

دراسة سلوك الحريق ضمن غابات الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في محافظة اللاذقية (سورية) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS

لمى إحسان* (1) وإيلين محفوض (1) و وائل علي (1) وأحمد سعدي (2)

(1) قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

(2) الوكالة الفضائية الجزائرية، مركز التقنيات الفضائية، أريزونا، الجزائر.

(*للمراسلة الباحث: لمى إحسان، البريد الإلكتروني: ehssan.lama@gmail.com).

تاريخ الاستلام: 2021/09/30 تاريخ القبول: 2021/12/9

الملخص:

هدف هذا البحث إلى دراسة سلوك الحريق ضمن غابتين من الصنوبر البروتي غابة الشرطة وغابة الفلك في محافظة اللاذقية اللتان تعرضتا للحريق عام 2016، بالاعتماد على مؤشر انتشار الحريق Fire Spread Index (FSI) و وقت انتشار الحريق Fire Spread Time (FST)، كنواتج أساسية لنموذج محاكاة الحريق Fire Simulation Model المصمم باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS 10.3، وبالاعتماد على العوامل التالية سرعة الرياح Wind Speed (WS)، اتجاهها Wind Direction (WD)، مؤشر قابلية الاحتراق Index of Combustibility (IC)، مؤشر الاختلاف الرطوبي المطبق Normalized Difference Moisture Index (NDMI)، فرق الإشباع Vapor Pressure Deficit (VPD)، درجة الانحدار Slope (S) والمعرض Aspect (AS). أظهرت النتائج تأثير سلوك الحريق بدرجة خطر انتشار الحريق في نقطة الاشتعال، وازداد معدل انتشار الحريق مع تغير المعرض من الغربي إلى الجنوبي عند نفس درجة الانحدار، كما لوحظ ارتفاع خطورة انتشار الحريق بارتفاع خطورة مؤشر المحتوى الرطوبي في أطراف الغابة القريبة من الأراضي الزراعية. نستخلص من هذه الدراسة كفاءة نموذج المحاكاة المصمم في دراسة سلوك الحريق وتحديد معدل انتشاره في الغابات المدروسة.

الكلمات المفتاحية: سلوك الحرائق، الصنوبر البروتي، نموذج محاكاة الحرائق، مؤشر انتشار الحريق، نظم المعلومات الجغرافية.

المقدمة:

الحرائق Fire اضطراب طبيعي يحدث في معظم النظم البيئية الأرضية Terrestrial Ecosystems، و هي في آن واحد عامل طبيعي للتغير البيئي، وظاهرة طبيعية مدمرة مثل الزلازل والفيضانات (Scott, 2012). تدمر الحرائق كل عام ملايين الهكتارات من الأراضي، حيث بلغ متوسط المساحة المحروقة عالمياً بين عامين 1997 و 2011 حوالي 348 مليون هكتار (Giglio et al., 2013). أصبحت حرائق الغابات مكثفة وأكثر تواتراً وخاصة في منطقة البحر المتوسط؛ بسبب التغيرات المناخية وتغيرات استخدام الأراضي (Gonçalves and Sousa, 2017; Moreira et al., 2020). يشكل الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. النوع الحراجي النموذجي لحوض شرق البحر المتوسط وتعد النظم البيئية للغابات المتبقية منه ذات قيمة مميزة من خلال القدرة الاستثنائية على التأقلم والنمو في ظروف متنوعة من الترب والارتفاعات وتحمل الظروف المناخية القاسية، مما تجعله من أنواع الغابات التي لا يمكن تعويضها في النظم البيئية الحساسة للبحر المتوسط (Fischer, 2008). استخدمت المحاكاة Simulation وبشكل شائع لمعالجة مجموعة متنوعة من الأسئلة البحثية المتعلقة بالموارد الطبيعية والتأثيرات على النظم البيئية قبل وبعد الحريق. وتستخدم تقنية محاكاة الحرائق الحراجية Forest Fire Simulation لفهم سلوك الحريق وحساب معدل انتشاره من نقطة الاشتعال (منطقة المنشأ) وأيضاً للتنبؤ به دون التعرض للاحتراق (Bodrožić et al., 2005)، ولقد شكلت نماذج المحاكاة المدمجة مع نظم المعلومات الجغرافية أداة فعالة في تطوير واختبار النماذج عبر المقاييس المكانية والزمانية وبالتالي سهولة دراسة سلوك الحرائق (Kanga et al., 2014). وهناك العديد من الدراسات التي اعتمدت على نماذج المحاكاة لفهم سلوك الحريق والتنبؤ به حيث تمكن Akyürek و Taüel (2005) من الحصول على السمات الأساسية لسلوك الحريق مثل شدة الحريق والاتجاه ومعدل الانتشار بواسطة نموذج المحاكاة FARSITE عند محاكاة أحد الحرائق التي حدثت في تركيا عام 2002. كما اعتمد Phillips و آخرون (2006) على خمس طبقات شبكية لكل من الارتفاع عن سطح البحر Elevation، المعرض Aspect، المنحدر Slope، نموذج الوقود Fuel Model و التغطية التاجية CanopyCover؛ لمحاكاة تأثيرات معالجات الوقود Fuel على سلوك الحريق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج FARSITE. كما اعتمد Yavuz و آخرون (2018) على العلاقة بين سرعة الرياح ونوع الوقود ومحتواه الرطوبي والمنحدر للتنبؤ بسلوك الحريق في غابة بياض في تركيا باستخدام نموذج FlamMap وتقنيات الاستشعار عن بعد Remote Sensing ونظم المعلومات الجغرافية Geographic Information System GIS. كما استخدم Palaiologou و آخرون (2020) طرق محاكاة حرائق الغابات لفهم سلوك الحريق وآلية انتشاره على مستوى المنظر الطبيعي بين قطع الغابات، وأنواع الأغذية الأرضية الأخرى (المناطق الزراعية، والأراضي العشبية) في جزيرة ليسفوس باليونان.

تتشكل المواقع الحراجية في محافظة اللاذقية من تجمعات حراجيه أهمها غابات الصنوبر البروتي حيث يشغل حوالي 50 ألف هكتار أغلبها ضمن غابات البايير والبسيط في محافظة اللاذقية وتعد النواة الحراجية الأساسية في سورية (نحال، 1982). يتميز الصنوبر البروتي بحساسيته العالية للحرائق والتي تشكل التهديد الرئيس لغاباته نظراً لتكرارها سنوياً. فقد التهمت الحرائق من الغابات بين عامين 2011- 2016 التي اندلعت خلال فترة الأزمة في شمال اللاذقية حوالي 16077 هكتار (Mahfoud, 2020)، وتعرضت محافظة اللاذقية عام 2020 لأكبر سلسلة من الحرائق، حيث تسببت هذه الحرائق

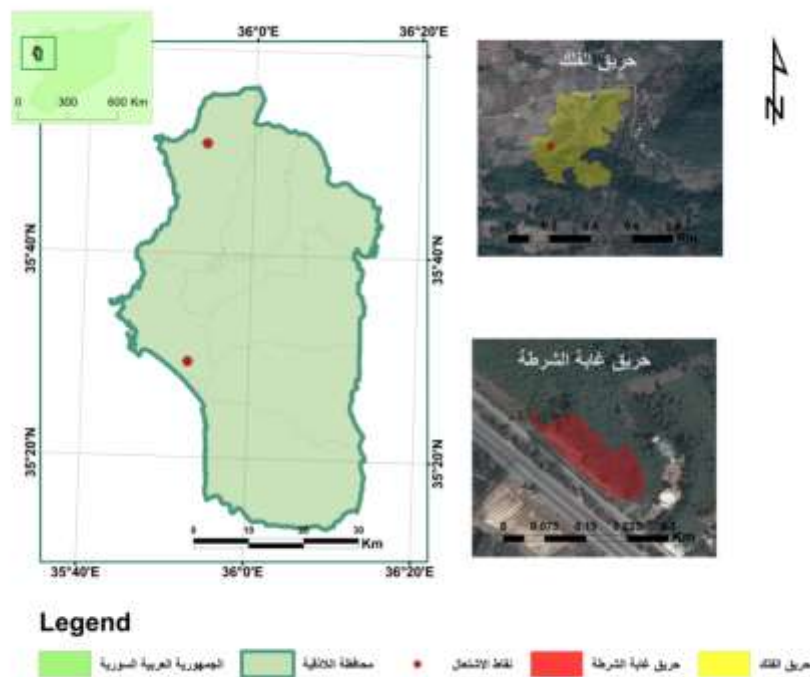
الهائلة في خسائر بشرية وأضرار في المنازل والبنى التحتية، وإحراق وتدمير مساحات شاسعة من الأراضي الحراجية والتي يقدر عددها بـ 114 حريق حراجي وبمساحة قدرها 5935.81 هكتار وفق سجلات دائرة الحراج في مديرية الزراعة في اللاذقية.

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك الحريق بالاعتماد على نموذج محاكاة الحريق المصمم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. حيث تعد هذه الدراسة الأولى من نوعها في سورية وتبرز أهميتها في تحليل وفهم أفضل لسلوك الحريق وانتشاره ضمن غابات الصنوبر البروتي وبالتالي إمكانية التخطيط لإخماد الحرائق، وتقليل انتشارها وإطفائها قبل أن تصل إلى حد حرج.

مواد البحث وطرقه:

منطقة الدراسة

تمت الدراسة في موقعين للصنوبر البروتي (طبيعي و تشجير اصطناعي في محافظة اللاذقية) تعرضا للحريق في صيف 2016 الشكل 1، الحريق الأول كان في غابة الشرطة الواقعة على بعد 8 كيلومترات من جنوب شرق مدينة اللاذقية، والحريق الثاني في موقع الفلك الواقع شمال غرب اللاذقية. بدأ حريق غابة الشرطة في 18 حزيران من نقطة الاشتعال التي إحداثياتها ($Y = 35.49$ ، $X = 35.878$) الواقعة بالقرب من حافة طريق رئيسي، التهمت النار 1.2 هكتار من الأراضي الزراعية والحراجية المشجرة بالصنوبر البروتي و استمر الحريق قرابة الساعة تحت تأثير رياح جنوبية ضعيفة حتى إخماده. بدأ حريق موقع الفلك في 07 آب من الوادي داخل الغابة من نقطة الاشتعال التي إحداثياتها ($Y = 35.847$ ، $X = 35.904$) وكانت المنطقة المحترقة حوالي 11 هكتار من الأراضي الزراعية والغابات الطبيعية للصنوبر البروتي، واستمر الحريق 5 ساعات حتى إخماده. علماً أن فرق إطفاء الحريق وصلت بعد 10 دقائق من اندلاع الحريق في كلا الموقعين. يسود في منطقة الدراسة المناخ المتوسطي الذي يتسم بفترات جفاف صيفية طويلة وشتاء ممطر.



شكل 1: مواقع الدراسة بالنسبة لمحافظة اللاذقية.

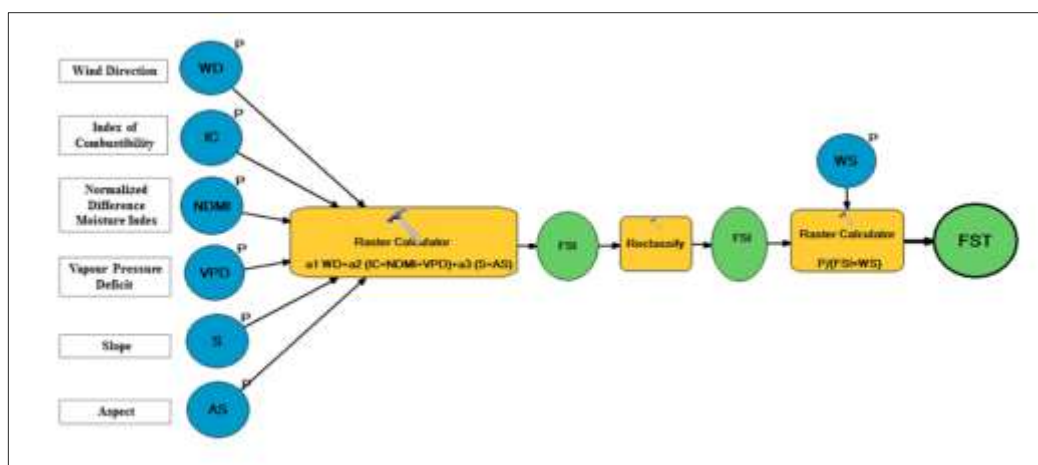
بيانات البحث

- بيانات عن الحريق المدروس (تاريخ وزمن بدء وإخماد الحريق، الامتداد المكاني للحريق، إحدائيات نقطة بداية الحريق، الغطاء النباتي الذي كان قبل الحريق، سرعة واتجاه الرياح). كل هذه البيانات من سجلات دائرة حراج اللاذقية 2016.
- خريطة استعمالات أراضي Land use (الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، 2011).
- الموديل الرقمي للارتفاع DEM لمحافظة اللاذقية بدقة مكانية 30 متر.
- صور جوية لمحافظة اللاذقية بدقة 0.5 متر لعامي 2011 و 2016 (الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، 2016).
- صور فضائية مأخوذة من التابع الصناعي لاندسات 8 بدقة 30 متر، حملت من الموقع الإلكتروني <https://earthexplorer.usgs.gov>. قبل حدوث كل من الحرائق في المواقع المدروسة (غابة الشرطة، الفلك) بالتواريخ التالية (2016/6/17، 2016/8/4) على التوالي.
- برنامج ArcGIS (version 10.3).

منهجية البحث

نموذج محاكاة سلوك الحريق

يوضح الشكل 2 هيكلية تصميم نموذج محاكاة سلوك الحريق باستخدام أداة بناء النموذج (Model Builder) في ArcGIS 10.3، من الناحية الهيكلية يتكون النموذج من مكونات لسلوك الحريق كمخرجات من النمط الشبكي (Raster) هي (مؤشر انتشار الحريق FSI، زمن انتشار الحريق FST).



شكل 2: هيكلية نموذج محاكاة حرائق الغابات المصمم في هذه الدراسة.

التصميم الرياضي لنموذج محاكاة حرائق الغابات المستخدم في الدراسة

مؤشر انتشار الحريق (FSI) Fire Spread Index

يعبر هذا المؤشر عن درجات خطر انتشار الحريق هو أداة مفيدة في خطط مكافحة الحريق ويمكن اعتبارها أداة مهمة للإنذار المبكر للحرائق، والذي حُسن بالاعتماد على نموذج Saadi و Missoum (2003)، المطبق على غابات البحر المتوسط في الجزائر والموضح بالمعادلة (1)، ويهدف محاكاة أكثر واقعية لغاباتها المحلية، وخاصة أن معظم مواقعنا الحراجية شديدة الانحدار وأكثر الحرائق خطورة تحدث في ظروف الطقس الأكثر جفافاً تم بناء النموذج المستخدم في هذا البحث كما في المعادلة (2).

$$F=a_1 WD + a_2 IC + a_3 MT \quad (1)$$

$$FSI=a_1 *WD+ a_2 *(IC+ NDMI+ VPD)+a_3 *(S+ AS) \quad (2)$$

$$0 < a_i < 1 \text{ \& } \sum_{i=1,3} a_i = 1$$

حيث أن: WD اتجاه الرياح، IC مؤشر قابلية الاحتراق، MT نموذج التضاريس الرقمي، NDMI مؤشر الاختلاف الرطوبي المطيع، VPD فرق الإشباع، S المنحدر، AS المعرض و ai معامل تتقيل.

زمن انتشار الحريق (FST) Fire Spread Time

تم حساب الزمن اللازم لانتشار الحريق FST الموضحة بالمعادلة (3) استناداً إلى قيم مؤشر انتشار الحريق FSI.

$$FST= P/ (FSI \times WS) \quad (3)$$

حيث: P طول ضلع البكسل، WS سرعة الرياح.

العوامل الداخلة في تصميم النموذج

الرياح Wind

للرياح دور محوري في انتشار الحريق (FAO, 2001)، و عندما تكون بسرعات عالية مترافقة مع الوقود Fuel الجاف تظهر تأثير مهيمن بشكل كبير على معدل انتشار حرائق الغابات (Cruz et al., 2020). تم تحديد الرياح حسب السرعة (WS) والاتجاه (WD)، هذه البيانات مأخوذة من سجلات دائرة الحراج في مديرية الزراعة في اللاذقية الجدول 1.

الجدول 1: بيانات الرياح الخاصة بالمواقع المدروسة.

اسم الحريق	تاريخ الحريق	اتجاه الرياح (WD)	سرعة الرياح (WS) Km/ h
الفلك	7/8/2016	غربية	15
الشرطة	18/6/2016	جنوبية	7

مؤشر قابلية الاحتراق (IC) Index of Combustibility

تعرف قابلية الاحتراق بأنها شدة الحريق المرتبطة بخصائص الغطاء النباتي دون مراعاة التضاريس والرياح، تسمح دراسة قابلية الاحتراق بتحديد أو تعريف أنواع الوقود ودورها وتأثير كل منها على سلوك الحريق (FAO, 2001). تم حساب مؤشر قابلية الاحتراق بالاعتماد على معادلة (4) وطريقة حسابها (Alexandrian, 1982).

$$IC = 39 + 0,23 BV (E1 + E2 - 7,18) \quad (4)$$

حيث:

BV: الحجم الحيوي لطبقات الغابة في الموقع، وهي تتضمن أربع طبقات، الطبقة السائدة، طبقة تحت الغابة، الطبقة العشبية، فرشاة الغابة، حيث تقدر درجة التغطية وفق سلم يتراوح من 0-10، في حال غياب أحد الطبقات تأخذ القيمة 0 وعندما تكون الطبقة تغطيتها عالية جداً تأخذ القيمة 10.

E1, E2: تمثلان درجة قابلية الاحتراق Combustibility للنوع السائد والنوع الذي يسود في طبقة تحت الغابة على التوالي، وتقدر هذه الدرجة للأصناف بقيم عددية من 1-8 حيث لكل نوع حراجي رقم خاص به.

مؤشر الاختلاف الرطوبي المطبق (NDMI) Normalized Difference Moisture Index

لتقدير المحتوى الرطوبي في الغابة تم الاعتماد على مؤشر (NDMI) المعرف بالمعادلة (5) (Sader and Jin, 2006) والذي حُسب بالاعتماد على صور فضائية تغطي الموقع المدروس مأخوذة من التابع الصناعي لاندسات 8 بدقة 30 م. تتراوح قيم NDMI بين 1- و 1+ وكلما قلت قيم المؤشر كلما قل المحتوى الرطوبي و بالتالي زادت قابلية وخطر انتشار الحريق.

$$NDMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR} \quad (5)$$

حيث أن:

NIR: الانعكاس في الأشعة تحت الحمراء القريبة، MIR: الانعكاس في الأشعة تحت الحمراء المتوسطة.

فرق الإشباع (VPD) Vapour Pressure Deficit

يمثل الفرق بين كمية الرطوبة في الهواء و مقدار الرطوبة التي يمكن أن يحتفظ بها الهواء عندما يكون مشبعاً، و الذي يعمل كمؤشر مناسب لإظهار التأثير التراكمي لانخفاض المحتوى الرطوبي في الهواء من تاريخ آخر هطل (يتجاوز 3 ملم) حتى تاريخ حدوث الحريق على انتشار الحريق، يمكن حساب ال VPD من المعادلة (6).

$$VPD = E_s - E \quad (6)$$

حيث أن: E_s ضغط بخار الماء المشبع، E ضغط بخار الماء الحقيقي في الغلاف الجوي.

الانحدار (S) Slope

تؤثر التضاريس على مجموعة متنوعة من جوانب سلوك الحريق حيث يسبب الانحدار تغيراً في نظام انتشار الحريق والسلوك المرتبط به (Silvani *et al.*, 2012)، تظهر هذه التغيرات من خلال إعاقه انتشار الحريق أو تنشيطه، والتي ترتبط بموضع نقطة الاشتعال بالنسبة لاتجاه الرياح و الانحدار.

تم اشتقاق المنحدر في هذه الدراسة من النموذج الرقمي للارتفاع (DEM) لمحافظة اللاذقية بدقة (30) متر، باستخدام أداة التحليل المكاني Spatial Analyst ضمن برنامج ArcGIS 10.3.

المعرض (AS) Aspect

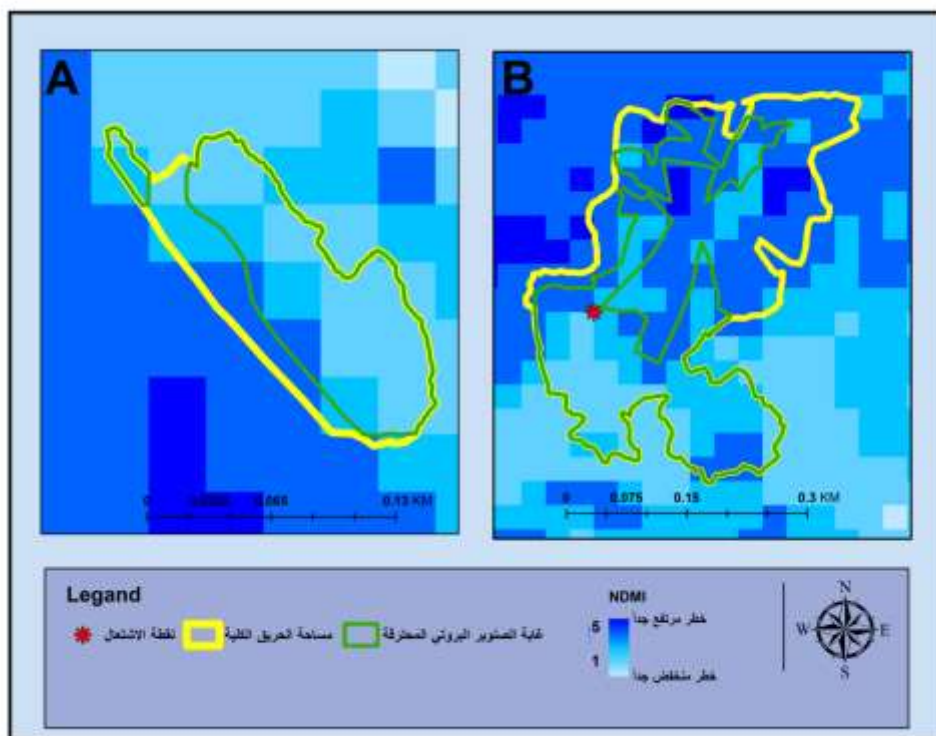
يظهر تأثير المعرض على سلوك الحريق من خلال تأثيره على كمية الإشعاع الشمسي ومقدار التسخين الذي تتلقاها المنطقة (Colak and Sunar, 2020) و التي لها تأثير مباشر على درجة الحرارة و رطوبة الوقود (Morales *et al.*, 2015) وبالتالي على قابلية احتراقه. يُشتق المعرض كما المنحدر أيضاً من نموذج الرقمي للارتفاع (DEM) باستخدام أداة Spatial Analyst ضمن برنامج ArcGIS 10.3.

النتائج:

المحتوى الرطوبي

تفاوت خطر المحتوى الرطوبي للصنوبر البروتي في كلا الموقعين بين المتوسط والمنخفض في تأثيره على سلوك الحريق الشكل 3، و يمكن ملاحظة أن خطر المحتوى الرطوبي داخل غابة الصنوبر البروتي منخفض وارتفع للخطر المتوسط على أطرافها بالقرب من الأراضي الزراعية و هذا قد يعود للكثافة العالية للغطاء النباتي داخل الغابة التي قللت من قيم التبخر-

نتح أو التعرض المباشر لأشعة الشمس وانخفاض هذه التغطية على الأطراف نتيجة كسرها بالأراضي الزراعية و انفتاح الغطاء التاجي و اختراق الشمس بشكل أكبر و بالتالي تجفيف الوقود بشكل أكبر وأسرع (, Cochrane, 2003; Sibanda, 2011).



شكل 3: مؤشر الاختلاف الرطوبي المطبق NDMI لموقعي غابة الشرطة (A) وغابة الفلك (B) حيث يمثل الرقم 1 درجة الخطر المنخفضة جداً والرقم 5 درجة الخطر المرتفعة جداً.

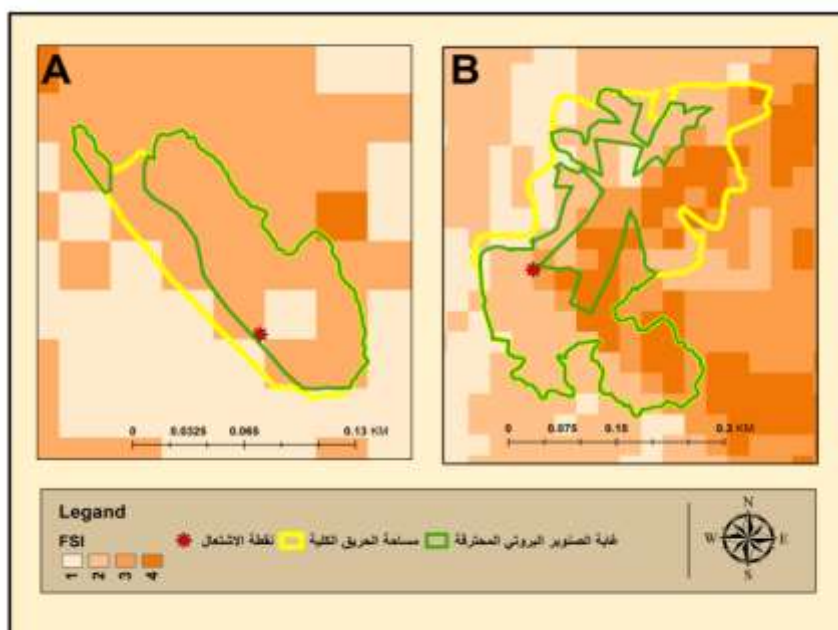
مؤشر انتشار الحريق FSI

تراوحت القيمة المحسوبة لـ FSI ضمن غابة الصنوبر البروتي في موقع الشرطة من 2.25 إلى 4.5 التي صنفت ضمن ثلاث فئات (منخفضة جداً و منخفضة و متوسطة) الجدول 2 وبدء الحريق من نقطة الاشتعال الواقعة ضمن البكسل ذو القيمة 4 وبالتالي بدأ بخطر منخفض واستمر بالانتشار بنفس درجة الخطورة وبشكل متجانس على نسبة 90% من مساحة غابة الصنوبر المحترقة الشكل A4، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تجانس معظم العوامل المدروسة والداخلية في حساب FSI، ومن الملاحظ ترافق انخفاض خطر الحريق في هذا الموقع مع ارتفاع خطر قابلية الاحتراق له نتيجة وجود الصنوبر البروتي الذي يحترق بسهولة باللهب ويشتعل بشكل شديد ومتطرف (Colak and Sunar, 2020). وبالرغم من قابلية الاحتراق العالية أيضاً نلاحظ انخفاض قيمة فرق الإشباع و انخفاض سرعة الرياح من جهة وارتفاع قيم الرطوبة النسبية من جهة أخرى، وفي مثل هذه الظروف الجوية المنخفضة تبقى الحرائق سطحية صغيرة أو حرائق تاجية متقطعة (Bessie and Johnson, 1995) وهذا ما يفسر انخفاض خطر الحريق لموقع غابة الشرطة.

الجدول 2: يوضح صفوف الخطر وفق قيمة FSI مؤشر انتشار الحريق و مساحة و نسبة المناطق حسب درجة الخطر في المواقع المدروسة.

درجة الخطر	FSI	الصف	موقع حريق غابة الشرطة		موقع حريق غابة الفلك	
			النسبة المئوية	المساحة (م ²)	النسبة المئوية	المساحة (م ²)
منخفضة جداً	2-2.5	1	9.7%	900	3%	1641.3
منخفضة	2.5-4.25	2	90%	8361.6	51%	29363.3
متوسطة	4.25-5.25	3	0.3%	26.1	27%	1554.4
عالية	5.25-6.25	4	-	-	19%	11014.1

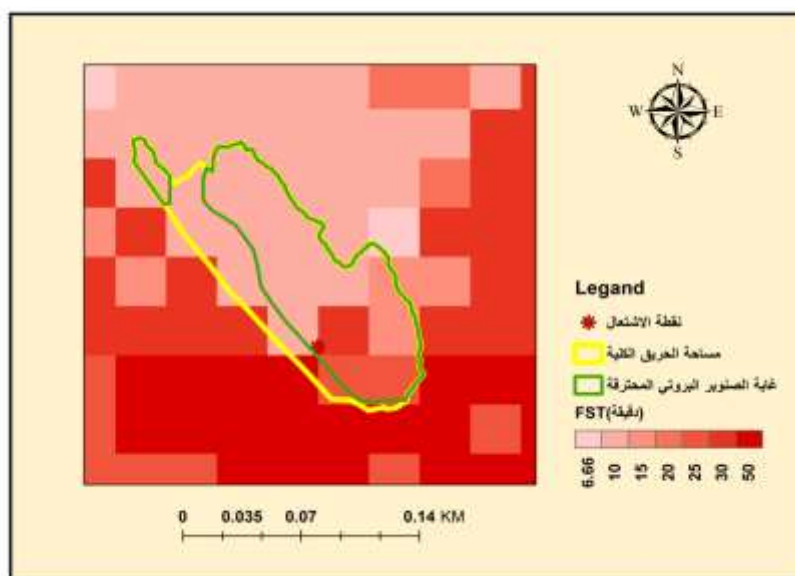
تراوحت القيمة المحسوبة لمؤشر انتشار الحريق لغابة الصنوبر البروتي في موقع الفلك من 2 إلى 5.75 التي صنفت ضمن أربع فئات (منخفضة جداً ومنخفضة ومتوسطة وعالية) الجدول 2. وبشكل مشابه لما وجدنا في موقع غابة الشرطة نلاحظ أن حوالي نصف غابة الصنوبر البروتي المحترقة في موقع الفلك انتشر فيها الحريق بخطر منخفض بالرغم من قابلية الاحتراق العالية نتيجة وجود الصنوبر البروتي والذي يفسر نتيجة تغير المعرض من الجنوبي إلى المعرض الغربي وأيضاً انتشر الحريق بخطر منخفض تحت تأثير المعرض الجنوبي لكن مع انخفاض درجة الانحدار إلى ما دون 20%. وفيما يخص درجات الخطر الأخرى الموضحة بالجدول 2 نلاحظ حوالي 36% من غابة الصنوبر البروتي المحروقة في موقع الفلك تفاوت انتشار الحريق فيها بين الخطر العالي والمتوسط الشكل B4 وبدء الحريق عند القيمة 5.1 وبالتالي بدء الحريق بالانتشار من خطر متوسط حول نقطة الاشتعال وارتفع هذا الخطر إلى خطر عالي مع انخفاض المحتوى الرطوبي في الجزء الخاضع لتأثير المعرض الجنوبي، وأيضاً مع زيادة الانحدار حتى 26% في الجزء الخاضع لتأثير المعرض الغربي وهذا يتفق مع ما ذكره Estes وآخرون (2017) بأن التعقيد الطبوغرافي يؤثر بشدة على سلوك الحريق حيث تزداد شدة الاحتراق مع زيادة الانحدار.



شكل 4: مؤشر انتشار الحريق FSI لموقعي غابة الشرطة (A) وغابة الفلك (B).

زمن انتشار الحريق FST

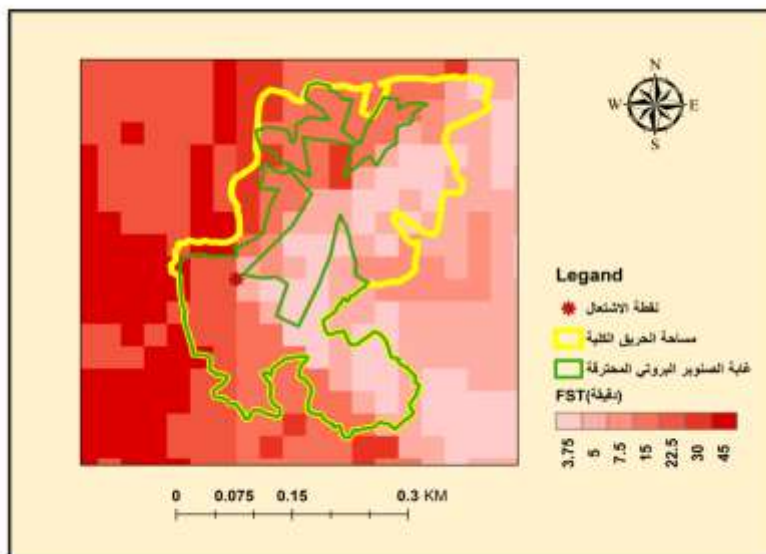
استغرق حريق غابة الشرطة لقطع كل بكسل زمن يتراوح ما بين (6.6 و 30) دقيقة الشكل 5 وحافظ الحريق على زمن ثابت في تقدمه باتجاه الشمال بدءاً من نقطة الاشتعال، و بمعدل انتشار 3 م/د وتتفق هذه النتيجة مع ما وجدته Bilgili (2006) وآخرون لمعدل انتشار الحريق ضمن الصنوبر البروتي في تركيا وضمن ظروف مماثلة تقريباً لظروف الحريق في هذا الموقع.



شكل 5: زمن انتشار الحريق FST في غابة الشرطة.

استغرق حريق غابة الفلك لقطع كل بكسل زمن يتراوح ما بين (3.7 و 45) دقيقة الشكل 6. وفي هذا الموقع يظهر بوضوح تأثير الانحدار على سلوك الحريق وانتشاره بشكل أسرع إلى أعلى المنحدر (Erten *et al.*, 2002; Linn *et al.*, 2010)، وذلك نتيجة بقاء اللهب في محاذاة المنحدر لفترة أطول مع زيادة الميل (Dupuy *et al.*, 2011)، خصوصاً في الجزء الجنوبي الشرقي للجزء المحروق من الغابة.

بالإضافة للانحدار نلاحظ تأثير المعرض بشكل واضح على سلوك الحريق، فعند نفس درجة الانحدار لوحظ تغير معدل انتشار الحريق ضمن غابة الصنوبر البروتي من 6 م/د تحت تأثير المعرض الغربي إلى 8 م/د عند تغير المعرض إلى الجنوبي وهذا يفسر كونه المعرض الأكثر دفئاً وأكثر عرضة للاشتعال (Erten *et al.*, 2002) ويتعرض للجفاف بشكل أسرع مما يزيد خطر الحريق (Çolak and Sunar, 2020).



شكل 6: زمن انتشار الحريق FST في غابة الفلك.

بالمقارنة بين الموقعين نلاحظ اختلاف معدل انتشار الحريق بينهما وذلك بسبب التباين في الرياح والانحدار وهذا يتوافق مع ما ذكره Linn و آخرون (2007) بأن معدلات انتشار الحريق في حالة المحاكاة على موقع عديم الانحدار أصغر من محاكاة الحريق عند انتشاره لأعلى المنحدر، وكذلك التباين المكاني بين الموقعين وفقاً لخريطة خطر حرائق الغابات في اللاذقية 2016، فإن موقع حريق غابة الفلك أخطر من موقع حريق غابة الشرطة، حيث مؤشر خطر حرائق الغابات (FFDI) Forest Fire Danger Index منخفض جداً في موقع الشرطة (معروف, 2018).

الاستنتاجات:

- فعالية نموذج المحاكاة المعتمد في هذا البحث في دراسة سلوك الحريق وتحديد معدل انتشاره في الغابات المدروسة.
- ارتفاع خطر مؤشر المحتوى الرطوبي على أطراف الغابة القريبة من الأراضي الزراعية، وهذا يظهر خطورة حرق المخلفات (البقايا) الزراعية بالقرب من الغابات وضرورة السيطرة عليه قبل وصوله إلى الغابة.
- ازداد معدل الانتشار بمقدار 1.33 مع تغير المعرض من الغربي إلى الجنوبي عند نفس درجة الانحدار.
- درجة خطر انتشار الحريق التي يبدأ عندها الاشتعال لها تأثير كبير على سلوكه.

التوصيات:

- اختبار النموذج لدراسة سلوك حرائق غابات الصنوبر البروتي في مواقع وظروف أخرى وغابات عريضات الأوراق والغابات المختلطة.
- الأخذ بعين الاعتبار أنشطة إخماد الحريق عند دراسة سلوك الحريق.

المراجع:

دائرة الحراج في محافظة اللاذقية (2016). سجلات حرائق الغابات في محافظة اللاذقية، مديرية الزراعة و الإصلاح الزراعي اللاذقية، سورية.

- معروف, يقظان (2018). إعداد خريطة خطر حرائق الحراج محافظة اللاذقية باستخدام الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير, كلية الزراعة, جامعة تشرين.
- نحال، إبراهيم (1982). الصنوبر البروتي وغاباته في سورية وبلاد شرقي المتوسط. سورية: منشورات جامعة حلب، كلية الزراعة. 228 صفحة.
- الهيئة العامة للاستشعار عن بعد. (2011). خريطة استعمالات أراضي (land use) لمحافظة اللاذقية.
- الهيئة العامة للاستشعار عن بعد. (2016). صور جوية لمحافظة اللاذقية.
- Akyürek, Z., and E. Taşel (2005). Wildfire simulation modeling using remote sensing and GIS integration for Marmaris-Çetibeli wildfire, Turkey. In New strategies for European remote sensing. Proceedings of the 24th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Dubrovnik, Croatia, 25-27 May 2004 (69-79 Pp). Millpress Science Publishers.
- Alexandrian D. (1982). Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation, CEMAGREF. 228: 31-39.
- Bessie, W. C.; and E. A. Johnson (1995). The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forests. Ecology. 76: 747-762.
- Bilgili, E. R.; B. D. Durmaz; B. L. Saglam; O. Kucuk; and I. Baysal (2006). Fire behaviour in immature calabrian pine plantations. Forest Ecology and Management. 234(1), S112
- Bodrožić, L.; J. Marasović; and D. Stipaničev (2005). Fire modeling in forest fire management. CEEPUS Spring School, Kielce, Poland.
- Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. Nature. 421: 913-919.
- Çolak, E.; and F. Sunar (2020). Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir. International journal of disaster risk reduction. 45: 101479.
- Cruz, M. G.; M. E. Alexander; P. M. Fernandes; M. Kilinc; and Â. Sil (2020). Evaluating the 10% w;lojhgfdind speed rule of thumb for estimating a wildfire's forward rate of spread against an extensive independent set of observations. Environmental Modelling & Software. 133:104818.
- Dupuy, J. L., J. Maréchal, D. Portier, and J. C. Valetten (2011). The effects of slope and fuel bed width on laboratory fire behaviour. International Journal of Wildland Fire. 20: 272-288.
- Erten. E.; V. Kurgum; and N. Mousaglu (2002). Forest Fire Risk Zone mapping from satellite imagery and GIS a case study. ResearchGate. 50: 1-7.
- Estes, B. L.; E. E. Knapp; C. N. Skinner; J. D. Miller; and H. K. Preisler. (2017). Factors influencing fire severity under moderate burning conditions in the Klamath Mountains, northern California, USA. Ecosphere, 8(5), e01794.
- FAO. International Handbook on Forest Fire Protection, Food & Agriculture Org, 2001.
- Fischer R.; M. Lorenz; M. Köhl; G. Becher; O. Granke; and A. Christou (2008). The Condition of Forests in Europe: 2008 executive report. United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution,

- International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests). P: 23
- Giglio, L.; J. T. Randerson; and G. R. Van Der Werf (2013). Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 118: 317-328.
- Gonçalves, A. C., and A. M. Sousa (2017). The fire in the Mediterranean region: a case study of forest fires in Portugal. *Mediterranean Identities-Environment, Society, Culture; Fuerst-Bielis. B., Ed*, 305-335.
- Kanga, S., L. K. Sharma; P. C. Pandey; and M. S. Nathawat (2014). GIS Modelling approach for forest fire risk assessment and management. *International Journal of Advancement in Remote Sensing, GIS and Geography*. 2: 30-44.
- Linn, R.; J. Winterkamp; C. Edminster; J. J. Colman; and W. S. Smith (2007). Coupled influences of topography and wind on wildland fire behaviour. *International Journal of Wildland Fire*. 16: 183-195.
- Linn, R. R., J. L. Winterkamp, D. R. Weise; and C. Edminster (2010). A numerical study of slope and fuel structure effects on coupled wildfire behaviour. *International Journal of Wildland Fire*. 19: 179-201.
- Mahfoud, I. (2020). The Impact of Syrian Crisis on the Forestry Areas in North Latakia Governorate. *Syrian Journal of Agricultural Research*. 7(4): 467-477.
- Morales, J. M.; M. Mermoz; J. H. Gowda; and T. Kitzberger (2015). A stochastic fire spread model for north Patagonia based on fire occurrence maps. *Ecological Modelling*. 300:73-80
- Moreira, F., D. Ascoli , H. Safford; M. A. Adams , J. M. Moreno; J. M. Pereira; ... and P. M. Fernandes (2020). Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. *Environmental Research Letters*, 15(1), 011001.
- Palaiologou, P., K. Kalabokidis; A. A. Ager; and M. A. Day (2020). Development of Comprehensive Fuel Management Strategies for Reducing Wildfire Risk in Greece. *Forests*. 11: 789.
- Phillips, R. J.; T. A. Waldrop; and D. M. Simon (2006). Assessment of the FARSITE model for predicting fire behavior in the southern Appalachian Mountains. In *Proceedings of the 13th biennial Southern Silvicultural Research Conference*. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 521-525.
- Sader, S. A.; and S. Jin (2006). Feasibility and accuracy of MODIS 250m imagery for forest disturbance monitoring. In *ASPRS Annual Conference*, Reno.
- Saidi, A.; and A. Missoumi (2003). The use of the GIS into the forest fire prediction-the simulation model, In *V: 2nd Forest engineering conference*, Vaxjo, Sweden.
- Scott, J.H. (2012). *Introduction to wildfire behavior modeling*. National Interagency Fuel, Fire, & Vegetation Technology Transfer.
- Sibanda, C. (2011). *Modelling forest fire behaviour and carbon emission in the Ludikhola Watershed, Gorkha District, Nepal* (Master's thesis, University of Twente).
- Silvani, X.; F. Morandini; and J. L. Dupuy (2012). Effects of slope on fire spread observed through video images and multiple-point thermal measurements. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 41, 99-111.

Yavuz, M., B. Sağlam; Ö. Küçük; and A. Tüfekçioğlu (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18: 171-188.

Studying the *Pinus brutia* Ten. forest fire behavior in Lattakia (Syria) using Geographic Information System

Lama Ehssan*⁽¹⁾ Ilene Mahfoud⁽¹⁾ Wael Ali⁽¹⁾, and Ahmed Saidi⁽²⁾

(1) Ecology and Forestry department, Faculty of Agriculture Engineering, Tishreen University, Lattakia-Syria.

(2) Algerian space agency, Space Technology Center, Arzew- Algeria.

(*Corresponding author Lama Ehssan. E-Mail: ehssan.lama@gmail.com)

Received: 30/09/2021

Accepted: 9/12/2021

Abstract

This research aimed to study the fire behavior of two *Pinus brutia* forests in Lattakia Alshorttah and Alfollk forest, These forests were affected by fires during the summer of 2016. Depending on the Fire Spread Index (FSI) and the Fire Spread Time (FST) as the main outputs of the fire simulation model, which was designed by ArcGIS 10.3 software, based on the following parameters: Wind Speed (WS), Wind Direction (WD), Index of Combustibility (IC), Vapor Pressure Deficit (VPD) and in addition to the Normalized Difference Moisture Index (NDMI), Slope (S), and Aspect (AS). The results showed that the fire behavior was affected by the degree of fire spread danger at the ignition point, also showed an increase in fire spread rate with the change of the west aspect to the south one at the same degree of slope. It was also noted, that the Fire Spread Index danger was increased due to the Moisture Content Index danger increasing on the edges of the forest near the agricultural lands. We conclude from this study the efficiency of designed model for studying fire behavior and determinate the spread rate in the studied forests.

Keywords: Fire Behavior, *Pinus brutia*, Fire Simulation Model, Fire Spread Index, GIS.