تأثير شدة الحريق على العلاقة بين الكثافة والتنوع المورفولوجي للمجتمعات الميكروبية

د. راما داود

مدرس، قسم الحراج والبيئة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سوريا،

ramadaoud91@yahoo.com

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير شدة الحريق على الكثافة الميكروبية والتنوع المورفولوجي للمجتمعات البكتيرية في تربة محمية الأرز والشوح، بالاعتماد على مؤشر العدّ البكتيري (CFU/g) وتحليل الخصائص المورفولوجية للمستعمرات. أظهرت النتائج فروقًا معنوية واضحة في الكثافة الميكروبية تبعًا لشدة الحريق، حيث سُجلت أعلى قيمة في التربة منخفضة الشدة(1.6×10^6 CFU/g) ، تلتها التربة عالية الشدة(5.5×10^5 CFU/g) ، بينما سُجلت أدنى قيمة في التربة غير المحروقة (3.8×10^5 CFU/g). كما بيّنت النتائج أن التربة منخفضة الشدة تتميز بتنوع مورفولوجي مرتفع يعكس نشاطًا ميكروبيًا ديناميكيًا، في حين سادت في التربة عالية الشدة مستعمرات متحملة للإجهاد، مترافقة مع انخفاض ملحوظ في التنوع. بالمقابل، أظهرت التربة غير المحروقة تنوعًا مورفولوجيًا جيدًا رغم انخفاض الكثافة العددية، مما يشير إلى حالة من الاستقرار البيئي النسبي. تؤكد هذه النتائج أن شدة الحريق تُعد عاملًا حاسمًا في إعادة تشكيل بنية ووظيفة المجتمعات الميكروبية، بما يؤثر على مسارات التعافي البيئي وكفاءة العمليات الحيوية في التربة بعد الحريق.

الكلمات المفتاحية: الترب الغابوية المحروقة؛ الكثافة الميكروبية؛ التنوع المورفولوجي، شدة الحريق؛ غابات الأرز والشوح، النظم البيئية المتوسطية.

Effect of Fire Severity on the Relationship Between Density and Morphological Diversity of Microbial Communities

Dr. Rama Daoud
Assistant Professor, Department of Forestry and Environment, Faculty of Agriculture, Latakia University, Syria, E-Mail
ramadaoud91@yahoo.com

Abstract

This study aimed to evaluate the impact of fire severity on microbial density and morphological diversity of bacterial communities in soils of a cedar–fir forest reserve. Bacterial abundance was assessed using colony-forming units (CFU g□¹), coupled with morphological characterization of colonies. The results revealed significant differences in microbial density across fire severity levels, with the highest values recorded in low-severity soils (1.6 × 10□ CFU g□¹), followed by high-severity soils (5.5 × 10□ CFU g□¹), while the lowest values were observed in unburned soils (3.8 × 10□ CFU g□¹). Low-severity soils exhibited high morphological diversity, indicating active and dynamic microbial communities. In contrast, high-severity soils were dominated by stress-tolerant colonies, accompanied by a marked reduction in diversity. Unburned soils, despite their lower microbial density, maintained relatively high morphological diversity, suggesting a stable ecological condition. Overall, the findings highlight fire severity as a key driver shaping the structure and functional potential of soil microbial communities, with important implications for post-fire ecosystem recovery and soil biological processes.

Keywords: Post-fire soil; Microbial abundance; Morphological diversity; Fire severity; Cedar–fir forest; Mediterranean ecosystems.

المقدمة

تعتبر حرائق الغابات من أهم الاضطرابات البيئية التي تُحدث تغيّرات عميقة في خصائص التربة المختلفة (الفيزيائية، الكيميائية والبيولوجية)، مما ينعكس بشكل مباشر على بنية ووظيفة النظم البيئية الأرضية. إذ تؤثر الحرائق على دورة الكربون من خلال احتراق المادة العضوية، وكذلك عبر تأثيرها في المجتمعات الميكروبية المسؤولة عن التحلل وتنظيم العمليات البيوجيوكيميائية (Pellegrini *et al*., 2020؛ Pressler *et al*., 2019).كما تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى انخفاض الكتلة الحيوية الميكروبية وحدوث تغيّرات ملحوظة في بنية المجتمع الميكروبي ووظائفه (Holden & Treseder, 2013؛ Dooley & Treseder, 2012) .

تُظهر الدراسات الحديثة أن تأثيرات الحريق تكون أكثر وضوحًا في المرحلة المبكرة بعد الحريق، حيث يحدث انخفاض كبير في النشاط الميكروبي، خاصة تحت شدة الحريق المرتفعة، مع اختلاف مسارات التعافي تبعًا لشدة الحريق والظروف البيئية(Dove & Hart, 2017؛ Whitman *et al*., 2019). كما تُعد شدة الحريق عاملًا حاسمًا في تحديد استجابة المجتمع الميكروبي، إذ تؤثر في تركيبه وتفاعلاته الداخلية، وقد تُعيد تشكيل أنماط التنوع الميكروبي (Pressler *et al*., 2019).

تشير الدراسات السابقة إلى أن مؤشر تعداد غزارة الجراثيم المعتمد على وحدات تكوين المستعمرات (CFU) يُعد من أكثر الأدوات التقليدية دقة في تتبّع استجابة المجتمعات الميكروبية للتربة بعد الحريق، نظراً لقدرته على تمثيل الجزء النشط وظيفيًا والقابل للنمو من هذه المجتمعات. فقد بينت دراسة ميدانية طويلة الأمد في غابات البحر الأبيض المتوسط أن الحريق يؤدي إلى تراجع حاد وفوري في قيم CFU لكل من البكتيريا والفطريات، يلي ذلك تعافٍ تدريجي خلال مراحل ما بعد الحريق، إلا أن الكتلة الحيوية تبقى دون مستويات التربة غير المحروقة حتى بعد مرور أكثر من عامين، مما يعكس الأثر الممتد للحريق على النشاط الحيوي للتربة. كما أظهرت دراسات تجريبية تعتمد على المعالجة الحرارية للتربة بوصفها محاكاة مباشرة لظروف الحريق أن أعداد الكائنات الدقيقة القابلة للزرع تتأثر بشدة بدرجة الحرارة؛

إذ تُستبعد الأنواع الحساسة للحرارة بينما تبقى الأنواع المقاومة، الأمر الذي يؤدي إلى إعادة تشكيل بنية المجتمع الميكروبي وتعديل استجابته الوظيفية، وهو ما يظهر بوضوح في قيم CFU المسجلة (Bárcenas–Moreno *et al.*, 2011).

وفي إطار أوسع، توضح دراسات ميدانية أخرى أن الحريق يسبب تغيرات فورية في تركيب المجتمع الميكروبي ووظائفه البيئية، بما في ذلك النشاط الحيوي ودورة العناصر الغذائية، نتيجة فقدان المادة العضوية وتبدل الظروف الفيزيائية والكيميائية للتربة. وتتوافق هذه التغيرات مع الأنماط المرصودة للكائنات القابلة للزرع باستخدام طريقة العد البكتيري CFU (Goberna et al., 2012).

وتشير الدراسات الحديثة كذلك إلى أن استعادة الوظائف البيئية بعد الحريق ترتبط بشكل وثيق بقدرة المجتمعات الميكروبية على التعافي، نظراً لدورها الأساسي في عمليات التحلل ودورة المغذيات. ومن هنا تبرز أهمية استخدام مؤشرات كمية مثل CFU عند دمجها مع مؤشرات وظيفية كالنشاط الإنزيمي أو كفاءة التحلل السليلوز للحصول على تقييم متكامل للكفاءة البيولوجية للتربة (Pressler *et al.*, 2019).

يلعب المجتمع الميكروبي دورًا محوريًا في استعادة الوظائف البيئية بعد الحريق، حيث ترتبط كثافة الكائنات الدقيقة (CFU/g) بالنشاط الأيضي وقدرة التربة على استعادة كفاءتها البيولوجية. ومع ذلك، تشير الدراسات السابقة إلى أن المؤشرات الكمية وحدها غير كافية لتفسير ديناميكيات التعافي، إذ إن التغيرات في الصفات المورفولوجية والتنوع البنيوي تعكس استجابات تكيفية معقدة للظروف البيئية بعد الحريق (Rousk *et al.*, 2010؛ Bárcenas–Moreno & Bååth, 2009). إضافةً إلى ذلك، يُعدّ التنوع الميكروبي والكتلة الحيوية من المؤشرات الأساسية لحيوية النظام البيئي. وقد أظهرت دراسات حديثة أن بعض مكونات المجتمع الميكروبي قد تتعافى بسرعة، بينما تستغرق الوظائف البيئية المرتبطة بها وقتًا أطول، خاصة في حالات الحريق عالي الشدة (Whitman *et al.*,2019 ؛ Pellegrini & Jackson, 2020). كما تلعب التفاعلات بين الكتلة الحيوية والتنوع ضمن المجتمع الميكروبي

والعوامل البيئية دورًا رئيسيًا في تحديد مسار التعافي البيولوجي للتربة (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2020).

على الرغم من هذا التقدم، لا تزال العلاقات التفاعلية بين الكثافة الميكروبية، والصفات المورفولوجية، والتنوع الحيوي غير مفهومة بشكل كافٍ، خاصة عند تحليلها بشكل متكامل عبر تدرجات شدة الحريق. كما أن دمج المؤشرات الكمية مثل (CFU/g) مع المؤشرات البنيوية والوظيفية مثل كفاءة التحلل لا يزال يمثل فجوة بحثية مهمة في دراسات ما بعد الحريق (Pellegrini *et al.*, 2020).

تلعب الصفات المورفولوجية (Phenotypic or morphological traits) للمستعمرات البكتيرية دوراً هاماً إلى جانب المؤشرات الكمية والوظيفية مثل غزارة الجراثيم ومعدل التحلل السيللوز، حيث تُعد أداة نوعية فعالة في تقييم الكفاءة الحيوية للتربة، خاصة في البيئات المتأثرة بالاضطرابات مثل الحرائق، وتعكس هذه الصفات بشكل غير مباشر الخصائص الفسيولوجية والوظيفية للكائنات الدقيقة، حيث ترتبط بأنماط التكيف البيئي واستراتيجيات البقاء. كما أن تنوع الصفات المورفولوجية للمستعمرات من حيث اختلاف أشكال المستعمرات وبنيتها يُستخدم كمؤشر على التنوع الميكروبي، والذي يرتبط بشكل وثيق بالكفاءة الحيوية للتربة، حيث تشير الدراسات إلى أن زيادة التنوع الميكروبي تعكس تنوعّاً وظيفيّاً أعلى، مما يعزز من استقرار النظام البيئي وقدرته على أداء وظائفه الحيوية مثل التحلل العضوي ودورة العناصر الغذائية ومن ناحية أخرى، فإن بعض الصفات المورفولوجية ترتبط بالنشاط الوظيفي، فعلى سبيل المثال فإن المستعمرات المخاطية (mucoid colonies) ترتبط بإنتاج المواد البوليمرية خارج الخلوية Extracellular Polymeric Substances (EPS)، والتي تلعب دورًا مهماً في تحسين بنية التربة وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء (Flemming & Wingender, 2010).

انطلاقًا من ذلك، **تهدف هذه الدراسة** إلى تحليل التفاعلات بين الكثافة الميكروبية(CFU/g) ، والتنوع المورفولوجي، والكتلة الحيوية، وتقييم دورها في تفسير أنماط تعافي التربة بعد الحريق عبر تدرجات شدة

الحريق. ويسعى هذا النهج المتكامل إلى تقديم فهم أعمق للآليات البيولوجية التي تحكم استجابة التربة للحرائق، والمساهمة في تطوير مؤشرات أكثر دقة لتقييم استعادة الوظائف البيئية في النظم المتأثرة.

مواد وطرائق البحث

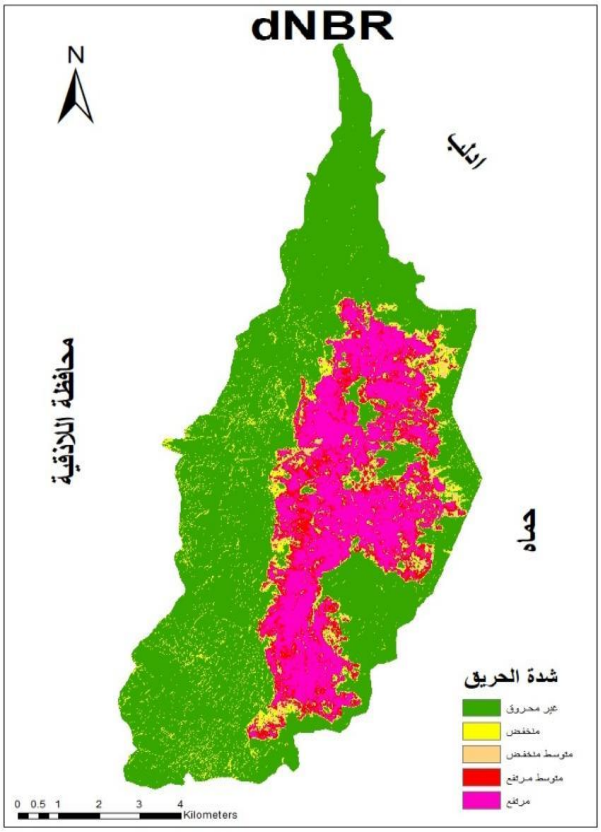
منطقة الدراسة

أُجريت هذه الدراسة على تربة نظام حرجي متوسطي (محمية الأرز والشوح)، والمتأثر بحريق عام 2020. تقع محمية الأرز والشوح في الجبال الساحلية شمال غرب سورية على السفحين الغربي والشرقي لجبل النبي متى التابعة إدارياً لناحية صلنفة في محافظة اللاذقية، و ترتفع عن سطح البحر من 900 – 1560 م، السفح الشرقي عالي الانحدار وتصل درجة انحداره إلى 35 درجة، بينما تتراوح درجة انحدار السفح الغربي بين 20 و27 درجة.

تتميز المنطقة بمناخ متوسطي (صيف جاف وحار، شتاء معتدل ممطر)، وتربة غابوية غنية بالمواد العضوية غير المفككة على الارتفاعات العالية عن سطح البحر ولذلك تسمى تربة دبالية كربوناتية، أما على ارتفاع منخفض فتأخذ شكل تربة بنية متوسطية (Biodiversity Conservation and Protected Areas Management Project, 2004) ، تحوي على نسبة عالية من الدبال ويتفاوت عمقها بين 15 سم وحتى 1 م، وفي كثير من المناطق تظهر الصخرة الأم الكلسية القاسية (Ruqayyah et al., 2006) .

جمع العينات

تم تحديد مواقع أخذ العينات بالاعتماد على خريطة التوزع المكاني ومستويات شدة الحريق عام 2020 في محمية الأرز والشوح، وذلك استناداً إلى نتائج دراسة(Karmo et al., 2022) ، والتي أظهرت تبايناً مكانياً واضحاً في شدة الحريق ضمن المحمية، حيث تركزت الشدات المرتفعة في السفح الشرقي، في حين سُجّلت شدات منخفضة إلى معدومة في السفح الغربي (الشكل 1). وبناءً على ذلك، جرى اختيار مواقع أخذ العينات بما يضمن تمثيل هذا التباين.



شكل 1. مستويات شدة حريق 2020 والتوزع المكاني له في محمية الأرز والشوح

تم جمع 12 عينة تربة خلال عام 2023 من المناطق المحروقة في السفح الشرقي، بمعدل مكررين لكل موقع، وبوزن يقارب 10 كغ للعينة الواحدة، بما يضمن تغطية مختلف مستويات شدة الحريق المحددة سابقاً. ولأغراض المقارنة وتقييم درجة التدهور في المؤشرات البيولوجية المدروسة، تم أيضاً جمع عينات شاهد من مناطق غير محروقة ضمن السفح ذاته.

أُخذت العينات من الطبقة السطحية للتربة (0–10 سم)، نظراً لكونها الأكثر تأثراً بالعوامل البيئية الخارجية، وخاصة في النظم البيئية الغابوية. وبعد الجمع، حُفظت العينات في أكياس بلاستيكية

مخصصة، مع تزويد كل عينة ببطاقة تعريفية تتضمن اسم الموقع وإحداثياته الجغرافية. كما تم تسجيل إحداثيات جميع نقاط أخذ العينات بدقة، كما هو موضح في (الجدول 1).

جدول 1. نقاط أخذ عينات الدراسة واحداثياتها

رقم العينة	نوع العينة من حيث شدة الحريق	الاحداثيات
1	غير محروق (None)	35°59'71.447"N 35° 22'59.471"E
2	غير محروق (None)	35°36'50.0"N 36° 15'30.6"E
3	مرتفع (High)	35°59'39.77850"N 36° 22'73.3810"E
4	مرتفع (High)	35°31'26.4"N 35° 49'37.7"E
5	منخفض(Low)	35°59'38.8662"N 36° 22'66.8605"E
6	منخفض(Low)	35°59'30.470"N 36° 22'69.2202"E

الدراسة المخبرية

- **تقدير الكثافة الميكروبية(Microbial Density – CFU/g)**

تم تقدير الكثافة الميكروبية باستخدام طريقة العدّ على الأطباق (Plate Count Method) وهي من الطرق المعتمدة في علم الأحياء الدقيقة (Jett et al., 1997). حيث تم تحضير سلسلة تخفيفات عشرية (10^{-1} إلى 10^{-5}) من التربة المدروسة باستخدام محلول ملحي معقم (كلوريد الصوديوم

NaCl بتركيز 0.9 %)، ثم تم رج المعلق لعدة دقائق لضمان التجانس وبعد ذلك أُخذ حجم 100 ميكرو لتر (0.1 مل) من التخفيفات المختارة (10^{-3} و10^{-5}) و زُرعت على وسط Nutrient Agar (NA) بوصفه وسطاً زرعياً عاماً وغير انتقائي، يتيح نمو طيف واسع من البكتيريا غير المتخصصة (heterotrophic bacteria) القابلة للزرع في الظروف المخبرية و بمعدل مكررين لكل عينة (2*12) عند كل تخفيف ثم حُضنت الأطباق عند درجة حرارة 37°م لمدة 48 ساعة وبعد انتهاء فترة التحضين، أُحصي عدد المستعمرات النامية في الأطباق التي تحتوي بين 30–300 مستعمرة، : تم حساب عدد البكتيريا لكل غرام من التربة الجافة (CFU/ g dry soil) وفق المعادلات الآتية:

$$\mathrm{CFU/g} = \frac{\text{Number of colonies} \times \text{ Dilution factor}}{\text{Plated volume (mL)} \times \text{Soil weight (g)}}$$

حيث:

- Number of colonies: عدد المستعمرات
- Dilution factor: معامل التخفيف
- Plated volume (mL): حجم اللقاح المزروع
- Soil weight (g): وزن عينة التربة

$$\mathrm{CFU/g\ dry\ soil} = \frac{\mathrm{CFU/g\ fresh\ soil}}{1 - \text{soil moisture fraction}}$$

تحديد الصفات المورفولوجية(Morphological Characterization)

تم توصيف المستعمرات الميكروبية بناءً على خصائصها المورفولوجية، بما في ذلك الشكل، اللون، الحافة، الارتفاع، والملمس. استُخدمت هذه الصفات لتقدير التنوع المورفولوجي كمؤشر على بنية المجتمع الميكروبي، حيث تم حساب عدد الأنماط المورفولوجية المختلفة في كل عينة.

نتائج البحث

- **تغير الكثافة الميكروبية في تربة محمية الأرز والشوح بحسب شدة الحريق**

تشير نتائج العدّ البكتيري (CFU/g) إلى وجود اختلاف واضح في كثافة المجتمعات الميكروبية تبعًا لشدة الحريق. حيث سُجلت أعلى قيمة في التربة التي تعرضت لحريق منخفض الشدة (LBS) $1.78*10^7$ CFU/g dry soil، تليها التربة عالية الشدة (HBS) بقيمة $6.11*10^6$ CFU/g dry soil ، بينما أظهرت التربة غير المحروقة (NBS) أدنى كثافة بكتيرية $4.22*10^6$ CFU/g dry soil .

يمكن تفسير هذه النتائج بأن الحرائق منخفضة الشدة قد تساهم في تحفيز النشاط الميكروبي من خلال زيادة توفر المواد العضوية القابلة للتحلل والعناصر الغذائية الناتجة عن الاحتراق الجزئي، مما يعزز نمو الكائنات الدقيقة. في المقابل، تؤدي الحرائق عالية الشدة إلى تأثيرات حرارية مباشرة قد تسبب انخفاضًا في الكتلة الميكروبية بسبب قتل نسبة من الأحياء الدقيقة أو تغيير خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية. ومع ذلك، فإن بقاء النشاط البكتيري في التربة عالية الشدة يشير إلى قدرة بعض الكائنات الدقيقة على التحمل أو إعادة الاستعمار السريع.

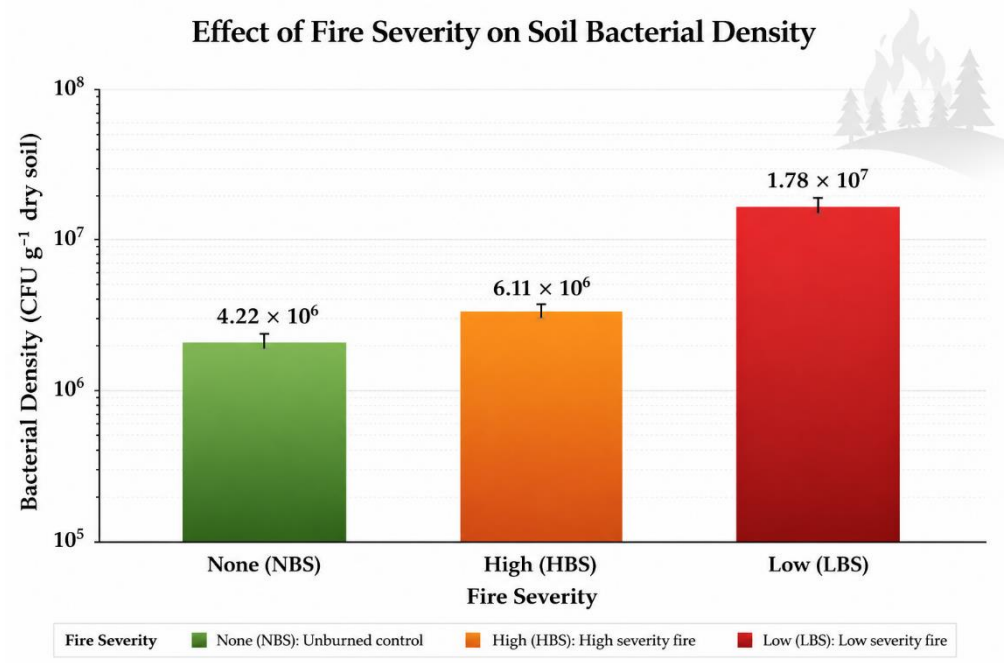
أما الانخفاض النسبي في التربة غير المحروقة فقد يعكس استقرارًا بيئيًا مع محدودية توفر المواد العضوية السهلة التحلل مقارنةً بالتربة المتأثرة بالحريق. بشكل عام، تؤكد هذه النتائج أن شدة الحريق تُعد عاملاً حاسمًا في تشكيل بنية ووظيفة المجتمعات الميكروبية في التربة، وهو ما ينعكس على الكفاءة البيولوجية وديناميكية النظم البيئية بعد الحرائق.

وتتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات العالمية التي أشارت إلى أن الحرائق منخفضة الشدة قد تحفّز النشاط والكثافة البكتيرية نتيجة زيادة توفر المغذيات الناتجة عن الرماد والتحلل الجزئي للمادة العضوية، في حين تؤدي الحرائق عالية الشدة إلى انخفاض الكثافة الميكروبية بسبب التأثير الحراري المباشر وفقدان المادة العضوية. فقد أشار الباحثون إلى حدوث زيادة مؤقتة في بعض المجموعات البكتيرية بعد الحرائق منخفضة الشدة في غابات البحر المتوسط والنظم الغابية الصنوبرية، نتيجة تحسن توفر الكربون والعناصر المعدنية في التربة.

كما تتوافق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسات أجريت في النظم البيئية المتوسطية في إسبانيا وإيطاليا والولايات المتحدة، والتي بينت أن التأثير الإيجابي للحريق منخفض الشدة على المجتمعات

البكتيرية يكون غالبًا مؤقتًا ويرتبط بزيادة النشاط الأيضي للكائنات الدقيقة بعد الحريق مباشرة. بالمقابل، أظهرت الدراسات أن الحرائق الشديدة تسبب تراجعًا واضحًا في الكتلة الحيوية الميكروبية والتنوع البكتيري نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وتغير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة.

وتدعم هذه النتائج أيضًا ما ورد في أبحاث Certini (2005) و Bárcenas-Moreno et al. (2011) و Hart et al. (2005)، التي أكدت أن استجابة المجتمعات الميكروبية للحريق تعتمد بدرجة كبيرة على شدة الحريق، وخصائص التربة، ومدة الزمن بعد الحريق، حيث يمكن أن يعمل الحريق منخفض الشدة كمحفّز للنشاط الميكروبي، بينما يؤدي الحريق الشديد إلى تثبيط أو تدهور النشاط الحيوي للتربة.



(CFU – Colony-Forming Unit)

شكل 2. تغيير الكثافة الميكروبية في تربة محمية الأرز والشوح بحسب شدة الحريق

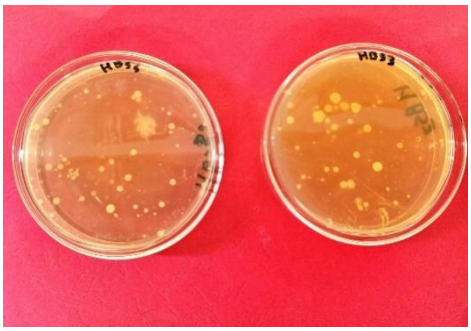
- **العلاقة بين الكثافة والصفات المورفولوجية في تحديد الاستجابة الميكروبية في التربة بحسب شدة الحريق**

أظهر الربط بين الصفات المورفولوجية للمستعمرات في الأطباق المدروسة (الأشكال 3، 4، 5) ونتائج العدّ البكتيري (CFU/g) وجود تباين واضح في البنية العامة للمجتمع الميكروبي القابل للزرع تبعاً لشدة الحريق. فقد ارتبطت التربة المتأثرة بحريق منخفض الشدة (LOW) بارتفاع نسبي في قيمCFU/g ، بالتوازي مع ظهور تنوع مورفولوجي واضح في المستعمرات من حيث الحجم والشكل، مما قد يشير إلى توفر ركائز عضوية سهلة التحلل ناتجة عن الاحتراق الجزئي، وبالتالي دعم نشاط مجموعات ميكروبية متعددة القابلية للنمو.(Dooley & Treseder, 2012)

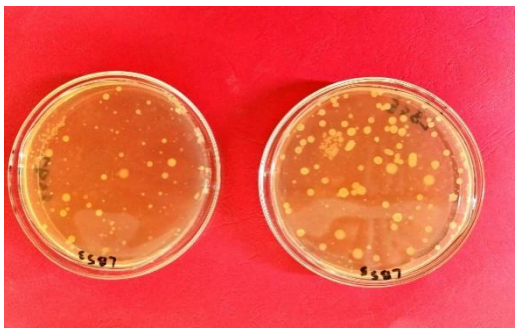
في المقابل، أظهرت التربة المتأثرة بحريق عالي الشدة (HIGH) انخفاضاً ملحوظاً فيCFU/g ، مع هيمنة مستعمرات ذات صفات مورفولوجية محدودة مثل القوام الجاف أو الخيطي، وهي أنماط غالباً ما ترتبط بمجموعات ميكروبية متحملة للإجهاد مثل الأكتينوبكتيريا، مما يعكس حالة من الانتقاء البيئي لصالح كائنات أكثر مقاومة للظروف القاسية، وبالتالي انخفاض التنوع الظاهري للمجتمع القابل للزرع (Allison & Martiny, 2008; Barka et al., 2016).

أما التربة غير المحروقة(NONE) ، وعلى الرغم من تسجيلها أدنى قيمCFU/g ، فقد أظهرت تنوعاً مورفولوجياً أكبر نسبياً في المستعمرات، مما قد يعكس مجتمعاً ميكروبياً أكثر توازناً واستقراراً وظيفياً، يعتمد على تنوع المجموعات القابلة للزرع أكثر من اعتماده على الكثافة العددية وحدها (Torsvik & Øvreås, 2002; Flemming & Wingender, 2010).

وبشكل عام، فإن الاختلافات المورفولوجية المسجلة لا تُفسَّر على أنها تغير في الصفات التصنيفية للأنواع البكتيرية، وإنما تُعد انعكاساً لاختلاف تركيب المجتمع الميكروبي القابل للزرع بين المواقع المدروسة، والذي يتأثر بشدة الحريق من خلال تأثيره على توفر الموارد والضغط الانتقائي في البيئة.



شكل (3) نمو المستعمرات البكتيرية في العينات التي تعرضت لحريق مرتفع الشدة



شكل (4) نمو المستعمرات البكتيرية في العينات التي تعرضت لحريق منخفض الشدة



شكل (5) نمو المستعمرات البكتيرية في العينات غير المحروقة



شكل (6) المستعمرات الجافة في ا لعينات التي تعرضت لحريق مرتفع الشدة

الاستنتاجات

تُظهر نتائج الدراسة أن شدة الحريق تمثل عاملًا رئيسيًا في تحديد استجابة المجتمعات الميكروبية في التربة، سواء من حيث الكثافة العددية أو البنية الوظيفية. إذ يؤدي الحريق منخفض الشدة إلى تحفيز النشاط الميكروبي وزيادة الكثافة والتنوع نتيجة تحرر المواد العضوية سهلة التحلل، في حين يسبب

الحريق عالي الشدة ضغطًا بيئيًا يؤدي إلى انخفاض الكثافة وانتقاء أنواع متحملة للإجهاد، ما يقلل من التنوع الوظيفي. أما التربة غير المحروقة، فرغم انخفاض الكثافة، فإنها تحتفظ بتوازن بيئي يعكس استقرارًا طويل الأمد. وبذلك، فإن العلاقة بين الكثافة الميكروبية والتنوع المورفولوجي تُعد مؤشرًا مهمًا لفهم ديناميكية التعافي البيئي بعد الحرائق، حيث لا تعكس الكثافة العددية وحدها كفاءة النظام الحيوي، بل يجب تفسيرها ضمن سياق التنوع والوظيفة البيئية.

التوصيات

1. تعزيز الدراسات الميكروبية طويلة الأمد (سنة أو عدة سنوات) في النظم البيئية المتأثرة بالحرائق لفهم التغيرات الديناميكية في المجتمعات الميكروبية وعلاقتها بوظائف التربة على المدى الزمني .

2. إدراج المؤشرات الميكروبية كمؤشرات أساسية في تقييم صحة التربة ودرجة تعافيها بعد الاضطرابات الناتجة عن الحريق، بدلاً من الاعتماد فقط على المؤشرات الفيزيائية والكيميائية .

3. التركيز على تأثير شدة الحريق عند وضع استراتيجيات إدارة واستعادة الغابات، لما لها من دور مباشر في إعادة تشكيل النشاط الميكروبي ودورات المغذيات .

4. تشجيع تطبيق نتائج الدراسة في استراتيجيات الاستصلاح البيئي، خصوصاً في المناطق المتدهورة بفعل الحرائق، من خلال تعزيز الظروف التي تدعم النشاط الميكروبي المفيد وتحسن من كفاءة تحلل المادة العضوية .

5. إجراء دراسات مستقبلية تربط بين التنوع الميكروبي والوظيفة البيئية وليس فقط الوفرة العددية، للحصول على فهم أعمق لآليات التحلل وديناميكيات الكربون في التربة.

المراجع

1. Allison, S. D., & Martiny, J. B. H. (2008). Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 105*(Suppl 1), 11512–11519. https://doi.org/10.1073/pnas.0801925105
2. Bárcenas-Moreno, G., & Bååth, E. (2009). Bacterial and fungal growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities. *Soil Biology and Biochemistry, 41*(12), 2517–2526.
3. Bárcenas-Moreno, G., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J., & Bååth, E. (2011). Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest. *Biology and Fertility of Soils, 47*(3), 261–272. https://doi.org/10.1007/s00374-010-0532-2
4. Berg, B., & McClaugherty, C. (2014). *Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38821-7
5. Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia, 143*(1), 1–10. https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8
6. Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Khachane, A. N., Campbell, C. D., Thomas, N., Freitag, T. E., … Singh, B. K. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution, 4*, 210–220.
7. Dooley, S. R., & Treseder, K. K. (2012). The effect of fire on microbial biomass: A meta-analysis of field studies. *Biogeochemistry, 109*, 49–61.
8. Dove, N. C., & Hart, S. C. (2017). Fire reduces fungal species richness and in situ mycorrhizal colonization: A meta-analysis. *Fire Ecology, 13*(2), 37–65.
9. Flemming, H. C., & Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology, 8*(9), 623–633. https://doi.org/10.1038/nrmicro2415
10. General Commission for Environmental Affairs. (2004). *Biodiversity conservation and protected areas management project* (SY-GE-57109) [In Arabic].

11. Goberna, M., García, C., Insam, H., & Hernández, M. T. (2012). Burning fire severity effects on soil microbial communities and activity. *Microbial Ecology, 64*(3), 633–643. https://doi.org/10.1007/s00248-011-9995-4
12. Hart, S. C., DeLuca, T. H., Newman, G. S., MacKenzie, M. D., & Boyle, S. I. (2005). Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. *Forest Ecology and Management, 220*(1–3), 166–184. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.012
13. Holden, S. R., & Treseder, K. K. (2013). A meta-analysis of soil microbial biomass responses to forest disturbances. *Frontiers in Microbiology, 4*, 163.
14. Jett, B. D., Hatter, K. L., Huycke, M. M., & Gilmore, M. S. (1997). Simplified agar plate method for quantifying viable bacteria. *Biotechniques, 23*(4), 648–650.
15. Karmo, A., Al-Kateb, H., Hamed, Z., Salloum, A., Anter, A., & Daoud, R. (2022). Classification of fire intensity levels in 2020 in the Cedar and Fir Nature Reserve in Syria using the standard NBR fire index. In *Biological diversity and bioresources of the steppe zone under changing climate conditions: Proceedings of the International Scientific Conference* (pp. 623–634). Southern Federal University Publishing House.
16. Pellegrini, A. F. A., & Jackson, R. B. (2020). The long and short of it: A review of the timescales of how fire affects soils using the pulse–press framework. *Advances in Ecological Research, 62*, 147–171.
17. Pellegrini, A. F. A., Ahlström, A., Hobbie, S. E., Reich, P. B., Nieradzik, L. P., Staver, A. C., … Jackson, R. B. (2020). Fire frequency drives decadal changes in soil carbon and nitrogen. *Nature, 553*, 194–198.
18. Pressler, Y., Moore, J. C., & Cotrufo, M. F. (2019). Belowground community responses to fire: Meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna. *Oikos, 128*, 309–327.
19. Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., … Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *ISME Journal, 4*, 1340–1351.

20. Ruqayyah, M., Dabit, H., Idris, Y., Kasouha, R., & Bouhassoun, M. (2006). *Using remote sensing techniques in studying the Cedar and Fir Reserve in Lattakia Governorate (Slanfah)*. General Authority for Remote Sensing [**In Arabic].**

21. Torsvik, V., & Øvreås, L. (2002). Microbial diversity and function in soil: From genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology, 5*(3), 240–245. https://doi.org/10.1016/S1369-5274(02)00324-7

22. Whitman, T., Whitman, E., Woolet, J., Flannigan, M. D., Thompson, D. K., & Parisien, M. A. (2019). Soil bacterial and fungal response to wildfires in the Canadian boreal forest across a burn severity gradient. *Soil Biology and Biochemistry, 138*, 107571.