

رصد وتتبع العوامل البيئية المؤثرة في حرائق الغابات في مصيف/حماه(سورية)

باستخدام المؤشرات الطيفية NDVI-NDWI-LST

شيرين الرادوي¹

الملخص

هدفت الدراسة إلى تحليل العوامل المناخية المؤثرة في حرائق غابات مصيف في محافظة حماه (سورية)، خلال الفترة 2010-2024 باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد (المؤشر الطيفي النباتي NDVI، مؤشر محتوى الرطوبة NDWI، درجة حرارة سطح الأرض LST)، من القمرين الصناعيين MODIS, Sentinel. تم رصد التغيرات في الغطاء النباتي ورطوبة التربة، وتحليل موجات الجفاف وعلاقتها بحدوث الحرائق، مع التحقق من النتائج ببيانات هطل مطري وقياسات أرضية. أظهرت النتائج أنّ عام 2020 كان الأعلى من حيث المساحة المحروقة (8013.5) دونم، وأنّ بعض الحرائق وقعت في سنوات ذات ظروف مناخية جيدة مثل (2013 و 2015 و 2019). تم اعتماد التحليل الإحصائي للاتجاه الزمني وعلاقات الارتباط، حيث أظهرت قيم معامل الانحدار R^2 أنّ عامل الزمن لا يفسر إلّا نسبة ضئيلة من التباين في كمية الهطول، أما بالنسبة لمؤشر LST فقد بلغت قيمة معامل الانحدار $R^2=0.74$ وبالتالي فالزمن يفسر نسبة مرتفعة من التباين في قيم LST. كما تبين وجود علاقة ارتباط إيجابية وغير معنوية $r=0.45$ بين NDVI, NDWI وهذا السلوك مؤثّق في الغابات الصنوبرية والمتوسطة، في حين كانت علاقة الارتباط سلبية ومعنوية $r=-0.62^*$ بين LST, NDWI، و سلبية ومعنوية جداً بين NDVI, LST $r=-0.79^{**}$. هذه النتائج ليست مجرد علاقة إحصائية بل عكست تفاعلات بيئية متداخلة أسهمت في تهيئة الظروف لاندلاع الحرائق. توصي الدراسة بتبني حلول مستدامة تعتمد على الاستشعار عن بُعد، والإدارة المحلية والطبيعية، لتعزيز مرونة النظم البيئية، وتدعو إلى دمج النتائج في خطط إدارة الكوارث المحليّة والإقليمية.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بُعد ، حرائق الغابات، التغيرات المناخية، مصيف، المؤشر الطيفي النباتي، مؤشر محتوى الرطوبة.

¹دكتوراه بالهندسة الزراعية - اختصاص الحراج والبيئة - وزارة الإدارة المحلية والبيئة - دمشق - سوريا

esh1983zen@gmail.com

ورد للنشر بتاريخ: 2025/12/24

قبل للنشر بتاريخ: 2026/4/22

Monitoring and Tracking Environmental Factors Affecting Forest Fires in Masyaf / Hama, Syria Using Spectral Indices (NDVI, NDWI, LST)

Dr. Shereen AL-Raddawi

Ministry of Local Administration and Environment

Abstract

This study aimed to analyze the climatic factors influencing forest fires in the Masyaf region of Hama Governorate (Syria) during the period 2010–2024, using remote sensing data (NDVI for vegetation mass, LST for land surface temperature, and NDWI for soil moisture) by MODIS, Sentinel. Changes in vegetation cover and soil moisture were monitored, and drought waves and their relationship to fire occurrence were analyzed, with verification of the results using rainfall data and ground measurements. The findings revealed that 2020 recorded the highest burned area, and that fires occurred in years with otherwise suitable climatic conditions (such as 2013, 2015, and 2019). Temporal trend analysis and correlation were applied. The coefficient of determination (R^2) values indicated that the time factor explains only a small proportion of variation in precipitation amounts, whereas it accounts for a substantial share of variation in LST ($R^2=0.74$). NDVI and NDWI exhibited a positive but non-significant correlation ($r=0.45$), consistent with pattern documented in coniferous and Mediterranean forests. In contrast, LST showed a significant negative correlation with NDWI ($r=-0.62^*$) and a highly significant negative correlation with NDVI ($r=-0.79^{**}$). These results reflect underlying ecological interaction rather than mere statistical associations. The study recommends adopting sustainable wildfire-prone conditions solutions based on remote sensing, local management, and nature-based approaches to enhance ecosystem resilience, and calls for integrating the findings into local and regional disaster risk reduction plans.

Key Words: Remote sensing, NDVI, NDWI, Forests fires, Climate Change, Masyaf

المقدمة والدراسة المرجعية :

تعدّ حرائق الغابات سمة من سمات المناطق ذات المناخ المتوسطي، حيث يسود الصيف الحار والجاف، الذي يترافق مع رياح موسمية، ما يزيد من احتمالية اندلاع الحرائق وانتشارها. تقع معظم الغابات في سورية ضمن هذا النطاق المناخي، الأمر الذي يجعلها عرضةً بشكلٍ متكررٍ لموجاتٍ من الحرائق المتفاوتة في الشدة والمساحة. ومن الضرورة بمكان الإشارة إلى أنّ الغابات السورية ذات طابع وقائي أكثر منه إنتاجي. إذ تتركز أهميتها في حماية التربة، والموارد المائية، والحفاظ على التنوع الحيوي، إضافة إلى دورها الاجتماعي والبيئي. هذا الطابع يفرض أن تكون استراتيجيات التعامل مع الحرائق، وإعادة تأهيل المواقع المحروقة، مختلفة عن الغابات ذات الطابع الإنتاجي. شهدت سورية خلال الفترة 2010-2025 تزايداً ملحوظاً في وتيرة الحرائق، سواء من حيث العدد أو المساحات المتضررة نتيجة الجفاف والحرب والحرائق. إذ فقدت سورية حوالي 20.4% من غاباتها، ويتركز 61% من هذه الغابات في المناطق الساحلية، مما أدى إلى تدهور التنوع الحيوي فيها وتراجع وظائف النظم البيئية (وزارة الإدارة المحلية والبيئة، 2025).

يُعدّ الدليل الطيفي النباتي NDVI Normalized Difference Vegetation Index من أكثر الأدلة النباتية استخداماً لتتبع حيوية النبات في مواقع الحرائق المستقبلية، إذ يتحرى عن التغيرات الطفيفة التي يمكن أن تطرأ على النبات خلال فترة المقارنة البسيطة، ويكتشف التغيرات غير الطبيعية في عملية النمو (الهيئة العامة للاستشعار عن بُعد، 2020). أكدت نتائج الدراسة المناخية والاستشعارية التي قامت بها (الزداوي، 2023) على غابة حير عباس المحروقة في مصيف للفترة 2000-2023 لأشهر الربيع باستخدام الدلائل الطيفية، VCI, TCI, VHI, NDVI, NDWI, LST أنّ مناخ المنطقة يتجه نحو الجفاف. وقد وجد (Sivrikaya et al., 2024) أنّ استخدام مؤشر NDVI, NDWI مفيد لرسم خرائط خطر الحريق NBR ويحسن من دقة الخرائط، إذ ارتبط انخفاض كل من المؤشرين بمناطق ذات خطورة عالية للحريق. وأظهرت نتائج (Lahmar et al., 2024) لتقييم قابلية المناطق شبه الجافة للحريق في الجزائر، انخفاض قيم كل من المؤشرين NDVI, NDWI وزيادة في قيم درجة حرارة سطح الأرض LST كمؤشر واضح على المناطق الأكثر عرضة لخطر الحريق. وأشارت دراسة (Bilal, 2025) لتقييم خطر الحرائق في الغابات البرية، بضرورة دمج المؤشرات الطيفية مع العوامل الطبوغرافية وبيانات الطقس واستخدامات الأراضي، وخاصة مؤشر NDWI الذي عكس مدى خطورة اندلاع الحريق، ومؤشر NDVI الذي عكس حالة كتلة النبات والوقود الحيوي، ومؤشر LST المتعلق بالإجهاد الحراري للنباتات، و بينت نتائج (AL-Qthanin and Aseeri, 2025) حول تحليل واقع غابات غلامة في السعودية قبل الحريق، باستخدام المؤشرات الطيفية NDVI, NDWI, LST ومؤشر الحريق NBR، أنّ المناطق التي انخفضت فيها قيم NDVI, NDWI وارتفعت فيها

قيم LST كانت فيها شدة الاحتراق أعلى وفق مؤشر الحريق NBR، وكانت علاقة الارتباط إيجابية وقوية بين مؤشر NDVI, NBR. وتشير دراسة (Zhengsen *et al.*, 2025) أنّ أفضل منظومات الإنذار المبكر للحرائق تلك التي تستخدم مزيج من المتغيرات المناخية، الطبوغرافية، الاستشعارية (NDVI, NDWI, NBR, LST)، وهذه النماذج المتكاملة قادرة على التنبؤ بمخاطر الحرائق أكثر من المؤشرات الفردية.

أكدت العديد من التقارير الوطنية كتقرير (حالة البيئة في الجمهورية العربية السورية، 2023) وتقارير وزارة الزراعة (2025) زيادة تكرار الحرائق في غابات المنطقة الساحلية، خلال الفترة 2015-2025. إذ تعرضت سورية لموجة جفاف غير مسبوقة، خاصة في الفترة 2020-2025، ففي عام 2020 تجاوزت درجة الحرارة (40) درجة مئوية، واستمرت 10 أيام في أغلب المناطق السورية. وبلغ عدد الحرائق خلال هذا العام (621) حريق، بمساحة إجمالية تجاوزت 13 ألف هكتار، بينما كان عام 2025 هو الأعلى من حيث المساحة المحروقة، والتي بلغت 25 ألف هكتار، وفي مقدمة هذه الحرائق محافظة حماه (منطقة الغاب ومصيايف). إذ بلغ عدد الحرائق فيها 788 حريق عام 2020، وارتفع إلى 1040 حريق عام 2021، في حين أنّ عدد الحرائق في مصيايف فقط، بلغ 476 حريق خلال الفترة 2013-2024 (وزارة الزراعة، 2025)، إنّ هذا التزايد في معدلات الحرائق، يستدعي تحليلاً معمقاً، للأنماط الزمانية والمكانية للحرائق في مصيايف، باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد، لدراسة وتقييم حالة تدهور الغطاء النباتي، وتحليل العوامل البيئية المرتبطة بتكرارية هذه الظاهرة، بما يساهم في اقتراح حلول ووضع خطط لإعادة التأهيل، تركز على استعادة الوظائف البيئية للنظام الغابوي، وتعزيز مرونته على المدى الطويل. وبناء عليه يهدف البحث إلى:

رصد الظروف البيئية التي تسبق موسم الحرائق في منطقة مصيايف، للفترة 2010-2024 باستخدام البيانات الأرضية والمؤشرات الفضائية وذلك من أجل:

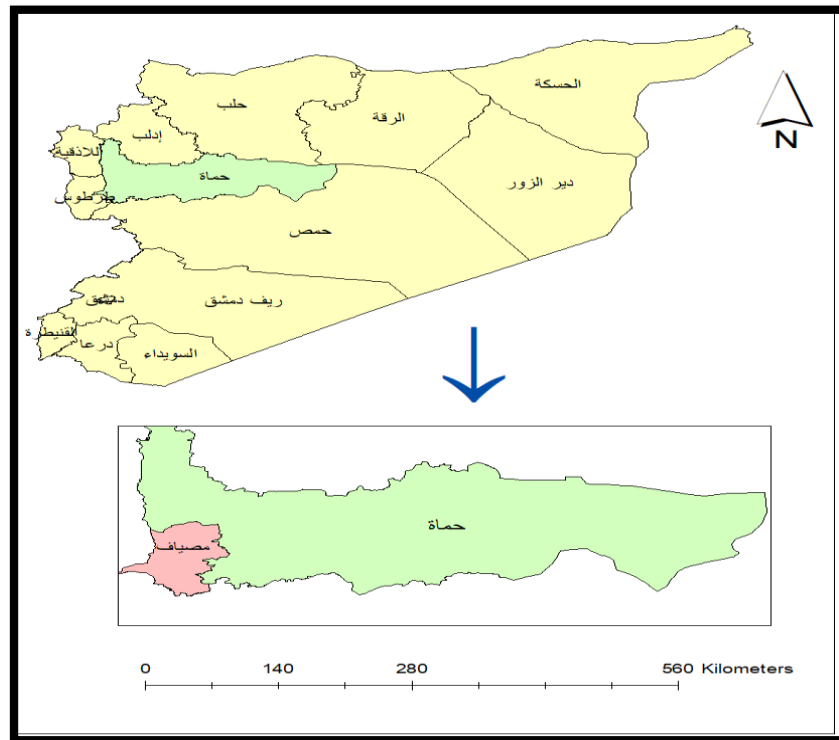
1- تحليل المؤشرات المناخية المؤثرة على الحرائق في منطقة مصيايف.

2- رصد و مراقبة الغطاء النباتي ورطوبة التربة في منطقة مصيايف خلال فترة الدراسة، ثمّ وضع مقترحات لحلول مستدامة وتقنيات استباقية تساعد في تعزيز الوقاية والجاهزية بناءً على المؤشرات البيئية المدروسة.

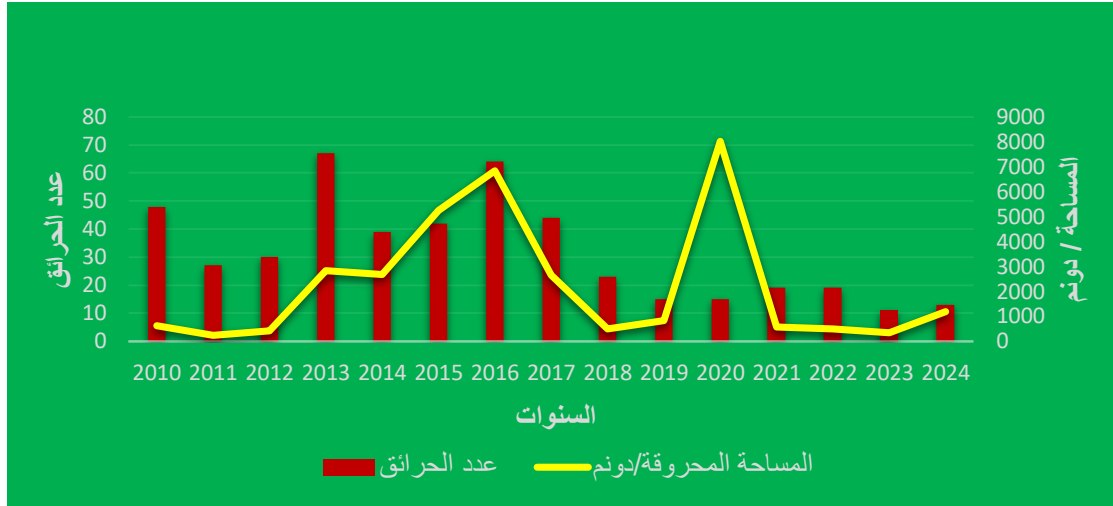
موقع الدراسة:

تقع مصيايف على جبال السماق (جبال اللاذقية) غرب محافظة حماه على بعد 40 كم، تتبع إدارياً لها وتبلغ مساحتها 408 كم²، بين خطي طول 36.10.0-36.20.0 شرق غرينتش، وخطي عرض 34.30.0-35.30.0 شمال خط الاستواء. الشكل 1. تشكل منطقة الدراسة نقطة اتصال والتقاء بين الجبال الساحلية والسهول الداخلية في سوريا.

يعدّ مناخ مصياف معتدل صيفاً وبارد شتاءً، إذ تتراوح درجة الحرارة بين 10 و2 درجة مئوية شتاءً، أما في الصيف تتراوح درجة الحرارة بين 33 و40 درجة مئوية خلال شهري تموز وآب. إلا أنّ مناخ المنطقة تغير خلال السنوات الأخيرة و شهد انحراف بالمعدلات السنوية لدرجات الحرارة والهطول المطري، مما أدى إلى زيادة عدد الحرائق خلال الفترة 2011-2024 التي اندلعت في عدة مناطق كان أخطرها في غابات مثل المشهد العالي وحير عباس والرصافة والبستان والفندارة وكفرلاها، عين خنازير، وعين حلاقيم وكاف الحيش والحيلونة، واللقبة، وعين الشمس، و وادي العيون) وغيرها وهذا انعكس سلباً على الحالة الصحية لهذه الحراج وتدهورها، خاصة حريق عام 2020 والذي كان الأعنف من حيث المساحة المحروقة والتي بلغت 8013.5 دونم، بينما عام 2013 الأكثر بعدد الحرائق 67 حريق الشكل 2 وفقاً لأحدث البيانات الصادرة عن مديرية الزراعة بحماه (2024) ، وبيانات دائرة الزراعة والحراج بمصياف(2024).



الشكل (1) الحدود الإدارية لمنطقة مصياف / حماه



الشكل (2) عدد الحرائق ومساحتها في مصياف خلال 2011-2024

مواد وطرق البحث:

منهجية البحث:

اعتمدت منهجية الدراسة على تحليل بيانات الأقمار الصناعية لرصد الظروف البيئية التي تسبق موسم حرائق الغابات، وتحليل بيانات الحرائق من حيث العدد والمساحة، وذلك بهدف فهم العوامل التي تؤدي إلى زيادة قابلية الاشتعال في منطقة مصياف خلال الفترة الممتدة من 2010 إلى 2024. وقد تم تقسيم التحليل إلى شقين رئيسيين:

1- تحليل المؤشرات المناخية (درجات الحرارة والهطولات) لرصد الجفاف للفترة 2010-2024

1-1- الهطولات: تم الحصول على بيانات الهطول السنوي لمنطقة مصياف وتحليلها زمنياً، لرصد السنوات الجافة والرطوبة من خلال نوعين من البيانات: الأولى بيانات أرضية للفترة 2010-2018: من محطة مصياف الصادرة عن المديرية العامة للأرصاد الجوية بدمشق (2020)، والثاني بيانات فضائية للفترة 2019-2024 من موقع CHIRPS الذي يقدم بيانات للهطول المطري على المستوى المحلي والإقليمي من عام 1981 بتحديثات يومية أو شهرية، وبدقة 5*5 كم، خاصة للمناطق الجافة وشبه الجافة مثل سوريا.

<http://data.chc.ucsb.edu/data/chirps>

1-2- درجات الحرارة: تم دراسة مؤشر درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature) LST وذلك عن طريق تحميل الصور الفضائية لشهر أيار للفترة 2010-2024 من القمر الصناعي MODIS الذي يقدم عدة منتجات منها المنتج الشهري MOD11C3 بدقة تمييز 5.6*5.6 كم، وفق المستوى الثالث للمعالجة Level-3 من الموقع المجاني <http://earthexplorer.us> وقد تم إجراء جميع عمليات المعالجة لاستخراج بيانات درجة حرارة سطح الأرض باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1 وفق خطوات ثلاث: اقتطاع منطقة الدراسة من المنتج الشهري

MOD11C3 من الأداة extract mask، تغيير الإسقاط الجغرافي إلى Zone 37n UTM، حساب متوسط درجة حرارة سطح الأرض لشهر أيار لكل سنة من الأداة Zonal statistic.

2-مراقبة الغطاء النباتي ورطوبة التربة:

تم تتبع حالة الغطاء النباتي ورطوبة التربة للفترة 2010-2024 من خلال المؤشر الطيفي النباتي NDVI ومؤشر محتوى الرطوبة NDWI، باستخدام قمرين صناعيين مختلفين خلال فترتين:

2-1-الفترة من 2010-2021:

تم تحميل صور فضائية من المنتج MOD13Q1 التابع للقمر MODIS بدقة مكانية 250م، وتواتر كل 16 يوم من الموقع USGS، حيث تم تحميل مشهدين لشهر أيار للفترة 2010-2021، ثم تم معالجة الصور في برنامج GIS، وقد تم اختيار القيمة العظمى بين الفترتين باستخدام الأداة Map Algebra وذلك لتقليل أثر الغيوم والتشويش والحصول على حالة النمو الأفضل للنبات (Huete *et al.*, 2002)، ثم تم أخذ متوسط القيمة العظمى للحصول على مؤشر عام للغطاء النباتي في منطقة الدراسة بالأداة Zonal statistic.

2-2-الفترة من 2017-2024:

تم تحميل صور فضائية من القمر الصناعي (Sentinel L2) بدقة مكانية 10م، كل 5 أيام من الموقع Copernicus لشهر أيار من كل عام، وذلك لحساب كل من المؤشر الطيفي النباتي NDVI باستخدام الباندات (B04,B08)، ومؤشر محتوى الرطوبة NDWI باستخدام الباندات (B04,B08)، ثم تم معالجة البيانات بالأداة Map Algebra، ثم تم حساب متوسط قيمة كل مؤشر لكل سنة بالأداة Zonal statistic.

ونظراً للاختلاف في الدقة المكانية ونوع المستشعر، تم التعامل مع كل فترة كسلسلة زمنية مستقلة دون دمج البيانات.

2-3-المؤشر الطيفي النباتي NDVI Normalized Difference Vegetation Index:

يعدّ أحد أهم القرائن الطيفية في تمييز الغطاء النباتي ويعتمد على فرق الانعكاس الطيفي بين المجالين الأحمر المرئي وتحت الأحمر القريب

ويعطى بالعلاقة (Rouse *et al.*, 1974)

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

NIR : المجال الطيفي تحت الأحمر القريب، RED: المجال الطيفي الأحمر المرئي وتتراوح قيم المؤشر بين 1- و+1، إذ تنحصر قيم النبات في المجال الموجب، أما المياه والثلج تمتلك قيم سالبة، بينما الصخور والتراب تمتلك

قيم قريبة للصفر (Lillesand *et al.*,2014) وقد تم تصنيف كثافة الغطاء النباتي إلى أربعة صفوف حسب قيم NDVI (Youhao *et al.*,2007)

الجدول(1) تصنيف كثافة الغطاء النباتي حسب قيم NDVI

| Vegetation Class | NDVI-Value |
|-----------------------|------------|
| No vegetation(ND) | -1 , 0 |
| Slightly density(SD) | 0.1, 0.3 |
| Moderatly density(MD) | 0.31, 0.6 |
| Highly density(HD) | 0.61 , 1 |

2-4- مؤشّر محتوى الرطوبة: NDWI Normalized Difference Water Index

يعكس محتوى الرطوبة في النباتات ، وبالتالي فهو مؤشّر جيد للتعبير عن التوزيع المكاني والزمني للإجهاد المائي في الغطاء النباتي.

ويعطى بالعلاقة (Gao *et al.*,1996)

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

SWIR: الانعكاسية في النطاق الطيفي تحت الأحمر القصير NIR: الانعكاسية في النطاق الطيفي تحت الأحمر القريب. وتتراوح قيم الدليل بين -1، +1 وكلما كانت القيم أدنى من الصفر كانت دليل على جفاف حاد.

التحليل الإحصائي :

تم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام برنامج SPSS Vergin23 حيث استخدم الانحدار الخطي البسيط، كأداة مناسبة لرصد الاتجاه العام للتغير عبر الزمن، لأنّ هدف الدراسة توصيف الظروف المناخية التي تسبق موسم الحرائق، وليس بناء نموذج تنبؤي متعدد المتغيرات، حيث تم تحليل الاتجاه الزمني للعوامل المناخية (الهطول المطري ودرجات الحرارة) واستخراج معامل التحديد R^2 واختبار F، وذلك لرصد اتجاه التغير للمتغيرات المدروسة عبر الزمن ومعنويتها الإحصائية. في حين استخدم معامل الارتباط من نوع Pearson (r) لتوصيف العلاقة بين المؤشرات الطيفية، وفق مايلي:

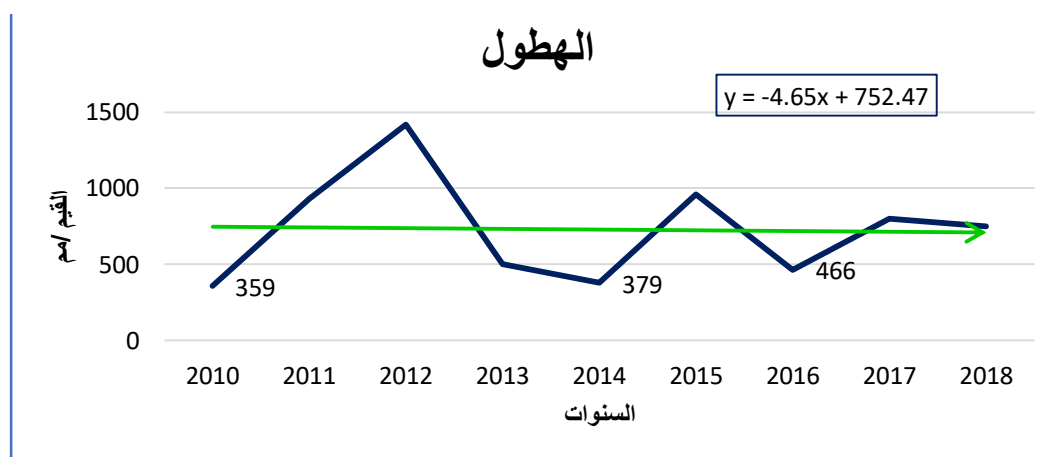
-تم تحليل بيانات الهطول لكل فترة بشكل مستقل باستخدام تحليل الاتجاه الخطي البسيط Trend analysis لكل فترة على حدة، وتم حساب معامل التحديد R^2 لتقييم نسبة التباين المفسر بواسطة الاتجاه الزمني، وتم استخدام اختبار F (المشتق من جدول ANOVA) وقيمة p-value لتقييم معنوية العلاقة بين المتغير المستقل (الزمن)

والمتمغير التابع(الهطول) داخل كل سلسلة زمنية، دون إجراء تحليل إحصائي يربط بين السلسلتين، نظراً لاختلاف مصدر البيانات ومنهجية القياس.

- تم استخدام معامل الارتباط Pearson(r) لتحليل قوة العلاقة بين المؤشرات الطيفية المدروسة ، لفهم سلوك المؤشرات البيئية قبل الحرائق.

النتائج والمناقشة:

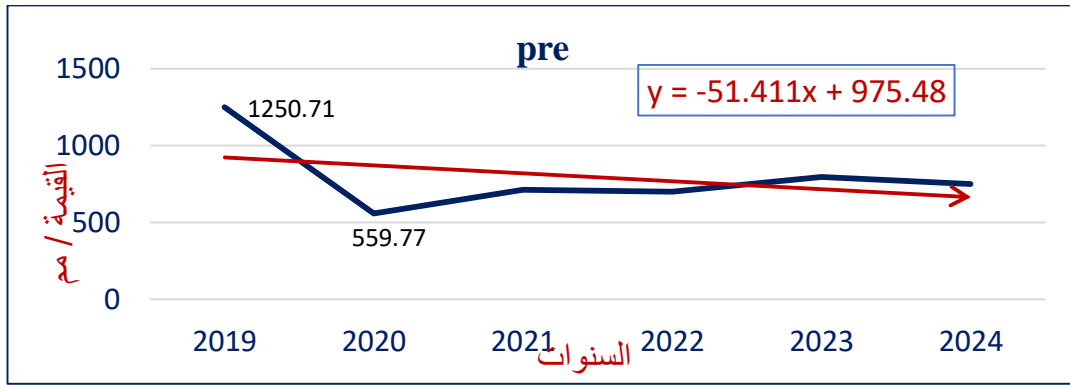
1-بيانات الهطول الأرضية لمحطة مصيف 2018-2010:



الشكل (3) معدل الهطول السنوي لمحطة مصيف خلال 2018-2010

أظهر تحليل الاتجاه الزمني للهطول الشكل (3) خلال الفترة 2018-2010 ميلاً طفيفاً نحو الانخفاض، إلا أنّ نتائج الانحدار الخطي البسيط لم تكن معنوية إحصائياً، حيث بلغت قيمة $F = 0.18$ مع $P = 0.68 > 0.05$ ، ما يدل على عدم وجود اتجاه زمني واضح للهطول خلال هذه الفترة. كما أنّ قيمة معامل التحديد المنخفضة $R^2 = 0.001$ ، تشير إلى أنّ الزمن لا يفسر إلا نسبة ضئيلة جداً من التباين في كمية الهطول، مما يعكس تذبذباً سنوياً مرتبطاً بتقلبات مناخية، أكثر من كونه اتجاه طويل الأمد. أكثر السنوات جفافاً كانت 2016-2014-2010، وهذا ينسجم مع سجلات الحرائق التي أظهرت زيادة بعدد الحرائق والمساحات المحروقة عام 2014 و2016، أما السنوات الرطبة فقد كانت 2015-2012. هذه النتيجة تتفق مع تقرير (حالة الجفاف في سورية، 2021) للفترة 2000-2020 الذي أظهر تعرض سورية لحالة من الجفاف الشديد والقاسي خلال بعض السنوات منها 2010-2014-2017-2018.

2-بيانات الهطول الفضائية لمصيف 2024-2019:

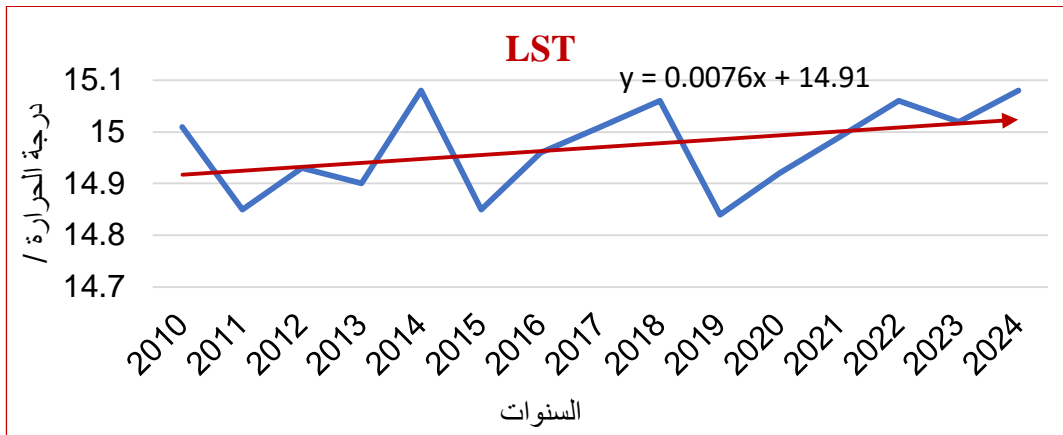


الشكل (4) البيانات الفضائية للهطول في منطقة مصياف خلال 2019-2024

يبين تحليل الاتجاه الزمني للهطول الشكل (4) خلال الفترة 2019-2024 وجود ميل عام نحو الانخفاض، إلا أن هذا الاتجاه لم يكن معنوياً إحصائياً، إذ بلغت قيمة $F=0.79$ و $p=0.42 > 0.05$ ، وبلغت قيمة معامل التحديد $R^2=0.16$ ، ما يشير إلى أن التغيرات في الهطول لا يمكن إرجاعها إلى عامل الزمن وحده، بل قد يعزى إلى عدم انتظام التوزيع الزمني والمكاني للأمطار خلال السنوات الأخيرة. وهذا يتوافق مع ما ذكر في تقرير (حالة البيئة في الجمهورية العربية السورية، 2023) الذي أكد حدوث خلل في التوزيع المكاني والزمني للهطولات المطرية خلال الفترة 2010-2020. أكثر السنوات جفافاً كانت 2020 بينما أكثر السنوات رطوبة كانت 2019 وهذا يتوافق مع سجلات الحرائق إذ احتل هذا العام أكبر مساحة والتي بلغت 8013.5 دونم.

3- درجة حرارة سطح الأرض LST خلال 2010-2024:

أظهر تحليل الاتجاه الزمني لدرجة حرارة سطح الأرض الشكل (5) للفترة 2010-2024 وجود اتجاه واضح نحو الارتفاع وبشكل معنوي إحصائياً، إذ بلغت قيمة $F=37$ عند مستوى دلالة $P=0.001 < 0.05$ ، مما يدل على أن التغير في LST ليس عشوائياً. كما بلغت قيمة معامل التحديد $R^2=0.74$ ، ما يشير إلى أن عامل الزمن يفسر نسبة مرتفعة من التباين في قيم درجة حرارة سطح الأرض. هذه النتائج تعكس ازدياداً في الإجهاد الحراري، وهو ما يعد عاملاً مساعداً في تهيئة الظروف البيئية الملائمة لزيادة قابلية اشتعال الغطاء النباتي. أعلى قيمة للمؤشر كانت عام 2014 و 2024 والتي بلغت 15.08 درجة مئوية. أما أقل قيمة للمؤشر كانت عام 2015 و 2019 والتي بلغت على التوالي (14.85، 14.84) درجة مئوية. إن النتائج السابقة تتفق مع نتائج (الرداوي، 2024) التي أشارت إلى تعرض منطقة مصياف لحالة من الجفاف الشديد والقاسي عام 2014 و 2017 و 2018 وفق مؤشر الحالة الحرارية TCI خلال الفترة 2000-2018.

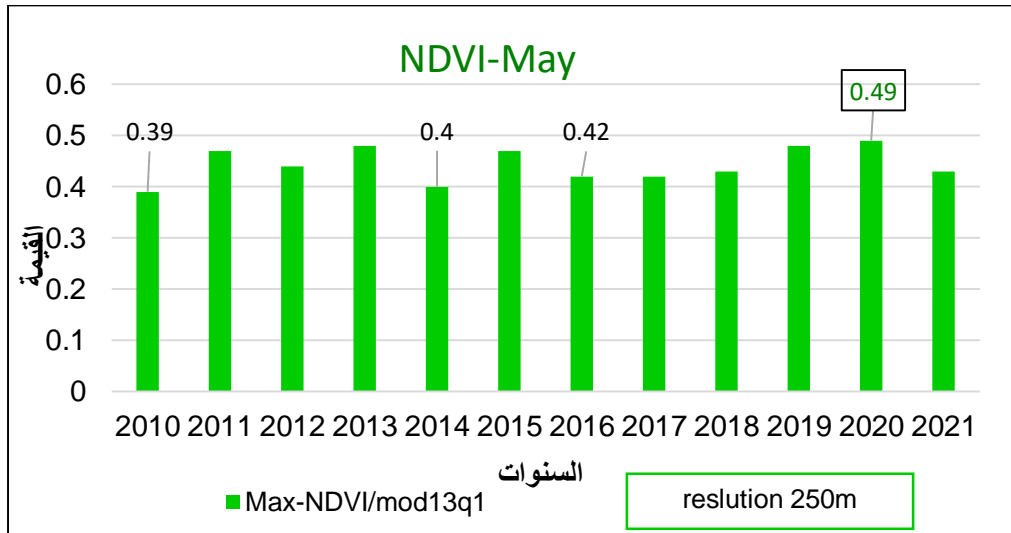


الشكل (5) مؤشر درجة حرارة سطح الأرض لمنطقة مصيف 2024-2010

- يلاحظ من تحليل البيانات المناخية السابقة، مع سجلات الحرائق في منطقة مصيف، أنّ العلاقة بين الجفاف وعدد مساحة الحرائق ليست علاقة خطية أو بسيطة، بل تخضع لتداخل عدة عوامل، حيث سُجّلت حرائق بمساحات كبيرة عام 2014 و 2016 و 2017 و 2020، والتي بلغت (2670.3 ، 6840.2 ، 2648.2 ، 8013.2) دونم على التوالي، وقد ترافقت مع انخفاض واضح في كميات الهطل المطري وارتفاع بدرجات الحرارة حسب نتائج الدراسة السابقة، بينما شهد عام 2013 و 2015 و 2019 حرائق واسعة بالرغم من وجود ظروف مناخية جيدة، والذي قد يُعزى لأسباب أخرى غير مناخية (كإهمال، ضعف الاستجابة والرقابة، سوء الإدارة الحراجية). هذا التباين ليس مجرد نتيجة للجفاف وحده، إنّما حصيلة تفاعل معقد بين الظروف المناخية، والظروف غير المناخية، إذ يؤدي تزامن العاملين إلى تضاعف حجم الخطر، وزيادة مساحة الضرر كما هو الحال عام 2020، إذ تُوجّه تحول بنمط الحرائق بعد عام 2017 حيث أصبحت أقل عدداً، ولكن أوسع انتشاراً وأشد تأثيراً. وهذا يتفق مع نتائج (الزداوي، 2024) التي أشارت إلى أنّ اجتماع العامل المناخي مع العامل البشري في بعض السنوات، أدى إلى زيادة المساحات المحروقة في غابة حير عباس بمصيف.

4-المؤشر الطيفي النباتي NDVI 2021-2010

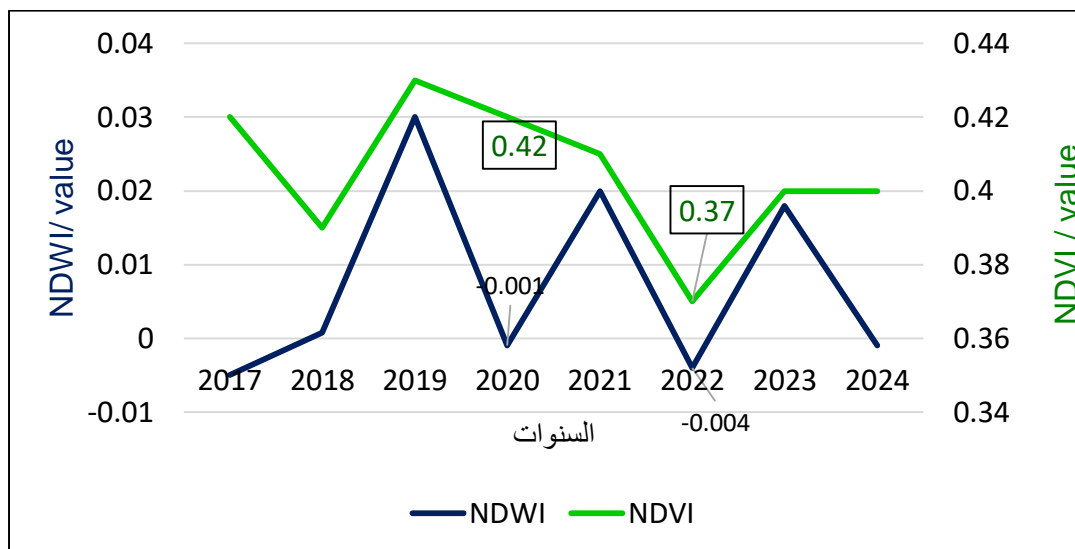
أظهرت نتائج المؤشر المستخرج من بيانات MODIS للفترة 2021-2010 الشكل (6). وجود تذبذب سنوي في كثافة الغطاء النباتي خلال شهر أيار دون اتجاه زمني واضح، مع انخفاض ملحوظ في السنوات الأكثر جفافاً 2010 و 2014 و 2016، والتي ترافقت مع حدوث حرائق في منطقة مصيف خلال هذه السنوات مثل 2010 ، مما أدى إلى تراجع في قيم المؤشر، والذي قد يُعزى إلى ضعف تجدد الغطاء النباتي، وقلة الرطوبة، وتراكم المواد الجافة استعداداً لموسم جفاف صيفي لاحق.



الشكل (6) المؤشر الطيفي النباتي خلال 2010-2021

5- نتائج مؤشر NDVI, NDWI للفترة 2017-2024 :

يلاحظ من الشكل (7) تغيراً سنوياً في مؤشري NDVI, NDWI لمنطقة مصياف خلال شهر أيار بين عام 2017-2024، إذ ارتبطت السنوات 2024-2022-2020 بمستويات رطوبة منخفضة حسب قيم مؤشر الرطوبة NDWI (-0.001، -0.004، -0.001) على التوالي، بالرغم من وجود قيم معتدلة للمؤشر الطيفي النباتي NDVI مما يدل على وجود غطاء نباتي جاف، وذي قابلية عالية للاشتعال. ويفسر ذلك بأن مؤشر الرطوبة يتفاعل مع ظروف الجفاف بشكل أكثر حساسية من المؤشر الطيفي النباتي، الذي يُظهر استجابة أكثر لتغيرات الكلوروفيل، فالجفاف يسبب فقدان الماء بشكل أسرع من خفض الكلوروفيل (Kovács and Gulácsi, 2015) وهنا يظهر دور مؤشر الرطوبة في تقييم الوضع الرطوبي للغطاء النباتي، ومدى تعرضه للإجهاد، وللتنبؤ بالمناطق الأكثر عرضة لخطر الحريق. بالنسبة لسنة 2017 نجد أنّ الغطاء النباتي كان جيد، حسب قيم المؤشر الطيفي النباتي (0.42) وقيم الهطول المطري كانت 800 مم، لكن لوحظ انخفاض واضح في قيم مؤشر الرطوبة (-0.005)، والذي قد يُعزى إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض (15.05)، وبالتالي تعرض المنطقة لجفاف حاد بسبب التصريف السريع للرطوبة، والنتيجة عن ارتفاع درجة الحرارة أو الوضع التضريسي للمنطقة، أو عدم انتظام توزع الهطول (أمطار شتوية غزيرة يليها ربيع جاف)، بالمقابل فإن أفضل السنوات كانت 2019 و 2021 بالنسبة لقيم المؤشرين، ولكن التحسن بالغطاء النباتي فيهما كان بشكل مؤقت، نتيجة تتالي سنوات الجفاف والحرائق.

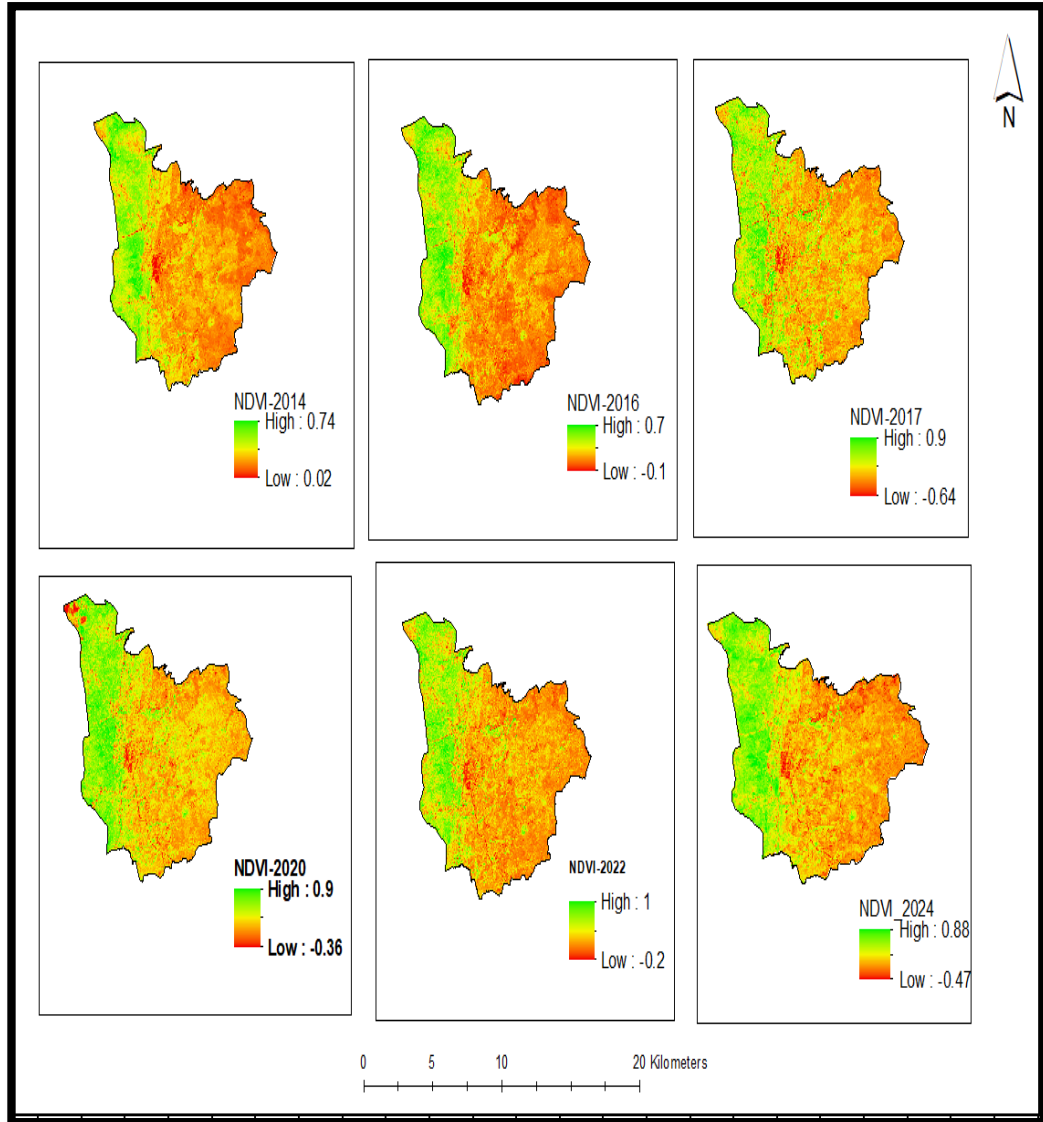


الشكل (7) مؤشر NDVI,NDWI للفترة 2017-2024

6- بينت الدراسة الإحصائية وجود علاقة ارتباط ايجابية وغير معنوية بين مؤشر $r=0.45$ NDVI,NDWI إن ضعف الارتباط أو عدم معنويته بين المؤشرين في النظم الغابوية، هو سلوك موثق خاصة في الغابات الصنوبرية والمتوسطة، إذ أن مؤشر الرطوبة يستجيب مباشرة لتغير الرطوبة في تاج الأشجار، وينخفض بسرعة خلال الجفاف، والإجهاد المبكر، وبعد الحرائق، بينما المؤشر الطيفي النباتي قد يبقى مرتفع، ولا يتغير إلا بعد عدة أسابيع عندما تتأثر الكتلة الخضراء. فالمؤشران لا يتحركان دوماً بشكل طردي خلال الفترات المذكورة. وهذا الأمر يعكس حالة عدم استقرار بيئي، إذ لم يعد الغطاء النباتي الكثيف مرادفاً لحالة رطوبة جيدة، بل مؤشر على وجود غطاء نباتي ظاهرياً جيد لكنه جاف وظيفياً، مما يهيئ الظروف لاندلاع الحرائق. وهذا يتسق مع نتائج العديد من الدراسات مثل (Zhou et al.,2022; Miletić et al.,2024; Visackiet al.,2025) ، بينما نجد أن الارتباط كان سلبياً وبشكل معنوي عند $r = -0.62^*$ بين NDWI, LST ، وكان سلبياً ومعنوي جداً عند مستوى معنوية $r = -0.79^{**}$ بين NDVI, LST. إن هذه النتائج تسهم في تفسير آلية حدوث الحرائق، أكثر من كونها مجرد علاقة إحصائية بين مؤشرات طيفية. فهي تعكس تفاعلات بيئية متداخلة تساهم جميعها في زيادة قابلية الغطاء النباتي للاشتعال وحدث الحرائق. وهذا ينسجم مع ما توصل إليه (Lahmar and Akakba,2024) الذين قاموا بدمج المؤشرات NDVI,NDWI,LST في نموذج تحليل هرمي لتقييم قابلية الغابات لاندلاع الحرائق في منتزه بليزما الوطني في الجزائر، حيث أظهرت الدراسة أن العلاقة بين هذه المؤشرات، وظروف ما قبل الحريق يمكن أن تساعد في الفهم والتنبؤ بمخاطر الحرائق، وكان الدور الأكبر لمؤشر NDVI,LST في تحديد المناطق الأكثر عرضة للحريق، بينما ساهم مؤشر NDWI في إبراز تأثير الظروف الجافة على حالة الوقود.

7-خرائط المؤشر الطيفي النباتي 2014-2024:

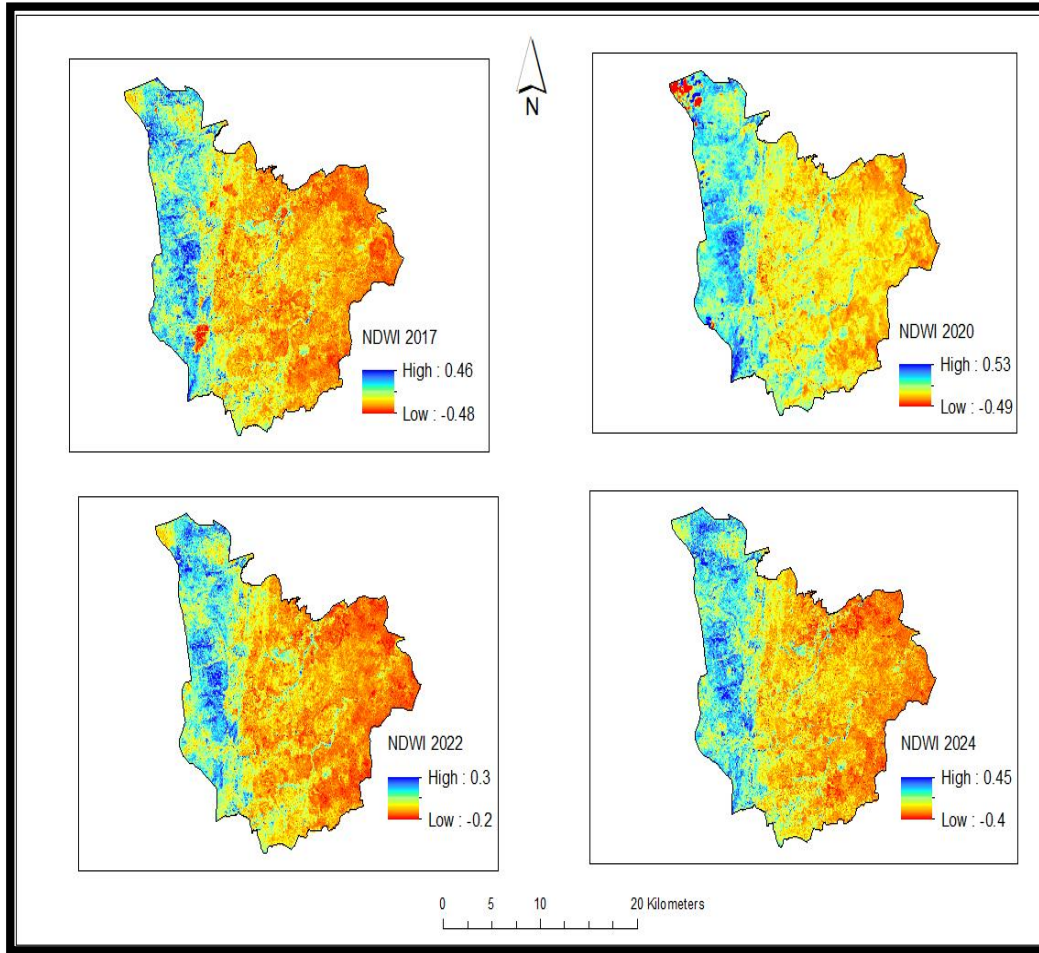
يبين الشكل (8) تغير المؤشر النباتي الطيفي NDVI في منطقة الدراسة خلال الفترة 2014-2024



الشكل (8) تغير المؤشر الطيفي النباتي في مصياف خلال 2014-2024

8-خرائط تغير محتوى الرطوبة عام 2017، 2020، 2022، 2024:

الشكل (9) يمثل تغير مؤشر محتوى الرطوبة في منطقة الدراسة للأعوام 2017، 2020، 2022، 2024



الشكل (9) تغير مؤشر الرطوبة في مصيف 2017-2020-2022-2024

8-مقترحات لحلول مستدامة وتقنيات استباقية للحد من حرائق الغابات في منطقة الدراسة:

أظهرت نتائج التحليل للمؤشرات البيئية تباين واضح، بين سنوات الجفاف والسنوات المطيرة، وكشفت أنماط يمكن استثمارها في التنبؤ باحتمالية حدوث حرائق الغابات في مصيف، ومع وجود بعض المؤشرات لتأثير العامل البشري وراء الحرائق خلال بعض السنوات، تبرز الحاجة الى وضع مقترحات ودلالات تطبيقية ناتجة عن تفسير النتائج

لدعم الادارة الوقائية والاستعداد المبكر للحرائق.١.

*الحلول المستدامة و القائمة على الطبيعة:

هي إجراءات طويلة الأمد، تعتمد على تعزيز قدرة الطبيعة على حماية و تجديد نفسها، من خلال التدخل البشري، لتعزيز مرونة النظم البيئية المتأثرة بالتغيرات المناخية تجاه الجفاف والحرائق ، وذلك من خلال إدارة بيئية مستدامة. هذه الإجراءات تتيح عند دمجها مع بيانات الاستشعار عن بعد، ليس فقط توقع مناطق الخطر، إنما توجيه جهود الوقاية والجاهزية وسرعة الاستجابة نذكر منها:

1-حماية واستعادة وإدارة النظم البيئية في الغابات، من خلال عمليات التربة والتنمية للتخلص من الوقود الجاف، وإجراء عمليات الحرق المراقب ، والتخفيف الانتقائي لتقليل كثافة الوقود.

2-تعزيز حصاد المياه خاصة في المناطق الجبلية المنحدرة، لزيادة رطوبة التربة وتأمين مصادر للمياه غير تقليدية تساعد على مكافحة الحرائق.

3-فرض الحماية على المناطق المحروقة بين عام إلى عامين، للسماح للنبت الطبيعي أن يجدد نفسه، و إعادة تأهيلها بأنواع مقاومة للجفاف والحرائق مثل القطلب والخرنوب والبطم الفلسطيني والزعرور ، والتشجير باستخدام أنواع من بيئة المنطقة

*الإجراءات الاستباقية: هي إجراءات تعتمد على المعطيات لرصد الإنذارات المبكرة، وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر، بالاعتماد على البيانات الفضائية من جهة، وعلى التخطيط الميداني والجاهزية المجتمعية من جهة أخرى. ومن هذه الإجراءات نذكر:

1-مراقبة المؤشرات البيئية في الزمن الحقيقي، باستخدام الدلائل الطيفية من منتجات التوابع الصناعية ذات الدقة العالية، لرصد وتتبع الجفاف ، وحالة الغطاء النباتي زمانياً ومكانياً.

2- وضع نظام إنذار مبكر لحرائق الغابات بالاعتماد على البيانات الاستشعارية والنشاطات البشرية يحدد عتبات خطر لكل مؤشر (منخفض الخطورة - متوسط الخطورة -عالي الخطورة) لإرسال نشرات يومية للأماكن التي يمكن أن تكون معرضة لخطر الحريق.

3-تعزيز النهج التشاركي مع المجتمع المحلي في جميع مراحل إدارة المناطق الحراجية، بما يضمن تحسين الدخل للمجتمعات المحلية ، وتحقيق التنمية المستدامة للغابات

4- إنشاء مناطق عازلة خضراء لحماية المواقع الحراجية، تجمع بين إدارة الأنشطة الحراجية والاستجابة الوقائية الطبيعية.

الاستنتاجات :

- 1- لم يظهر الهطول المطري اتجاهًا زمنيًا معنويًا خلال الفترة المدروسة على الرغم من تذبذب قيمه، في حين سجلت درجة الحرارة ارتفاعاً معنوياً واضحاً، مما يدل على تزايد الإجهاد الحراري وتهيئة ظروف بيئية أكثر جفافاً قبل موسم الحرائق.
- 2- أكدت الدراسة حدوث تغيرات في المؤشر الطيفي النباتي ومؤشر محتوى الرطوبة في منطقة مصيف خلال 2010-2024 نتيجة التغيرات المناخية وتكرارية الحرائق.
- 3- بينت الدراسة أنّ بعض السنوات لم تعانِ من الإجهاد الحراري والمائي، وبالرغم من ذلك فقد حدثت فيها حرائق، وهذا قد يعزى إلى تأثير عوامل أخرى غير مناخية محتملة .
- 4- ساعد تحليل علاقات الارتباط بين المؤشرات الطيفية NDVI, NDWI, LST على فهم الدور التكاملي لهذه المؤشرات في تهيئة الظروف البيئية التي تسبق اندلاع الحرائق، لدعم أنظمة الإنذار المبكر وإجراءات الوقاية قبل موسم الحرائق.

التوصيات:

- 1- تطوير أنظمة الرصد ونماذج الإنذار المبكر للحرائق بالعلاقة مع كل نوع من الغابات، وربطها مع الجهات المعنية بالاعتماد على الأقمار الصناعية Sentinel , MODIS, Landsat
- 2- تشجيع الأبحاث العلمية التطبيقية، التي تعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد، وربط نتائجها مع الواقع، لتوفير رؤية متكاملة لصناع القرار للتخطيط، والإدارة الفعالة للمناطق الحراجية، والحدّ من الحرائق.

المراجع العربية:

- 1- دائرة الزراعة والحراج بمصياف(2024). مديرية الزراعة بحماه، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.
- 2-الرداوي،شيرين(2024).تأثير الأساليب الملائمة لإعادة تأهيل الغابات المحروقة في مصياف في التنوع الحيوي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. رسالة دكتوراة ، قسم الحراج والبيئة،جامعة الفرات.
- 3- مديرية الزراعة بحماه(2024). تقارير سجلات الحرائق في مصياف،وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.
- 4- المديرية العامة للأرصاد الجوية بدمشق (2020).
- 5-منظمة الأغذية والزراعة(2016)-متابعة نتائج المؤتمر الدولي الثامن المعني بالتغذية. الدورة الثالثة والعشرون للجنة الغابات، روما، يوليو/تموز .7.4/2016/COFO
- 5-منظمة الأغذية والزراعةFAO (2020)-حالة الغابات في العالم-الغابات والتنوع البيولوجي والسكان والأغذية والزراعة للأمم المتحدة بالتعاون مع برنامج الأمم المتحدة للبيئة،روما 2020
- 6- الهيئة العامة للاستشعار عن بعد(2020)-تقارير منصة الغابات وحرائق الغاباتFIRMO
- 7-وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي(2022)-التقارير السنوية لأعداد الحرائق ومساحتها في المحافظات السورية للفترة 2006-2022.
- 8-وزارة الادارة المحلية والبيئة 2025-تقارير إعلامية عن حرائق الغابات 2025

التقارير المرجعية:

-تقرير تتبع الجفاف في سورية باستخدام الصور الفضائيةMODIS(2022) -مشروع المرصد البيئي، وزارة الإدارة المحلية والبيئة.

-تقرير حالة البيئة(2023)-حالة البيئة في الجمهورية العربية السورية للفترة 2020-2021- الملخص التنفيذي، وزارة الإدارة المحلية والبيئة.

Reference:

9-Gao, B. (1996), NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote Sens. Environ., 58, 257 – 266.

10- Gulácsi, A; Kovács, F.2015-Drought Monitoring with Spectral Indices Calculated from MODIS Satellite Images in Hungar -Journal of Environmental Geography8 (3–4), 11–20.

11- Huete A. R., Dian K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. (2002)- Over view of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. Remote Sensing of Environment,83(1),195-213.

12-Kafy aa, Islam MA, Khan MHH, Sarker MHS & Rahman MW2020- Prediction of Future Land Surface Temperature and Its Impact on Climate Change: A Remote Sensing Based Approach in Chattogram City- 1st International Student Research Conference -2020 Dhaka University Research Society (DURS), University of Dhaka, Bangladesh.

13- Lillesand, T, Kiefer, R.W., and Chipman, J.2014. Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons. Longley, P.2005. Geographic information systems and science. John Wiley and Sons. Second edition.

- 14-Lahmar, B., Akakba, A.2024.Forest Fire Detection Based on Earlier Pre-Fire Conditions Using Analysis Hierarchic Process (AHP) in A Semi-Arid Climate. A Case Study: Belezma National Park, Algeria. Acta Geographical Lodziensia ,114(2024):35-48.
- 15-Miletić.B R., Matovic, B., Orlović, Saša., G, Marko., D, Todor., M, Goran., Simović, Srdan., D, Mivko., S, DejanB.2024-Quantifizing Forest Cover Loss as a Response to drought and Dieback of Norwaz Spruce and Evaluation Sensetivite of Various Vegetation Indices Using Remote Sensing.MDPI journal. Volume15.issue4.
- 16- AL-Qthanin., Aseeri, R.2025.Assessment of Forest Fire Impact and Vegetation Recovery in the Ghalahma Mountains, Saudi Arabia. MDPI Journal. Volume8.
- 17- Rouse, J. W; R.H. Haas; J.A. Schell; D.W. Deering and J.C. Harland (1974)- Monitoring the vernal advancement of natural vegetation. p371. NASA/ GSFC Final Report, Greenbelt, Maryland, USA.
- 18-Youhao.E, W. Jihe, G. Shangyu, Y. Ping, and Y. Zihui, IEEE Int.Geosci. Remote Sens.Symp. Barcelona3448 (2007).
- 19-Visacki, V., Palović, L., Stojanović, B., B., Stojnic, S. 2025.Remote Sensing for Frosty: Assessing tree stress and climate induced changes in the vrsac mountains, Research gate June 2025.
- 20-Zhengsen, Xu., Li, Jonathan., S, Cheng., X, Rui., Yu, Zhao., H, He., L, Xu. 2025. Wild Risk Prediction: A Survey of Resent Advances Using Deep Learning Techniques. Arvix research 2450.016007v4, Cornell University.
- 21-Zou, H.; Zhou, G.; Song, X.; He, Q.2022. Dynamic Characteristics of Canopy and Vegetation Water Content during an Entire Season in Relation to Spectral-Based Indices. Remote Sensing, 14(3):58