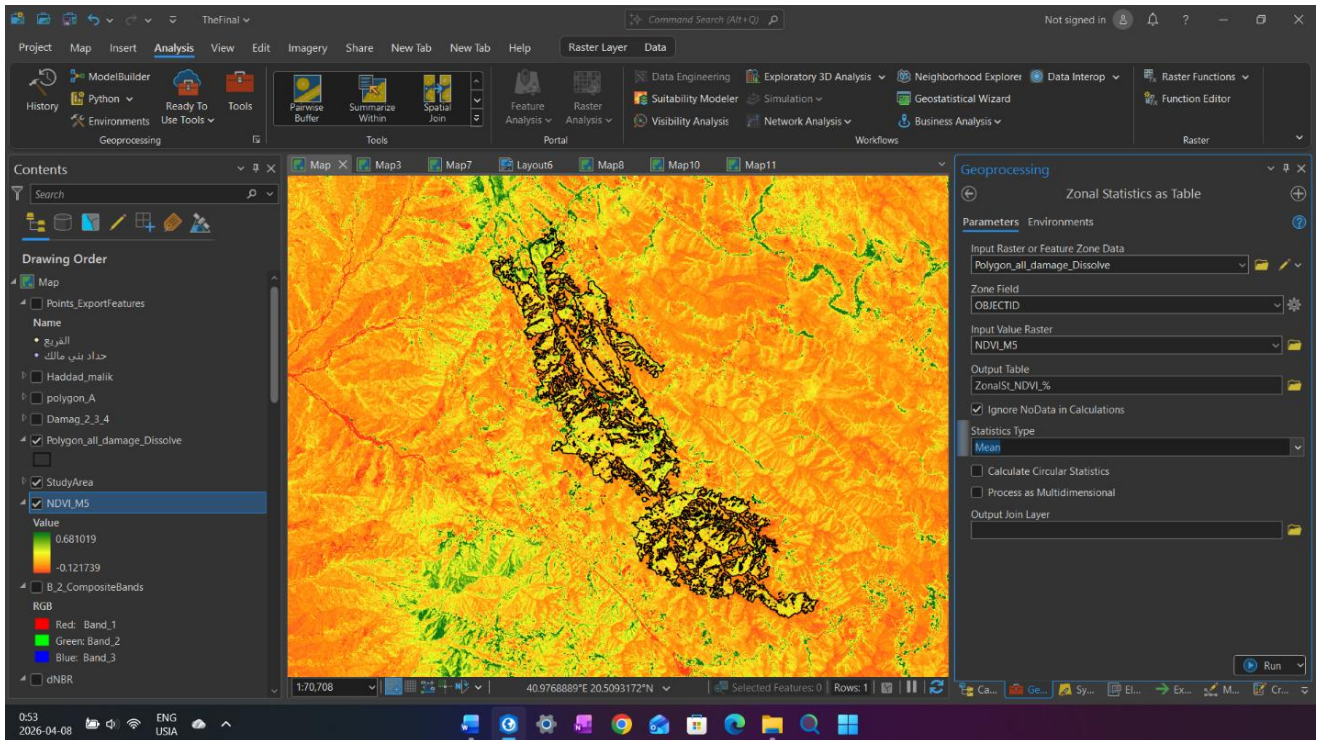


الصورة (3)

قياس التغير في كثافة الغطاء النباتي:

تم حساب مؤشر الغطاء النباتي NDVI للمربعات الفضائية قبل الحريق وبعده ومن ثم اشتقاق الفرق بينهما dNDVI لإظهار التغير في كثافة الغطاء النباتي الناتج عن الحريق بشكل بصري بينما تم الاعتماد على البوليفون المستخرج من إجمالي مناطق الضرر الناتج عن مؤشر dNBR المصنف لحساب القيم المتوسطة لمؤشر NDVI قبل الحريق وبعده داخل حدود الحريق فقط باستخدام أداة Zonal Statistics as Table كما هو موضح في الصورة (4) وذلك لهدف حساب قيم الغطاء النباتي في موقع الحريق فقط واستبعاد المناطق الواقعة خارج نطاق الحريق.

كما تم إعادة تصنيف مؤشر الغطاء النباتي NDVI للمربعات قبل الحريق وبعده بواسطة أداة Reclassify بهدف فصل الغطاء النباتي والمناطق غير النباتية وتم اعتماد القيم الأكبر من (0.15) كغطاء نباتي بينما تم استبعاد القيم الأقل من (0.15) وذلك باعتبارها مناطق غير نباتية ويستند اختيار هذه القيم إلى ما أشارت إليه الدراسات العلمية حيث تظهر الدراسات بأن قيم NDVI القريبة من الصفر تمثل الأسطح غير النباتية والتربة في حين تبدأ القيم الموجبة المنخفضة بالدلالة على وجود غطاء نباتي غير صحي أو متناثر وبناء على ذلك تم اختيار هذه القيم كحد فاصل يتوافق مع أغلبية الغطاء النباتي في وقت الحريق بناءً على الصور المرفقة في الملاحق التي تظهر غالبية النباتات غير صحية وجافة وقد تم استخدام بوليفون المناطق المتأثرة بالحريق المستخرج من dNBR لحساب الغطاء النباتي في نطاق الحريق بهدف تقدير مساحة الغطاء النباتي المتضرر.



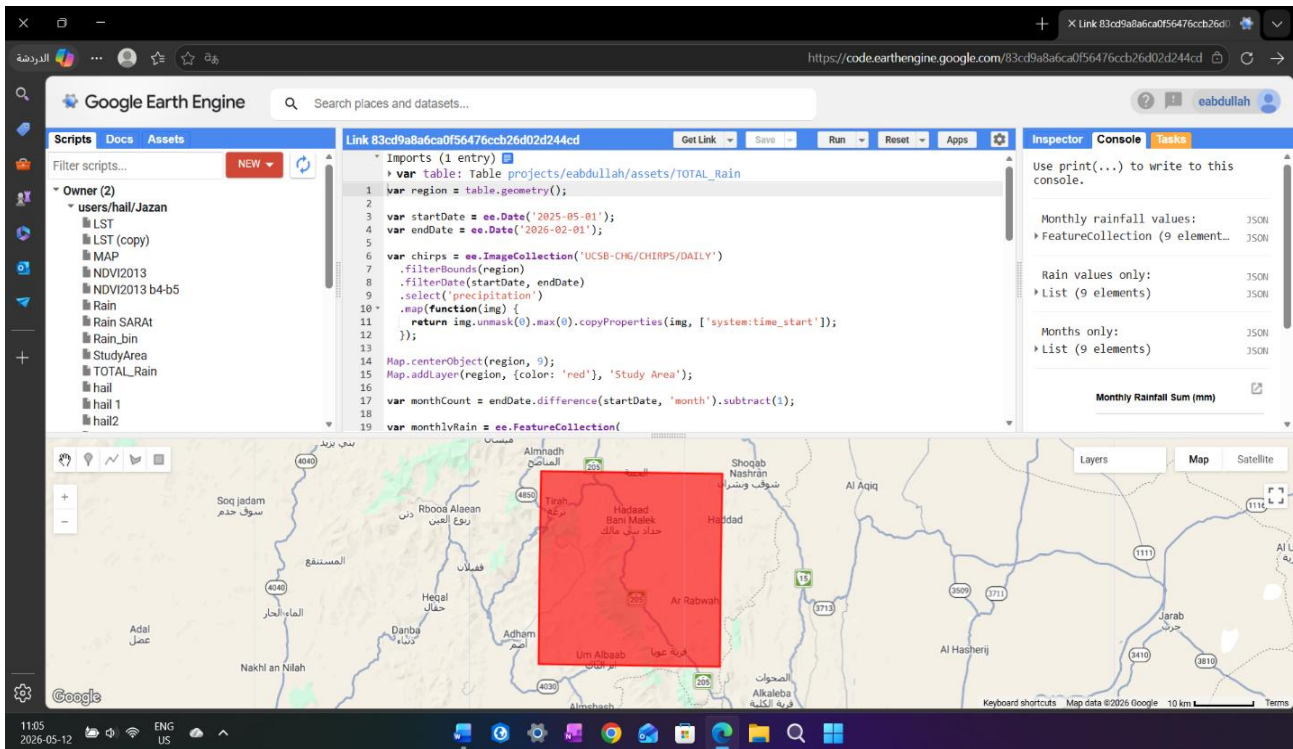
الصورة (4)

متابعة ورصد التعافي للغطاء النباتي:

لمتابعة التعافي للغطاء النباتي بعد الحريق تم حساب متوسط القيم الشهرية لمؤشر NDVI للمربعات الفضائية خلال فترة سبعة أشهر بعد الحريق وذلك باستخدام أداة Zonal Statistics as Table داخل حدود بوليفون إجمالي المناطق المتضررة المستخرج من dNBR حيث تم الاعتماد على هذا البوليفون في استخراج القيم الواقعة داخل حدود الحريق فقط وذلك لاستبعاد المناطق غير المتأثرة بالحريق ومن ثم حساب متوسط القيم لمؤشر NDVI لكل شهر داخل مناطق الضرر لمتابعة التغير

ورصد التعافي في الغطاء النباتي بعد الحريق كما تم حساب متوسط القيم الشهرية لمؤشر الرطوبة NDMI باستخدام الخطوات السابقة وذلك لتحليل دور الرطوبة وتفسير التغيير في الغطاء النباتي خلال فترة التعافي.

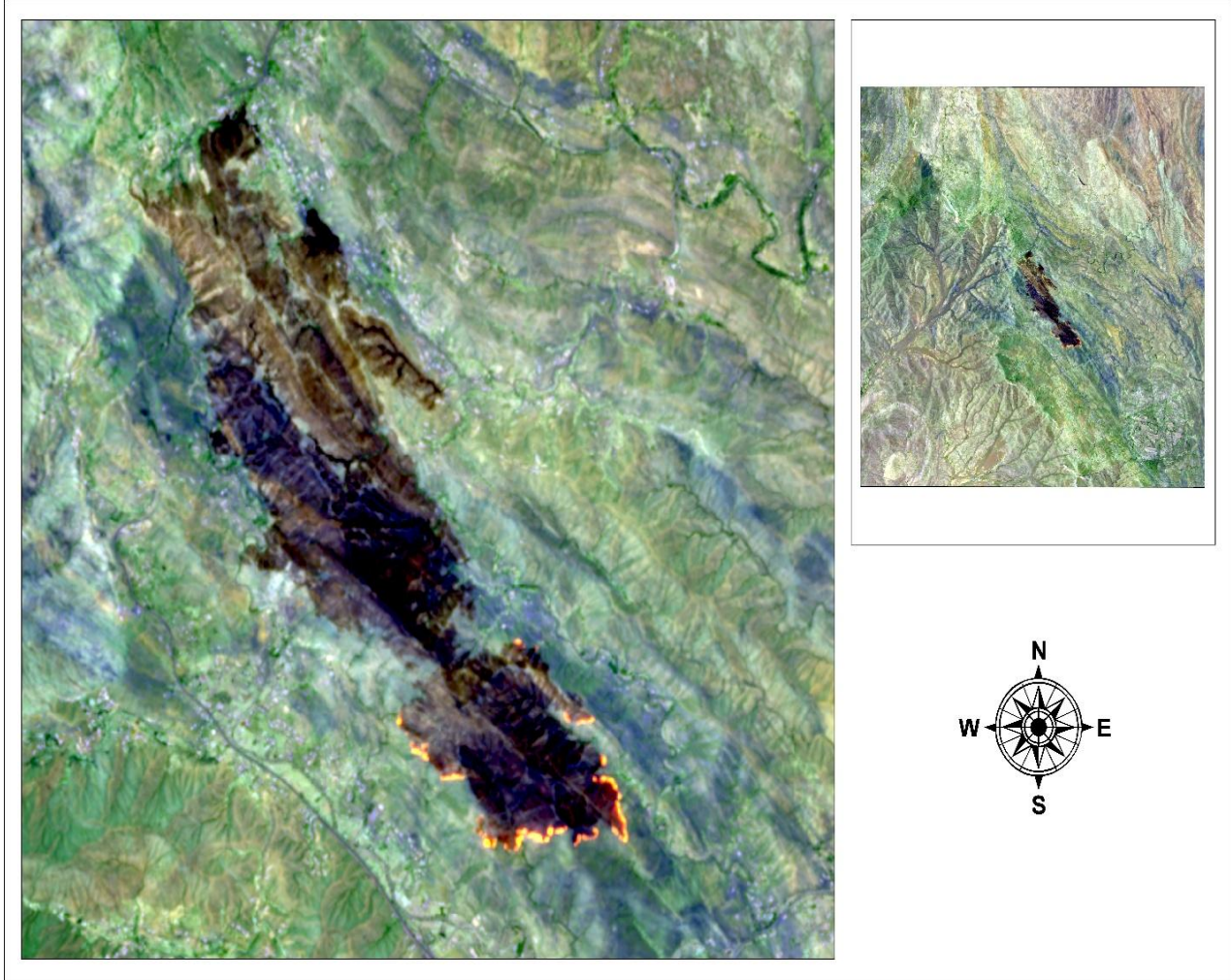
ولتعزيز تحليل التعافي النباتي تم دمج البيانات المناخية مع مؤشر الغطاء النباتي حيث تم استخدام بيانات الهطول المطري المستخرجة من CHIRPS من منصة Google Earth Engine كما هو موضح بالصورة (5) لحساب مجموع الأمطار لكل شهر في منطقة الدراسة إضافة إلى استخدام متوسط درجة الحرارة الشهرية من محطة الطائف المأهولة التي تم الحصول عليها من المركز الوطني للأرصاد وذلك بوصفها أقرب محطة أرصاد متاحة بهدف تمثيل الظروف المناخية العامة خلال فترة الدراسة.



الصورة (5)

النتائج:

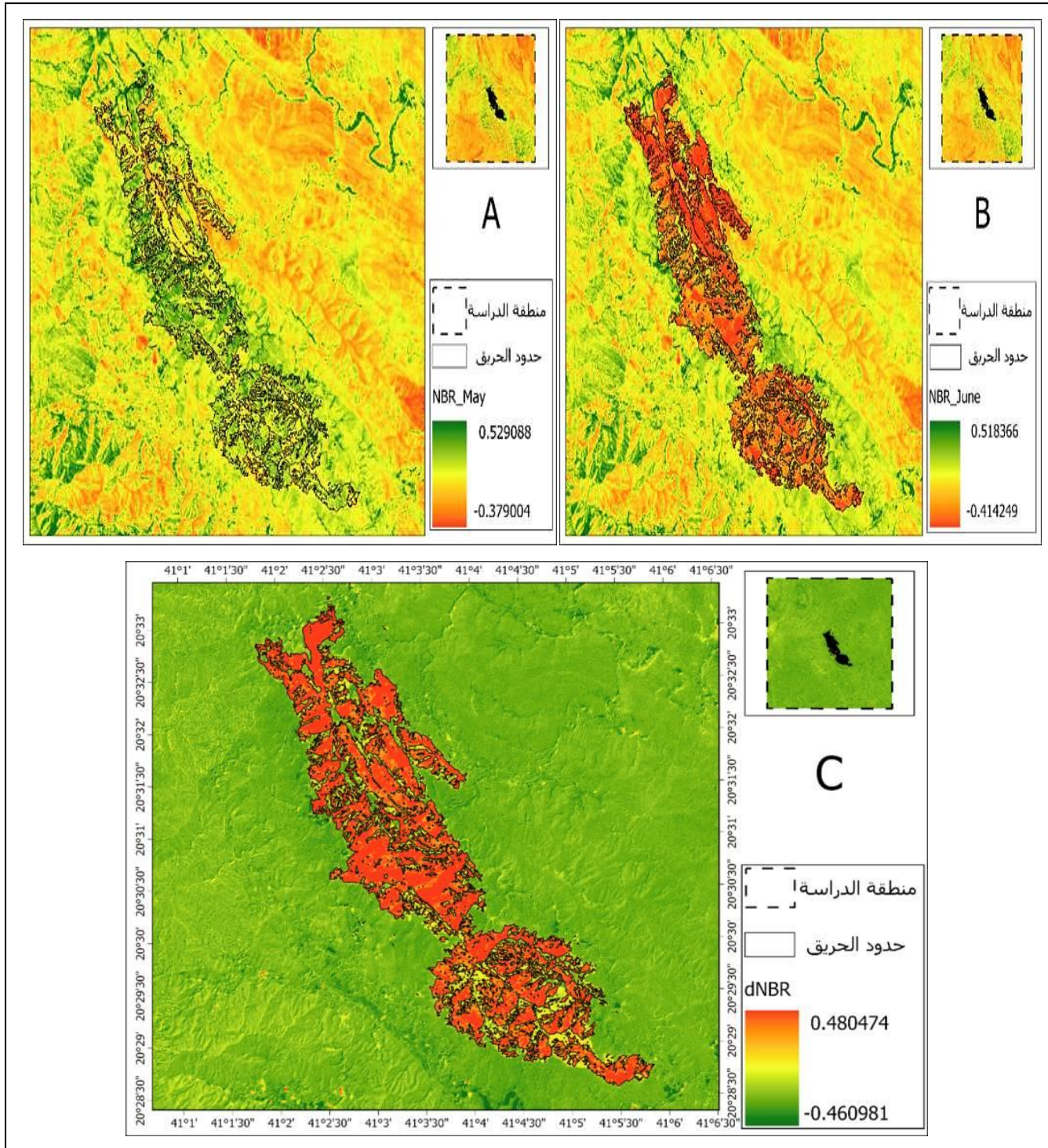
يوضح الشكل (2) التركيب الطيفي لمنطقة الدراسة (غابات سراة بني مالك) أثناء الحريق.



الشكل (2): صورة مركبة باستخدام تركيب الألوان الكاذبة (4-11-12) لمنطقة الدراسة (سراة بني مالك) أثناء الحريق بتاريخ 27 مايو 2025م

تحديد ورسم خرائط المناطق المتأثرة بالحريق:

تم تحديد المناطق المتضررة من حريق غابات سراة بني مالك من خلال معالجة المرئيات الفضائية من القمر الصناعي Sentinel-2 وذلك بالاعتماد على حساب مؤشر الاحتراق NBR قبل وبعد الحريق ومن ثم حساب مؤشر الفرق dNBR بهدف رصد التغير في الغطاء النباتي وتحديد المناطق المتأثرة بالحريق.



الشكل (3): نتائج تقييم مؤشر NBR قبل وبعد الحريق ومؤشر الفرق dNBR في غابات سرة بني مالك

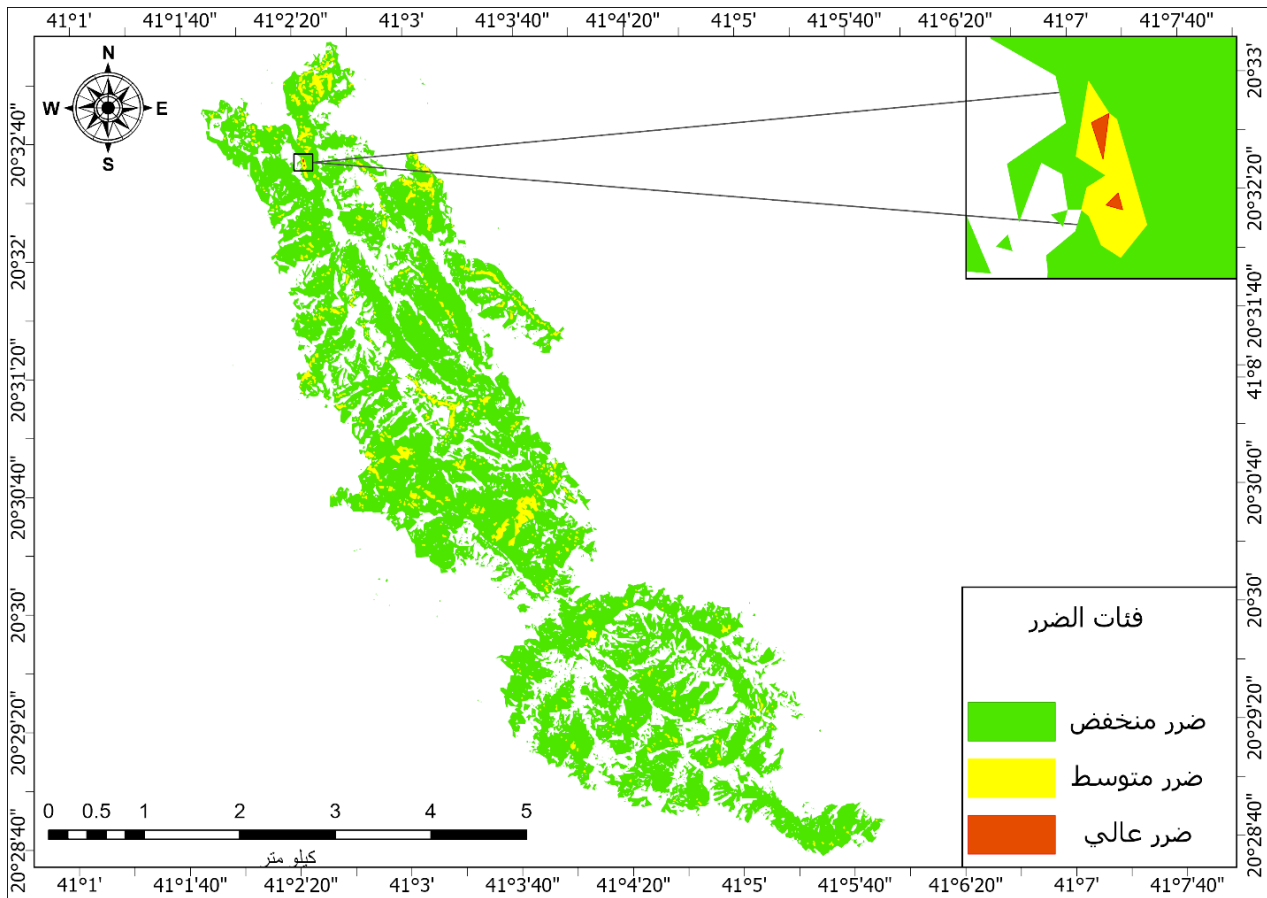
يوضح الشكل (3) التوزيع المكاني لمؤشر NBR قبل الحريق في الصورة (A) حيث تعكس القيم المرتفعة للمؤشر وجود غطاء نباتي سليم داخل حدود منطقة الدراسة بينما تشير القيم المنخفضة إلى مناطق ذات غطاء نباتي ضعيف أو مناطق غير نباتية وفي الصورة (B) يظهر التوزيع المكاني لمؤشر NBR بعد الحريق حيث يلاحظ انخفاضاً في قيم المؤشر نتيجة تأثر الغطاء النباتي بالحريق وتوضح الصور (C) مؤشر الفرق dNBR مقدار التغير بين قيم NBR قبل الحريق وبعده حيث تشير القيم الموجبة باللون الأحمر إلى مناطق حدث لها تغيير نتيجة الحريق بينما تشير القيم السالبة باللون الأخضر إلى مناطق التي لم تتأثر بالحريق أو شهدت تغييراً طفيفاً بالغطاء النباتي.

تصنيف شدة الحريق باستخدام مؤشر dNBR:

تم تصنيف شدة الحريق في منطقة الدراسة بالاعتماد على مؤشر الفرق dNBR وذلك بهدف تحديد التوزيع المكاني لمستويات الضرر الناتجة عن الحريق ويعتمد هذا التصنيف على القيم المعتمدة من قبل هيئة المسح الجيولوجي الأمريكي حيث تقسم المنطقة إلى فئات تمثل درجات ضرر مختلفة وهي ضرر منخفض وضرر متوسط وضرر عالي ويوضح الشكل (4) التوزيع المكاني لهذه الفئات داخل حدود الحريق.

حساب المساحات المتضررة بالحريق:

تم حساب المساحات المتضررة بالحريق داخل منطقة الدراسة وفق شدة الضرر المستخرجة من تصنيف مؤشر dNBR ويوضح الشكل (4) التوزيع المكاني لفئات الضرر.



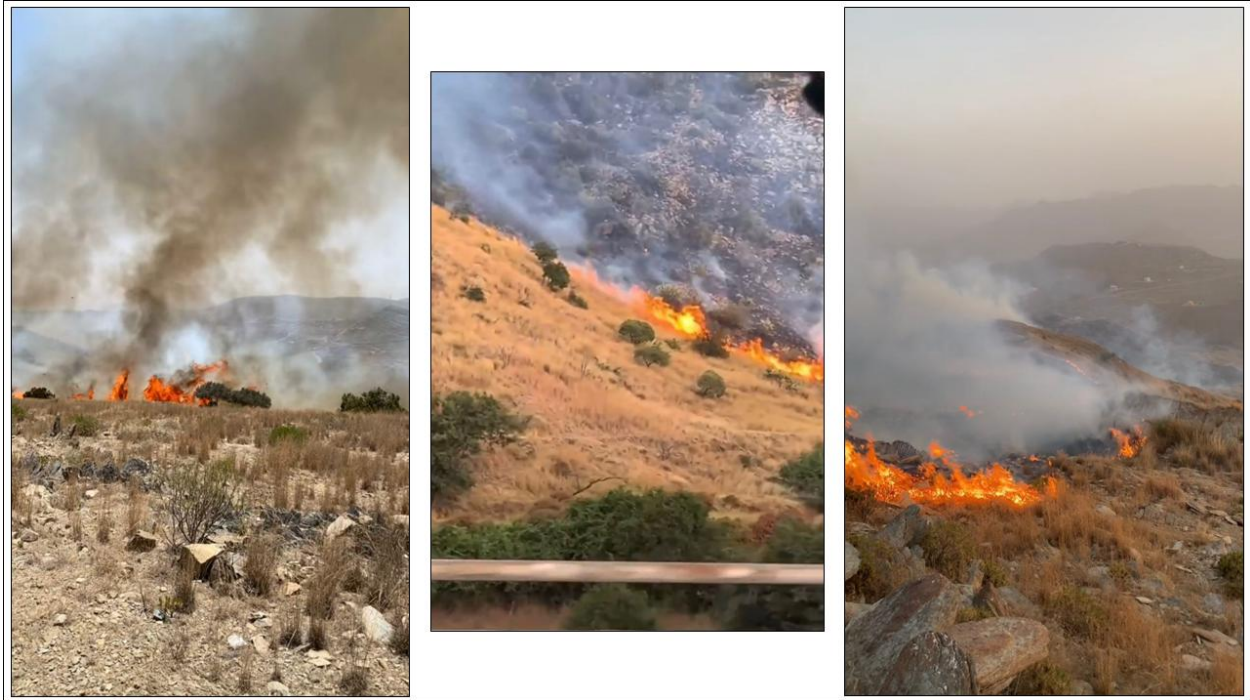
الشكل (4): ناتج استخراج مناطق الضرر في غابات سراة بني مالك

يمثل الشكل (4) مناطق الضرر الناتجة عن الحريق في منطقة الدراسة بعد استبعاد المناطق غير المتضررة ويمثل هذا البوليقون فئات شدة الحريق المتضررة فقط ويوضح اللون الأخضر المناطق ذات الضرر المنخفض بينما يوضح اللون الأصفر المناطق متوسطة الضرر واللون الأحمر المناطق عالية الضرر وبالاعتماد على مناطق الضرر الموضحة في هذا الشكل تم حساب المساحات المتضررة لكل فئة من فئات الحريق كما هو موضح في الجدول (3) وتشير الصور الميدانية في الشكل (5) إلى أن المناطق المتضررة يغلب عليها النباتات العشبية والشجيرات الصغيرة مع وجود أشجار محدودة في بعض المواقع كما لوحظ انتشار الحريق في مناطق ذات غطاء نباتي جاف وموسمي.

جدول (3): مساحات المناطق المتضررة بالحريق حسب فئات شدة الضرر

النسبة المئوية	المساحة بالهكتار	فئة الضرر
96.53%	1093.96	ضرر منخفض
3.46%	39.21	ضرر متوسط
0.01%	0.04	ضرر عالي
100%	1133.21	الإجمالي

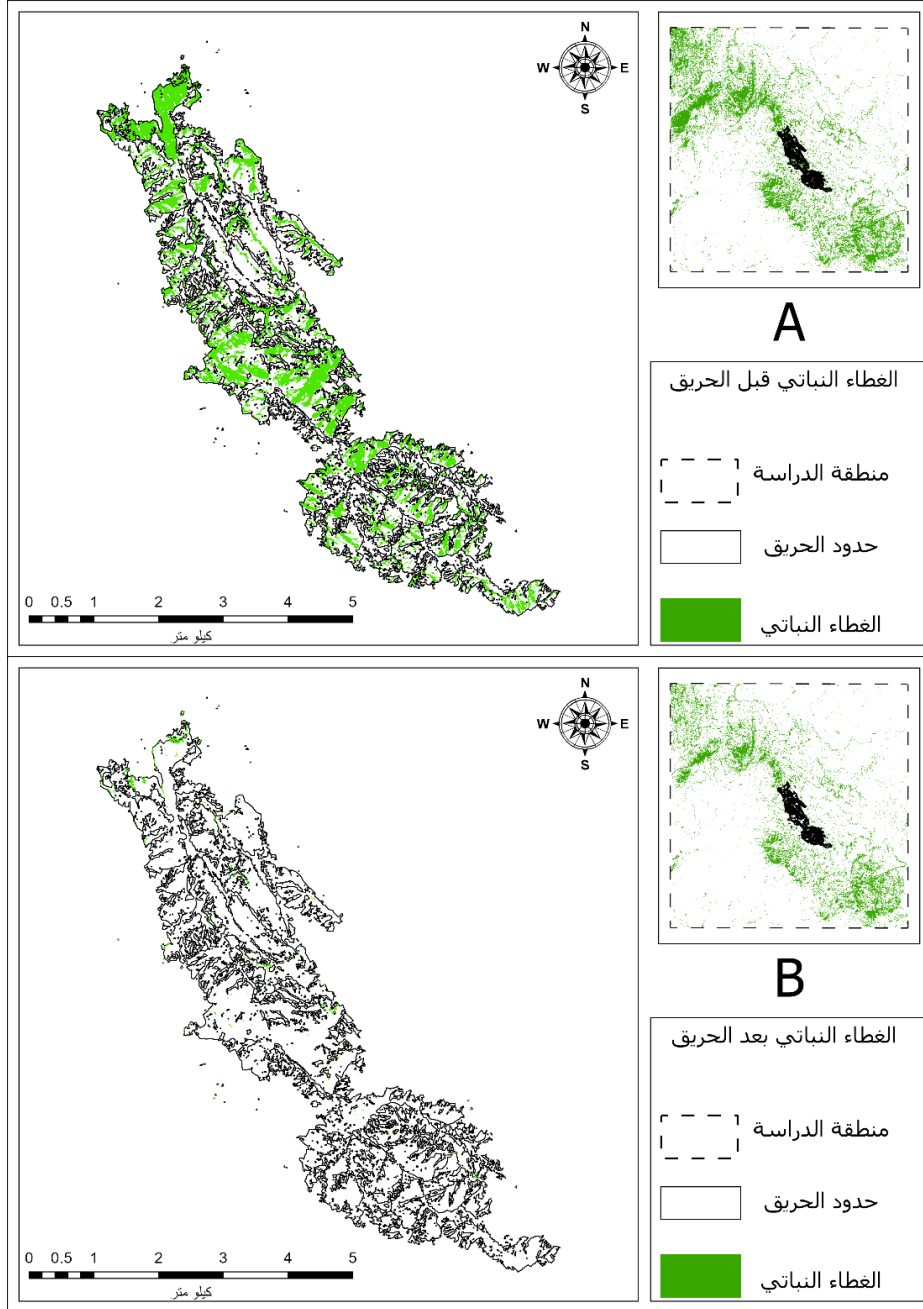
ويتضح من الجدول (3) أن المناطق ذات الضرر المنخفض تمثل النسبة الأكبر من إجمالي المساحة المتضررة بالحريق حيث بلغت مساحتها 1093.96 هكتار بنسبة 96.53% تليها المناطق متوسطة الضرر بمساحة بلغت 39.21 هكتار بنسبة 3.46% في حين تقتصر مناطق الضرر العالي على مساحة محدودة جداً بلغت 0.04 هكتار بنسبة لم تتجاوز 0.01% من إجمالي المساحة المتضررة بالحريق.



الشكل (5): صور ميدانية لحريق غابات سرة بني مالك

قياس التغير في كثافة الغطاء النباتي باستخدام مؤشر NDVI قبل الحريق وبعده وحساب الفرق dNDVI:

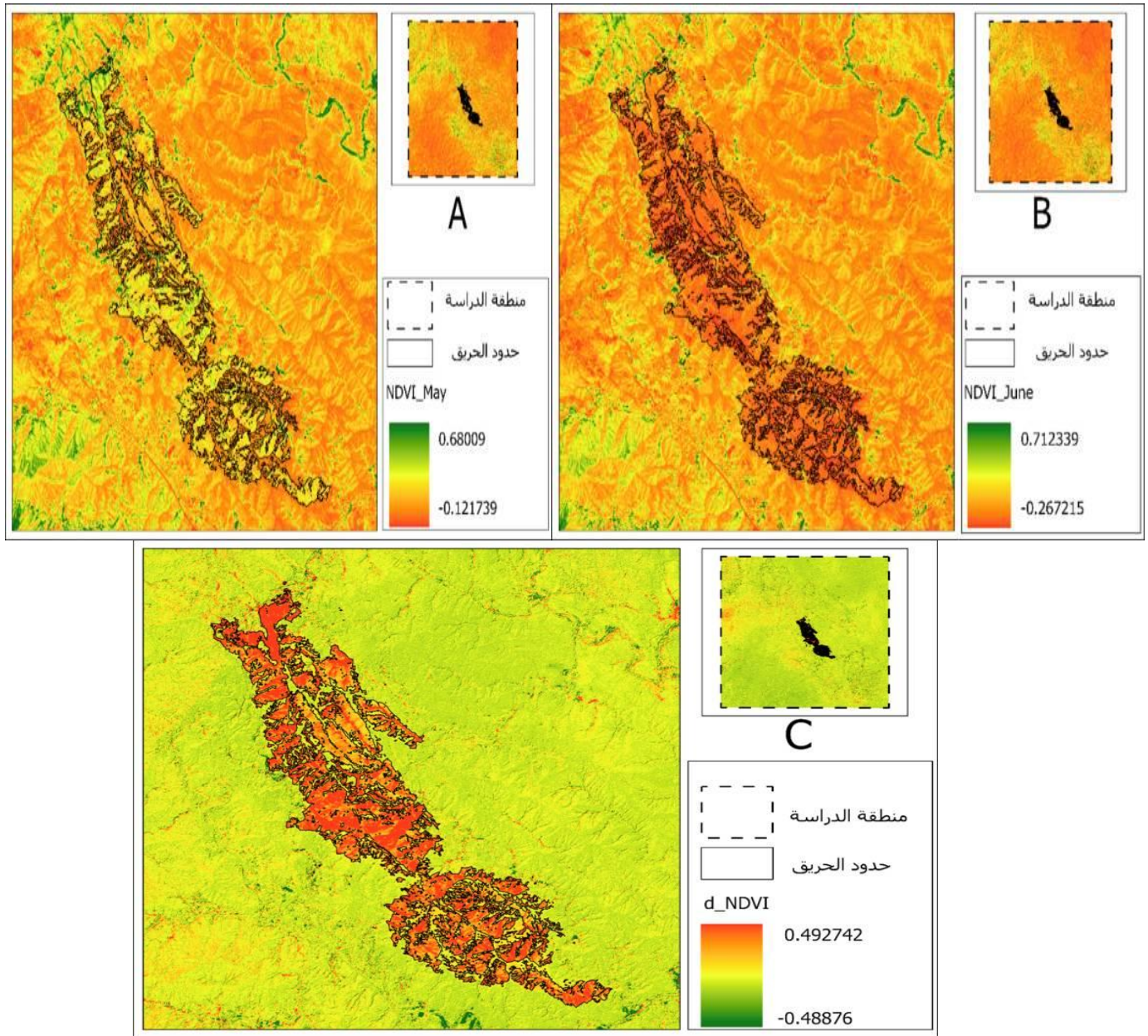
تم قياس التغير في كثافة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة باستخدام مؤشر NDVI قبل الحريق وبعده وذلك بهدف تقدير حجم التغير الناتج عن الحريق ويوضح الشكل (6) الغطاء النباتي قبل الحريق وبعده وكذلك تم حساب مساحات الغطاء النباتي المتأثر بالحريق وكذلك تم استخراج الفرق بقيم dNDVI لإظهار الفرق بين تغير القيم قبل الحريق وبعده في الشكل (7).



الشكل (6): توزيع الغطاء النباتي داخل حدود الحريق قبل وبعده في غابات سرة بني مالك

ويتضح من الشكل (6) انخفاض كبير في مساحة الغطاء النباتي داخل منطقة الحريق حيث بلغت مساحة الغطاء النباتي قبل الحريق في الصورة (A) 376.38 هكتاراً بينما انخفضت بعد الحريق في الصورة (B) إلى 12.87 هكتاراً مما يوضح بأن الحريق أدى إلى فقد نحو 363.51 هكتاراً من الغطاء النباتي بنسبة تقدر بنحو (96.6%) وعلى الرغم من أن أغلب المساحة المتضررة ضمن فئة الضرر المنخفض إلا أنه لوحظ انخفاضاً كبيراً في مساحة الغطاء النباتي في منطقة الحريق.

تم استخراج الفرق بين قيم مؤشر NDVI قبل الحريق وبعده وإظهار الفرق dNDVI لإبراز التغيرات في قيم مؤشر الغطاء النباتي في الشكل (7).

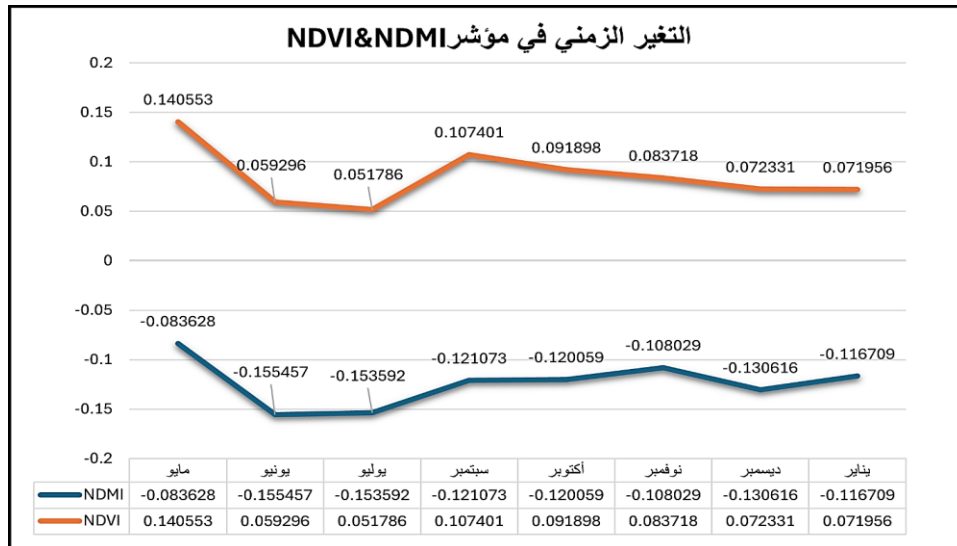


الشكل (6): نتائج قياس التغير في كثافة الغطاء النباتي في غابات سراة بني مالك

يوضح الشكل (7) التغير في كثافة الغطاء النباتي في غابات سراة بني مالك حيث توضح الصورة (A) الغطاء النباتي قبل الحريق حيث بلغ متوسط قيم مؤشر NDVI (0.140553) في منطقة الحريق وفي المقابل توضح الصورة (B) حالة الغطاء النباتي بعد الحريق حيث انخفض متوسط قيم مؤشر NDVI الى (0.059296) مما يدل على تراجع واضح في الغطاء النباتي نتيجة الحريق كما توضح الصورة (C) الفرق في التغير قبل الحريق وبعده وبلغ مقدار التغير في الغطاء النباتي في المنطقة التي تعرضت للحريق (0.081257).

رصد تعافي الغطاء النباتي بعد الحريق لسبعة أشهر:

تم استخراج القيم المتوسطة لمؤشر الغطاء النباتي NDVI داخل منطقة الحريق لمتابعة التغير الزمني في الغطاء النباتي بعد الحريق في غابات سراة بني مالك ويوضح الشكل 8 هذا التغير نتيجة الحريق حيث بلغت قيم مؤشر NDVI قبل الحريق في شهر مايو من عام 2025 نحو 0.140553 ثم انخفضت القيم بشكل حاد في شهر يونيو نتيجة الحريق لتصبح 0.059296 وفي شهر يوليو يلاحظ انخفاضاً طفيفاً في الغطاء النباتي ومن ثم ارتفعت قيم المؤشر في شهر سبتمبر وبعد ذلك اتجهت القيم نحو الانخفاض خلال الأشهر اللاحقة لتصل قيم مؤشر الغطاء النباتي إلى 0.071956 في شهر يناير من عام 2026 وتشير هذه القيم إلى تعافي جزئي في متوسط قيم الغطاء النباتي في نهاية فترة الدراسة بنسبة بلغت نحو 15.5% كما تم حساب متوسط قيم

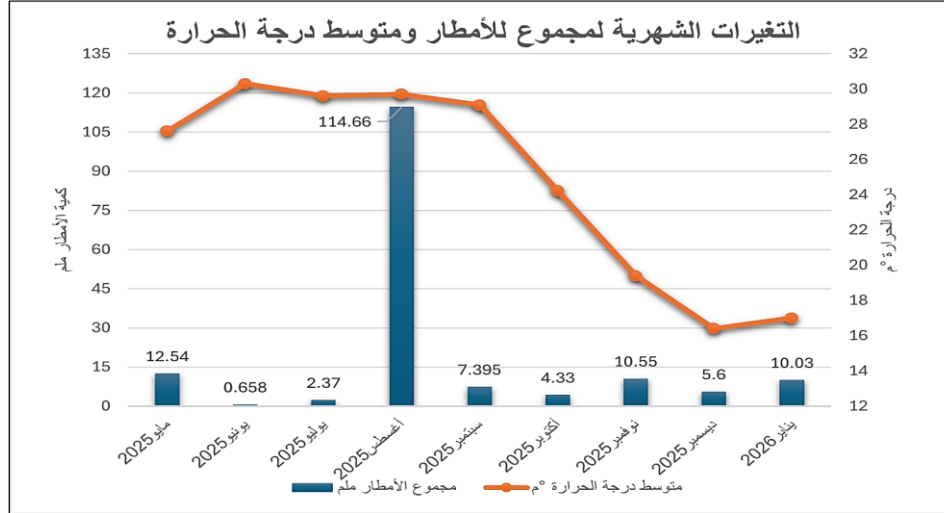


مؤشر الرطوبة NDMI خلال الفترة نفسها حيث أظهرت القيم تغيراً زمنياً متقارباً مع مؤشر الغطاء النباتي.

الشكل (7): التغير الزمني في الغطاء النباتي والرطوبة في منطقة حريق (غابات سراة بني مالك)

التغيرات الشهرية لمجموع الأمطار ودرجة الحرارة:

يوضح الشكل (9) التغيرات الشهرية لمجموع الأمطار ومتوسط درجة الحرارة الشهرية في غابات سراة بني مالك خلال فترة الدراسة حيث يظهر تباين واضح في مجموع الأمطار بين الأشهر إذ سجل شهر أغسطس أعلى قيمة بلغت (114.66) ملم في حين انخفضت كميات الأمطار في بقية الأشهر إلى مستويات منخفضة اما بالنسبة لمتوسط درجة الحرارة الشهرية فقد سجلت أعلى القيم في الصيف حيث بلغت نحو (30.3) درجة مئوية في يونيو ثم بدأت بالانخفاض التدريجي بالأشهر اللاحقة لتصل إلى أدنى قيمة بلغت (16.4) درجة مئوية في شهر ديسمبر قبل أن ترتفع بشكل طفيف في شهر يناير.



الشكل (8): التغيرات الشهرية لمجموع الأمطار ومتوسط درجة الحرارة الشهرية في غابات سراة بني مالك

التحليل والمناقشة

تحديد ورسم المناطق المتأثرة بالحريق:

أظهرت نتائج تحديد المناطق المتأثرة بالحريق باستخدام مؤشر dNBR المشتق من قيم NBR قبل الحريق وبعده قدرة واضحة على الكشف عن الامتداد المكاني للحريق في غابات سراة بني مالك مما يؤكد فاعلية المؤشرات الطيفية والتقنيات الحديثة في رصد الامتداد المكاني لأثار الحرائق وتتوافق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة (سلام و العمري، 2022) التي أشارت إلى كفاءة مؤشر NBR في تمييز مناطق الحريق مقارنةً بمؤشر NDVI وهذا يدعم ما توصلت إليه في هذه الدراسة.

مساحات المناطق المتأثرة بالحريق وشدة الضرر:

أظهرت نتائج تحليل مؤشر dNBR أن المساحة الإجمالية للمناطق المتضررة في غابات سراة بني مالك بلغت نحو 1133.21 هكتار ويمثل هذا الرقم نطاق الحريق الكلي أي المساحة التي تأثرت بالحريق بدرجات مختلفة وليس فقط المساحات المغطاة بالنباتات وأظهرت النتائج بأن فئة الضرر المنخفض تمثل النسبة الأكبر من إجمالي المساحة المتضررة بنسبة بلغت 96.53% تليها مناطق الضرر المتوسط بنسبة بلغت 3.46% في حين اقتصرت مناطق الضرر العالي على نسبة قليلة جداً بلغت نحو 0.01% من إجمالي مساحة الحريق ويمكن تفسير هذا التوزيع بطبيعة الغطاء النباتي السائد في المنطقة وقت الحريق إذ تكشف الصور الميدانية أن الغطاء النباتي العشبي الجاف والشجيرات المتناثرة هي الأكثر انتشاراً في المنطقة وهو ما يشير إلى سرعة انتشار الحريق وعدم تركزه في مناطق محددة مما يفسر ارتفاع نسبة الضرر المنخفض كما تشير الصور الميدانية إلى أن مناطق الضرر المتوسط قد ترتبط بالمواقع التي تتركز فيها الأشجار الكثيفة كالعرعر التي تحترق باشتعال أعلى مقارنة بالنباتات العشبية في حين يلاحظ بأن مناطق الضرر العالي تتمركز في أعالي الجبل ذات غطاء نباتي الأكثر كثافة.

وتختلف هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة (Al-Qthanin & Aseeri, 2025) التي أظهرت نتائجها بأن مناطق الضرر العالية بلغت النسبة الأكبر تليها مناطق الضرر المتوسط في حين كانت المناطق ذات الضرر المنخفض تمثل النسبة الأقل وقد يفسر هذا الاختلاف بسبب طبيعة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة وكثافته مما أدى إلى زيادة شدة الحريق مقارنة بغابات سراة بني مالك التي يغلب عليها الغطاء النباتي الجاف والشجيرات المتناثرة.

ويلاحظ أن انخفاض شدة الحريق في معظم المناطق لا يعني انخفاض التأثير البيئي حيث أظهرت نتائج الغطاء النباتي فقداً كبيراً ويمكن تفسير ذلك بأن مؤشر dNBR يقيس شدة الاحتراق الطيفي في حين يعكس مؤشر NDVI الحالة الفعلية للغطاء

النباتي كما أن طبيعة الغطاء النباتي العشبي الجاف تجعله سريع الاحتراق وواسع الانتشار وهذا يدل على أن أغلب مناطق الضرر من ضمن فئة منخفضة.

قياس التغيرات في كثافة الغطاء النباتي:

تشير نتائج تحليل مؤشر الغطاء النباتي NDVI إلى حدوث تراجع ملحوظ في كثافة الغطاء النباتي في منطقة الحريق في غابات سراة بني مالك حيث قدر الغطاء النباتي بنحو (376.38) هكتار قبل الحريق أي بنسبة (33.2%) من مساحة الحريق ثم انخفض بعد الحريق ليصل نحو (12.87) هكتار بنسبة فقد بلغت نحو (96.6%) من مساحة الغطاء النباتي وهو ما يعكس تأثير الحريق على الغطاء النباتي وعلى الرغم من أن معظم المساحات المتضررة صنفتم ضمن فئة الضرر المنخفض إلا أن هذا الانخفاض الكبير في مؤشر NDVI يدل على تدهور فعلي وواسع في الغطاء النباتي كما أظهرت نتائج الفرق dNDVI وجود تغيرات في قيم المؤشر قبل وبعد الحريق بشكل واضح مما يؤكد فعالية هذا المؤشر في رصد التغيرات في الغطاء النباتي الناتج عن الحريق.

وتتوافق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة (Lacouture et al, 2020) التي أوضحت بأن مؤشر NDVI قد يكون أداة مفيدة في مراقبة التغيرات في الغطاء النباتي بعد الحريق وأن صور الأقمار الصناعية تساهم في تقليل الوقت والجهد المبذول في جمع البيانات وتحسين مراقبة النظم البيئية بعد الحريق.

ويمكن تفسير هذا الانخفاض الكبير إلى طبيعة الغطاء النباتي في غابات سراة بني مالك في وقت الحريق والذي يغلب عليه النباتات الجافة مما يجعله أكثر عرضه للاحتراق والتأثير السريع ويلاحظ أن تأثير الحريق على الغطاء النباتي لا يعتمد على شدة الحريق فقط بل يتأثر بطبيعة الغطاء النباتي نفسه حيث تختلف درجة التأثير باختلاف نوع النبات وكثافته ورطوبته إذ تكون النباتات العشبية الجافة أكثر عرضة للاحتراق السريع مقارنةً بالنباتات الأكثر كثافة أو الصحية ذات الرطوبة الأعلى وهذا يفسر امتداد الحريق على مساحات واسعة في منطقة الدراسة وزيادة الفقد في الغطاء النباتي رغم انخفاض شدة الحريق في أغلب المناطق.

رصد التعافي النباتي بعد الحريق:

تشير نتائج رصد التعافي النباتي في غابات سراة بني مالك إلى مسار تعافي لم يكن تدريجياً بشكل منتظم بل اتسم بالتذبذب مع اتجاه عام نحو التحسن الجزئي في تعافي الغطاء النباتي بعد الحريق حيث انخفض متوسط قيم مؤشر الغطاء النباتي NDVI بعد الحريق بشكل واضح إذ تراجعت القيم من (0.140553) قبل الحريق إلى نحو (0.059296) بعده ثم بدأت القيم بالارتفاع في شهر سبتمبر قبل أن تسجل اتجاهاً نحو الانخفاض خلال الأشهر اللاحقة لتصل نحو (0.071956) في نهاية فترة الرصد ويشير ذلك إلى أن هذا التحسن ظل محدوداً ولم يصل إلى مستويات قبل الحريق مما يدل على أن الغطاء النباتي لا يزال في مرحلة التعافي كما تشير النتائج إلى أن نسبة التعافي البالغة (15.5%) تعكس تعافياً جزئياً خلال فترة الدراسة.

ويلاحظ وجود تأثير واضح للعوامل المناخية على هذا التعافي حيث سجلت أعلى كمية أمطار في شهر أغسطس وبلغت (114.66) ملم) في حين ظهر أعلى تحسن في قيم NDVI في شهر سبتمبر حيث بلغ (0.107401) مما يشير إلى وجود علاقة زمنية محتملة بين كميات الأمطار وتحسن الغطاء النباتي في شهر سبتمبر كما تظهر النتائج وجود ارتباط بين هطول الأمطار وتحسن الغطاء النباتي كما انخفضت كميات الأمطار في الأشهر اللاحقة وتزامن ذلك مع اتجاه عام نحو الانخفاض في قيم مؤشر NDVI وهو ما يعكس تأثير الغطاء النباتي في كميات هطول الأمطار وفي المقابل ساهم انخفاض درجات الحرارة خلال الأشهر اللاحقة في التقليل من فقدان الرطوبة وهو ما انعكس على تحسن نسبي في متوسط قيم مؤشر الرطوبة NDMI مقارنةً في شهر يونيو ويوليو إلا أن استمرار القيم السالبة وتذبذبها يدل على أن الرطوبة بقيت محدودة ولم تصل إلى حالة الاستقرار الكاملة.

وتتسجم هذه النتيجة مع ما أشارت إليه دراسة (Lacouture et al.,2020) التي أشارت إلى أن قيم مؤشر NDVI تنخفض بشكل واضح بعد الحريق ثم تتعافى تدريجياً بمرور الوقت مع اختلاف سرعة التعافي حسب الظروف البيئية.

وتدعم هذه النتيجة إلى ما توصلت إليه دراسة (Zahabnazouri et al.,2025) التي أكدت أن التعافي النباتي يختلف باختلاف شدة الحريق والظروف البيئية وأن المناطق المتأثرة تحتاج إلى فترة زمنية أطول لاستعادة الغطاء النباتي بشكل كامل.

ويمكن تفسير التغير الواضح في قيم مؤشر NDVI والتذبذب السريع خلال الفترة الزمنية القصيرة بسبب أن أغلب المناطق المتأثرة بالحريق تقع ضمن فئة الضرر المنخفض مما يؤدي إلى تعافي أسرع نسبياً في بعض المواقع إلا أن هذا التعافي يظل محدوداً على المستوى العام للمنطقة.

التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة حول آثار حريق غابات سراة بني مالك والتغيرات التي طرأت على الغطاء النباتي يمكن تقديم التوصيات التالية:

1. نظراً لأن التعافي النباتي خلال فترة الدراسة (سبعة أشهر) أظهر تحسناً جزئياً ومنتذبباً ومرتبباً بالعوامل المناخية حيث بلغ التعافي نحو (15.5%) في نهاية فترة الدراسة توصي الدراسة بإجراء دراسات مستقبلية لمتابعة التعافي النباتي على المدى الطويل عدة سنوات لفهم كيفية استعادة الغطاء النباتي بشكل أدق واتخاذ القرارات بشأن إعادة التأهيل البيئي ووضع خطط لإعادة التشجير.
2. بناءً على فاعلية المؤشرات الطيفية (dNBR) و(NDVI) في رصد آثار الحريق والتعافي النباتي توصي الدراسة بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في المراقبة الدورية للغطاء النباتي وإدارة حرائق الغابات.
3. بناءً على ما أظهرته نتائج الدراسة من سيادة الغطاء النباتي العشبي الجاف في منطقة الحريق وارتباطه بسرعة انتشار الحريق وتوصي الدراسة بالسماح بالرعي المنظم خلال فترات الجفاف وذلك بهدف تقليل تراكم المواد النباتية الجافة التي تسهم في زيادة سرعة انتشار الحرائق مع ضرورة تنظيم عمليات الرعي بما يحافظ على التوازن البيئي.
4. توصي الدراسة بالعمل على الحد من مخاطر نشوب الحرائق في مثل هذه البيئات من خلال تعزيز الوعي البيئي لدى السكان خاصةً فيما يتعلق بالأنشطة البشرية مثل إشعال النار أو حرق المخلفات الزراعية إلى جانب تنظيم هذه الممارسات ووضع ضوابط واضحة لها بما يسهم في تقليل احتمالية اندلاع الحرائق.

المراجع العربية

1. حليلة إبراهيم الزبيدي. (يونيو، 2023). مخاطر حرائق الغابات جنوب غرب المملكة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: شغف شهران. المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الصفحات 1-39.
2. الشريف، عبدالرحمن صادق. (1984). جغرافية المملكة العربية السعودية الجزء الثاني إقليم جنوب غرب المملكة. الرياض: دار المريخ لنشر.
3. ذكرى عبدالجليل سلام، وإيمان رافع العمري. (يونيو، 2022). تقويم المؤشرات الطيفية لتقدير المساحات المحروقة دراسة حالة جبل غلامة بمنطقة مكة. مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، الصفحات 77-88.
<https://doi.org/10.26389/AJSRP.S230122>

المراجع الأجنبية

1. Al-Qthanin, R., & Aseeri, R. (2025, April 30). Assessment of forest fire impact and vegetation recovery in the Ghalahmah Mountains, Saudi Arabia. *Fire*, p. 172. doi:<https://doi.org/10.3390/fire8050172>.
2. Zahabnazouri, S., Belmont, P., David, S., Wigand, P. E., Elia, M., & Capolongo, D. (2025, May 14). Detecting Burn Severity and Vegetation Recovery After Fire Using dNBR and dNDVI Indices: Insight from the Bosco Difesa Grande, Gravina in Southern Italy. *Sensors*, p. 3097. doi:<https://doi.org/10.3390/s25103097>.

3. Lacouture, D. L., Broadbent, E. N., & Crandall, R. M. (2020, July 10). Detecting Vegetation Recovery after Fire in A Fire-Frequented Habitat Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *Forests*, p. 749. doi:<https://doi.org/10.3390/f11070749>.
4. Chen, R., Yin, G., Liu, G., Li, J., & Verger, A. (2020, July 16). Evaluation and Normalization of Topographic Effects on Vegetation Indices. *Remote Sensing*, p. 12(14) 2290. <https://doi.org/10.3390/rs12142290>.
5. Tudorescu, A.-M., Negru, C., Mocanu, B.-C., & Pop, F. (2024, November). Quality sustaining vegetation index for natural resources monitoring using satellite images. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, p. 101847. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101847>.
6. Lee, S. H., Lee, M. H., Kang, T. H., Cho, H. R., Yun, H. S., & Lee, S. J. (2025, June 25). Comparative Analysis of dNBR, dNDVI, SVM Kernels, and ISODATA for Wildfire-Burned Area Mapping Using Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, p. 2196. doi:<https://doi.org/10.3390/rs17132196>.

الملاحق



صور من حريق غابات سراة بني مالك