



Effect of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) Leaf Litter Decomposition on Mass Loss, Nitrogen Concentration Changes, and Soil Properties in the Al Jabal Al Akhdar Region, Libya

Horia saad mohamed ^{1*}, Faraj Badr Abdolkarem ², Mikael yousef faituri ³

¹ Department of Community Health, Higher Institute of Science and Technology, Shahat, Libya

² Department of Botany, College of Humanities and Applied Sciences, University of Benghazi, Libya

³ Department of Soil and Water, College of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University, Al-Bayda, Libya

horia.mohamed@istc.edu.ly

تأثير تحليل أوراق الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill.) على الفقد الكتلي وتغير تركيز النيتروجين وخصائص التربة في منطقة الجبل الأخضر - ليبيا

حورية سعد محمد ^{1*} ، فرج بدر عبد الكريم ² ، ميكائيل يوسف الفيتوري ³

¹ قسم صحة المجتمع، المعهد العالي للعلوم والتقنية، شحات، ليبيا

² قسم النبات، كلية العلوم الانسانية والتطبيقية، جامعة بنغازي، ليبيا

³ قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا

تاريخ النشر: 2025-10-20

تاريخ القبول: 2025-10-04

تاريخ الاستلام: 2025-09-05

الملخص:

هدف هذه الدراسة تتبع التغيرات (ديناميكية) التي تحدث للنيتروجين خلال عملية الفقد الكتلي في مراحل تحليل الأوراق الإبرية البنية المتساقطة (Brown needle litter) لأشجار الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill.) النامي في منطقة الجبل الأخضر - ليبيا، ولتحقيق هذا الهدف تم اتباع تقنية الأكياس (Litter bag technique) في ثلاث مواقع ترتفع عن مستوى سطح البحر بمقدار 400 و 600 و 800 متراً (م) غابة سيدي الحمري، م؛ 600 غابة عين الحفرة، م؛ 400؛ المصحة "المنصورة" وبدأت التجربة في فصل الخريف واستمرت إلى فصل الربيع. أظهرت النتائج نمطين متعاقبين لديناميكية النيتروجين: المرحلة الأولى تمثلت في الغسيل السريع للمركبات النيتروجينية القابلة للذوبان بفعل أمطار الخريف المبكرة، تلتها مرحلة التراكم أو التقييد (Immobilization) حيث قامت الكائنات الحية الدقيقة المستعمرة للأوراق المتحللة بزيادة محتوى النيتروجين الكلي مقارنة بالقيم الأولية. كما تبين أن أعلى تراكم للنيتروجين سُجل في الموقع المرتفع (800م)، نتيجة توافر ظروف مناخية أكثر برودة ورطوبة عززت النشاط الميكروبي، في حين كانت التغيرات أقل وضوحاً في المواقع المنخفضة الأكثر جفافاً. كما لوحظ أن معدلات الفقد في الكتلة "Mass Loss Rates" كانت متباينة بين المواقع الثلاث نلاحظ نسبة الفقد تقريبا متفاربة لكن هناك اختلاف بين القيم بنسب وهذا يترتب عليه تذبذب في تركيزات النيتروجين عملية غسيل (Leaching) للمغذي N المقدرة في هذا البحث و تبتعها مرحلة تراكم (Accumulation)، وتؤكد هذه النتائج أن المحتوى الأولي للمغذي في المخلفات، وخصوبة الموقع، والعوامل المناخية المحلية تعمل معاً على تنظيم معدلات التحلل ودورة المغذيات. وتبرز الدراسة الأهمية البيئية لطبقة المخلفات المتساقطة كخزان طبيعي للنيتروجين، الأمر الذي يجعل الحفاظ عليها ضرورياً لاستدامة خصوبة التربة وإنتاجية غابات الصنوبر الحلبي في بيئة البحر المتوسط.

الكلمات الدالة: الصنوبر الحلبي، Aleppo pine, *Pinus halepensis* Mill.، الجبل الأخضر - ليبيا، النيتروجين، الفقد الكتلي، التحلل، Litterbag Techniques.

Abstract

The objective of this study was to trace the dynamic changes of nitrogen during the process of mass loss throughout the decomposition stages of brown needle litter from Aleppo pine (*Pinus halepensis*

Mill.) growing in the Green Mountain region of Libya. To achieve this goal, the litter bag technique was applied at three sites located at elevations of 800 m (Sidi Al-Hamri Forest), 600 m (Ain Al-Hafra Forest), and 400 m (Al-Mansoura "Al-Masaha") above sea level. The experiment began in autumn and continued until spring. The results revealed two successive phases of nitrogen dynamics. The first phase was characterized by the rapid leaching of soluble nitrogen compounds caused by early autumn rainfall, followed by a phase of accumulation (immobilization) in which microorganisms colonizing the decomposing needles increased the total nitrogen content compared to the initial levels. The highest nitrogen accumulation was recorded at the 800 m site, where cooler and more humid climatic conditions enhanced microbial activity, while changes were less pronounced at the drier, lower-elevation sites. The mass loss rates varied among the three sites, showing similar general trends but differences in actual values, which led to fluctuations in nitrogen concentrations. The study identified an initial leaching phase of nitrogen, followed by an accumulation phase, confirming that the initial nutrient content of the litter, site fertility, and local climatic conditions interact to regulate both decomposition rates and nutrient cycling. These findings highlight the ecological importance of the forest litter layer as a natural reservoir of nitrogen, emphasizing the need to preserve it to sustain soil fertility and maintain the productivity of Aleppo pine forests in the Mediterranean environment.

Keywords: Aleppo pine, *Pinus halepensis* Mill., Al-Jabal Al-Akhdar – Libya, nitrogen, phosphorus, potassium, litterbag technique.

المقدمة:

شجرة الصنوبر الحلبي هي شجرة صنوبرية دائمة الخضرة وموطنها الأصلي منطقة حوض البحر المتوسط. تتميز بقدرة عالية على التكيف مع الظروف المناخية القاسية التي تسود في هذه المنطقة. حيث أشجار الصنوبر الحلبي *Pinus halepensis* Mill تنمو طبيعياً في المنطقة الشمالية الشرقية من الجبل الأخضر وقد أدخلت في حملات التشجير كمصدرات رياح في العديد من مناطق الجبل الأخضر خاصة في الجزء الجنوبي، وتعتبر الآن جزءاً مهماً من الغطاء النباتي (التقرير الدوري الثاني، 2003)، حيث مناخ البحر المتوسط هو من ضمن المناطق الجافة وتقسم المناطق الجافة في العالم إلى درجات متعددة حسب جفافها كالصحراء وتحت الصحراء ومناخ البحر المتوسط، وتستعمل هذه المصطلحات لتحديد الاختلافات المناخية الرئيسية والتي تدعم أشكال من الغطاء النباتي المختلفة (Goor and Barney, 1976)، حيث يتميز مناخ البحر المتوسط بشتاء بارد ورطب وصيف حار وجاف، ويُعد التغير في ظروف الحرارة والرطوبة من العوامل الأساسية المؤثرة في النشاط الحيوي داخل النظم البيئية، إذ تنعكس هذه التغيرات على العديد من العمليات الكيموحيوية مثل نمو النبات وامتصاص العناصر الغذائية ودورة المغذيات. عادةً ما تكون هذه العمليات أكثر نشاطاً خلال فصلي الخريف والربيع، عندما تكون التربة دافئة ورطبة، وهي الظروف المثلى للنشاط الميكروبي والتحلل العضوي. (Bonanomi et al., 2021; Fioretto et al., 2005) حيث إن الفصل في الحرارة الدافئة وظروف الرطوبة يمكن أن يؤثر أيضاً ويحد من معدلات تحلل البقايا النباتية ويطيل من مدة الاحتفاظ بالمغذيات الأساسية للنبات في البقايا المتساقطة ويقلل انطلاق ثاني أكسيد الكربون ويمكن أن يخفّض إنتاجية النظام البيئي، وهذا التأثير يمكن أن يكون أكثر شدة في الأنظمة البيئية التي تكون المخلفات المتساقطة فقيرة وتحتوي على تركيزات مرتفعة من المواد المقاومة للتحلل (بسبب طبيعتها الوراثية) مثال على ذلك غابات الصنوبر *Pine Forest Systems*، إن نوعية البقايا المتساقطة من هذه الغابات يمكن أن تنخفض أثناء نمو وتطور الغابة وإن هذه العملية اقترحت كتوضيح ممكن لمعدلات التحلل المنخفضة في مثل هذه الغابات بشكل عام وكذلك ببطء انطلاق وتدوير المغذيات.

(Amplified Drought Study, 2022; Forests, 2021; Berg and Laskowski, 2006; Jackson, 1958)

تعتبر مصادر المادة العضوية التي تتعرض للتحلل الميكروبي في التربة متعددة، فهناك كميات ضخمة من بقايا النبات ومخلفات الأشجار في الغابات تتحلل فوق سطح التربة، منها الأنسجة النباتية سواء الموجود منها في باطن الأرض أو على السطح والتي تختلط ميكانيكياً بالتربة وتكون غذاءً للكائنات الدقيقة، كذلك أنسجة

الحيوان ومخلفاته تتعرض هي الأخرى لفعل الميكروبات، بالإضافة إلى ذلك فإن خلايا الكائنات الدقيقة نفسها تعتبر مصدراً مهماً للكربون للأجيال القادمة من مختلف مجتمعات الأحياء الدقيقة في التربة (Brady & Weil, 2019; Paul, 2022; Berg & McClaugherty, 2020; Chen et al., 2025; Smart et al., 2025; Agren and Bosatta, 1996; Cadish and Giller, 1997)

وهناك بعض المفاهيم التي تتعلق بدور هذه المصادر في نمو وإنتاج النبات وهذا ينطبق أيضاً على نمو الأحياء الدقيقة فيما يتعلق بالمغذيات والكربون والطاقة، وتعتبر المخلفات النباتية والمادة العضوية في التربة هي مصادر لنمو الأحياء الدقيقة (الكسندر، 1982). وكما هو الحال في النباتات، فإن اختلاف المصادر يمكن أن تؤدي إلى تقليل أو زيادة النمو من وقت إلى آخر فالأوراق المتساقطة حديثاً "الطازجة" يمكن أن يكون بها مركبات غنية نسبياً بالطاقة تستخدمها الميكروبات لنموها السريع، ولكن إذا كان يوجد بها نيتروجين قليل بسبب إعادة توزيعه فإن ذلك يترتب عليه انخفاض في معدل بناء البروتين في هذه الأحياء الدقيقة مما يحد من مستوى إعدادها ومن ثم خفض معدل تحلل المادة "المخلفات العضوية" وإذا استطاعت هذه الأحياء الدقيقة استعمال المغذيات المتاحة في التربة (محلل التربة) "Soil solution" فإن استهلاك هذه المغذيات من قبل الأحياء الدقيقة يترتب عليه انخفاض تيسر المغذيات للنباتات، (Berg and McClaugherty, 2003).

وبالرغم من ذلك فإن للمادة العضوية وظيفة أساسية في تلك الأنظمة البيئية، فمحتوى الترب من المادة العضوية يؤثر في قدرتها على التزويد بالمغذيات وتخزين الماء وتخزين الكربون والطاقة اللازمة لنمو الكائنات المحللة (Decomposers) ومن ثم المساهمة في خفض انطلاق بعض الغازات ذات العلاقة بالاحتباس الحراري (Global Warming) مثل ثاني أكسيد الكربون، إضافة لدورها في حماية التربة من التدهور وزيادة الإنتاجية (Stevenson, 1994)، ويعتبر الغطاء النباتي (vegetation) وما ينتج عنه من مخلفات سواء كانت أجزاء نباتية متساقطة أو بقايا نباتات ميتة مصدراً هاماً ورئيساً لتزويد التربة بالمادة العضوية، فعملية تحلل (Degradation) هذه البقايا والمخلفات تعتبر مفتاح في عملية انطلاق الكربون والطاقة والمغذيات في مختلف الأنظمة البيئية. وعملية التدوير أو الدورة الغذائية (Nnutrient Cycle) والتي تصاحب عملية التحلل هي أيضاً من بين الوظائف والعمليات التي لها دور أساسي في تنظيم أنشطة ونمو أنظمة الغابات، فدراسة هذه العملية في نظم الغابات توضح ديناميكية هذه الأنظمة والتي تشمل الاحتياجات الغذائية ومعدلات تحولات المغذيات وفقدانها بفعل عملية الغسيل وإضافتها من خلال عملية التجوية وعملية التثبيت من الغلاف الجوي (Aber and Milello, 2001; Rashid et al., 1973).

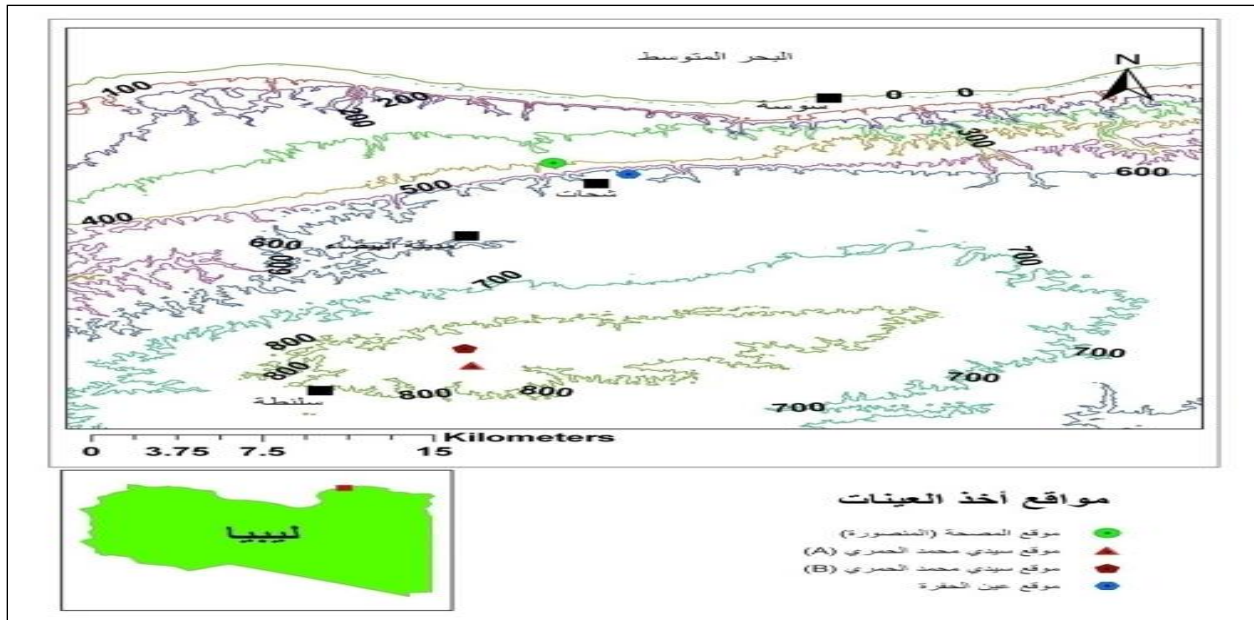
حيث إن عملية التحلل هي نتيجة لتداخل عمليات فيزيائية وكيميائية تحدث خارج وداخل الكائنات القائمة بعملية التحلل كعمليات تكسير (Fragmentation) البقايا النباتية بفعل نشاط بعض حيوانات التربة (Soil Fauna) أو تحلل بعض المركبات بفعل بعض الأنزيمات التي تفرزها بعض الأحياء الدقيقة، فهذه العملية تبدأ بغسيل (Leaching Stage) المواد القابلة للذوبان في الماء (water-solubles) وباستمرار عملية التحلل يحدث تراكم للمركبات الأكثر مقاومة للتحلل والتي تشتمل على اللجنين بالإضافة إلى مواد أخرى والتي تختلف في تركيبها عن اللجنين أو ما يعرف حالياً بالبقايا غير القابلة للتحلل المائي (Residues (NHR Non- hydrolysable أي إنها لا تذوب خلال عملية الهضم بالحمض (Stevenson, 1994; Faituri, 2002).

ومع ذلك توجد قياسات قليلة لمعدلات تحلل مخلفات هذه الغابات تحت ظروف مناخ البحر المتوسط ويبدو أن هذا الأمر لم يتم التطرق إليه في الجزء الجنوبي من حوض البحر الأبيض المتوسط رغم توافر دراسات كثيرة في مناطق أخرى. إن أكثر من 97% من عملية تحلل البقايا النباتية يمكن أن تعزى إلى نشاط الأحياء الدقيقة وبالتالي للعوامل المتحركة في نشاط تلك الأحياء الدقيقة ومن ثم تتحكم هذه العوامل في معدلات فقد الكتلي للمادة المتحللة (Huhta et al., 1988)، ولهذه المعدلات أيضاً علاقة بعوامل أخرى يطلق عليها عوامل غير حية (Abiotic factors) مثل الحرارة ورطوبة التربة والخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة المتحللة (Fogel and Cromack, 1977) و (McClaugherty et al., 1985)، ومع تقدم عملية تحلل البقايا النباتية فإن المكونات المنظمة لعملية التحلل يمكن أن تتغير.

المواد وطرائق البحث

وصف موقع الدراسة:

يقع الجبل الأخضر في المنطقة الشمالية من ليبيا، حيث يمتد بين خطي عرض (30-33) وخطي طول (20-25) شرقاً وتبلغ مساحة الجبل الأخضر حوالي 5000 كم مربعاً. للجبل الأخضر يتضمن انحدارات شديدة مقسم إلى ثلاثة درجات الأولى على ارتفاع 400 متراً والثانية على 600 متراً والثالثة عند 800 متراً حيث توجد أعلى نقطة للجبل الأخضر بمنطقة سيدي الحمري (بن محمود، 1995، دراسة وتقييم الغطاء النباتي الطبيعي للجبل الأخضر، 2003). واستناداً للموقع الجغرافي فإن الموقع الفلكي لمنطقة الجبل الأخضر يمتد بين خطي طول 21.37° شرقاً و 21.51° غرباً وبين دائرتي عرض 32.52° شمالاً و 32.35° جنوباً (بن محمود Lèhouerou, 1984; UNESCO-FAO, 1963; Selkhozprom Export, 1980; Quézel 1995, 1977). أما المواقع الثلاثة التي استهدفت في هذا البحث فهي تقع على ارتفاع 400 م، 600 م، 800 م، متراً فوق مستوى ممثلة الارتفاعات المميزة للجبل الأخضر.



شكل (1) خريطة تمثل منطقة الدراسة والمواقع التي أجريت فيها التجارب (منشورات جامعة عمر المختار، 2003).

التربة

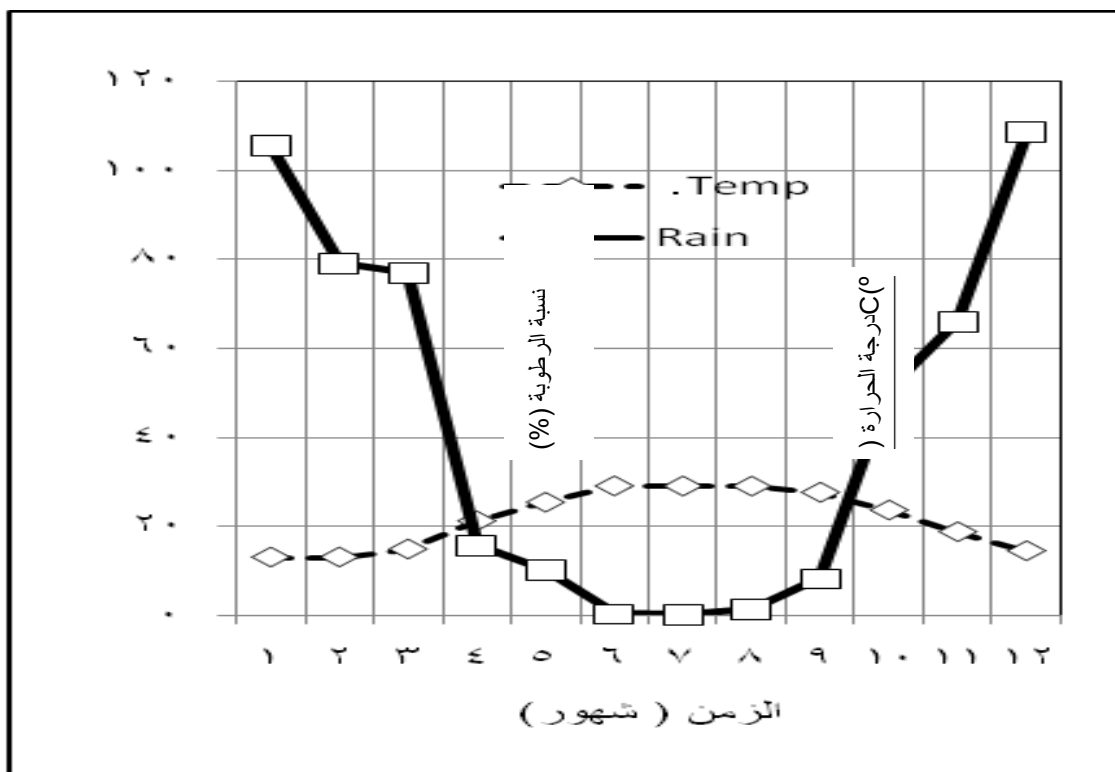
بفعل اختلاف وتباين تضاريس منطقة الدراسة وما لذلك من تأثيرات على عوامل وعمليات تكوين التربة، فإن ترب منطقة الدراسة تتميز بالضحالة (Shallowes) وعدم التطور في أغلبها، كما لا توجد مساحات كبيرة متصلة وممتدة لنوع واحد من الترب، ولكن نجد التداخل والاختلاط بين بعض الأنواع، كما يمكن أنها تتفاوت فيما بينها من ناحية الخصوبة، بالإضافة إلى انخفاض محتواها من أغلب العناصر الغذائية والمادة العضوية، وتعرضها للانجراف خاصة في المناطق المنحدرة. (Selkhozprom Export, 1980) و(بن محمود، 1996)، الترب الموجودة في الجبل الأخضر فقط والتي تتبع رتبة ترب الحشائش فهي محصورة في صنف الترب الجيرية الضحلة المعروفة باسم الرندزينا (Rendzina) والمصنفة حسب USDA (Rendolls)، والترب الموجودة كذلك في الجبل الأخضر فقط والتابعة لرتبة ترب الغابات فهي محصورة في صنف ترب الغابات ذات النظام الرطوبي المميز لمنطقة البحر المتوسط (Xeralfs)، وهذا الصنف يعرف كذلك بالترب الحمراء (Terra Rossa) أو ترب البحر المتوسط الحمراء (Red Mediterranean Soils)، والترب

الموجودة كذلك في الجبل الأخضر فقط والتابعة لرتبة الترب القلابة فهي محصورة في صنف الترب القلابة ذات النظام الرطوبي المميز لمنطقة البحر المتوسط (Xerets). أما الترب التابعة لرتبة الترب قليلة التطور، فيوجد صنف واحد منها فقط في بعض مناطق جبال طرابلس والجبل الأخضر، وهو المعروف باسم الترب الجبلية القرفية (Xerochrepts)، أي الترب قليلة التطور ذات الأفق الاوكرين، وافق التغيير (Cambic)، وذات النظام الرطوبي المميز لمنطقة البحر المتوسط. (Kashanskiy et al, 1987; Scott et al., 1996; Soil Survey Staaf, 1998).

المناخ :

يعتبر المناخ بجميع عناصره من حرارة ورطوبة نسبية وأمطار ورياح من أهم العوامل في تحديد نوعية (Quality) ومصير المخلفات النباتية وتحللها وذلك من خلال دور المناخ في التأثير على نمو وكثافة الغطاء النباتي ونشاط الكائنات الحية في التربة وكذلك دوره في عمليات تكوين التربة مثل إضافة وفقد وغسيل ونقل المكونات العضوية وغير العضوية والتفاعلات الكيميائية والحيوية الأخرى التي تحدث أثناء عملية التحلل (Decomposition) والتي تحدث للمخلفات النباتية أو لإفرازاتها التي تنطلق من المجموع الخضري أو الجذري خلال نموها، بالإضافة إلى تأثير المناخ على عملية تجوية (Weathering) المواد المعدنية في التربة (Aber and Melillo 2001; Scott et al. 1979; Stevwnsson1994; Swift et al. 1996).

ويتأثر المناخ بجملة من العوامل منها الجغرافيا؛ كالموقع ودورات الهواء ولعل أهم العوامل المناخية المؤثرة في عمليات تحلل المخلفات العضوية هي الحرارة والرطوبة والأمطار، ويتميز إقليم البحر المتوسط (الذي تقع ضمنه مواقع الدراسة) بصيف حار جاف وشتاء رطب معتدل البرودة، فمعدل سقوط الأمطار يتباين وفق الموقع النسبي والارتفاع عن سطح البحر



شكل (2) درجات الحرارة و الأمطار في منطقة الدراسة (مأخوذة من محطة ارساد شحات)، متوسط 20 سنة.

يتميز مناخ الجبل الأخضر (شكل 1) بموسم الأمطار الذي يبدأ من شهر أكتوبر إلى نهاية شهر أبريل و يكون أعلى معدل لسقوط الأمطار في شهر يناير و أقل معدل لسقوط الأمطار في شهر أبريل و أقصى متوسط لسقوط الأمطار (660 مل) في السنة، أما الحرارة فتتراوح في فصل الشتاء بين (6-16م) و في فصل الصيف تتراوح بين (14-28م) درجة مئوية حيث ترتفع الحرارة في شهر أبريل و تعود للانخفاض في شهر أكتوبر. (دراسة وتقييم الغطاء النباتي الجبل الأخضر، 2003؛ Hubert 1964; Selkhozprom 1980; Lèhouerou 1984). أما الغطاء النباتي المنتشر بمنطقة الدراسة هي نباتات حولية وشجيرات وأشجار ذات الخضرة الدائمة مثلالبطوم (*Pistacia lentiscus L.*) و الخروب (*Ceratonia siliqua*) و الشماري (*Arbutus pavarii*) و الصنوبر الحلبي (الاسم المحلي القلعز *Pinus halepensis* Mill) شجرة كبيرة الحجم، و أيضا خليط من نباتات طبيعية وأخرى قام الإنسان بتشجيرها (Plantation) ومن أهم النباتات المكونة للغطاء النباتي في منطقة نجد: السرو (*Cupressus sempervirens L.*) شجرة مخروطية مستديمة الخضرة، الصنوبر الحلبي الزهيرة (*Phlomis floccose D.Don*) شجيرة متقزمة معمره الشبرق (*Sarcopoterium spinosum L.*) شجيرة قصيرة معمرة شوكية، خرشوف (شوك الإبل) *Cynara cardunculus* نبات عشبي، النرجس *Dipcadi erythraeum*، الحارة *Brassica tournefortii*، القرط *Trifolium resupinetum*، رجل العصفور (نوع آخر من الجلبان) *Lotus creticus*، جلبان *Vicia monatha*، شوك الحنش *Carduncellus eriocephalus*، بصل العنصل أو القنصل *Asphodelus marcocarpa*. (بن محمود، 1995؛ دراسة وتقييم الغطاء النباتي، الجبل الأخضر، 2003؛ Hubert, 1964; Selkhozprom, 1980). تتميز ترب منطقة الدراسة بعدم التطور و الضحالة (Shallow) في أغلبها، بفعل تأثيرات عوامل و عمليات تكوين التربة ومختلطة مع بعض الأنواع، كما يمكن أنها متفاوتة الخصوبة (Lé Houerou, 1984; Hurbert, 1964؛ بن محمود، 1996)، و من الترب الموجودة في الجبل الأخضر من رتبة ترب الحشائش أي الترب الجيرية الضحلة المعروفة باسم الرندزينا (Rendzina) والمصنفة حسب USDA (Rendolls)، و كذلك ترب الغابات ذات النظام الرطوبي المميز لمنطقة البحر المتوسط (Xeralfs)، و المعروف بالترب الحمراء (Terra Rossa) أو ترب البحر المتوسط الحمراء (Red Mediterranean Soils)، إضافة ترب (Xerets) و الترب الجبلية القرفية (Xerochrepts)، أي الترب قليلة التطور ذات الأفق الاوكرينك، و افق التغير (Cambic)، وذات النظام الرطوبي المميز لمنطقة البحر المتوسط (Selkhozprom Export, 1980).

جمع و تجهيز العينات:

تم جمع العينات خلال فترة تساقط الأوراق البنية الإبرية (Brown Needle Litter) وذلك بعمل مقطع من النايلون يوضع تحت أشجار الصنوبر الحلبي قبل فترة تساقط الأوراق وذلك لجمع كميات مناسبة من هذه الأوراق الإبرية، وبعد ذلك وضعت في أكياس بلاستيكية ونقلت إلى المعمل وأخذت منها عينة عشوائية لتقدير نسبة الرطوبة، و لإجراء هذه التجربة تم استخدام تقنية تعرف بـ (Litter bag) وفيها تم تجهيز أكياس قماش بأبعاد 10 × 10 سم وبفتحات قطرها 1 ملليمتر (Berg and Laskowski, 2006; Faituri, 2002) مصنوعة من مادة تتحمل ظروف التحضين في الغابة، وبعد حساب المحتوى الرطوبي للأوراق الإبرية تم اخذ وزنة بمقدار 0.7 جرام وضعت في كل كيس، وأغلق كل كيس بأحكام وذلك لضمان عدم خروج الأوراق الإبرية أثناء فترة التحضين وبعد ذلك تم تحديد قطاعات في مواقع الدراسة بإبعاد (20 × 20 مترا) داخل كل موقع (Stand) تم تقسيمه إلى مربعات فرعية Sub Plot (بأبعاد 1 × 1 متراً) وتم اختيار 20 مربعا عشوائيا. و وضعت 24 كيساً في كل مربع، حيث ثبتت الأكياس على طبقة الدبال (L-layer) تحت أشجار الصنوبر الحلبي في المواقع الثلاثة؛ 800 م و 600 م و 400 م، و تم جمع (15) كيس لعدة أشهر تم حساب نسبة الفقد في الوزن (الفقد الكتلي) و تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة 85° مئوية لمدة يوم و طحنها و تمريرها من منخل بفتحات قطرها 1 ملم ثم حددت تركيزات النيتروجين الكلي عند كل فترة؛ 4 و 8 و 12 و 16 و 20 أسبوعاً إضافة إلى معاملة الشاهد "لم يتم تحضينها" (Berg and Laskowski, 2006; Faituri, 2002).

التحاليل المعملية للتربة :

قوام التربة :

قدر قوام التربة بطريقة الهيدروميتر (Hydrometer) كما وردت في (Black et al., 1965) بعد معاملة عينة التربة بمحلول فوق أكسيد الهيدروجين لأكسدة المادة العضوية اللاحمة، وإضافة محلول الكالسيوم لتفريق حبيبات التربة الغروية غير العضوية وبعدها تم تقدير مفضولات التربة الأساسية وهي الرمل والصلت والطين في العينة وتحديد قوام التربة .

الرقم الهيدروجيني (pH) :

تم تقدير الرقم الهيدروجيني بإتباع طريقة (Black et al., 1965) وذلك في مستخلص التربة (5:1) (تربة : ماء مقطر) واستخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني pH - meter نوع (Jenway, model 3310) .
التوصيل الكهربائي (EC) :

قدر التوصيل الكهربائي في مستخلص التربة (5:1) كما ورد في (Hesse, 1971) باستخدام جهاز قياس التوصيل الكهربائي EC-meter نوع (ELE, model 470) وعبر عنه بوحدة (millisimens/cm) عند 025 م .

كربونات الكالسيوم :

وذلك بمعاملة وزن محدد من التربة بحمض هيدروكلوريك (HCL) (4.0 عياري) وقياس حجم غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تفاعله مع كربونات الكالسيوم بالعينة باستخدام جهاز الكالسيوميتر (Calcimeter) نوع (Eijkelpamp) كما ورد في (Hesse, 1971) وتم التعبير عن محتوى التربة من كربونات الكالسيوم كنسبة مئوية من وزن العينة على أساس الوزن الجاف في الفرن .

النيتروجين الكلي:

قدر النيتروجين الكلي بالهضم الرطب لعينة التربة بإضافة حمض كبريتيك مركز واستخدام جهاز (كيلداهل) من نوع (Gerhardt Serial NO .VAP.003641) كما ورد في (Hess, 1971) وتم التعبير عن محتوى التربة من النيتروجين الكلي كنسبة مئوية .

التحاليل المعملية للنبات :

هضم العينات :

تمت عملية الهضم باستخدام حمض الكبريتيك المركز H₂SO₄ وفوق أكسيد الهيدروجين H₂O₂ كما ورد في (Chapman and Pratt, 1961)، وتم تقدير العينات وذلك بالطرق الآتية :

الرقم الهيدروجيني (pH) :

تم تقدير الرقم الهيدروجيني بإتباع طريقة (Black et al., 1965) وذلك في مستخلص النبات (5:1) (نبات : ماء مقطر) واستخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH meter) .

التوصيل الكهربائي (EC):

تم تقدير التوصيل الكهربائي في مستخلص النبات (5:1) باستخدام جهاز قياس التوصيل الكهربائي (EC-meter) كما ذكر في (Hesse, 1971) .

النيتروجين الكلي: قدر تركيز النيتروجين الكلي باستخدام طريقة نessler (Nessler) كما ورد في (Chapman and Pratt, 1961) باستخدام جهاز قياس الطيف (Spectrophotometer) عند طول موجي 240 نانوميتر "nm" و عبر عن التركيز بـ مجم/جم .

النتائج والمناقشة :

من خلال جدول رقم (1) قوام التربة في موقع المصحة وعين الحفرة وسيدي محمد الحمري كان رملي لومي (Sandy Loam) ولومي (Loam) ورملي لومي على التوالي .

الرقم الهيدروجيني (pH) في مستخلص (1:5) فكانت في طبقة الدبال (الأفق العضوي) إجمالاً 5.88 و 5.44 و 5.62 وهذه القيم تشير إلى أن هناك أحماضاً عضوية ناتجة من تحلل المكونات العضوية في هذا الأفق وهذا يعني توافر مغذيات متاحة للكائنات المحللة " Decomposing " ، فقد كان الرقم الهيدروجيني في الجزء المعدني من التربة (0 – 10سم) كانت القيم لكل المواقع ما بين 7.2 و 7.3. كما في الجدول (2)

التوصيل الكهربائي (EC ملليسيمنز/سم) كانت في الأفق العضوي 1.034 و 0.687 و 0.746 على التوالي وهذه القيم تشير إلى أن هناك عملية تعادل بسبب الترسيب من الغلاف الجوي " Aerousollic deposition " أما في الجزء المعدني من التربة كانت 0.332 و 0.388 و 0.258 (ملليسيمنز/سم) كما في الجدول (2) . التركيز الكلي للنيتروجين متوسطها في الأفق العضوي 1.76 و 1.75 و 1.51 % في الموقع الأول والثاني والثالث على التوالي . والجزء المعدني كانت القيم بين 0.42 و 1.46 % كما في الجدول رقم (2)، (Berg and Matzner., 1997; Johansson, 1986) .

وفي الأفق العضوي كان الكربون العضوي 47.95 و 48.05 و 49.05 % على التوالي، فكانت القيم الجزء المعدني بين 62.5 و 60 و 58.5 كما في الجدول رقم (2)، وفي الأفق العضوي 35.2 و 34.9 و 29.86 % في الموقع الأول والثاني والثالث التوالي . أما في الجزء المعدني فكانت القيم بين 8.4 و 9.8 و 8.4 % . كربونات الكالسيوم متوسطها في الأفق العضوي 3.392 و 11.071 و 11.16 % على التوالي، وفي الجزء المعدني فكانت القيم بين 23.85 و 31.92 و 22.98 كما في الجدول (2)، وهذا يرجع إلى أن مادة الأصل في منطقة الدراسة هي الحجر الجيري " Lime Stone " (بن محمود، 1995; Hubert, 1964; Selkhozprom Export, 1980) .

جدول (1): قيم التحليل الميكانيكي والكيميائي وتقدير القوام في عينات تربة المواقع

نتائج التحليل في الأفق العضوي					
الموقع	النبات	pH	EC ملليسيمنز/سم	% N	%CaCO ₃
الأول	الصنوبر الحلي	5.88	1.034	1.76	3.392
الثاني	الصنوبر الحلي	5.44	0.687	1.75	11.071
الثالث	الصنوبر الحلي	5.62	0.746	1.51	11.16

جدول (2): قيم التحليل الميكانيكي والكيميائي وتقدير القوام في عينات تربة المواقع

نتائج التحليل في الجزء المعدني					
الموقع	النبات	pH	EC ملليسيمنز/سم	%N	%CaCO ₃
الأول	الصنوبر الحلي	7.2	0.332	0.42	23.85
الثاني	الصنوبر الحلي	7.4	0.388	0.94	31.92
الثالث	الصنوبر الحلي	7.3	0.258	1.46	22.98

من خلال الجدول (3) و (4) يوضح مفهوم الديناميكية لهذه المغذي وعلاقته بالفقد الكتلي و هي في الحقيقة مرتبطة بالمناخ، حيث أن النشاط الميكروبي في التربة (البقايا) يتأثر بالرطوبة و الحرارة (المناخ) من خلال التأثيرات على مستوى المناخ الدقيق (Microclimate)، و هذا التغير في نشاطات أحياء التربة يكون حسب الموسم، ففي فصل الربيع يحدث نشاط للمجتمع الحي في التربة (Soil flora and Fauna) و هذا قد انعكس بوضوح على تركيزات النتروجين زيادة ونقصانا و نلاحظ في الموقع م800 ان زيادة التركيز عن مستوى ال 100% من التركيز الأولي للمغذي كما في الشكل (ب) تُعتبر عملية تراكم "Accumulation" بسبب تكاثر و نمو أحياء التربة التي تغزو تلك البقايا للحصول على المغذيات و الطاقة، و ان الهبوط عن هذا المستوى فهو يعني حدوث عملية معدنة "Mineralization" و ما يصاحبها من عملية انطلاق لثاني أكسيد الكربون و المغذيات و التي تكون مُيسرة للمجتمع الحي في التربة و قد يحدث لها عملية غسيل (Berg "Leaching" and Staaf, 1981; Aber and Melillo, 1982; Berg, 1986; Berg and Ekbhm, 1983; Cadish Giller, 1997). ان عدم التغير في التركيز يعني عدم وجود نشاط حيوي بسبب عدم توافر ظروف مناخية تزيد من النمو ففي الشتاء تتوافر الرطوبة مع انخفاض في درجات الحرارة مما يعوق نشاط احياء التربة؛ و في فصل الصيف يحصل نقص في رطوبة التربة بسبب ارتفاع درجات الحرارة و هذا أيضا يصاحبه انخفاض في نشاطات أحياء التربة، و هذا انعكس على ديناميكية هذه المغذيات خلال عملية تحليل الأوراق البنية للصنوبر الحلي في المواقع الثلاثة (Virzo De Santo et al., 1993; Faituri, 2002).

هناك ارتفاع ملحوظ في كمية النتروجين المتراكم حيث كانت 3.9 مجم/مجم كما ف الجدول (3) عند إرتفاع م400 وهذا يرجع الي خصائص الموقع ، مقارنة بالموقعين م600 و م800 حيث كانت نفس القيمة 3.4مجم/مجم وهذا سببه يعود الي وجود نشاط حيوي (زيادة في نشاط الاحياء الدقيقة وتوفر الظروف المناسبة للتحلل)، وكذلك نلاحظ من خلال هذا الجدول نسبة الانحراف المعياري للمواقع الثلاث 0.29 . وهذا كله بين من خلال شكل (ب) كانت هناك نسبة فقد بنسبة 20% في المراحل الاولى عند الموقع م600 مقارنة بالموقعين الآخرين في مراحل الاولى من التحلل وهذا يرجع الي عملية الغسيل في هذه المنطقة واختلاف نوع المجتمع الحي القاطن وخصوصا في المرحلة الثالثة من التحلل نلاحظ انخفاض كبير بنسبة 60% في موقع م800 مع ارتفاع بنسبة 40% في موقع م400 عن التركيز الاصلي وهذا يرجع الي عملية التقييد "Immobilization" و عملية المعدنة "Mineralization" للنتروجين في الموقعين ، مع ثبات قيمة النتروجين في الموقع م600 حتي المراحل الاخيرة من التحلل وهذا يعود الي اسباب متعلقة بنوع المجتمع القاطن يحتاج الي فترة للتأقلم كما في الشكل (4،ب) .

وعند المقارنة من خلال جدول (4) الفقد الكتلي المتراكم لوحظ أن معدلات الفقد في الكتلة " Mass Loss Rates" كانت متباينة بين المواقع الثلاث نلاحظ نسبة الفقد تقريبا متقاربة لكن هناك اختلاف بين القيم بنسبة 0.07 بين الموقعين م400 و م600 اما بين الموقعين م400 و م800 كانت القيمة 0.21 قيمة اكبر من الاولى وهذا الي الفرق في سرعة عملية التحلل لظروف مناخية وكذلك نوع مجتمع الاحياء القاطن ، حيث كانت نسبة الانحراف المعياري 0.11 . في المواقع الثلاث .

لكن عند المقارنة من خلال الشكل (3،أ) نلاحظ نسبة الفقد الكتلي % بالنسبة للتركيز الاول هناك اختلاف اثناء مراحل التحلل ، كان هناك فقد كتلي في المواقع م400 و م600 و م600 ولكن معدل الفقد يختلف علي حسب مراحل التحلل ، اذا قمنا بتقسيم مراحل التحلل الي خمسة مراحل من خلال المرحلة الاولى بعد 4 أسابيع من التحضين هناك فقد كبير وخصوصا في الموقع م800 بنسبة فقد 20% مقارنة بالمواقع الاخيرة كان الفقد في الموقعين الآخرين حوالي 10% نفس القيمة وهذا يعود بالدرجة الي خصائص الموقع وكذلك عملية تأقلم مجتمع القاطن اثناء عملية التحلل ، ولكن في الرحلة من التحلل بعد 8 أسابيع ازداد الفقد بنسبة قليلة في الموقع م800 مع ثبات نسبة الفقد في الموقعين الآخرين مع الاحتفاظ بنسبة الفقد مقارنة بالنسبة في المرحلة الاولى من التحلل . الاختلاف كان في المرحلة الثالثة من التحلل بعد 12 أسبوع وصل الفقد الي 20% مقارنة بالمرحلة الاولى من بداية التحضين وخلال هذه المرحلة كانت نسبة الفقد 20% في المواقع الثلاث وهذه تعتبر قيمة حقيقية لان خلال هذه الفترة كان هناك نشاط حيوي في هذه المواقع أما في المراحل الاخير بعد 16 و 20 أسبوع أستمر

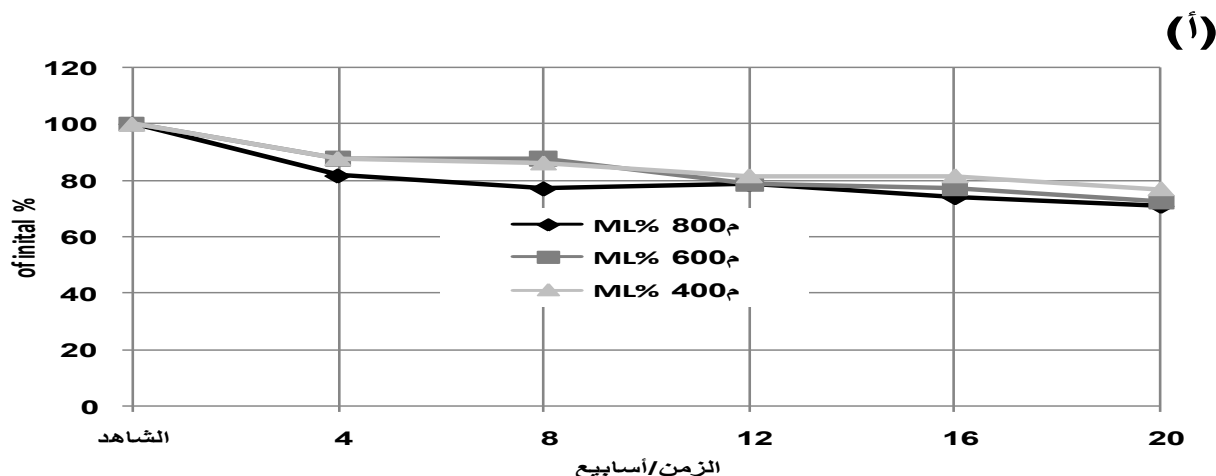
الفقد في المواقع الثلاث حتي وصل الي 30% . وهذا يعود إلى خصائص الموقع المناخ الدقيق " Microclimate " وكذلك نوع مجتمع الأحياء المحللة " Microbial Community " . وكذلك هذا التذبذب يرجع إلى عوامل مناخية مثل (الحرارة، الأمطار، الرطوبة النسبية) حيث أن الفقد الكتلي يعتمد على الفقد في الكربون والمغذيات بفعل الكائنات المحللة، أما الزيادة المحدودة فهي تعود إلى حدوث ترسيب " Dry Deposition " من الغلاف الجوي خلال فترات الرياح كما (في شكل 3 (أ)) .

جدول (3) مجموع تركيزات (مجم/جم) النتروجين المتراكم في المواقع الثلاث خلال مراحل لتحلل الأوراق الابرية البنية للصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill) النامي في منطقة الجبل الأخضر.

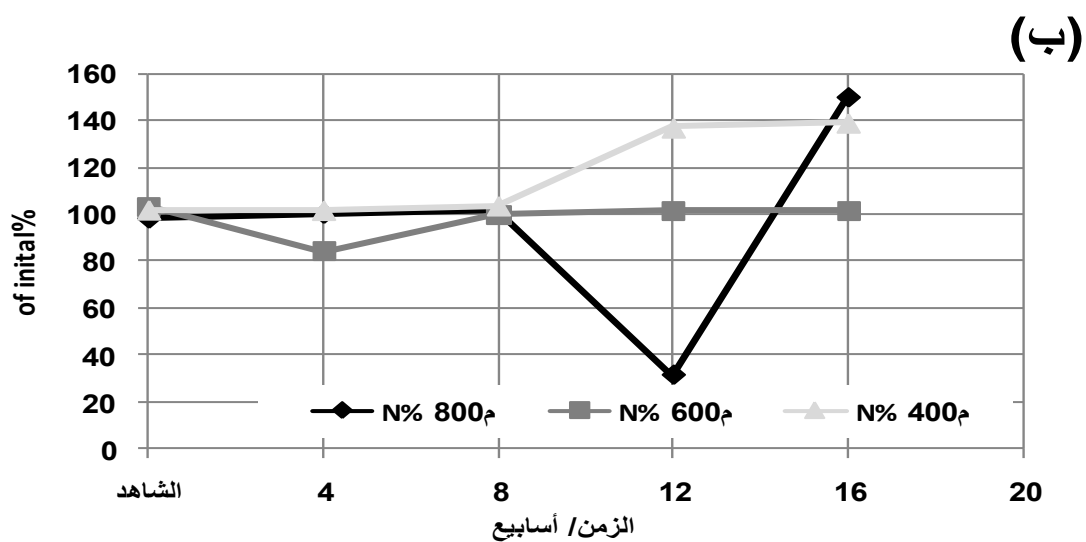
ارتفاع المواقع	النتروجين المتراكم (مجم/جم)
400م	3.9
600م	3.4
800م	3.4
المجموع	10.7
المتوسط	3.6
الانحراف المعياري	0.29

جدول (4) مجموع الفقد الكتلي (مجم/جم) في المواقع الثلاث خلال مراحل لتحلل الأوراق الابرية البنية للصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill) النامي في منطقة الجبل الأخضر.

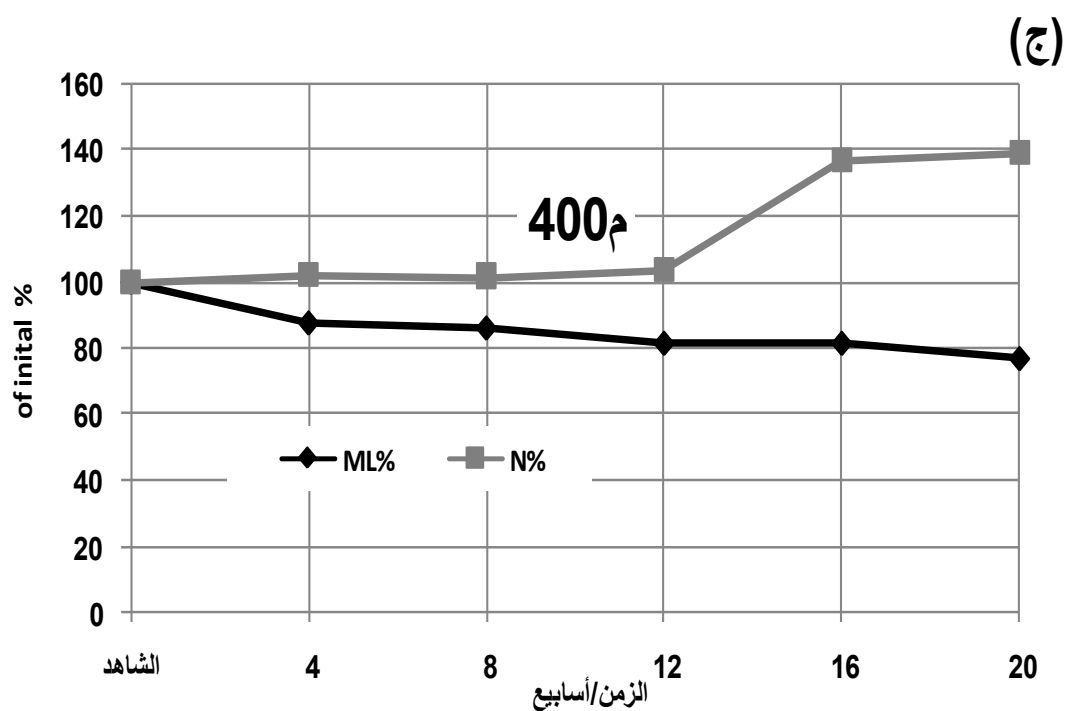
ارتفاع المواقع	الفقد الكتلي (مجم/جم)
400م	3.34
600م	3.27
800م	3.13
المجموع	9.74
المتوسط	3.25
الانحراف المعياري	0.11

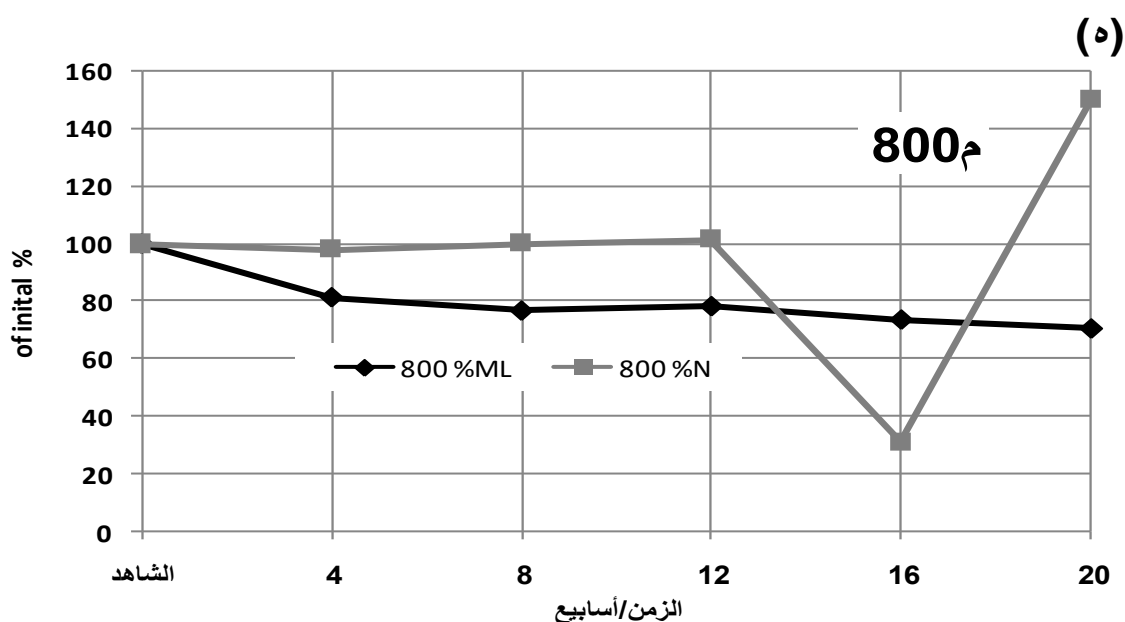
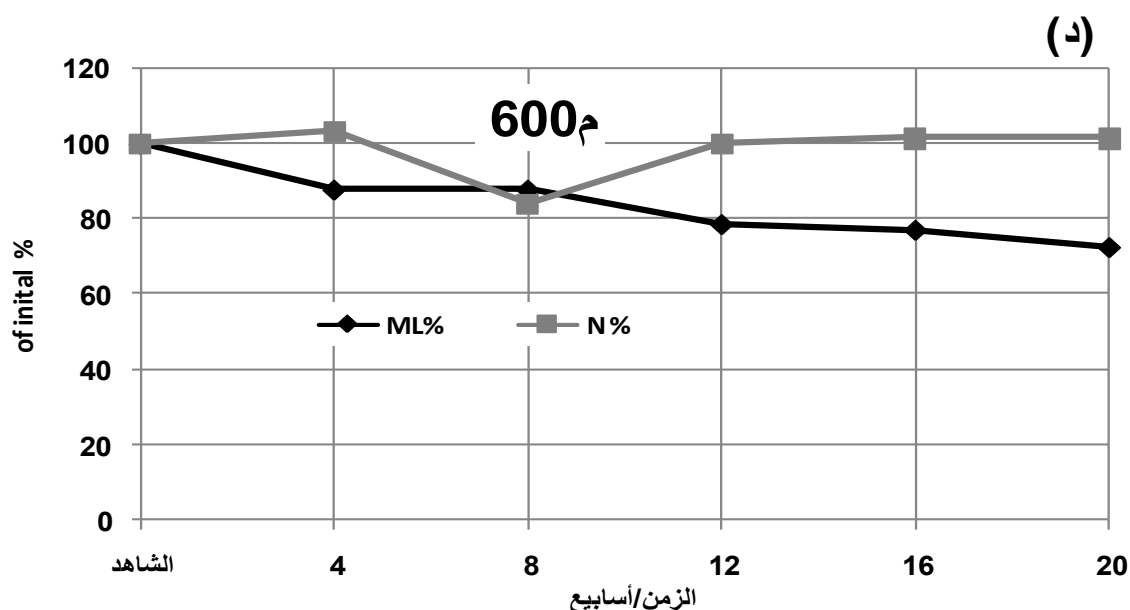


شكل (3، أ) نسبة الفقد الكتلي % لمواقع المختلفة لأوراق الصنوبر الحلبي مع الزمن (نسبة التركيز إلى التركيز الأولى)



شكل (4 ، ب) تركيزات النيتروجين في مواقع مختلفة بالجبل الأخضر خلال تحليل أوراق بنية لأشجار الصنوبر الحلبي عند فترات تحضين مختلفة للمواقع الثلاثة في منطقة الجبل الأخضر .





شكل (5؛ ج، د، هـ) تقييد Immobilization و معدنة Mineralization النتروجين تختلف في تركيزات النتروجين مع الفقد الكتلي خلال مراحل التحلل لأوراق البنية لأشجار الصنوبر الحلبي عند فترات تحضين مختلفة للمواقع الثلاثة في منطقة الجبل الأخضر.

من الشكل (5 ج، د، هـ)) نلاحظ أن تركيزات النتروجين كانت تسير بمسارات متذبذبة على مدى فترة التجربة للمواقع الثلاث من بداية التحضين، عند مقارنة هذه الاشكال البيانية نلاحظ ان هناك فقد كتلي بعد فترة التحضين في المواقع م400 و م600 بعد 8 أسابيع من التحضين بنسبة فقد حوالي 10 الى 15% مع زيادة نسبية بسيطة في النتروجين في موقع م400 وهذا يعود الي زيادة نسبية نمو الكائنات المحللة وصول كائنات من التربة تحتوي علي النتروجين أي حصل تراكم Accumulation مقارنة بالموقع م600 حيث كانت نسبة فقد في النتروجين حوالي 18% وهذا يعود الي اخلاف المجتمع الكائن الحي القاطن ولكن خصائص

الموقع كانت تقريبا واحدة وهذا يعود الى نسبة الفقد الكتلي في الموقعين، ولكن عندا مقارنة بالموقع م800 في مرحلة التحلل بعد 8 أسابيع نلاحظ انخفاض عالي في نسبة النتروجين وهذا يعود الى اختلاف خصائص الموقع، وكذلك نشاط الكائنات الحية أي مجتمع الكائنات الحية القاطنة حيث ازداد نسبة الفقد في النتروجين الى 30% وخصوصا في المراحل التحلل

الاخيرة من التحضين. وهذا عكس الموقعين الآخرين م400 و م600 حيث كانت هناك زيادة في نسبة النتروجين مع استمرار نسبة الفقد الكتلي من 12 الى 20 أسبوع وهذا راجع الي وصول كائنات من التربة تحتوي علي نترجين أي حصل تراكم، أما بالنسبة للموقع م600 ثبات في نسبة النتروجين حتي المراحل الاخيرة من التحلل مع فقد كتلي وهذا يرجع الي حدوث تغيير في مناخ الدقيق للموقع .

كانت هناك ملاحظة حول فقد كتلي كبير في المراحل الاخيرة من تحلل من 12 الي 16 أسبوع في موقع م800 وهذا يرجع الي حدوث عملية غسيل Leaching مع الفقد الكتلي وبعدها حدث زيادة في الوزن بعد 16 الي 20 أسبوع وهذا يرجع الي تراكم المجتمع القاطن في التربة ،،، هذه النتائج تؤكد أن ديناميكية النتروجين مرتبطة بشكل وثيق بالدورة الموسمية للبحر المتوسط، حيث تعمل الفصول المختلفة على تحديد توقيت ومعدل فقد أو احتجاز المغذيات. ومن منظور بيئي، فإن طبقة المخلفات المتساقطة تمثل بنكاً طبيعياً للمغذيات، وأي تدخل بشري (إزالة المخلفات، الرعي، الحرائق) سيؤدي إلى تعطيل هذا التوازن الدقيق ويضعف استدامة الغابات.

الخاتمة

أظهرت هذه الدراسة أن تحلل مخلفات الصنوبر الحلبي في الجبل الأخضر يتبع نمطاً موسمياً يتماشى مع مناخ البحر المتوسط :فقدان سريع للنتروجين في الخريف، تراكم ميكروبي في الشتاء والربيع، واستقرار نسبي في الصيف. هذا النمط يضمن بقاء المغذيات داخل النظام البيئي لفترات أطول، ويحافظ على خصوبة التربة وإنتاجية الغابات. تؤكد النتائج أن طبقة المخلفات المتساقطة ليست مجرد بقايا نباتية، بل هي مكون حيوي يحافظ على التوازن البيئي. وعليه، فإن الحفاظ عليها يعد شرطاً أساسياً لضمان استدامة غابات الصنوبر الحلبي في منطقة الجبل الأخضر ومثيلاتها في حوض البحر المتوسط.

المراجع

المراجع العربية:

1. دراسة وتقييم الغطاء النباتي الطبيعي بمنطقة الجبل الأخضر (التقرير الدوري الثاني، الدراسات السابقة الطير (ابريل) 1371 و.ر - 2003 مسيحي).
2. بن محمود،خالد رمضان ،الترب الليبية (تكوينها -تصنيفها-خواصها-إمكانيات زراعتها) منشورات الهيئة القومية للبحث العلمي، الطبعة الأولى، 1995 .

المراجع الأجنبية المترجمة :

1. الكسندر، مارتن. مقدمة في ميكروبيولوجيا التربة (جامعة كورنيل:منشورات مؤسسة جون وايلي وأولاده، الطبعة الثانية، 1982) .

المراجع الأجنبية

1. Aber, J. D. and J. M. Melillo, (1982). Nitrogen immobilization in decaying hardwood leaf litter as a function of initial nitrogen and lignin content. Canadian Journal of Botany 60; 2263 -2269.
2. Aber, J. D. and J.M. Melillo (2001). Terrestrial Ecosystems. Saunders College Publishing, Philadelphia.
3. Agren G , Bosatta E , (1996). Quality : Abridge between theory and experiment in soil organic matter studies .Oikos 76: 522-528.
4. Amplified Drought Alters Leaf Litter Metabolome, Slows Down Litter Decomposition, and Modifies Home Field (Dis)Advantage in Three Mediterranean Forests. (2022). Plants, 11(19), 2582. <https://doi.org/10.3390/plants11192582>.
5. Berg, B., & McClaugherty, C. (2020). Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration (4th ed.). Springer.

6. Berg B., and H. Staaf, (1981). Leaching, Accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter Ecological Bulletins. (Stockholm) 33: 163-178.
7. Berg, B. and E.Matzner, (1997). The effect of N deposition on the mineralization of C from plant litter and humus. Environmental Reviews 5: 1-25.
8. Chen, S., Zhang, Y., Ma, J., Bai, M., Long, J., Liu, M., Chen, Y., Guo, J., & Chen, L. (2025). *Contribution of soil microbial necromass carbon to soil organic carbon fractions and its influencing factors in different grassland types. EGU sphere.*
9. Faituri, M.Y. (2002). Soil organic matter in Mediterranean and Scandinavian forests ecosystems and dynamics of nutrients and monomeric phenolic compounds. Silvestra 236, 136pp.
10. Fioretto, A., Di Nardo, C., Papa, S., & Fuggi, A. (2005). Litter decomposition in Mediterranean ecosystems: Modelling the controlling factors. Plant and Soil, 273, 305–317.
11. Forests (2021). Experimental Precipitation Reduction Slows Down Litter Decomposition but Exhibits Weak to No Effect on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Three Mediterranean Forests of Southern France. Forests, 13(9), 1485.
12. Fogel R. and Cromack K JR. (1977). Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in western Oregon. Canadian Journal of Botany. 55, 1632-1640
13. Goor, A. Y. and Barney, C.W. 1968. Forest tree planting in arid zone. Second Edition, The Ronald Press Company, New York.
14. Hesse R.R. (1971). A Text book of soil chemical analysis. John murray. London .
15. Hubert P. (1964). The soils of Northern Cyrenaica. A soil survey report , FAO , Libya Mission, Benghazi.
16. Huhta, V., Hyvönen, R., Kaasalainen, P., Koskenniemi, A., Muona, J., Salminen, J., & Vilkkamaa, P. (1988). Nutrient mobilization from decomposing forest litter in microcosms. Biology and Fertility of Soils, 6(3), 255–261.
17. Jackson, M . L.,(1958). Soil Chemical Analysis. Prentice –Hall Englewood Cliffs ,N ,J .
18. Johansson, M.-B (1986). Chemical composition and decomposition pattern of leaf litters from forest trees in Sweden with special reference to methodological aspects and site properties. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences. No. 56.
19. Kashanskiy , A.D., T .V.Tursina and P. A Sukanov. (1987). Microm or pHpHological fea-tures. of Rendzinas and thin Fersiallitic soil in Libya. Pochvovedeniye No. 2,85-95
20. Lehouerou par H. N. (1984). An Outline of the bioclimatology of libya . Bulletil de la Sctete botanique de france. Actualites botaniques 131, (2/3/4) , 157-178.
21. McClaugherty C.A, J.Bastor, J.D.Aber, and J.M. Melillo (1985). Forests litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. Ecology. 66, 266-275.
22. Paul, E. A. (2022). Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry (5th ed.). Academic Press.
23. Reichle, D.E., B.E. Dinger, N.T. Edwards, W.F. Harres and P. Sollins. (1973). Carbon flow and storage in a forest ecosystem. Brookhaven Symposium in Biology 24,345-365.
24. Amoush, O. A. S. A. (2025). The Effect of Antioxidants on Egg Quality and Laying Hen Productivity. Bani Waleed University Journal of Humanities and Applied Sciences, 10(3), 594-605.
25. Schlesinger W.H. (1977). Carbon balance in terrestrial detritus . Annual Review of Ecology Systematics 8:5-81.
26. Scott NA, Cole CV , Elliott ET , Huffman SA (1996). soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics . Soil Science Society of American Journal 60:1102-1109.
27. Selkhozprom Export. Soil Ecological Expedition, USSR.(1980). Soil Studies in the Western Zone, the Eastern Zone and the Pasture Zone of the S. P. L. A. J. Secretariate of Agric. Reclamation and Lands Development. Tripoli
28. Smart, K. E., et al. (2025). Monitoring microbial carbon use efficiency with soil CO₂ and O₂. Biogeosciences, 22, 87–101.
29. Soil Survey Staaf. (1998). Keys to soil Taxonomy. Eighth ed. US. Dept. of agric., Washington, D.C., USA.
30. Stevenson, F.J. (1994). Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc.
31. Swift M. J., O. W. Heal, and J. M. Anderson (1979). Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Blackwell Scientific Publications, Oxford, 372 pp.
32. Virzo De Santo A., Berg B., Rutigliano F. A., Alfani A. Fioretto A. (1993) Factors regulating early stage decomposition of needle litters in five coniferous forests, Soil Biology & Biochemiswy 25, 1423-1433.