الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العالي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة التخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان : العلوم و التكنولوجيا

شعبة: هندسة الطرائق

تخصص: هندسة كيميائية

من إعداد الطلبة:

1- زبيدي أم الهناء

2- عمامرة آيات

3- قاطر اشراق

الموضوع

حلول مستدامة لتعزيز خصائص التربة الصحراوية

نـــــوقـــــشـت فـــــي: 2025/05/28

أمام لـــــجنـــة المـنـاقـشـة:

د. زغود سمية	أستاذ محاضر(ب)	رئيسا	جامعة الوادي
د. بن الصغيرالبشير	أستاذ محاضر (أ)	مناقش	جامعة الوادي
د. بن عمر إلهام	أستاذ متعاقد	مشرفا	جامعة الوادي

الموسم الجامعي:2025/2024

ملخص:

تهدف الدراسة إلى تطوير استراتيجيات مبتكرة لتعزيز خصوبة التربة الصحراوية من خلال إعادة تدوير النفايات النباتية العضوية، وشملت الدراسة تجريبية استخدام قشور البرتقال والرمان (المفتت والمطحون) ، وكذلك تحلل الحراري للقشور لإنتاج الفحم الحيوي، بالتوازي مع تطبيق نظام ري يعتمد على محلول عضوي قاعدي طبيعي، وذلك لتقييم تأثير هذه المعالجات على نمو بذور البازلاء ،الحمص والفول في التربة الصحراوية، و تم توصيف العينات باستخدام تقنيات طيفية مثل الأشعة فوق البنفسجية المرئية (Uv-visible)، وتحويل فوريه للأشعة تحت الحمراء(FTIR)، ومطيافية الامتصاص الذري(AAS) وكشفت النتائج أن مخلفات البرتقال المحروق والرمان المفتتة تعزز نمو النباتات بشكل ملحوظ، إذ وصل طول الساق إلى 4.8 سم للفول و4.4 سم للبازلاء بعد 47-60 يومًا من الزراعة، كما تحسن تركيز الزنك والحديد عند النباتات، حيث بلغت ذروتها 8.0991 ميكروغرام/مل و16.9625 ميكروغرام/مل على التوالي، مقارنةً بالقيم المرجعية التربة غير المعالجة وقد بينت الدراسة الفعالية الفائقة لسماد الرمان المفتت في تحسين تراكم العناصر الغذائية لاسيما في البازلاء، مما يُبرز تأثير طرق المعالجة على توافر العناصر الغذائية، وتؤكد هذه النتائج جدوى تبني ممارسات زراعية مستدامة قائمة على إعادة تدوير النفايات النباتية العضوية، كنهج عملي وفعال لتحسين جودة التربة الصحراوية مما يُقدم رؤى قيّمة لتعزيز الزراعة في المناطق القاحلة.

الكلمات المفتاحية: التربة الصحراوية، الفحم الحيوي، قشور الرمان، قشور البرتقال، زراعة مستدامة.

Abstract:

The study aims to develop innovative strategies to enhance the fertility of desert soils by recycling organic plant waste. The experimental study included the use of orange and pomegranate peels (crumbled and ground), as well as the thermal decomposition of the peels to produce biochar, in parallel with the application of an irrigation system based on a natural organic base solution. This was to evaluate the effect of these treatments on the growth of pea, chickpea, and faba bean seeds in desert soil. The samples were characterized using spectroscopic techniques such as ultraviolet-visible (UV-visible), Fourier transform infrared (FTIR), and atomic absorption spectroscopy (AAS). The results revealed that the crushed burnt orange and pomegranate waste significantly enhanced plant growth, with stem lengths reaching 4.8 cm for faba bean and 4.4 cm for pea after 47-60 days of planting. The concentrations of zinc and iron in plants also improved, reaching peaks of 8.0991 µg/ml and 16.9625 µg/ml, respectively, compared to the reference values of untreated soil. The study demonstrated the superior effectiveness of the fertilizer. Crushed pomegranate improves nutrient accumulation, particularly in peas, highlighting the impact of processing methods on nutrient availability. These results confirm the feasibility of adopting sustainable agricultural practices based on recycling organic plant waste as a practical and effective approach to improving desert soil quality, providing valuable insights for enhancing agriculture in arid regions.

Keywords: Desert soil, biochar, pomegranate peels, orange peels, sustainable agriculture.

الإهداء

"وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ ۚ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ" (هود: ٨٨).

كلمات من القلب لكل من ساندني وسار معي في هذا الدرب:

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار وعلمني العطاء بدون انتظار إلى من تحمل مشقة السهر والتعب من أجل رؤيتي في قمة النجاح

إلى من أحمل اسمه بكل افتخار أرجو من الله أن يطيل في عمره ويحفظه ليرى ثمارا قد حان وقت قطافها بعد طول انتظار.

♥ أبي الحبيب ♥

إلى القلب المعطاء وسر الوجود التي تستقبلني بابتسامة وتودعني بدعاء، إلى فرحة أيامي التي لطالما تمنت أن تقر

عينها في يوم كهذا .. حفظها الله وجزاها عني خير الدنيا والأخرة.

♥ أمي الحبيبة ♥

إلى سندي ومسندي وحصن حياتي، إلى من شدو أزري فكانوا نبع قوتي .. إلى قرة عيني **♥ إخوتي وأختي ♥**

إلى من أضاءوا قلبي بوجودهم **♥ أبناء أختي ♥**

إلى **أختي** و أميرة فؤادي **♥ إكرام ♥** التي كانت ونسي و ظلي لا تفارقني، فغابت عني بجسدها وبقيت معي بتفاصيلها وأثرها

وطيبتها .. رحمك الله بقدر شوقي إليك، وجعل مثواك في أعالي الجنان.

لكل من كان عونا وسندا في هذا الطريق .. لأحبتي وأهلي ورفقاء السنين وأساتذتي الكرام.

إلى من ختمت بهم مشواري الدراسي **رفيقات الجامعة** فزرعنا الحب فرحا وضحكا، وحصدنا ذكريات لا تموت ... أدام الله صحبتنا للجنة.

وخير ختامٍ حمدُ الله الوهاب، الذي بيده كل عطاء.

إشراق

الاهداء

بسم الله الذي علم بالقلم، وهدانا سبل العلم والحكمة، له الحمد كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه، الحمد له عدد ما تنفست الأرواح، وعدد ما ارتفعت الأكف بالدعاء في لحظات التعب والطموح، فالحمد لله الذي اكتملت به كل بداية وازدهرت به كل نهاية.

"وفي لحظات الامتنان التي تَعُم القلب، لا يسعنا إلا أن نذكّر أن في غزة إبادة تُعمي العيون، تبتر الأطراف، تمحو الحياة، ومجاعة تنهش الأجساد.. صرخات في العتمة، وألم يتكاثر بصمت.. بينما العالم يراقب في صمت بارد لا تهزه ذماء ولا يخدشه حياء أو صرخات أطفال.. اللهم كن لهم معيناً ونصيرا، ستراً وأماناً، وارفع عنهم البلاء وانصرهم على من ظلمهم إنك على كل شيء قدير"

أما بعد ..أهدي هذا التخرج ...

لذلك الشعور الأول، حين كانت البدايات ترجف واليقين غائب، ثم ها هي اليوم صارت ذكرى لقلب ممتلئ بالرضا

إلى من كانا الجذر الذي لا يذبل .... **أمي وأبي**

لكما الامتنان الأول، وجودكما كان نعمة، ودعائكما زاد، وصبركما سببا فيما أنا عليه اليوم

إليكما، يامن غرستما في قلبي بذور القيم، وسقيتما في روحي الأخلاق فصرت أمضي بثبات أحمل نور تربيتكما، وكل ما أنا عليه اليوم ما هو الا امتداد لتضحياتكما وتاج فخر من رضاكما ..

الى من رافقوني دون شرط .. **إخوتي** رفاق الطفولة ودعامة الكبر والوجوه المألوفة حين يتغير العالم ..

المشاغب الصغير **إبن اختي** قطعة الفرح المفاجئة، زارع البسمة والبهجة وسط زحمة التعب والارهاق

جدّي وجدّتي رحمكما الله بواسع رحمته .. طيفكما كان حاضرا في قلبي بدعاء لا ينقطع،

وإلى **عائلتي** التي كانت دعواتهم جسرا خفيا عبرت به هذا الطريق

إلى **رفيقتي** التي كانت معي كتفا وروحاً في فصول من التعب والنجاح شكرا ببساطة

شريكات الفوضى الجميلات ... **صديقاتي** تشاركنا الطريق بتفاصيله الصغيرة، فصار لكل لحظة طابع لا ينسى .. انتنّ أجمل ما في هذه الرحلة

إلى من لم تبخل علينا بنصح أو توجيه فكان لكلماتها وقع الدعم والرفع.. **أستاذتنا المشرفة**.. لك كل التقدير والاحترام

واخيراً .. إلى من لم تُقل اسماؤهم لكن لحضورهم أثر لا يُمحى

كان حضوركم سكينة واحتوائكم طمأنينة ..... أدام الله وجودكم نعمة لا تُرفع

آيات

الاهداء

الحمد لله حبا وشكرا وامتنان على البدء والختام

(وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين)

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفا بالتسهيلات، لكنني فعلتها، فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات بفضله وكرمه

أهدي هذا النجاح لنفسي الطموحة أولا ابتدأت بطموح وانتهت بنجاح ثم الى كل من سعى معي لإتمام مسيرتي الجامعية دمتم لي سندا لا عمر له

وفي اللحظة أكثر فخرا أهدي عملي هذا

الى النور الذي أنار دربي الى من بذل جهد السنين من أجل أن اعتلي سلالم النجاح، الى من أحمل اسمه بكل فخر الى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم لطالما عاهدته بهذا النجاح ها أنا أتممت وعدي وأهديته اليك **"والدي العزيز"**

الى ملاكي فالحياة الى من علمتني الأخلاق قبل الحروف، الى الجسر الصاعد بي الى الجنة الى من تحملت كل لحظة ألم مررت بها وساندتني عند ضعفي وهزلي، الى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي **"والدتي العزيزة"**

أهدي تخرجي الى ملهمة نجاحي، من ساندتني بكل حب عند ضعفي وازاحت عن طريقي المتاعب ممهدة لي الطريق زارعة الثقة والاصرار بداخلي **"أختي الحبيبة"**

الى حبيب قلبي **"ابن أختي"**

الى سندي والكتف الذي أستند عليه دائما **"اخوتي"**

وأحب أن أختم الاهداء الى من أحب الى أصحاب الفضل العظيم الى من وقفو بجانبي كلما أوشكت أن أتعثر **صديقاتي**

الى **أستاذتي** الحبيبة التي قدمت لنا يد العون وساعدتنا في هذا العمل

والحمد لله على حسن التمام والختام

أم الهناء

الشكر والعرفان

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم

" ومن صنع إليكم معروفا فكافئوه، فإن لم تجدو ما تكافئوا به فادعوا له حتى تروا أنكم قد كافأتموه"

نحمد الله سبحانه وتعالى حمدا يليق لجلاله وعظيم سلطانه على نعمته وتوفيقه لنا على اتمام هذه المذكرة.

اعترافا بالفضل وتقديرا للجميل نتوجه بجزيل التقدير والامتنان وخالص الدعاء لكل من ساعدنا من قريب أو بعيد

على إتمام هذا العمل.

نخص بالذكر أستاذتنا المشرفة **"د. إلهام بن عمر"** لما بذلته من جهدٍ وعطاءٍ في

توجيهنا وإثراء عملنا بملاحظاتها القيمة ونصائحها الثمينة، والأستاذة مساعدة

المشرفة **"د. سمية زغود"** على كل ما قدمته من دعم وإرشاد في مختلف مراحل

إعداد المذكرة ونسأل الله أن يجزيهما خير الجزاء، وأن يبارك في جهودهما، ويجعل

علمهما نافعًا لهما وللأمة.

إلى الأستاذة **"د. همامي هادية"** على مساعدتها لنا بنصائحها وتحفيزها

كما نتقدم بوافر الشكر والامتنان إلى الأستاذ **"د. الوصيف خالد محمد الطيب"** الذي

كان قائم على جانبنا التطبيقي إضافة الى مسؤولي مخابر الكلية

وإلى كل أساتذتنا الافاضل على عطائهم الدائم لنا في جميع مراحل دراستنا

وصولا لهذه اللحظة

الإهداء	
الشكر والعرفان	
قائمة الجداول	
قائمة الأشكال	
قائمة الرموز	
الفهرس	
المقدمة العامة	2
الجزء النظري	
الفصل الأول: التربة الصحراوية	
I.1.الصحراء	5
I.1.1. أنواع الصحاري	6
I.1.1.1. الصحراء الباردة	6
I.1.1.2. الصحاري الحارة	6
I.2. التربة	6
I.2.1. مكونات التربة	6
I.2.2. أنواع التربة	7
I.2.2.1.التربة الرملية	7
I.2.2.2.التربة الطينية	7
I.2.2.3.التربة الجيرية	8
I.2.2.4.التربة الطينية الرملية	8
I.3.الخصائص الفيزيائية والكيميائية والمناخية	8
I.3.1.الخصائص الفيزيائية	8
I.3.2.الخصائص الكيميائية	9
I.3.3.الخصائص المناخية	9

I.4. خصائص النظام البيئي القاحل وقيود تربته	10
I.4.1. ندرة المياه	10
I.4.2. الكربون العضوي وغير العضوي في التربة	11
I .4.3. الملوحة	12
I .4.4. اختلال التوازن الغذائي	13
I.4.5. التربة الرملية	14
I.5.أنواع مُحسّنات التربة	15
I .5.1. المُحسّنات العضوية	15
I.5.2.المُحسّنات غير العضوية	16
I.6. التعديلات العضوية في تحسين التربة في المناطق القاحلة	16
I.6.1. فوائد المُحسّنات العضوية	16
I.6.2. التحديات في المناطق الجافة	16
I.6.3. دور الفحم الحيوي في المناطق الجافة	17
خاتمة الفصل	17
مراجع الفصل الأول	18
الفصل الثاني: تثمين المخلفات النباتية والفحم الحيوي	
II.1. المخلفات	23
II.1.1.تعريف المخلفات النباتية	23
II.2.الرمان	23
II.2.1. الأسماء الشائعة	24
II.2.2.تصنيف الرمان	24
II.2.3.المركبات و المكونات الكيميائية للرمان	25
II.2.4.الاستعمالات الطبية للرمان	25
II.2.5.فوائد الرمان	26

II.6.2.قشور الرمان	26
II.7.2.المركبات الكيميائية النباتية لقشور الرمان	27
II.3.البرتقال	28
II.1.3.التصنيف العلمي للبرتقال	29
II.2.3.قشور البرتقال	29
II.3.3.مكونات قشور البرتقال	29
II.4.3. فوائد واستخدامات قشور البرتقال	30
II.4. الفحم الحيوي	31
II.1.4. تعريف	31
II.2.4.إنتاج الفحم الحيوي	32
II.3.4.خصائص الفحم الحيوي	33
II.1.3.4.الخصائص الفيزيائية	33
II.2.3.4.الخصائص الكيميائية	33
II.4.4.تنشيط الفحم الحيوي	34
II.5.4.تأثير الفحم الحيوي	34
II.6.4.العوامل المؤثرة على خصائص الفحم الحيوي	35
II.7.4.توصيف الفحم الحيوي	36
II.8.4.تطبيقات الفحم الحيوي	38
خاتمة الفصل	40
مراجع الفصل الثاني	41
الفصل الثالث: دراسات سابقة	
III.1. الدراسة الأولى	47
III.2. الدراسة الثانية	49
III.3. الدراسة الثالثة	51

III.4. الدراسة الرابعة	52
III.5. الدراسة الخامسة	54
III.6. الدراسة السادسة	56
III.7. الدراسة السابعة	57
III.8. الدراسة الثامنة	59
III.9. الدراسة التاسعة	61
III.10. الدراسة العاشرة	63
خاتمة الفصل	65
المراجع الفصل الثالث	66
الفصل الرابع: الجزء العملي/ النتائج والمناقشة	
IV.1.المواد والأدوات والأجهزة المستعملة	68
IV.1.1.الأدوات والأجهزة	68
IV.2.1.المواد الأولية	68
IV.2.خطوات العمل	68
IV.1.2. مرحلة جمع وتحضير العينات	68
IV.2.2. تحضير سماد	70
IV.3.2.مرحلة الزرع	70
IV.4.2. مرحلة السقي	70
IV.5.2. جمع العينات	71
IV.3.تقنيات التوصيف	74
IV.1.3.مطيافية الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet visible spectrophotometer,Uv-visble)	74
IV.2.3.مطيافية الأشعة تحت الحمراء	75
IV.3.3.التحليل الطيفي للامتصاص الذري	76

IV.4.النتائج والمناقشة	77
IV.4.1.الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis)	77
IV.4.2.الأشعة تحت الحمراء	78
IV.4.3.تأثير نمو النباتات	79
IV.4.4.التحليل الطيفي للامتصاص الذري	80
خاتمة الفصل	83
مراجع الفصل الرابع	84
الخاتمة العامة	86
الملاحق	

قائمة الجداول

قائمة الجداول		
الجدول		**الصفحة**
الفصل الثاني : تثمين المخلفات النباتية والفحم الحيوي		
الجدول 1.II	المكونات الكيميائية لقشور الرمان وخصائصها	27
الجدول 2.II	المكونات الكيميائية الرئيسية في قشور البرتقال وخصائصها	30
الجدول 3.II	مزايا وعيوب التطبيقات المختلفة للفحم الحيوي	39
الفصل الرابع : الجزء العملي / النتائج والمناقشة		
الجدول 1.IV	الترميز لكل عينة من النبات	72
الجدول 2.IV	طول الساق في مخلف البرتقال(بوحدة cm)	79
الجدول 3.IV	طول الساق في مخلف الرمان(بوحدة cm)	80
الجدول 4.IV	طول الساق في الشواهد(بوحدة cm)	80
الجدول 5.IV	نتائج التحليل الطيفي للامتصاص الذري لمعدن الزنك في التربة	81
الجدول 6.IV	نتائج التحليل الطيفي للامتصاص الذري لتركيز الحديد في التربة	82

قائمة الاشكال

قائمة الأشكال

الشكل		الصفحة
الفصل الأول: التربة الصحراوية		
الشكل 1.I	كثبان رملية في الصحراء الجزائرية	5
الفصل الثاني: تثمين المخلفات النباتية والفحم الحيوي		
الشكل 1.II	فاكهة الرمان	24
الشكل2.II	قشور الرمان	26
الشكل3.II	أهم العائلات الكيميائية والمركبات الفعالة في قشور ثمرة الرمان	28
الشكل 4.II	فاكهة البرتقال	28
الشكل 5.II	قشور البرتقال	29
الشكل 6.II	طرق توصيف الفحم الحيوي	37
الفصل الرابع: الجزء العملي / النتائج والمناقشة		
الشكل 1.IV	قشور الرمان(a)، وقشور البرتقال(b)	69
الشكل 2.IV	قشور البرتقال: فتات(a)، مطحون(b)، محروق(c) وقشور الرمان: فتات (d)، مطحون(e)،محروق(f)	69
الشكل 3.IV	قشور البرتقال: سماد قشور فتات(a)، سماد قشور المطحونة(b)، سماد قشور محروقة (c) وقشور الرمان: سماد قشور فتات(d) ،سماد قشور المطحونة(e)،سماد قشور المحروقة(f)	70
الشكل 4.IV	مراحل تحضير تربة الزرع: وضع 3سم من الرمل(a) ، وضع طبقة السماد(b) ،اكمال وضع 4سم من التربة مع غمر البذور(c)	71
الشكل 5.IV	طريقة جمع العينات: إدخال المصاصة في علبة الزرع وذلك بإحداث ثقب لاستخراج العينة (a)، شكل العينة المأخوذة داخل المصاصة (b)، وضع العينات في أنبوب اختبار(c)	73
الشكل 6.IV	جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية	75
الشكل 7.IV	جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء	75
الشكل 8.IV	التحليل الطيفي للامتصاص الذري	77
الشكل 9.IV	منحنى أطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية لرمان (a)، و برتقال (b)	78
الشكل 10.IV	منحنى أطياف الأشعة تحت الحمراء لرمان (a)، و برتقال (b).	78

قائمة الرموز

الرمز	المعنى
A	الامتصاصية
ASS	التحليل الطيفي للامتصاص الذري
C°	درجة الحرارة
C	تركيز العينة
Cm	وحدة السنتيمتر
Ds	وحدة الديسيمتر
E_o	الذرات في الحالة الأرضية
E_q	الإلكترونات في إلى حالة مثارة
FTIR	مطيافية الاشعة تحت الحمراء
G	وحدة الغرام
H	ثابت بلانك
I	شدة الضوء المنقول بواسطة محلول العينة
I_0	شدة الضوء الساقط
K_0	معامل الامتصاص المركزي
KBr	بروميد البوتاسيوم
L	المسار البصري
Log	اللوغاريتم
L	طول مسار العينة
M	وحدة المتر
m^2	وحدة قياس المساحة
mL	وحدة قياس الحجوم
N_0	عدد الذرات في الحالة الارضية
Ph	درجة الحموضة
T	النفاذية
Y	التردد
µg	وحدة الميكروغرام
UV-Vis	المطيافية فوق البنفسجية والمرئية
E	معامل الامتصاص المولي
%	نسبة المئوية
°	الدرجة الزاوية

المقدمة العامة

المقدمة العامة

تواجه المناطق الصحراوية تحديات بيئية جسيمة تُعيق الزراعة وإدارة الأراضي، إذ تتسم تربتها بانخفاض خصوبتها، وقلة المواد العضوية فيها، وضعف قدرتها على الاحتفاظ بالمياه والمغذيات، و تُعد هذه الخصائص من أبرز العوائق أمام تحقيق إنتاجية زراعية مستدامة، مما يتطلب البحث عن حلول مبتكرة وصديقة للبيئة لتحسين جودة التربة[1, 2].

في السنوات الأخيرة، برزت فكرة استخدام الفحم الحيوي كوسيلة مستدامة لتحسين خصائص التربة، خاصة في البيئات الهشة كالصحاري ؛ ويُعرف الفحم الحيوي بأنه مادة كربونية صلبة تنتج عن تسخين الكتلة الحيوية في ظروف منخفضة الأوكسجين، ما يجعله غنيًا بالكربون وذا قدرة على تحسين بنية التربة وزيادة احتفاظها بالماء والعناصر المغذية[3].

وتكمن أهمية هذه التقنية في إمكانية إنتاج الفحم الحيوي من مخلفات نباتية متوفرة محليا ،وهذا ما يوفر حلا مزدوجا يتمثل في تحسين جودة التربة من جهة والاستفادة من النفايات الزراعية من جهة أخرى؛ و يتم إنتاج الفحم الحيوي من خلال عملية التحلل الحراري، وذلك بتسخين المخلفات النباتية تحت ظروف خاضعة للتحكم للحصول على مادة غنية بالكربون تتميز بقدرتها على تحسين بنية التربة وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالمياه، ويتم تطبيق الفحم الحيوي على التربة الصحراوية خلال فترة الزراعة لتقييم تأثيره على جودة التربة ونمو النباتات، ولا يقتصر هذا النهج على تحسين التربة فقط ، بل يساهم أيضًا في إعادة تدوير النفايات الزراعية، مما يدعم مفهوم الاقتصاد الدائري[4, 5].

حيث تشتمل الدراسة على أربعة فصول:

الفصل الأول: تناولنا فيه عموميات حول التربة الصحراوية.

الفصل الثاني: اشتمل عموميات حول تثمين المخلفات النباتية والفحم الحيوي.

الفصل الثالث: استعرضنا فيه دراسات سابقة.

الفصل الرابع: تطرقنا أولا الجزء العملي، ثم انتقلنا الى النتائج والمناقشة.

ختاما الخلاصة العامة حول هذه الدراسة والتي تعرض مدى تحقيق الأهداف المرجوة من الدراسة وذلك من خلال النتائج المتحصل عليها.

مراجع المقدمة العامة

[1] A. Naorem *et al.*, "Soil constraints in an arid environment—challenges, prospects, and implications," vol. 13, no. 1, p. 220, 2023.

[2] K. T. Osman, *Management of soil problems*. Springer, 2018.

[3] J. Rawat, J. Saxena, and P. Sanwal, "Biochar: a sustainable approach for improving plant growth and soil properties," in *Biochar-an imperative amendment for soil and the environment*: IntechOpen, 2019.

[4] A. Kumar, T. J. E. Bhattacharya, Development, and Sustainability, "Biochar: a sustainable solution," vol ,23 .pp. 6642-6680, 2021.

[5] M. I. Al- Wabel *et al.*, "Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review," vol. 29, no. 7, pp. 2124-2161, 2018.

الفصل الأول: التربة الصحراوية

تشكل المناطق القاحلة والصحراوية ما يزيد عن 41% من المساحة الكلية للأرض، حيث تواجه هذه البيئات تحديات حادة في تدهور التربة وندرة المياه وانخفاض الخصوبة؛ ومع تزايد الضغوط السكانية وتغير المناخ، أصبح تحسين إنتاجية هذه الأراضي ضرورة حتمية لتحقيق الأمن الغذائي.

1.I.الصحراء

تشتق كلمة الصحراء من اللاتينية الكلاسيكية "deserta" والتي تعني "مكان مهجور"، وقد تم وصف الصحاري على أنها مناطق تفتقر إلى الحياة بسبب جفافها الذي يُعتبر العامل المشترك في جميع الصحاري كما أنه من الصعب تقديم تعريف دقيق للصحراء، حيث أن الجوانب المناخية والخصائص الجيومورفولوجية (Geomorphology) بالإضافة إلى النباتات والحيوانات تظهر تباينات كبيرة ، لكن بشكل عام، تتكون من مزيج من الكثبان الرملية (تلال رملية تشكلت بواسطة الرياح) كما هو موضح في **الشكل (1.I)**، والرقاق (سهول من الحصى)، والمناطق المالحة، والمناطق الجبلية التي تحتوي محليًا على واحات ومناطق من الأعشاب الجافة[1] .

الشكل (1.I): كثبان رملية في الصحراء الجزائرية.

I .1.1. أنواع الصحاري

I.1.1.1. الصحراء الباردة

تتعرض المناطق القطبية في القطب الشمالي والجنوبي لهطول أمطار ضعيفة على مدار العام، وغالبًا ما يُطلق عليها اسم "الصحاري الباردة" لأنها مغطاة بالجليد طوال العام، تتكون هذه الصحاري في مناطق ذات خطوط عرض مرتفعة مقارنة بالصحاري الحارة، ويعود جفافها إلى شح الرطوبة، حيث أن الهواء شديد البرودة يكون كثيفًا ومحدود الحجم، مما يقلل من قدرته على احتفاظ ببخار الماء وبالتالي يمنع تكون الأمطار، من أبرز أمثلة هذه الصحاري الباردة هي تلك الموجودة في وسط آسيا[2].

I.1.1.2. الصحاري الحارة

على عكس الصحاري الباردة، تتميز الصحاري الحارة بعدم وجود فصل شتاء، حيث لا تنخفض درجات الحرارة فيها أبدًا إلى أقل من 10C°في هذه الصحاري تؤدي التقلبات الحرارية والجفاف إلى تكيفات محدودة للكائنات الكبيرة مثل النباتات والحيوانات، بينما تظهر الكائنات الدقيقة قدرة أكبر على التكيف مع هذه الظروف القاسية، بالإضافة إلى ذلك تلعب الكائنات الدقيقة دورًا رئيسيًا في التحكم بسطح التربة والعمليات الحيوية من الناحية الجغرافية، تغطي أكبر الصحاري الحارة في العالم معظم مناطق شمال إفريقيا[3] .

I.2. التربة

يمكن تعريف التربة على أنها الطبقة السطحية من الأرض، وقد نتجت بسبب عمليات ميكانيكية وتفاعلات كيميائية وحيوية وذلك بتفتت الصخرة الأم عبر ملايين السنين إلى حبيبات بفعل الأمطار واختلاف درجات الحرارة، وهذه الحبيبات الصغيرة الناتجة عن عملية التفتت تختلط مع المواد العضوية المتحللة بفعل كائنات حية صغيرة كالبكتيريا ليكون هذا المزيج طبقة التربة السطحية الزراعية[4].

I.2.1. مكونات التربة

تتكون التربة من ثلاث حالات للمادة و هي:

- **المكون الصلب** :يتكون أساسا من جزئين أحدها معدني في مراحل مختلفة من تجوية الصخور الأصلية، والآخر عضوي ناتج من بقايا النباتات وجذورها علاوة على نشاط الكائنات الحية والتي تضيف للأرض بقايا أجسامها المتحللة ويكون الجزء الصلب أكثر من نصف حجم التربة وأكثر من 75 % من وزنها.
- **المكون السائل** : هو ما تحتويه التربة من المياه والمكونات الذائبة فيها ويعتبر الماء أكثر المكونات أهمية في التربة لنمو النبات، حيث يوجد الماء في التربة في صورة محلول يحتوي على كثير من المواد الذائبة التي يصل تركيزها في الأرض العادية من 0.05 % إلى 0.2 % ويبلغ الضغط الاسموزي له -1 0.2 ضغط الخلوي(Cytoplasmic Matrix) أو ببساطة Cytoplasm (السيتوبلازم) لجذور النباتات الاقتصادية والتي يتراوح فيها بين 5-20 ضغط جوي ويختلف تركيز ونوع المواد الذائبة في محلول التربة تبعا لتركيز ثاني أكسيد الكربون بالماء، وطبيعة غرويات التربة .
- **المكون الغازي**: عبارة عن مجموعة الغازات التي تتواجد في الفراغات البيئية للتربة ويطلق عليه هواء التربة حيث يشغل الهواء مكان الماء الذي يتسرب عبر الفراغات المسامية الكبيرة، تعيش عضويات التربة بطريقة أفضل في التربة التي تحتوي دائما على كميات متساوية تقريبا من الماء والهواء[5, 6].

I.2.2. أنواع التربة

I.2.2.1.التربة الرملية

تنتشر في العالم العربي انتشارا واسعا حيث لونها بني فاتح، وحبيباتها كبيرة ومفككة، لا تحتفظ بالماء بسبب كبر حجم حبيباتها وتفككها واهم الظروف المناخية التي تساعد على وجودها المناخ الحار والجاف لفترة طويلة من السنة مع الرياح الشديدة.

I.2.2.2.التربة الطينية

ذات تركيب معقد جدا لان حبيباتها تلتصق معا بواسطة مادة غروية، لونها بني داكن، حبيباتها صغيرة وناعمة جدا ومتماسكة، ونظرا لصغر حجم هذه الحبيبات الواضح من التحليل الميكانيكي للتربة فإن حجم هذه الفراغات البينية فيها يكون صغيرا جدا فلا يستطيع الماء أو الهواء التحرك بسهولة.

I.3.2.2.التربة الجيرية

تنتشر هذه الأراضي في المناطق ذات المناخ الجاف والغنية بالكالسيوم أين تكون المادة السائدة في المنطقة هي الحجر الجيري والكلس ...الخ، وندرة الأمطار في مثل هذه المناطق لا تكفي لغسيل الأملاح.

I.4.2.2.التربة الطينية الرملية

لونها أصفر، حبيباتها متوسطة الحجم، وهي أقل تماسكا من التربة الطينية، لكن لديها القدرة على الاحتفاظ بالماء[7, 8] .

I.3.الخصائص الفيزيائية والكيميائية والمناخية

تتميز التربة الصحراوية بوجود تنوع كبير في الكائنات الميكروبية ، لذلك فإنه من الممكن أن تؤثر مجموعة من العوامل الفيزيائية والكيميائية والمناخية في تشكيل خصائص هذه الكائنات[9].

I.1.3.الخصائص الفيزيائية

- **الملمس:** يتم تحديد ملمس التربة بناءً على نسبها من الطين والطمي والرمل؛ تتميز التربة الصحراوية في المناطق المرتفعة بنسيج خشن حيث تكون رملية ومليئة بالحصى، بينما في الأحواض والمنخفضات يكون النسيج ناعم؛ ويعتبر الملمس من الخصائص الهامة للتربة إذ أنه يؤثر على العديد من جوانب وظيفتها مثل كمية احتفاظها بالماء وقدرتها على تبادل الإلكتروليتات والكاتيونات؛ علاوة على ذلك فإنه يؤثر على توزيع الكائنات الحية في التربة ونشاطها وتفاعلاتها.
- **البنية:** تعرف البنية على أنها الترتيب أو التجميع الداخلي لجزيئات التربة، وتتأثر بشكل كبير بكمية المادة العضوية التي تربط هذه الجسيمات، فغياب أو وجود هذه التجمعات وشكلها يحدد نوع البنية؛ كما أنها تلعب دورًا مهمًا في توزيع الكائنات الدقيقة بسبب العلاقة العكسية بين الكثافة الميكروبية وحجم جزيئات التربة.

تتمتع التربة الصحراوية عموماً ببنية جسيمية وهي في الأساس تربة معدنية ومعظمها رملية والجزء العضوي فيها منخفض جداً، وغالباً ما يكون أقل من 1%، مما لا يسمح بتكوين تجميع جيد؛

وعلى الرغم من نقص المادة العضوية في البنية الجسيمية ، إلا أن بنية التربة الصحراوية تعزز نمو الكائنات الدقيقة بفضل توفيرها لتهوية جيدة ودوران الماء[10] .

I.2.3.الخصائص الكيميائية

- **درجة الحموضة (pH)**: تتميز التربة الصحراوية بدرجة حموضة قريبة من الحياد، مما يؤثر على تكوين الكائنات الدقيقة وبعض جوانب نشاطها؛ فكل نوع من الكائنات الدقيقة نشط ضمن حدود pH معينة تتناسب معه، على سبيل المثال تفضل البكتيريا والأكتينوميسيتات (Actinomycetes)،

التي تكون حساسة للحموضة التربة ذات درجة الحموضة المحايدة أو القلوية قليلاً، في حين أن الفطريات تنمو بشكل أفضل في التربة الحمضية؛ وبالتالي يُحتمل أن تكون البكتيريا وبخاصة الأكتينوميسيتات (Actinomycetes) أكثر وفرة في التربة الصحراوية.

علاوة على ذلك يؤثر الرقم الهيدروجيني بشكل غير مباشر على الكائنات الدقيقة من خلال تأثيره على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مما يغير من توافر العناصر الغذائية[11] .

- **الملوحة** : تغطي التربة المالحة مساحات واسعة من الأرض، وهي موجودة بشكل رئيسي في المناطق الجافة وشبه الجافة، مثل التربة الصحراوية في الجزائر التي تتميز بملوحة عالية[12] .

تؤثر هذه الأخيرة بشكل كبير على الكائنات الدقيقة في التربة، حيث تقلل من عدد الميكروبات وأنشطتها؛ وعلى الرغم من قدرة بعض البكتيريا المحبة للملوحة على تحملها ، إلا أن ارتفاعها يزيد من الضغط الأسموزي مما يعيق نمو الكائنات الحية الدقيقة ويقلل من النشاط الميكروبي ، مما يؤدي إلى تراكم المادة العضوية غير المتحللة ويؤثر على توافر المغذيات للنباتات ؛ كما تتأثر عملية النترجة والتنفس خاصة بهذه الملوحة العالية[13-15] .

I.3.3.الخصائص المناخية

يتميز مناخ المناطق الصحراوية بالجفاف الشديد، مع قلة الأمطار وعدم انتظامها، وارتفاع درجات الحرارة، وشدة التوهج، بالإضافة إلى الرياح القوية التي تساهم في زيادة التبخر ونتطرق إليها فيما يلي:

- **هطول الأمطار**: الأمطار في المناطق الصحراوية نادرة وغير منتظمة، وتكون شديدة في بعض الأحيان خاصة في الصيف كما أن غيابها لفترات طويلة يزيد من حدة الجفاف؛ في النظم البيئية الجافة تؤثر الأمطار على النشاط البيولوجي للكائنات الدقيقة حيث تعزز نمو الكتلة الحيوية الميكروبية عند زيادة تواترها [16] .

- **درجة الحرارة:** في الصحراء قد تتجاوز درجات الحرارة القصوى 50 C° في شهر يوليو ، بينما تنخفض الدرجات إلى 8C° - تحت الصفر في شهر يناير؛ على سطح الأرض يمكن أن تصل درجة الحرارة إلى 70C° ، لكنها تنخفض بسرعة في العمق ؛ تعتبر درجة حرارة التربة عاملًا أساسيًا في تكاثر الكائنات الدقيقة في المناطق الجافة، حيث يوجد حد أدنى تتوقف عنده نشاطات الكائنات ودرجة حرارة مثالية لنموها[15, 17] .
- **الرياح :** تعتبر الرياح من العوامل النشطة في المناطق الصحراوية، حيث تتسبب العواصف الرملية في نقل الرمال وتراكمها، مما يساهم في تشكيل التضاريس وزيادة نقص المياه في التربة؛ كما أنها تؤثر على جودة الهواء وتساعد في انتشار الكائنات الدقيقة مثل الملح والبكتيريا بسبب الجزيئات الصغيرة المحمولة[17, 18] .
- **الرطوبة :** الماء الحيوي هو العامل الرئيسي المؤثر على النشاط الميكروبي في التربة الصحراوية ؛ و في الصحراء الكبرى تقل الرطوبة مما يحد من النشاط الميكروبي في التربة الجافة، ولكن هذا النشاط يزداد مع زيادة الرطوبة فيها ؛ كما أن نقص الماء المستمر يساهم في تكاثر بعض المجموعات الميكروبية ، بينما تنجح كائنات دقيقة أخرى في التكيف مع الجفاف[14, 15, 18] .
- **التبخر:** هو عنصر رئيسي في مناخ الصحراء الكبرى، حيث تتمتع هذه المنطقة بأعلى معدلات للتبخر الذي يرتبط عكسياً بمحتوى الرطوبة، مما يؤثر على النشاط الميكروبي[17, 19] .

ورغم الظروف القاسية في الصحراء التي تجعل الحياة صعبة على الكائنات الدقيقة والنباتات، إلا أن النظام البيئي الصحراوي لا يخلو من النباتات.

I.4. خصائص النظام البيئي القاحل وقيود تربته

I.4.1. ندرة المياه

تعد ندرة المياه العامل الرئيسي المحدد للإنتاج الزراعي في المناطق القاحلة، حيث تفوق معدلات التبخر كميات الأمطار الضئيلة، مما يؤدي إلى تدهور خصوبة التربة وتراكم الأملاح مثل البوتاسيوم والكالسيوم، وهذا يعيق النمو النباتي، كما أن أنظمة تقييم خصوبة التربة التقليدية غير مناسبة لهذه المناطق، مما يتطلب تطوير أدوات مخصصة نذكر منها:

- **تحسين كفاءة الري**
  - يمكن توفير حتى 35% من المياه عبر أنظمة الري الحديثة مثل الري بالتنقيط، الذي يزيد إنتاجية

المحاصيل بنسبة 25% مقارنة بالري السطحي.

- إعادة استخدام مياه الصرف الصحي والمعالجة، رغم مخاطرها مثل تملح التربة وتراكم الملوثات[20, 21] .

اختيار المحاصيل المناسبة

- الذرة الرفيعة والكينوا (ذات جذور عميقة وتكيف خلوي فريد) تتفوق في تحمل الجفاف والملوحة.
- بعض المحاصيل مثل قمح الخبز يتحمل ملوحة تصل إلى6 dS/m، بينما الشعير يتحمل حتى 8 dS/m [22] .

إدارة التربة والمغذيات

- استخدام البوليمرات فائقة الامتصاص (SAPs) يحسن خصوبة التربة ويقلل فقدان المياه، مع زيادة إنتاجية الحبوب بنسبة 15% .
- تحسين التغطية النباتية لإدارة الرطوبة وتقليل التبخر[23].

التغطية البلاستيكية

- تمنع فقدان رطوبة التربة وترفع كفاءة استخدام المياه، خاصة في المناطق ذات الأمطار القليلة.

قد تؤدي إلى اختلال في توازن الرطوبة إذا لم تُستخدم بشكل صحيح، خاصة في المناطق الغنية بالموارد[24, 25] .

2.4.I. الكربون العضوي وغير العضوي في التربة

يُعد الكربون العضوي (SOC) مكونًا رئيسيًا لبنية التربة حيث يزيد من مقاومتها للجفاف وإنتاجية المحاصيل، تحتوي التربة القاحلة على مخزون منخفض من SOC بسبب الظروف المناخية القاسية، أما الكربون غير العضوي (SIC) يوجد غالبا على شكل كربونات التربة مثل كربونات الكالسيوم ؛وله دور في تجميع التربة وتحسين استقرارها المائي خاصة عند انخفاض محتوى المادة العضوية؛ يساهم في احتجاز الكربون بمعدل 0.2–0.1 طن/هكتار/سنويًا في المناطق الجافة[26, 27].

فقدان الكربون العضوي

- الممارسات الزراعية التقليدية مثل الحرث المكثف والرعي الجائر تقلل الغطاء النباتي، مما يزيد تآكل التربة ويقلل SOC .

- استخدام مخلفات المحاصيل كعلف أو الروث كوقود في بعض الدول النامية يحد من إعادة تدوير المغذيات[28, 29].

استراتيجيات تحسين مخزون الكربون

تحسين دورة المحاصيل:

- زراعة محاصيل متنوعة وجذور عميقة (مثل الأعشاب المعمرة والبقوليات) تزيد الكربون العضوي في التربة.
- الأنظمة التي تجمع بين المحاصيل السنوية والمراعي تحسن تنوع التربة وتعيد تدوير النيتروجين عبر تثبيته بيولوجيًا.

دور النباتات المعمرة:

- تضيف كميات أكبر من الكربون والنيتروجين إلى التربة مقارنة بالمحاصيل السنوية، بفضل جذورها العميقة.
- تحسن التخزين طويل الأمد للمغذيات وتقلل الحاجة للأسمدة الكيماوية.

تقنيات الزراعة المستدامة:

- الزراعة بدون حرث تحافظ على تركيزاتSOC، لكن إزالة المراعي من الدورة الزراعية قد يقلل الإنتاجية[30, 31].

I .3.4. الملوحة

تحسين الممارسات الزراعية

- الري المتقن :استخدام مياه ذات جودة عالية وتقنيات صرف فعالة (مثل الصرف الجاف أو البيولوجي).
- التغطية بالقش :تقلل التبخر وتوازن توزيع الأملاح في الطبقة السطحية (40-0cm).

الزراعة الملحية (Biosaline Agriculture)

- زراعة محاصيل تتحمل الملوحة أو أصناف معدلة وراثيًا، الذرة الرفيعة أيضا والكينوا تتحمل ملوحة عالية مقارنة بالقمح.

الغسيل

- غسل الأملاح من منطقة الجذور، لكنه يتطلب نظام صرف فعال وتقليل المساحة المزروعة لتحقيق جدوى اقتصادية.

الميكروبات المفيدة

- استخدام البكتيريا الزرقاء (Cyanobacteria) لتحسين التربة وتقليل تأثير الملوحة عبر آلية "طرد الأملاح".
- تحفيز التنوع الميكروبي عبر الزراعة العضوية والتركيبات الميكروبية.

النباتات المعمرة

- زراعة نباتات عميقة الجذور (مثل بعض الأعشاب) لامتصاص الأملاح وتحسين تهوية التربة[32].

I .4.4. اختلال التوازن الغذائي

تأثير الجفاف والجفاف المتزايد على مغذيات التربة في المناطق الجافة

تعاني التربة الجافة من نقص في الكربون (C) والنيتروجين (N) والفوسفور (P)، لكن زيادة الجفاف تفاقم هذه النواقص؛ كما يؤدي انخفاض رطوبة التربة والغطاء النباتي إلى تقليل تخزين الكربون والنيتروجين، مما يؤثر سلباً على العمليات الحيوية مثل التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين الجوي والنشاط الميكروبي و الإنزيمي؛ كما أن ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض الغطاء النباتي يسرعان من جفاف التربة، مما يزيد التعرية وفقدان الجسيمات الدقيقة الغنية بالمغذيات مثل الطين[33, 34].

تأثير الملوحة على امتصاص النيتروجين

تقلل الملوحة من امتصاص النيتروجين في المحاصيل بسبب المنافسة بين أيونات الكلوريد (Cl^-) والنترات (NO_3^-)؛ كما تقلل من كثافة الريزوبيا (rhizobia) واستعمار الشعيرات الجذرية، مما يضعف تثبيت النيتروجين التكافلي، وخاصةً بسبب محدودية نمو النبات المضيف[35].

توفر الفوسفور ومساهمة الكائنات الدقيقة

على الرغم من وفرة الفوسفور في التربة، إلا أن توافره الحيوي منخفض، حيث يترسب 75-90% من الأسمدة الفوسفورية المضافة مع كاتيونات المعادن؛ تعمل البكتيريا المذيبة للفوسفات على تحسين توفر

الفوسفور من خلال إنتاج الأحماض العضوية والإنزيمات، مما يوفر حلاً مستداماً للتربة الفقيرة بالفوسفور؛ الكائنات الدقيقة من البيئات القاسية (مثل التربة المالحة أو الفقيرة بالمغذيات) أكثر كفاءة في إذابة الفوسفات مقارنة بتلك من التربة المعتدلة[36, 37].

نقص المغذيات الدقيقة (الحديد والزنك) في المناطق الجافة:

وجد أن تركيزات الحديد (Fe) والزنك (Zn) في التربة الجافة أقل من المتوسطات العالمية؛ ينخفض توفر الحديد بشدة مع الجفاف بسبب تحوله إلى أشكال أقل ذوباناً، بينما يرتبط نقص الزنك بانخفاض محتوى الطين والمادة العضوية في التربة[38, 39].

التغيرات الكيميائية للتربة في البيئات الجافة

يؤدي انخفاض الكربون العضوي وارتفاع درجة الحموضة (pH) في التربة الجافة إلى تقليل توفر المغذيات؛ كما تبطئ الظروف الجافة من تحلل المعادن، مما يحد من المواقع النشطة للاحتفاظ بالمغذيات؛ بالإضافة إلى ذلك، يتحول الحديد إلى أشكال غير قابلة للذوبان تحت ظروف ندرة المياه، مما يحد أكثر من امتصاص النبات[39, 40].

I.5.4. التربة الرملية

الخصائص الرئيسية للتربة الرملية

- المكونات :تحتوي على 70%رمل و 15 %طين، مما يجعلها عالية النفاذية للماء؛ وضعيفة في الاحتفاظ بالمغذيات والماء وعرضة لزحف الرمال.
- التوزيع الجغرافي :تنتشر في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، خاصة في الصحاري والمناطق الساحلية.
- محتوى الكربون العضوي(SOC) : منخفض عموماً (5 غ/كغ في المناطق الجافة)؛ قد يصل إلى 50 غ/كغ في الطبقة السطحية بظروف خاصة[41, 42].

تحديات الزراعة في التربة الرملية

- فقدان المغذيات: بسبب غسيل الأسمدة والمبيدات، وانخفاض القدرة على تبادل الكاتيونات (CEC)، وتدهور البنية بسبب نقص الطين والمواد العضوية.

- التباين في الكربون العضوي: مرتفع في الغابات (90 غ/كغ) والمراعي (187 غ/كغ)؛ ومنخفض في الأراضي الزراعية (38 غ/كغ).

استراتيجيات التحسين

- التسميد العضوي والكيميائي: يزيد SOCبمقدار (3 غ/كغ) مع الأسمدة الكيماوية ويعززه مع إضافة السماد العضوي.
- التلقيح بالبكتيريا الزرقاء (Cyanobacteria): تكوين قشور حيوية (Biocrusts) تثبت التربة، يوجد أيضا أنواع مثل *Leptolyngbya ohadii* تتكيف مع الجفاف الشديد.
- إدارة النيتروجين: تثبيت النيتروجين الجوي (N_2) عبر القشور الحيوية؛ يتأثر سلباً بالتسميد النيتروجيني (ينخفض بنسبة 80% عند إضافة 55 رطل/فدان) [44 ,43].

5.I.أنواع مُحسّنات التربة

تستخدم محسنات التربة لتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة، وتنقسم إلى:

1.5. I .المُحسّنات العضوية

مصادرها كربونية طبيعية وتشمل:

- روث الحيوانات : مثل روث الأبقار، الماعز، الدواجن (غنية بالعناصر الغذائية)[45].
- الكمبوست : ناتج عن تحلل المخلفات العضوية في وجود الأكسجين، ويُحسّن خصوبة التربة[46].
- السماد الدودي :استخدام ديدان الأرض مثل(Eisenia fetida) لتسريع التحلل، مما ينتج سمادا غنيا بالمغذيات ومنظمات النمو[46].
- مخلفات المحاصيل : مثل القش، التبن، قشور الحبوب، والتي تُحسّن المادة العضوية في التربة[47].
- الأسمدة الحيوية : مثل الريزوبيوم (Rhizobium)للفول السوداني وفول الصويا، والفطريات المُفيدة التي تزيد امتصاص العناصر[46].
- الفحم الحيوي :فحم نباتي يحسن احتباس الماء والمغذيات، ويُقلل فقدان الأسمدة، ويعزز النشاط الميكروبي[48, 49].

- المخلفات البلدية والصناعية :مثل الحمأة المُعالجة من مياه الصرف الصحي، ونفايات مصانع السكر مثل البوتاس لتحسين التربة المالحة.

2.5.I.المُحسّنات غير العضوية

تستخرج من المناجم أو تصنع كيميائيا، وتشمل:

- الجبس :يُستخدم لتحسين التربة الملحية والغنية بالصوديوم، ويوفر الكالسيوم والكبريت.
- الجير :لضبط حموضة التربة (رفع الpH).
- الزيوليت (zeolite): يزيد قدرة التبادل الكاتيوني ويقلل فقدان النيتروجين.
- الصخر البركاني والطين الممتص: لتحسين خصائص التربة الفيزيائية مثل التهوية واحتباس الماء[50].

6.I. التعديلات العضوية في تحسين التربة في المناطق القاحلة

1.6.I. فوائد المُحسّنات العضوية

- تحسين خصوبة التربة : تزيد المادة العضوية من الكربون العضوي (SOC) بنسبة29 –49% مقارنة بالتربة غير المُعالجة[51].
- تعزيز الإنتاجية : يمكن أن ترفع المحاصيل بنسبة 60 %عند استخدامها وحدها، وبنسبة 114% عند دمجها مع الأسمدة النيتروجينية[52].
- تحسين الخصائص الفيزيائية : مثل التهوية، احتباس الماء، وتقليل الكثافة الظاهرية للتربة[53].
- دعم النشاط الميكروبي : خاصة في التربة الفقيرة بالمادة العضوية أو ذات الـ pH المتعادل أو القلوي قليلًا[54].

2.6.I. التحديات في المناطق الجافة

- نقص المخلفات العضوية : بسبب استخدامها كعلف للحيوانات، مما يزيد تكلفة نقلها كسماد عضوي [54].
- بطء التحلل الميكروبي : التربة الرملية الجافة تقلل من نشاط الميكروبات، مما يُضعف تحرير المغذيات في الموسم الأول[54].

- تأثير غير فوري :فوائد تحسين بنية التربة واحتباس الماء تظهر على المدى الطويل.

I.3.6. دور الفحم الحيوي في المناطق الجافة

- تحسين الخواص الفيزيائية : مثل التجمّع الحبيبي للتربة وزيادة النفاذية المائية[53].
- تنظيم حرارة التربة : تقليل التقلبات الحرارية في التربة السطحية (مثل تجارب مناجم الفحم في الصين)[55].

خاتمة الفصل:

ختاماً، يؤكد هذا الفصل أن التربة الصحراوية رغم قساوة ظروفها تمتلك إمكانات كبيرة يمكن استثمارها عبر استخدام مدروس للمحسنات العضوية؛ حيث أظهرت الدراسات قدرة هذه التقنيات على تحسين خصائص التربة وزيادة إنتاجيتها بشكل ملحوظ، مما يفتح آفاقاً جديدة للزراعة المستدامة في المناطق القاحلة.

مراجع الفصل الأول

[1] M. Schuster *et al.*, "The age of the Sahara desert," vol. 311, no. 5762, pp. 821-821, 2006.
[2] S. Pudasaini *et al.*, "Microbial diversity of Browning Peninsula, Eastern Antarctica revealed using molecular and cultivation methods," *Frontiers in microbiology*, vol. 8, p. 591, 2017.
[3] T. P. Makhalanyane, A. Valverde, E. Gunnigle, A. Frossard, J.-B. Ramond, and D. A. Cowan, "Microbial ecology of hot desert edaphic systems," *FEMS microbiology reviews*, vol. 39, no. 2, pp. 203-221, 2015.
[4] H. Van Es, "A new definition of soil," *Csa News*, vol. 62, no. 10, pp. 20-21, 2017.
[5] J. E. Gieseking, *Soil Components: Vol. 2: Inorganic Components*. Springer Science & Business Media, 2012.
[6] M. Ishiguro and L. K. Koopal, "Surfactant adsorption to soil components and soils," *Advances in colloid and interface science*, vol. 231, pp. 59-102, 2016.
[7] Z. Bai *et al.*, "The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types," *Plant and Soil*, vol. 372, pp. 27-37, 2013.
[8] M. Kovačević, B. Bajat, and B. Gajić, "Soil type classification and estimation of soil properties using support vector machines," *Geoderma*, vol. 154, no. 3-4, pp. 340-347, 2010.
[9] W. Alsharif, M. M. Saad, and H. J. F. i. M. Hirt, "Desert microbes for boosting sustainable agriculture in extreme environments," vol. 11, p. 1666, 2020.
[10] L. Zhang, Y. Jing, G. Chen, X. Wang, R. J. J. o. S. Zhang, and Sediments, "Improvement of physical and hydraulic properties of desert soil with amendment of different biochars," vol. 19, pp. 2984-2996, 2019.
[11] U. U. Henry, M. C. Clérisse, N. Djaimbu, T. B. Robert, B. K. Benoît, and B. B. Rughen, "Sélection participative des variétés pour la résistance à la striure brune du manioc en Province du Sud-Kivu, République Démocratique du Congo," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 37, no. 2, pp. 407-415, 2022.
[12] G. Charan *et al.*, "Altitudinal variations in soil physico-chemical properties at cold desert high altitude," vol. 13, no. 2, pp. 267-277, 2013.
[13] J. O. Naoum, "Study of bacterial populations from oligotrophic soil ecosystems using high throughput sequencing technologies," Université Paris-Saclay, 2016.
[14] M. KARABI, "Fonctionnement microbiologique des sols oasiens. Cas de quelques sols de la région de Ouargla," 2017.
[15] R. DARI, "Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides exemple d'un sol salé sous deux types de cultures," UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA, 2013.

[16] S. K. Alavipanah *et al.*, "Remote sensing application in evaluation of soil characteristics in desert areas," vol. 2, no. 1, pp. 1-24, 2016.
[17] I. BERKAL, "Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie," INA, 2006.
[18] S. An, "Characterization of bacterial diversity in three oligotrophic environments using high-throughput sequencing technology," Université Paris Sud-Paris XI, 2012.
[19] Z. KADDOU, "Réduction de l'évaporation des plans d'eau: effet des grains de sable sur les performances des films mono-moléculaires."
[20] A. Yazar, S. M. Sezen, and B. Gencel, "Drip irrigation of corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey," *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, vol. 51, no. 4, pp. 293-300, 2002.
[21] M. Fader, S. Shi, W. von Bloh, A. Bondeau, and W. Cramer, "Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 20, no. 2, pp. 953-973, 2016.
[22] A. Naorem *et al.*, "Soil constraints in an arid environment—challenges, prospects, and implications," vol. 13, no. 1, p. 220, 2023.
[23] M. Jahan and M. Nassiri Mahallati, "Can superabsorbent polymers improve plants production in arid regions?," *Advances in Polymer Technology*, vol. 2020, no. 1, p. 7124394, 2020.
[24] H. Gao, C. Yan, Q. Liu, W. Ding, B. Chen, and Z. Li, "Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis," *Science of the Total Environment*, vol. 651, pp. 484-492, 2019.
[25] F.-M. Li, J. Wang, J.-Z. Xu, and H.-L. Xu, "Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China," *Soil and Tillage Research*, vol. 78, no. 1, pp. 9-20, 2004.
[26] A. Naorem, S. Jayaraman, R. C. Dalal, A. Patra, C. S. Rao, and R. Lal, "Soil inorganic carbon as a potential sink in carbon storage in dryland soils—a review," *Agriculture*, vol. 12, no. 8, p. 1256, 2022.
[27] R. Lal, "Carbon sequestration in dryland ecosystems," *Environmental management*, vol. 33, pp. 528-544, 2004.
[28] J. Álvaro-Fuentes, J. Arrúe, R. Gracia, and M. López, "Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions," *Geoderma*, vol. 145, no. 3-4, pp. 390-396, 2008.
[29] R. Lal, "Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands," *Land degradation & development*, vol. 17, no. 2, pp. 197-209, 2006.
[30] C. S. Wortmann *et al.*, "Perennial grass ley rotations with annual crops in tropical Africa: A review," *Agronomy Journal*, vol. 113, no. 6, pp. 4510-4526, 2021.

[31] S. DuPont *et al.*, "Root traits and soil properties in harvested perennial grassland, annual wheat, and never-tilled annual wheat," *Plant and Soil*, vol. 381, pp. 405-420, 2014.
[32] A. Naorem *et al.*, "Soil constraints in an arid environment—challenges, prospects, and implications," *Agronomy*, vol. 13, no. 1, p. 220, 2023.
[33] F. Jiao, X.-R. Shi, F.-P. Han, and Z.-Y. Yuan, "Increasing aridity, temperature and soil pH induce soil CNP imbalance in grasslands," *Scientific reports*, vol. 6, no. 1, p. 19601, 2016.
[34] J. F. Reynolds *et al.*, "Global desertification: building a science for dryland development," *science*, vol. 316, no. 5826, pp. 847-851, 2007.
[35] N. Fageria, H. Gheyi, and A. Moreira, "Nutrient bioavailability in salt affected soils," *Journal of plant nutrition*, vol. 34, no. 7, pp. 945-962, 2011.
[36] E. T. Alori, B. R. Glick, and O. O. Babalola, "Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture," *Frontiers in microbiology*, vol. 8, p. 971, 2017.
[37] F. Zhu, L. Qu, X. Hong, and X. Sun, "Isolation and characterization of a phosphate- solubilizing halophilic bacterium Kushneria sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China," *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2011, no. 1, p. 615032, 2011.
[38] E. Moreno-Jiménez, C. Plaza, H. Saiz, R. Manzano, M. Flagmeier, and F. T. Maestre, "Aridity and reduced soil micronutrient availability in global drylands," *Nature sustainability*, vol. 2, no. 5, pp. 371-377, 2019.
[39] M. Kleber, K. Eusterhues, M. Keiluweit, C. Mikutta, R. Mikutta, and P. S. Nico, "Mineral–organic associations: formation, properties, and relevance in soil environments," *Advances in agronomy*, vol. 130, pp. 1-140, 2015.
[40] N. Kämpf and U. Schwertmann, "Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils," *Geoderma*, vol. 29, no. 1, pp. 27-39, 1983.
[41] A. Van Wambeke, "Soils of the tropics: properties and appraisal," 1992.
[42] J. L. Yost and A. E. Hartemink, "Effects of carbon on moisture storage in soils of the Wisconsin Central Sands, USA," *European Journal of Soil Science*, vol. 70, no. 3, pp. 565-577, 2019.
[43] D. Scott, "Soil wettability in forested catchments in South Africa; as measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics," *Journal of Hydrology*, vol. 231, pp. 87-104, 2000.
[44] J. Fan, W. Ding, J. Xiang, S. Qin, J. Zhang, and N. Ziadi, "Carbon sequestration in an intensively cultivated sandy loam soil in the North China Plain as affected by compost and inorganic fertilizer application," *Geoderma*, vol. 230, pp. 22-28, 2014.
[45] A. Franco, M. Schuhmacher, E. Roca, and J. L. Domingo, "Application of cattle manure as fertilizer in pastureland: Estimating the incremental risk due to metal accumulation employing a multicompartment model," *Environment international*, vol. 32, no. 6, pp. 724-732, 2006.

[46] R. Reddy, S. Triveni, and K. Chari, "Biofertilizers for sustainable production in oil seed crops," *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, vol. 3, no. 6, pp. 435-441, 2016.
[47] X.-x. Guo, H.-t. Liu, and J. Zhang, "The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review," *Waste Management*, vol. 102, pp. 884-899, 2020.
[48] T. Purakayastha *et al.*, "A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: pathways to climate change mitigation and global food security," *Chemosphere*, vol. 227, pp. 345-365, 2019.
[49] G. K. Sharma *et al.*, "Recent development in bioremediation of soil pollutants through biochar for environmental sustainability," *Biochar applications in agriculture and environment management*, pp. 123-140, 2020.
[50] Y. Mao, X. Li, W. A. Dick, and L. Chen, "Remediation of saline–sodic soil with flue gas desulfurization gypsum in a reclaimed tidal flat of southeast China," *Journal of environmental sciences*, vol. 45, pp. 224-232, 2016.
[51] E. Kaiser, T. Mueller, R. Joergensen, H. Insam, and O. Heinemeyer, "Evaluation of methods to estimate the soil microbial biomass and the relationship with soil texture and organic matter," *Soil biology and biochemistry*, vol. 24, no. 7, pp. 675-683, 1992.
[52] P. Chivenge, B. Vanlauwe, and J. Six, "Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis," *Plant and Soil*, vol. 342, pp. 1-30, 2011.
[53] A. Mukherjee and R. Lal, "Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions," *Agronomy*, vol. 3, no. 2, pp. 313-339, 2013.
[54] R. J. Haynes and R. Naidu, "Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review," *Nutrient cycling in agroecosystems*, vol. 51, pp. 123-137, 1998.
[55] J. Xiong, R. Yu, E. Islam, F. Zhu, J. Zha, and M. I. Sohail, "Effect of biochar on soil temperature under high soil surface temperature in coal mined arid and semiarid regions," *Sustainability*, vol. 12, no. 19, p. 8238, 2020.

الفصل الثاني:

تثمين المخلفات النباتية

والفحم الحيوي

في ظل التحديات البيئية المتزايدة، أصبح استغلال المخلفات الزراعية نهجا ضروريا لتحقيق التنمية المستدامة، وتعد قشور الفواكه مثل الرمان والبرتقال من بين المخلفات التي تمتلك إمكانيات واعدة لإعادة التدوير والاستفادة منها بطرق مبتكرة، ومن بين أهم التطبيقات المستدامة لهذه المخلفات يأتي إنتاج الفحم الحيوي الذي يعد مادة فعالة لتحسين خصائص التربة وتعزيز الإنتاجية الزراعية، ويهدف هذا الفصل إلى دراسة مختلف أنواع المخلفات وإمكانية استخدامها في إنتاج الفحم الحيوي.

II.1. المخلفات

هي كل البقايا الناتجة عن عمليات الإنتاج أو التحويل أو الاستعمال و بصفة عامة كل المواد والأشياء المنقولة التي يتخلص منها حائزها أو ينوي التخلص منها أو التي يلزم التخلص منها أو بإزالتها بهدف عدم الأضرار بصحة الإنسان و البيئة و تعرف كذلك بأنها المواد الغير صالحة للاستعمال أو الأجسام المتعلقة بمختلف أوجه النشاط الإنساني والتي يجب التخلص منها[1] .

II.1.1. تعريف المخلفات النباتية

المخلفات النباتية هي جميع الأجزاء النباتية المتبقية بعد عمليات الحصاد أو التجهيز أو الاستهلاك وتشمل هذه المخلفات الأوراق، الأغصان، الجذور، الأزهار، والقشور؛ تتشكل المخلفات النباتية نتيجة للعديد من الأنشطة الزراعية والصناعية[2] .

II.2. الرمان

نبات الرمان، المعروف علميا باسم *Punica granatum*، هو شجيرة أو شجرة صغيرة تنتمي إلى عائلة (Lythraceae)، يتميز نبات الرمان بأوراقه اللامعة وأزهاره الحمراء الزاهية التي تتطور إلى ثمار مستديرة ذات قشرة سميكة، تتنوع أنواع الرمان، حيث توجد العديد من الأصناف التي تختلف في الحجم، اللون، والطعم، بما في ذلك الرمان الحلو والرمان الحامض [3, 4] كما هو موضح في **الشكل (1.II)**.

الشكل (1.II): فاكهة الرمان.

1.2.II. الأسماء الشائعة[5]

- الاسم العلمي: Punica granatum
- الاسم بالفرنسية: Grenadier
- الاسم بالانجليزية: Pomegranate
- الاسم بالاسبانية: Granad
- الاسم بالايطالية: Melogran
- الاسم بالعربية: رمان

2.2.II. تصنيف الرمان[6]

- المملكة: النباتات
- الشعبة: البذريات
- تحت الشعبة: كاسيات البذور
- القسم: ثنائي الفلقة
- الرتبة: آسيات
- العائلة: الرمانية Punicacea
- الفصيلة: الخثرية Lythraceae
- الجنس: الرمان Punica
- النوع: الرمان الحبّي Punic granatum

II.3.2. المركبات و المكونات الكيميائية للرمان

للرمان قدرة عالية ضد الأكسدة والالتهابات، وهذا راجع لاحتوائه على العديد من المركبات منها:

- غني بالفيتامين C والمركبات الفينولية خاصة الأنثوسيانين (Anthocyanin) وحمض الفينوليك.
- العديد من أجزاء الرمان تحتوي على عدة أنواع من متعدد الفينولات خاصة التانين الذي يتواجد بتركيز مرتفع في اللحاء والسيقان.
- تحتوي البذور على زيت طيار يتكون من 80 % حمض دهني غير مشبع كما قد يحتوي على حمض الأوليك واللينوليك (Linoleic acid)، كما قد يتكون هذا الزيت الطيار من أحماض دهنية مشبعة
- الفلافينويدات تتواجد في الأوراق والأزهار وكذا حبوب الطلع.
- الرمان به الفلافانولات و الأندولات الأمنية مثل: التريبتامين (Tryptamine)[7, 8].

II.4.2.الاستعمالات الطبية للرمان

بالنسبة للاستعمالات الشعبية الطبية للرمان، فقد استخدمت أجزاءه المختلفة، بما في ذلك الزهرة والثمرة والجذع لعلاج حالات مختلفة من أهمها[9-11]:

- علاج اضطرابات الجهاز الهضمي، مثل علاج التقرحات وللقضاء على الديدان الشريطية.
- لتخفيف آلام الأسنان ولتخفيف حرارة الجسم.
- من استعمالات الرمان الأخرى التقليل من آلام القدمين وتحفيز عمل المخ.
- علاج أمراض البطن، والإسهال لاحتوائه على مواد دابغة للمعدة، وجسم الثمرة مقوي للقلب والمعدة والبذور مفيدة للمعدة.

II.5.2.فوائد الرمان

- يفتح الشهية
- يعالج سوء الهضم.
- يعالج الإمساك والإسهال المزمن.
- علاج اللثة وتقرحاتها.
- يزيد من سمك بطانة المعدة.
- مضاد للسرطان والالتهاب.
- يقوي المعدة الحامضية ويخفف من العطش والقيء.
- مضاد للأكسدة ويعالج الأمراض التناسلية البولية[12].

II.6.2. قشور الرمان

عبارة عن قشور مجففة من فاكهة الرمان، يتم جنيها في فصل الخريف، حيث تؤخذ حبات الرمان وتقشر و تجفف في الهواء الطلق بعيدا عن أشعة الشمس، طولها 10-5 سنتيمتر، أما عرضها4-1 سنتيمتر، لها سطح خشن لونه بني أما السطح الداخلي ناعم لونه أصفر كما هي مبينة في **(الشكلII.2)** ، عادة ما تكون به بقع صغيرة بنية اللون[13].

الشكل (II.2): قشور الرمان.

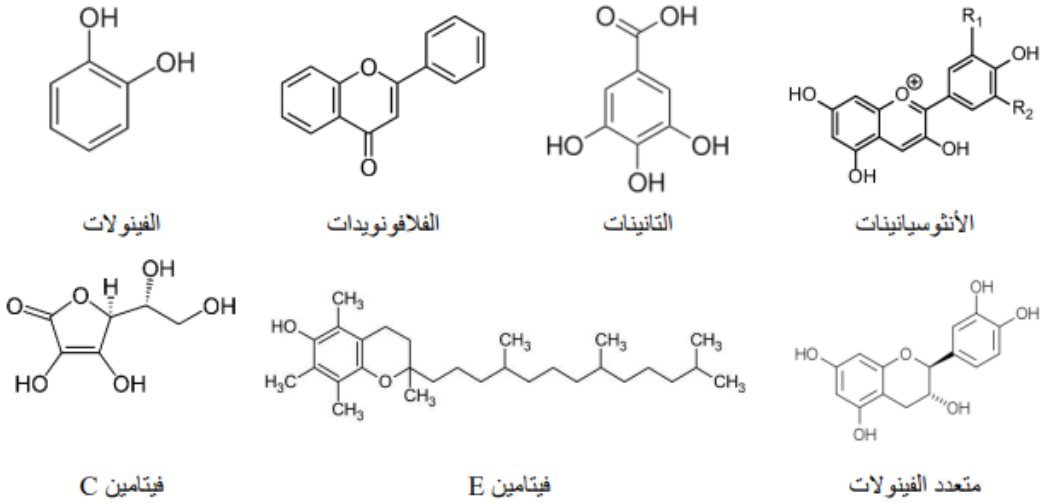
II.7.2. المركبات الكيميائية النباتية لقشور الرمان

تُعتبر قشور الرمان التي تُعد غالبًا من المخلفات الزراعية مصدرًا غنيًا بمضادات الأكسدة ومجموعة متنوعة من المركبات الكيميائية النباتية كما هو موضح في **(الجدول II.1)** و **الشكل(II.3)** ؛

تشمل المركبات الرئيسية الموجودة في قشور الرمان كلًا من الإيلاجيتانين (Ellagitannins)، وحمض الإيلاجيك (Ellagic Acid)، والبونيكالين (Punicalin), والبونيكالاجين (Punicalagin)، وحمض الجاليك[13, 14].

الجدول (II.1): المكونات الكيميائية لقشور الرمان وخصائصها.

المركب الكيميائي	الخصائص والفوائد	النسبة المئوية (%)
الفينولات	مضادات أكسدة قوية، تحمي من الأمراض المزمنة	20–30
الفلافونويدات	مضادات أكسدة، مضادات التهابات	10-15
التانينات	مضادات أكسدة، خصائص مضادة للميكروبات	25-35
الأنثوسيانينات	مضادات أكسدة، تعزز الصحة القلبية	5-10
فيتامين C	تعزيز المناعة، مضاد أكسدة	10-5
فيتامين E	مضاد أكسدة، يحمي الخلايا	3-1
البوتاسيوم	ضروري لوظائف الخلايا وتنظيم السوائل	200-150
المغنيسيوم	يساهم في وظائف العضلات والأعصاب	30-20



الشكل(3.II): أهم العائلات الكيميائية والمركبات الفعالة في قشور ثمرة الرمان.

3.II. البرتقال

البرتقال هو فاكهة حمضية تنتمي إلى فصيلة (Rutaceae) واسمه العلمي هو *Citrus sinensis* يتميز البرتقال بلونه البرتقالي الزاهي كما هو الموضح في **الشكل(4.II)** وطعمه الحلو الحامض، يحتوي على 23عنصرا جوهريا مثل: السكر، الكلس الفوسفور، الحديد وغيرها؛ وهو مصدر غني بفيتامين C و E والألياف الغذائية[15].

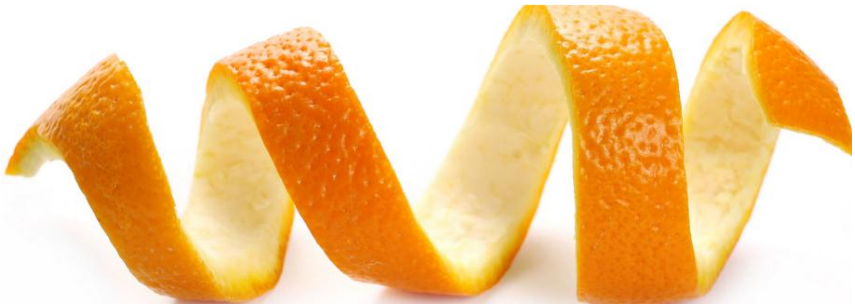
الشكل (4.II): فاكهة البرتقال.

1.3.II. التصنيف العلمي للبرتقال[16]

- المملكة:النباتات (Plantae)
- الشعبة:البذريات(Spermatophyta)
- الشعيبة:مغطاة البذور (Angiospermae)
- الطائفة:ثنائيات الفلقة (Magnoliopsida)
- الرتبة:الصابونيات (Sapindales)
- الفصيلة:السذابية (Rutaceae)
- الجنس: (Citrus) الحمضيات

2.3.II. قشور البرتقال

قشور البرتقال هي الطبقة الخارجية للثمرة المبينة في **الشكل (5.II)**، والتي تحتوي على الكثير من المركبات لاسيما الفلافونويدات وفيتامين C والزيوت العطرية والكاروتين وبكتين و Resin وعدد من الحوامض، مما يجعلها مكونًا مهمًا في العلاجات الطبية والصناعية، كما تعد قشور البرتقال مضاد للحشرات كحشرة المن والديدان والكثير من الطفيليات [17]



الشكل (5.II): قشور البرتقال.

3.3.II. مكونات قشور البرتقال

تحتوي قشرة البرتقال على كم هائل من المركبات الكيميائية كمضادات الأكسدة والفيتامينات والمعادن نذكر منها:

- تحتوي على أكثر من 60 نوع من مركبات الفلافونويد.
- أكثر من 170 عنصرا من المغذيات النباتية.

- غنية بالفيتامين C أكثر من البرتقالة نفسها.
- غنية بمجموعة متنوعة من الفيتامينات مثلا A و E وعائلة فيتامينات (B1,B2,B3,B5,B6,B9)
- بها كميات من الكالسيوم، الحديد، المغنزيوم، السليلوز والزنك.... إلخ.
- تحتوي أيضا على كميات هائلة من الألياف الغذائية مثل ما يعرف بالبكتينات والعفص وأنصاف السيليلوز.

كما يبين **الجدول (2.II)** خصائص ونسب أهم المركبات الكيميائية في قشور البرتقال

الجدول (2.II): المكونات الكيميائية الرئيسية في قشور البرتقال وخصائصها.

المركب الكيميائي	الخصائص والفوائد	النسبة المئوية (%)
الفينولات	مضادات أكسدة قوية، تحمي من الأمراض المزمنة	10-20
الفلافونويدات	مضادات أكسدة، مضادات التهابات	5-15
فيتامين C	تعزيز المناعة، مضاد أكسدة	5-10
البكتين	يساعد في الهضم، يخفض الكوليسترول	8-12
الألياف الغذائية	تحسين الهضم، تعزيز الشعور بالشبع	10-15

4.3.II. فوائد واستخدامات قشور البرتقال

أثبتت الدراسات و التجارب الحديثة أن لقشر البرتقال العديد من الفوائد على مختلف الأصعدة نذكر منها[18, 19]:

- التخلص من البق والحشرات المزعجة من خلال عمل رذاذ يرش على البعوض، ويتم استخراجه من قشور البرتقال.
- إضافة الروائح العطرية لاحتوائه على الزيوت العطرية.

- قشور البرتقال تعتبر مصدرًا غنيًا بمضادات الأكسدة التي تساهم في حماية الجسم من الأضرار الناتجة عن الجذور الحرة حيث وجدت دراسات أن النشاط المضاد للأكسدة لمستخلصات قشور البرتقال يعادل تقريبًا 80% من نشاط فيتامين C. كما تبين من خلال دراسات أخرى أن مستخلص قشور البرتقال يمكن أن يقلل من تلف الحمض النووي في الخلايا.

- إن قشور البرتقال تحتوي على الكثير من الفلافونويدات ومادة الكاروتين وفيتامينC وE وحامض الستريك، وهذه كلها تتغلب على الجذور الحرة (ROS) وتكون حاجزا واقيا من مضادات الأكسدة الأخرى، هذه المضادات تخلص الخلايا النباتية من الجذور الحرة الضارة.

- يعد دفن قشور البرتقال أحد الأساليب المستخدمة لتسميد التربة، إذ تضاف إليها فتستفيد النباتات الموجودة فيها من عنصر النيتروجين المهم لنموها وقوتها.

- يُستخدم البكتين المستخلص من القشور في صناعة المكملات الغذائية التي تساعد في تحسين الهضم وخفض مستويات الكولسترول.

- تُستخدم القشور كمادة حافظة طبيعية ولإضفاء نكهة مميزة، حيث تساهم المركبات الفينولية والفلافونويدات الموجودة في القشور في تحسين نكهة وثباتية المنتجات الغذائية.

II.4. الفحم الحيوي

II.4.1. تعريف

الفحم الحيوي (Biochar)هو مادة كربونية دقيقة المسام تنتج عن التحلل الحراري للكتلة الحيوية، مثل المخلفات النباتية والزراعية، في بيئة خالية أو شبه خالية من الأكسجين، وهي عملية تُعرف بالانحلال الحراري، يتميز بثباته الكيميائي والبيولوجي، مما يجعله مقاومًا للتحلل الميكروبي و قادرًا على البقاء في التربة لفترات طويلة دون فقدان خصائصه[20].

يُستخدم الفحم الحيوي بشكل أساسي كمحسّن للتربة، حيث يعزز قدرتها على الاحتفاظ بالماء والمغذيات، ويحسّن بنية التربة، مما يساهم في زيادة الإنتاجية الزراعية، كما أنه يلعب دورًا مهمًا في عزل

الكربون، مما يقلل من انبعاثات الغازات الدفيئة، مما يجعله أداة فعالة في استراتيجيات التنمية المستدامة وإصلاح الأراضي المتدهورة، إلى جانب ذلك يمكن استخدامه في معالجة المياه وتحسين خصائص المواد العضوية في التربة، مما يعزز التوازن البيئي ويساهم في استدامة النظم الزراعية.

II.2.4.إنتاج الفحم الحيوي

يمكن تصنيع الفحم الحيوي من المواد التي تحتوي على محتويات كربونية عالية مثل السماد الحيواني والمخلفات الزراعية ومخلفات الغابات والنفايات الحيوية الصناعية والنفايات البلاستيكية والطحالب الدقيقة وإطارات النفايات والوحل المنزوع الماء والكائنات البحرية والمائية، وما إلى ذلك ومن بين طرق الإنتاج ندرج ما يلي:

- **الإنحلال الحراري**

يتم إنتاج الفحم الحيوي عن طريق عملية تسمى الانحلال الحراري أو التحلل الحراري، حيث يتم تسخين الكتلة الحيوية في غياب الأكسجين الجزئي أو الكلي عند درجات حرارة عالية تتراوح بين 300-700 درجة مئوية وتترك هذه العملية بقايا صلبة عالية الكربون (حوالي 70 إلى80%) [21] .

- **التغويز (Gasification)**

تقوم بتحويل مركبات الكربون إلى منتجات غازية ثانوية وفي ظل وجود أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) والهيدروجين (H_2) وعوامل توليد الغاز مثل الأكسجين والهواء والبخار، يتم إنتاج غاز H_2 بدرجة حرارة عالية ويحتوي على هيدروكربونات ضئيلة [22] .

- **التحميص**

يعد التحميص طريقة جديدة لإنتاج الفحم الحيوي، ونظرًا لانخفاض معدل التسخين يُطلق عليها التحلل الحراري المعتدل؛ في بيئة لا هوائية خاملة عند درجة حرارة 300 درجة مئوية، حيث تعمل آليات التحلل المتعددة على إزالة الأكسجين والرطوبة وثاني أكسيد الكربون الموجود في الكتلة الحيوية كما تغير عملية التحميص خصائص الكتلة الحيوية، بما في ذلك حجم الجسيمات، ومحتوى الرطوبة، ومساحة السطح، ومعدل التسخين، وكثافة الطاقة [23] .

الكربنة الحرارية المائية

يمكن أن تنتج الكربنة بالماء الساخن الفحم الحيوي عند درجات حرارة تتراوح بين 180 و250 درجة مئوية وهي طريقة فعالة من حيث التكلفة، ولتمييزها عن المنتجات المتولدة من خلال الطرق الجافة مثل الانحلال الحراري والتغويز ويُطلق على تلك المنتجة من خلال العمليات الحرارية المائية اسم الهيدروكربونات[24].

II.3.4.خصائص الفحم الحيوي

تختلف خصائص الفحم الحيوي الفيزيائية والكيميائية بناءً على مصدر المادة الخام وظروف الإنتاج، مثل درجة الحرارة و الضغط ومدى توفر الأكسجين ووقت المعالجة ...إلخ[25]

II.1.3.4.الخصائص الفيزيائية

- **درجة الحرارة:** تعد العامل الأكثر تأثيرًا على التغيرات الفيزيائية للفحم الحيوي، يليها معدل التسخين والضغط
- **الهيكل:** هيكل غير متبلور مع هياكل بلورية محلية من الحلقات العطرية، له مسامية عالية بسبب بنيته الشبيهة بالإسفنج ويتكون من هيكل كربوني ناتج عن الانحلال الحراري للمواد العضوية.
- **توزيع حجم الجسيمات:** يعتمد على المادة الخام المستخدمة كما أنه قائم على الخشب الأكثر خشونة ويمتلك هيكل نسيج الخشب
- **مساحة السطح المحددة:** تتراوح بين 20 إلى3000 m^2/g اعتمادًا على المادة الخام وظروف المعالجة وله قدرة عالية على امتصاص الماء بسبب مساحة السطح الكبيرة والمجموعات الوظيفية
- **الكثافة:** منخفضة جدًا مع بنية مسامية تتكون من مسام كبيرة ومتناهية الصغر
- **المسامية:** تتشكل الفراغات على شكل مسام، مما يعزز قدرته على الاحتفاظ بالماء والمواد المغذية[26-28].

II.2.3.4.الخصائص الكيميائية:

- **الأس الهيدروجيني (pH)** :الفحم الحيوي عادةً قلوي، حيث يختلف الأس الهيدروجيني حسب المادة

الخام ويرتفع هدا الأخير بزيادة درجة الحرارة بسبب تراكم أكاسيد الفلزات القلوية، يساهم الفحم الحيوي في تعزيز قدرة التربة على موازنة التغيرات الحمضية عند إضافته إليها.

- **الموصلية الكهربائية (EC):** تزداد قيم الأس الهيدروجيني والموصلية الكهربائية في الفحم الحيوي المُنتَج عند درجات حرارة مرتفعة مقارنةً بذلك المُنتَج عند درجات حرارة منخفضة
- **قدرة التبادل الكاتيوني(CEC):** تساهم المساحة السطحية الكبيرة للفحم الحيوي في تحسين قدرته على التبادل الأيوني وامتصاص المغذيات، تعتمد قدرة التبادل الكاتيوني(CEC) على نوع المادة الخام وحجم الفحم الحيوي[20, 29, 30].

II.4.4.تنشيط الفحم الحيوي

يعد تنشيط الفحم الحيوي خطوة أساسية في جعله مفيداً للتربة، وينطوي ذلك على إثرائه بالكائنات الحية الدقيقة أو المواد العضوية (مثل السماد العضوي أو السماد الطبيعي) أو المغذيات (الأسمدة المعدنية)، حسب الاحتياجات الزراعية ونوع التربة والمناخ.

عملية التحفيز تؤدي إلى امتصاص وتثبيت المغذيات والماء المتاح في التربة بشكل مؤقت، يمكن أن تستغرق هذه العملية من 3 أشهر إلى سنة أو أكثر، حسب وجود الكائنات الدقيقة في التربة وخلال

هذه الفترة، قد تنخفض كفاءة التربة بسبب نقص الكائنات الدقيقة المفيدة مما يؤثر على إنتاج المحاصيل، وهناك العديد من طرق التنشيط، مثل دمج الأسمدة العضوية (السماد العضوي والسماد الطبيعي والوحل) أو الأسمدة المعدنية، وخاصة النيتروجينية، ومن الضروري فهم كيفية تحسين هذه المنتجات لقدرة امتصاص الفحم الحيوي واختيار الأنسب منها[31].

II.5.4.تأثير الفحم الحيوي

- **التأثيرات البيولوجية والزراعية**
  - زيادة مستوى المادة العضوية في التربة
  - تحفيز حياة التربة
- **التأثيرات الفيزيائية الكيميائية**
  - زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء.

- تحسين الاحتفاظ بالمغذيات.
- زيادة درجة حموضة التربة[20, 32, 33] .

التأثير على قوام التربة: يمكن أن يحسن الفحم الحيوي من قوام التربة وقابليتها للاستخدام، خاصة في التربة الطينية الثقيلة.

التأثير على القدرة على الاحتفاظ بالماء(RC): يعمل الفحم الحيوي على تحسين المساحة السطحية الكلية للتربة، مما يحل مشكلة المياه الزائدة في التربة الطينية عن طريق تحسين التهوية، كما أنه يزيد من القدرة على الاحتفاظ بالماء في التربة الرملية.

التأثير على التوصيل الكهربائي للتربة (EC): يقلل الفحم الحيوي من التوصيل الكهربائي في التربة المعالجة به، كما يمتلك قدرة عالية على امتصاص الأملاح، مما يقلل من ملوحة التربة بشكل عام، وإن إضافته إلى التربة يمكن أن تخفف من تأثير الإجهاد الناتج عن الملوحة، وذلك بفضل قدرته على امتصاص الأملاح وزيادة توافر البوتاسيوم، مما يعزز نمو النباتات وإنتاجيتها.

التأثير على قدرة التبادل الكاتيوني (CEC): أظهرت الأبحاث أن تطبيق الفحم الحيوي يمكن أن يحسن قدرة التبادل الكاتيونى (CEC) للتربة، مما يقلل من ترشيح المغذيات ويحسن استدامتها.

التأثير على الخصائص البيولوجية للتربة: يعمل الفحم الحيوي كمصدر طاقة للكائنات الحية الدقيقة والكائنات الغير المتجانسة، ويحميها عن طريق امتصاص الكربون والمغذيات القابلة للتغير، وبالتالي زيادة نموها وكفاءتها الأيضية، كما أن إضافة الفحم الحيوي إلى التربة يمكن أن يؤثر على pH التربة، مما يغير كثافة الكائنات الدقيقة، حيث يزداد عددها مع ارتفاع pH التربة.

التأثير على النباتات: عمل الفحم الحيوي عالي الجودة مثل الإسفنج الذي يحتفظ بالماء والمواد المغذية في التربة التي يمكن لجذور النباتات الوصول إليها، كما يمكن للفحم الحيوي أن يحسن تغذية النبات بالنيتروجين عند استخدامه مع الأسمدة النيتروجينية، مما يزيد من غلة المحاصيل.

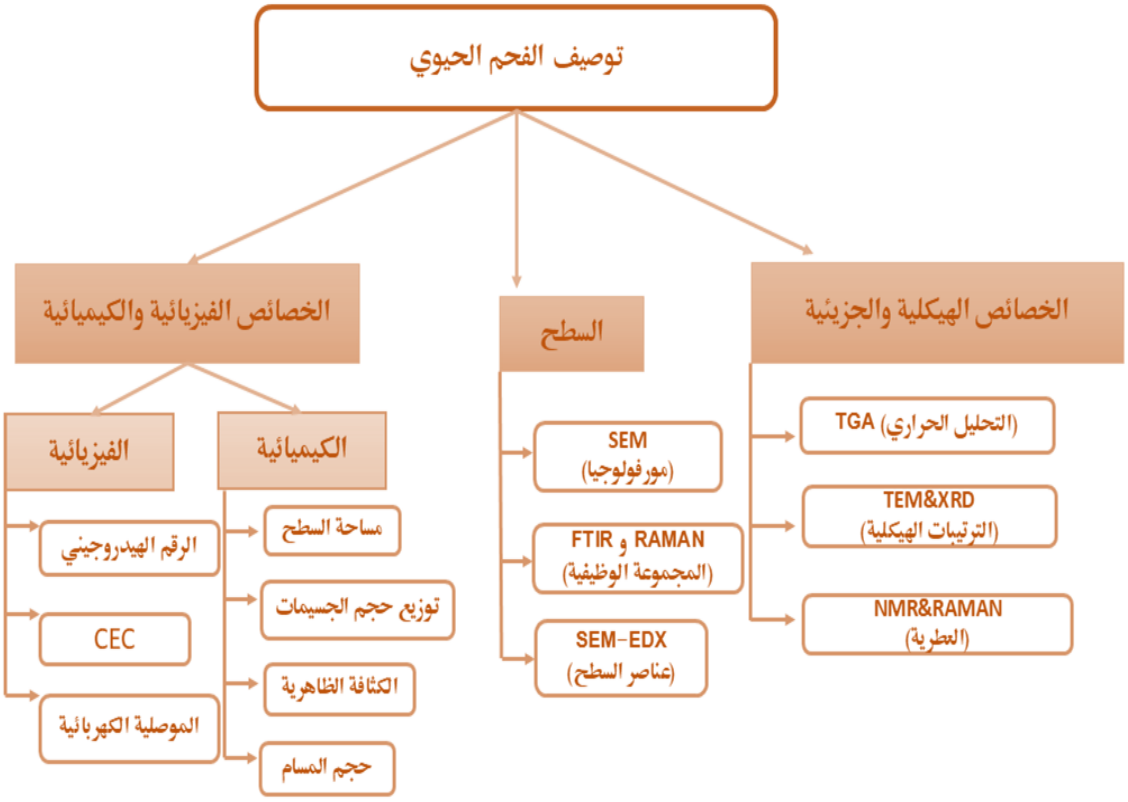
II.6.4.العوامل المؤثرة على خصائص الفحم الحيوي

ترتبط العوامل المؤثرة بشكل أساسي بالظروف أثناء عملية الانحلال الحراري , تشمل هذه العوامل المواد الأولية ودرجة الحرارة وحجم الجسيمات ومعدل التسخين، وكلها تؤثر بشكل مباشر على خصائص الفحم الحيوي و نذكر منها[34] :

- **المواد الخام** : تُصنف الموادالأولية إلى نوعين: المواد الأولية الخشبية (مثل مخلفات الأشجار) وغير الخشبية (مثل المخلفات الحيوانية والزراعية)[35].
- **الرطوبة** : يؤثر محتوى الرطوبة في المواد الأولية بشكل كبير على تشكيل الفحم الحيوي، و مع رطوبة أعلى تتطلب المزيد من الطاقة لإنتاجه[36].
- **درجة حرارة الكربنة:** تؤثر درجة حرارة الانحلال الحراري على التركيب الكيميائي للفحم الحيوي والمسامية ومساحة السطح، كما تغير درجات الحرارة المرتفعة عمومًا بنية وخصائص الفحم الحيوي[37].
- **العناصر المعدنية:** بعض العناصر مثل الكلور (Cl) والفلزات القلوية يمكن أن تسبب التآكل، بينما تبقى المعادن مثل الفوسفور (P) والكالسيوم (Ca) و المغنيزيوم (Mg) في الفحم الحيوي، مما يزيد من تركيزها[38].

II.7.4.توصيف الفحم الحيوي

يعد توصيف الفحم الحيوي خطوة أساسية لفهم خصائصه في تحسين خصائص التربة, يركز هذا التوصيف على تحليل تركيبته الكيميائية وخصائصه الفيزيائية, حيث يتكون الفحم الحيوي أساسا من الكربون بنسبة تتراوح بين 50% و90%، بالإضافة الى عناصر رئيسية مثل الهيدروجين ،الأكسجين، والنيتروجين، وعناصر معدنية ثانوية مثل البوتاسيوم، الكالسيوم، والمغنزيوم، مع وجود كميات ضئيلة من الفوسفور والحديد، يتم تحديد هذه العناصر باستخدام تقنيات علمية متقدمة الموضحة في **الشكل (II.6)** ، ما يساهم في تقييم جودة الفحم الحيوي وتحديد مدى كفاءته في الاستخدامات المختلفة.



الشكل (6.II): طرق توصيف الفحم الحيوي.

مطيافية تحويل فورير بالأشعة تحت الحمراء(FTIR)

تقنية FTIR تُستخدم لتحليل المجموعات الوظيفية على سطح الفحم الحيوي عبر الاهتزازات الجزيئية مع زيادة درجة الحرارة، تحدث تغيرات كبيرة في التركيب الكيميائي والبنائي للفحم الحيوي، ويمكن مراقبة هذه التغيرات بدقة باستخدام نظام FTIR غير الضار، عند الوصول إلى درجات حرارة عالية (ما بين 650-800 درجة مئوية)، تُظهر الأطياف فقدانًا تدريجيًا للمجموعات العطرية، في تقنية DRIFTSيتم تحضير العينة على شكل أقراص باستخدام بروميد البوتاسيوم، ثم تُوضع على بلورة ATR لتحديد المجموعات الوظيفية عبر ATR-FTIR[39] .

المجهر الإلكتروني الماسح(SEM)

يُستخدم المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لدراسة الهياكل السطحية للفحم الحيوي، حيث تُظهر الصور تغيرات في الشكل السطحي مع تغير درجة الحرارة ومع تحسن مسامية الفحم الحيوي وزيادة بلورية

المكونات المعدنية وتوفر صور SEM تفاصيل دقيقة عن توزيع المسام وترتيبها، مما يساعد في تحليل الشكل السطحي قبل وبعد الامتزاز ويُستخدمSEM-EDX لفحص التركيب العنصري لسطح الفحم الحيوي[40].

- **حيود الأشعة السينية (XRD)**

تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) تُستخدم لتحليل بلورية وبنية الفحم الحيوي حيث تُظهر المنحنيات الحيودية خصائص المواد غير المتبلورة المتكونة عند درجات حرارة عالية، وتساعد في إنتاج فحم حيوي عالي الجودة مع كفاءة امتزاز عالية وتُستخدم الأجهزة الحديثة المزودة بمصادر إشعاع ومحركات دقيقة لتحقيق نتائج دقيقة وسريعة[41].

- **التحليل الحراري الوزني (TGA)**

يُستخدم التحليل الحراري الوزني (TGA) لدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد مع زيادة درجة الحرارة ويتم تطبيقه لتحليل سلوك الاحتراق في الفحم الحيوي ومزجه مع الكتلة الحيوية، بالإضافة

إلى تحديد التفاعلات التآزرية بين مكونات الخلطات حيث تبدأ العملية بتسخين العينة من درجة حرارة الغرفة حتى تصل إلى 1000 درجة مئوية، باستخدام معدلات تسخين متنوعة وتُساهم نتائج هذا التحليل في الفهم الأعمق للعمليات الحرارية وتحسين تقييم خصائص العينات[42].

II.8.4.تطبيقات الفحم الحيوي

- **المحفز**

يعمل الفحم الحيوي كمحفز مع مجموعة واسعة من التطبيقات في الزراعة والبيئة والطاقة في خصائصه، وخاصة مساحة السطح الكبيرة، تجعله فعالاً كمحفز بسبب وجود مجموعات وظيفية مختلفة، على سبيل المثال تساعد مجموعة O-Hعلى امتصاص النورفلوكساسين(norfloxacin)، في حين أن مجموعتي C=Oو OH- مناسبتان لامتصاص الأمونيوم[43].

- **تعديل التربة**

إن نظام إدارة الأراضي الزراعية المعيب أدى إلى زيادة انبعاث ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

وتدهور المركبات العضوية في التربة، حيث تم إجراء العديد من الأبحاث لزيادة محتوى الكربون العضوي في التربة من خلال دمج الكتلة الحيوية والمخلفات الحيوانية، وإن تطبيق الفحم الحيوي في التربة يساعد في عزل الكربون وتحسين جودة التربة عن طريق تحييد الحموضة، وزيادة سعة التبادل الكاتيوني، وتعزيز نمو الميكروبات، يعمل الفحم الحيوي على [44-46]:

- تحسين خصوبة التربة وزيادة سعة التبادل الكاتيوني.
- تقليل سمية الألمنيوم ودعم احتجاز الكربون.
- تحسين الإنتاجية من خلال الحفاظ على المياه وتعزيز النشاط الميكروبي.

بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم الفحم الحيوي في إصلاح التربة الملوثة بالملوثات السامة مثل المعادن الثقيلة والمبيدات، كما أن الفحم الحيوي المنتج عند درجات حرارة عالية يبقى في التربة لفترة أطول، وعلى الرغم من فوائده، يجب تحسين الفحم الحيوي قبل تطبيقه لتجنب تأثيراته السلبية على النباتات، ونلخص ذلك في**الجدول (3.II)**.

الجدول (3.II): مزايا وعيوب التطبيقات المختلفة للفحم الحيوي.

التطبيقات	الهدف	الفوائد	القيود
المحفز	تعمل كمواد داعمة للتحفيز المباشر	أقل تكلفة، مجموعات وظيفية أكثر، مساحة سطح كبيرة	قد تكون الكفاءة أقل
تعديل التربة	تعزيز خصوبة التربة وجودتها وعزل الكربون	منخفضة التكلفة، وتقلل من انبعاث الغازات المسببة للاحتباس الحراري، وتساعد على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية والمياه، وتتحكم في فقدان العناصر الغذائية	قد يستمر التلوث بالمعادن الثقيلة والهيدروكربونات العطرية المتعددة
التسميد	تحسين بنية التجمعات الميكروبية وتمعدن الكربون	ذو مسامية عالية تقلل من انبعاث الغازات الدفيئة، ومساحة سطح كبيرة تحتفظ بالمواد المغذية	قد تكون هناك فرصة لدخول المعادن الثقيلة والملوثات الأخرى إلى التربة

خاتمة الفصل

تناول هذا الفصل دراسة المخلفات الزراعية مثل قشور البرتقال والرمان، واستغلالها في إنتاج الفحم الحيوي مع تحليل خصائصه وطرق تنشيطه؛ كما تمت مناقشة تأثيره على التربة والعوامل المؤثرة على أدائه، إضافة إلى طرق توصيفه وتطبيقاته المختلفة مما يؤكد دوره في تعزيز استدامة التربة والزراعة.

مراجع الفصل الثاني

[1] L. Lombardi and E. A. Carnevale, "Evaluation of the environmental sustainability of different waste-to-energy plant configurations,"
Waste Management, vol. 73, pp. 232-246, 2018.

[2] A. Aït-Kaddour, A. Hassoun, I. Tarchi, M. Loudiyi, O. Boukria, Y. Cahyana, *et al.*, "Transforming plant-based waste and by-products into valuable products using various "Food Industry 4.0" enabling technologies: A literature review," *Science of the Total Environment*, p. 176872, 2024.

[3] C. Venkitasamy, L. Zhao, R. Zhang, and Z. Pan, "Pomegranate," in *Integrated processing technologies for food and agricultural by-products*, ed: Elsevier, 2019, pp. 181-216.

[4] D. Rymon, "Mapping features of the global pomegranate market," *Acta Hortic*, vol. 890, pp. 599-602, 2011.

[5] R. W. Hodgson, *The pomegranate*: University of California Press, 1917.

[6] M. Chen, T. Zhang, and Z. Yuan, "Evolution and classification of pomegranate," in *IV International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits 1254*, 2017, pp. 41-48.

[7] M. Viuda- Martos, J. Fernández- López, and J. Pérez- Álvarez, "Pomegranate and its many functional components as related to human health: a review," *Comprehensive reviews in food science and food safety*, vol. 9, pp. 635-654, 2010.

[8] J. A. Coronado-Reyes, C. d. J. Cortes-penagos, and J. C. González-Hernández, "Chemical composition and great applications to the fruit of the pomegranate (Punica granatum): a review," *Food Science and Technology*, vol. 42, p. e29420, 2021.

[9] N. Maphetu, J. O. Unuofin, N. P. Masuku, C. Olisah, and S. L. Lebelo, "Medicinal uses, pharmacological activities, phytochemistry, and the molecular mechanisms of Punica granatum L.(pomegranate) plant extracts: A review," *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 153, p. 113256, 2022.

[10] M. V. Fateh, S. Ahmed, M. Ali, and S. Bandyopadhyay, "A review on the medicinal importance of pomegranate," *J Pharm sci*, vol. 3, pp. 23-25, 2013.

[11] J. Jurenka, "Therapeutic applications of pomegranate (Punica granatum L.): a review," *Alternative medicine review*, vol. 13, 2008.

[12] A. Caruso, A. Barbarossa, A. Tassone, J. Ceramella, A. Carocci, A. Catalano, *et al.*, "Pomegranate: Nutraceutical with promising benefits on human health," *Applied sciences*, vol. 10, p. 6915, 2020.

[13] T. Ismail, P. Sestili, and S. Akhtar, "Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects," *Journal of ethnopharmacology*, vol. 143, pp. 397-405, 2012.

[14] N. P. Seeram, Y. Zhang, J. D. Reed, C. G. Krueger, and J. Vaya, "Pomegranate phytochemicals," in *Pomegranates*, ed: CRC Press, 2006, pp. 21-48.

[15] Z. Tahir, M. I. Khan, U. Ashraf, I. R. D. N. Adan, and U. Mubarik, "Industrial application of orange peel waste; a review," 2023.

[16] C. P. D. Carolina and N. T. D. David, "Classification of oranges by maturity, using image processing techniques," in *2014 III international congress of engineering mechatronics and automation (CIIMA)*, 2014, pp. 1-5.

[17] M. Martín, J. Siles, A. Chica, and A. Martín, "Biomethanization of orange peel waste," *Bioresource technology*, vol. 101, pp. 8993-8999, 2010.

[18] J. Ángel Siles López, Q. Li, and I. P. Thompson, "Biorefinery of waste orange peel," *Critical reviews in biotechnology*, vol. 30, pp. 63-69, 2010.

[19] A. Mohsin, M. H. Hussain, W. Q. Zaman, M. Z. Mohsin, J. Zhang, Z. Liu, *et al.*, "Advances in sustainable approaches utilizing orange peel waste to produce highly value-added bioproducts," *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 42, pp. 1284-1303, 2022.

[20] D. A. Laird, R. C. Brown, J. E. Amonette, and J. Lehmann, "Review of the pyrolysis platform for coproducing bio- oil and biochar," *Biofuels, bioproducts and biorefining*, vol. 3, pp. 547-562, 2009.

[21] B. Glaser, L. Haumaier, G. Guggenberger, and W. Zech, "The'Terra Preta'phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics," *Naturwissenschaften*, vol. 88, pp. 37-41, 2001.

[22] D. Prabakar, V. T. Manimudi, S. Sampath, D. M. Mahapatra, K. Rajendran, and A. Pugazhendhi, "Advanced biohydrogen production using pretreated industrial waste: outlook and prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 96, pp. 306-324, 2018.

[23] Y. K. Yu KaiLing, L. B. Lau BengFye, S. P. Show PauLoke, O. H. Ong HwaiChyuan, L. T. Ling TauChuan, C. W. Chen WeiHsin, *et al.*, "Recent developments on algal biochar production and characterization," 2017.

[24] S. Khan, S. Irshad, K. Mehmood, Z. Hasnain, M. Nawaz, A. Rais, *et al.*, "Biochar production and characteristics, its impacts on soil health, crop production, and yield enhancement: A review," *Plants*, vol. 13, p. 166, 2024.

[25] M. J. Denyes, M. A. Parisien, A. Rutter, and B. A. Zeeb, "Physical, chemical and biological characterization of six biochars produced for the remediation of contaminated sites," *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, p. 52183, 2014.

[26] A. Downie, A. Crosky, and P. Munroe, "Physical properties of biochar," in *Biochar for environmental management*, ed: Routledge, 2012, pp. 45-64.

[27] B. Armynah, Atika, Z. Djafar, W. H. Piarah, and D. Tahir, "Analysis of chemical and physical properties of biochar from rice husk biomass," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, p. 012038.

[28] C. H. Chia, A. Downie, and P. Munroe, "Characteristics of biochar: physical and structural properties," in *Biochar for environmental management*, ed: Routledge, 2015, pp. 89-109.

[29] R. Chintala, J. Mollinedo, T. E. Schumacher, D. D. Malo, and J. L. Julson, "Effect of biochar on chemical properties of acidic soil," *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 60, pp. 393-404, 2014.

[30] W. Song and M. Guo, "Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures," *Journal of analytical and applied pyrolysis*, vol. 94, pp. 138-145, 2012.

[31] I. M. Lima, K. S. Ro, G. Reddy, D. L. Boykin, and K. T. Klasson, "Efficacy of chicken litter and wood biochars and their activated counterparts in heavy metal clean up from wastewater," *Agriculture*, vol. 5, pp. 806-825, 2015.

[32] S. S. Akhtar, M. N. Andersen, and F. Liu, "Biochar mitigates salinity stress in potato," *Journal of agronomy and crop science*, vol. 201, pp. 368-378, 2015.

[33] S. C. Thomas, S. Frye, N. Gale, M. Garmon, R. Launchbury, N. Machado, *et al.*, "Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species," *Journal of Environmental Management*, vol. 129, pp. 62-68, 2013.

[34] S. M. Shaheen, N. K. Niazi, N. E. Hassan, I. Bibi, H. Wang, D. C. Tsang, *et al.*, "Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements

in water and wastewater: a critical review," *International Materials Reviews*, vol. 64, pp. 216-247, 2019.

[35] M. Tripathi, J. N. Sahu, and P. Ganesan, "Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 55, pp. 467-481, 2016.

[36] N. Jafri, W. Wong, V. Doshi, L. Yoon, and K. H. Cheah, "A review on production and characterization of biochars for application in direct carbon fuel cells," *Process safety and environmental protection*, vol. 118, pp. 152-166, 2018.

[37] V. Dhyani and T. Bhaskar, "A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass," *Renewable energy*, vol. 129, pp. 695-716, 2018.

[38] S. You, Y. S. Ok, D. C. Tsang, E. E. Kwon, and C.-H. Wang, "Towards practical application of gasification: a critical review from syngas and biochar perspectives," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 48, pp. 1165-1213, 2018.

[39] A. Berrazoum, R. Marouf, F. Ouadjenia, and J. Schott, "Bioadsorption of a reactive dye from aqueous solution by municipal solid waste," *Biotechnology Reports*, vol. 7, pp. 44-50, 2015.

[40] G. Fellet, M. Marmiroli, and L. Marchiol, "Elements uptake by metal accumulator species grown on mine tailings amended with three types of biochar," *Science of the total environment*, vol. 468, pp. 598-608, 2014.

[41] A. R. Usman, A. Abduljabbar, M. Vithanage, Y. S. Ok, M. Ahmad, M. Ahmad, *et al.*, "Biochar production from date palm waste: Charring temperature induced changes in composition and surface chemistry," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 115, pp. 392-400, 2015.

[42] Y. Yao, B. Gao, J. Fang, M. Zhang, H. Chen, Y. Zhou, *et al.*, "Characterization and environmental applications of clay–biochar composites," *Chemical Engineering Journal*, vol. 242, pp. 136-143, 2014.

[43] J. L. Gomez-Eyles, T. Sizmur, C. D. Collins, and M. E. Hodson, "Effects of biochar and the earthworm Eisenia fetida on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic elements," *Environmental pollution*, vol. 159, pp. 616-622, 2011.

[44] L. Lou, B. Wu, L. Wang, L. Luo, X. Xu, J. Hou, *et al.*, "Sorption and ecotoxicity of pentachlorophenol polluted sediment amended with rice-

straw derived biochar," *Bioresource technology*, vol. 102, pp. 4036-4041, 2011.

[45] M. Ahmad, S. S. Lee, X. Dou, D. Mohan, J.-K. Sung, J. E. Yang, *et al.*, "Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water," *Bioresource technology*, vol. 118, pp. 536-544, 2012.

[46] Z. Tan, Y. Wang, L. Zhang, and Q. Huang, "Study of the mechanism of remediation of Cd-contaminated soil by novel biochars," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, pp. 24844-24855, 2017.

الفصل الثالث:

دراسات سابقة

يُعد الفحم الحيوي (Biochar) تقنية واعدة في مجال الزراعة المستدامة وإدارة التربة، حيث يُنتج من تحويل المخلفات العضوية عبر عملية الانحلال الحراري؛ يتميز بقدرته على تحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية، وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية؛ كما يلعب دوراً مهماً في عزل الكربون وتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة، مما يجعله أداة فعالة في مواجهة التحديات البيئية المعاصرة؛ كما تختلف فعالية الفحم الحيوي باختلاف مادة الإنتاج وظروف التصنيع ؛ وعلى ضوء ما تقدم تطرقنا في هذا الفصل الى مراجعة عشر دراسات تمحورت حول انتاج الفحم الحيوي وتأثيره على خصائص التربة.

III.1. الدراسة الأولى:[1]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

J. A. Ippolito et al.

والذي جاء بعنوان:

Switchgrass Biochar Aff ects Two Aridisols

تأثير الفحم الحيوي الناتج من نبات Switchgrass على نوعين من النباتات القاحلة

الهدف من هذه الدراسة:

هو مقارنة تأثير نوعين من الفحم الحيوي، أحدهما منخفض الرقم الهيدروجيني تم إنتاجه في درجات حرارة منخفضة، والآخر مرتفع الرقم الهيدروجيني تم إنتاجه في درجات حرارة عالية، على خصوبة التربة الجافة وتسرب المغذيات.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم جمع نبات Switchgrass ثم تم تجفيفها هوائيا وطحنها ليمر عبر منخل بحجم1 إلى 2 مم.
- **ثانيا:** تم صنع الفحم الحيوي باستخدام عملية تحلل حراري بطيئة (1–3 ساعات) تحت تيار غاز النيتروجين (N_2) بدرجتي حرارة (250C° أو500C°).
- **ثالثا:** بعد عملية تحلل حراري، تم طحن الفحم الحيوي لتمر عبر منخل بحجم 0.25 مم.

- **أخيرا:** خضع الفحم الحيوي لتحاليل شملت قياس الأس الهيدروجيني، المساحة السطحية، الشحنة السطحية، محتوى الرماد، والعناصر الأساسية (S,N,O,H,C) باستخدام الطرق القياسية (ASTM وEPA)، مع تحليل العناصر المعدنية بمطياف البلازما (ICP-OES).

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** تمت إضافة الفحم الحيوي بنسبة 2% (ما يعادل 24 طن/هكتار) إلى نوعين من تربة، مع وجود عينة شاهدة بدون معالجة؛ قبل بدء التجربة، خضعت جميع العينات (المعالجة وشاهدة) لسلسلة من التحاليل تشمل: قياس العناصر المعدنية المتاحة (مثل Fe و Cu وK) باستخدام مستخلِص DTPA، تقدير الفوسفور، تحليل أشكال النيتروجين (النترات والأمونيوم) باستخدام محلول كلوريد البوتاسيوم (KCl)، بالإضافة إلى قياس محتوى الكربون الكلي والعضوي وغير العضوي ودرجة حموضة التربة، وذلك وفقاً للطرق القياسية المعتمدة في الأبحاث العلمية.
- **ثانيا:** وُزعت خلطات التربة (450 غرام لكل منها) في علب بلاستيكية (قطر 10.3 سم × ارتفاع 8.5 سم) مزودة بفتحات تصريف مغطاة بشبكة نايلون، مع تكرار كل معاملة ثلاث مرات لضمان دقة النتائج، حيث حُفظت رطوبة التربة عند مستوى 15% من خلال تعديلات وزنيه تتم مرتين إلى ثلاث مرات أسبوعياً، بينما حُضنت جميع علب في درجة حرارة الغرفة طوال مدة التجربة.
- **ثالثا:** أجريت أربع عمليات غسيل للتربة (في الأيام 34، 62، 92، و127) بالماء منزوع الأيونات مع إضافة 20-30% ماء إضافي لضمان اكتمال الغسيل، حيث جُمع المحلول الراشح خلال 30 ساعة وتمريره عبر مرشح 0.45 ميكرون.
- **أخيرا:** جُففت التربة بعد التجربة حتى 1-2% رطوبة، ثم طُحنت وعُولجت بنفس التحاليل السابقة (قياس العناصر الغذائية، أشكال النيتروجين، الكربون، ودرجة الحموضة) لمقارنة تأثير الفحم الحيوي على خصائص التربة.

نتائج الدراسة:

أدى استخدام الفحم الحيوي عند 250C° إلى انخفاض ترشيح الكالسيوم والمغنيسيوم، وزيادة ترشيح البوتاسيوم، وزيادة تركيزات الماغنيسيوم والنيكل القابلة للاستخراج من التربة، بالإضافة إلى ذلك، انخفض ترشيح NO_3-N وتركيزات التربة بدرجة أكبر عند استخدام الفحم الحيوي عند 250C° مقارنةً بالفحم الحيوي عند 500C°، ويرجّح أن ذلك يعود إلى التثبيت الميكروبي.

استنتاجات الدراسة:

يُعد الفحم الحيوي المنتج عند 250C° الأفضل للتربة القاحلة، حيث يحفظ المغذيات ويزيد خصوبة التربة مع تقليل التلوث، مما يجعله خياراً واعداً للإدارة المستدامة للتربة في المناطق الجافة.

2.III. الدراسة الثانية: [2]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Harry H. Schomberg et al.

والذي جاء بعنوان:

Influence of Biochar on Nitrogen Fractions in a Coastal Plain Soil

تأثير الفحم الحيوي على أجزاء النيتروجين في تربة السهل الساحلي

الهدف من هذه الدراسة:

فهم تأثير الفحم الحيوي المنتج من مواد خام وظروف انحلال حراري مختلفة على ديناميكيات النيتروجين في التربة.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** استخدام 5 مواد خام مختلفة (قشور الفول السوداني، قشور الجوز البقاني، مخلفات الدواجن، مخلفات الأخشاب)، ثم تجفيف هوائي وطحن المواد لتصبح بحجم 1-2 مم.
- **ثانيا:** تطبيق تحلل حراري بطيء (1-3 ساعات) تحت غاز النيتروجين لـ 4 مواد خام عند درجتي حرارة (منخفضة ≥ 400C°وعالية) وتطبيق تحلل حراري سريع (1-2 ثانية) عند450C° - 600 لمخلفات الأخشاب.
- **أخيرا:** طحن جميع أنواع الفحم الحيوي لتمرير منخل 0,25 مم.

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** خلط 5 غرام فحم حيوي (40-44 طن/هكتار) مع 225 غرام تربة رطبة وإضافة (0-31) ملغ نيتروجين/نترات أمونيوم (0-140 كغ نيتروجين/هكتار).

- **ثانيا:** تعبئة 450 غرام من الخليط في حاويات (كثافة 1,2 غ/سم³) مع الحفاظ على رطوبة 10% ودرجة حرارة الغرفة (18C° -26) وتعديل الرطوبة مرتين أسبوعياً لمدة 127 يوما.
- **ثالثا:** إجراء 4 دورات غسيل (الأيام 28، 63، 90، 118) و استخدام 1.2-1.3حجم مسامي من الماء منزوع الأيونات ثم جمع المحلول الراشح لتحليل النيتروجين المعدني.
- **أخيرا:** تجفيف العينات هوائياً لمدة 3 أيام ثم إرسالها لتحليل أشكال النيتروجين المختلفة.

قياس تأثير الفحم الحيوي على تطاير الأمونيا:

- **أولا:** وضع 25 غرام تربة مع فحم حيوي (40-44 طن/هكتار) في جرة ثم إضافة محلول حمض كبريتيك 0.05مول/لتر وتطبيق 666 ملغ نيتروجين/كغم تربة (نترات أمونيوم).
- **ثانيا:** حضانة لمدة 7 أيام عند 25C° مع الحفاظ على رطوبة 55% من السعة المسامية واستخدام تصميم عشوائي مع 4 مكررات.
- **أخيرا:** معايرة الأمونيا المحتجزة بـ NaOH 0.1 مول/لتر وتصحيح القياسات باستخدام عينات فارغة حتى الوصول لدرجة حموضة 7 كنقطة نهاية.

نتائج الدراسة:

ان إضافة الفحم الحيوي إلى التربة لم يزيد من احتباس النيتروجين غير العضوي أو يحفز النشاط الميكروبي لتحسين معدل تمعدن النيتروجين؛ ومع ذلك، لوحظت خسائر في النيتروجين (على شكل أمونيا متطايرة) خاصةً مع أنواع الفحم الحيوي عالي القلوية والغني بالرماد، مثل فحم قشور الجوز وقشور الفول السوداني وروث الدواجن (عالية ومنخفضة الحرارة).

استنتاجات الدراسة:

يؤثر الفحم الحيوي بشكل متفاوت على دورة النيتروجين حسب خصائصه، حيث يقلل الفحم منخفض الحرارة فقدان النيتروجين بينما يزيد الفحم عالي القلوية تطايره؛ تؤكد النتائج على أهمية اختيار نوع الفحم المناسب ودراسة آثاره قبل التطبيق الميداني.

III.3. الدراسة الثالثة:[3]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

A.E Ajayi et al.

والذي جاء بعنوان:

Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar

تعديل الخصائص الكيميائية والهيدروفيزيائية لنوعين من التربة المختلفتين في النسيج نتيجة إضافة كميات متباينة من الفحم الحيوي

الهدف من هذه الدراسة:

تقييم تأثير تركيزات مختلفة من الفحم الحيوي (20، 50، 100 غ/كغ تربة) على الخصائص الكيميائية والفيزيائية والهيدروليكية لتربتين مختلفتين (رملية ناعمة وطميية رملية)، لفهم الآليات المحددة لتحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء والمغذيات، وتحديد الجرعة المثلى التي تعزز بنية التربة دون التسبب في تأثيرات عكسية عند التركيزات العالية.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم تصنيع الفحم الحيوي من نشارة الخشب المعالجة حرارياً بالانحلال الحراري عند درجات حرارة تتراوح بين 500-600C° وفقاً للمعيار الأوروبي للفحم الحيوي.
- **ثانيا:** تم طحن المادة الأولية باستخدام مطحنة نابذة من نوع Retschمزودة بمنخل من الفولاذ المقاوم للصدأ بحجم 750 ميكرون، ثم تنعيمها مرة أخرى بتمريرها عبر منخل 630 ميكرون.
- **أخيرا:** بعد التحقق من مطابقة المنتج النهائي للمواصفات والتأكد من تجانس الحبيبات تحت630 ميكرون تم تحضير جرعات محددة وتهيئة الظروف المناسبة للقياسات الريولوجية الدقيقة.

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** تم تحضير خلطات التربة بإضافة ثلاثة تركيزات من الفحم الحيوي (20، 50، 100 غ/كغ تربة جافة) لنوعين من التربة (طميية رملية ورمل ناعم)، مع ضبط نسبة الرطوبة وتخزينها في أكياس محكمة عند 10C° لمدة 30 يوماً لضمان ثبات الخصائص.
- **ثانيا:** اعتمد اختيار التركيزات على دراسات سابقة بينت أن 1-2% فحم حيوي كافٍ للتأثير في خصائص التربة، مع الأخذ بعين الاعتبار دراسات استخدمت تركيزات عالية جداً (حتى 900 طن/هكتار) لتحسين احتباس الماء في الترب الرملية.
- **أخيرا:** شملت التجربة إعداد عينات تحكم بدون إضافات، واتباع بروتوكول موحد في الخلط والغربلة (بمنخل 2 مم) لجميع العينات لضمان مصداقية النتائج وقابليتها للمقارنة.

نتائج الدراسة:

أظهرت نتائج الدراسة تأثيراً متفاوتاً لإضافة الفحم الحيوي حسب نوع التربة وكمية الإضافة؛ في التربة الطميية الرملية أدت المعالجة بالفحم الحيوي إلى زيادة التوصيل الهيدروليكي المشبع بنسبة 25-119%، بينما سبب انخفاضاً في التربة الرملية الناعمة بنسبة 23-82%؛ كما تحسنت سعة الماء المتاح بشكل ملحوظ في كلا النوعين، خاصة في التربة الرملية الناعمة كما لوحظ تحسن في تماسك الحبيبات وتكوين تجمعات أكثر مرونة في التربة الطميية الرملية.

استنتاجات الدراسة:

يعد الفحم الحيوي مادة واعدة لتحسين خصائص التربة، لكن تأثيره يعتمد بشكل حاسم على نوع التربة وكمية الإضافة؛ تُظهر النتائج أن الجرعات المتوسطة (20-50 غ/كغ) هي الأمثل لتحسين خصوبة التربة دون آثار سلبية، مما يسلط الضوء على أهمية التطبيق المدروس وفقًا لخصائص التربة المستهدفة.

III.4. الدراسة الرابعة:[4]

بالاستناد إلى المقال العلمي المنجز من طرف الباحثين:

A.E. Ajayi et al.

والذي جاء بعنوان:

Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar

amended soils

التغيرات في السلوك المجهري والوظائف الهيدروليكية للتربة المعدلة بالفحم الحيوي

الهدف من هذه الدراسة:

تقييم تأثير المعاملة بالفحم الحيوي على تربتين مختلفتين في الملمس، ودراسة تأثيره على الخصائص الهيدرولوجية والميكانيكية التي تتحكم في تكوين الكتل الترابية وثباتها في هذه الترب.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم الحصول على فحم حيوي منتج بالانحلال الحراري العالي (500-600C°) من أخشاب صلبة فتم في البداية تكسيره باستخدام مطحنة نفاذة مزودة بمنخل 750 ميكرون ثم تنعيم المسحوق الناتج بتمريره عبر منخل 630 ميكرون.
- **أخيرا:** تم استخدام الكسور الناعمة والمتجانسة في تحضير الركائز التجريبية المختلفة.

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** أضيف الفحم الحيوي بثلاث جرعات (2%، 5%، 10% بالوزن الجاف) لنوعين من التربة (رمل ناعم وطمي طيني رملي) ثم خُلطت المكونات جيداً وخُزنت في أكياس بلاستيكية عند 10C° لمدة 30 يوماً.
- **ثانيا:** تم حشو العينات للتربة الرملية: حُشرت يدوياً بكثافة 1,65 غ/سم³ (10مكررات لكل معاملة) وللتربة الطينية: حُشرت آلياً بكثافتين (1.45و1.30غ/سم³) باستخدام جهاز Instron(20مكررات لكل معاملة).
- **ثالثا:** أُعدت عينات شاهد بدون فحم حيوي (s_0، u_0) ثم حُضرت 10 عينات إضافية لكل معاملة لقياس التوصيل الهيدروليكي ودراسة التكتل.
- **أخيرا:** حسبت كميات الفحم الحيوي لكل هكتار بافتراض تطبيقه على عمق 10 سم تراوحت الجرعات بين 26-160 طن/هكتار حسب نوع التربة ونسبة الإضافة.

قياس احتباس الرطوبة:

- **أولا:** تم تشبيع 20 عينة رملية وطينية بالماء لمدة 48ساعة حيث شملت العينات تربة معالجة بالفحم الحيوي وعينات شاهد.
- **ثانيا:** ضبطت العينات لجهود مائية مختلفة (6- إلى 50- كيلو باسكال) وتم استخدام سرير رملي للأجهزة المنخفضة وألواح خزفية للأجهزة الأعلى.
- **ثالثا:** قيست أوزان العينات عند كل جهد مائي وجففت العينات عند 105C° لمدة 16 ساعة للحسابات النهائي.
- **اخيرا:** تم قياس نقطة الذبول على عينات منفصلة (20عينة/معاملة) وتعرضت لضغط 1500- كيلو باسكال لمدة 21 يومًا ثم تجفيف حراري.

نتائج الدراسة:

ان استخدام الفحم الحيوي بنسب تتراوح بين 5-7% من الوزن الجاف للتربة يحسن بشكل كبير خصائص التربة الهيدروليكية والميكانيكية، حيث سجلت التربة الطمية الرملية أعلى تحسن في التوصيل الهيدروليكي (+30%) والاستقرار الميكروي (+20%)، مع زيادة مؤشر النفور المائي مع تكرار دورات الري، يرجح هذا التحسن إلى آلية مزدوجة تشمل إعادة تنظيم هيكل المسام (+15%) وزيادة محتوى الكربون العضوي (1,5-3 أضعاف)، مما يجعله خياراً مثالياً لتحسين الإنتاجية الزراعية بنسبة 20-35%، شريطة اختيار التركيز الأمثل حسب نوع التربة ونظام الري المتبع.

استنتاجات الدراسة:

يُحسن الفحم الحيوي قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء ويزيد من المسام المتوسطة، خاصة في التربة الرملية، مع تعزيز الاستقرار البنيوي عبر زيادة الكربون العضوي.

تظهر النتائج أن فعاليته تعتمد على جرعة الإضافة، نوع التربة، وتكرار دورات الترطيب والتجفيف.

III.5. الدراسة الخامسة:[5]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

M.C. Andrenelli et al.

والذي جاء بعنوان:

Field application of pelletized biochar: Short term effect on the Hydrological properties of a silty clay loam soil

التطبيق الحقلي للفحم الحيوي المحبب: التأثير قصير المدى على الخصائص الهيدرولوجية لتربة طينية غرينية

الهدف من هذه الدراسة:

تقييم التأثيرات الهيدرولوجية قصيرة المدى لإضافة نوعين من الفحم الحيوي الحبيبي المُعالَج بطرق مختلفة على خصائص تربة طينية غرينية قابلة للانضغاط، وفهم آليات تفاعل الجزيئات الخشنة للفحم الحيوي مع التربة.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم اختيار حبيبات نخالة القمح كمادة خام ثم أُنتج نوعان من الفحم الحيوي (B1 و B2) بنفس المادة الخام ولكن بظروف تحلل حراري مختلفة حيث B1: أنتج عند 800C° لمدة 3 ساعات بفرن متنقل و B2: أنتج عند 1200C° لمدة 5 ساعة بمنشأة صناعية.
- **ثانيا** :بلغت كثافة الحبيبات 0.62 غ/سم³ لـ B1 و0.56غ/سم³ لـ B2 بأبعاد قياسية (5×16 مم) حيث نُفذت التجربة في تربة طينية غرينية (Haplic Calcisol) مزروعة بالطماطم وأُستخدم تصميم القطع العشوائية بثمانية مكررات لكل معاملة (10م²/قطعة).
- **اخيرا:** أضيف الفحم الحيوي يدوياً بجرعة 14 طن/هكتار قبل أسبوع من نقل الشتلات وتم الدفن الجزئي باستخدام محراث دوار على عمق 15 سم كما شملت المعاملات: شاهد (بدون إضافة)، B1، و B2.

نتائج الدراسة:

أظهرت النتائج أن إضافة الفحم الحيوي الحبيبي بتركيز 14 طن/هكتار أدت إلى تحسين ملحوظ في الخصائص الهيدرولوجية للتربة خلال فترة زمنية قصيرة (3 أشهر فقط)، حيث سجلت انخفاضاً في الكثافة الظاهرية بنسبة 10% مع زيادة واضحة في المسامية الناقلة (50-500 ميكرون) والمسامية

المخزنة للماء (0,5-50 ميكرون)، ويرجح التحسن في خصائص التربة إلى مسامية الفحم الحيوي الذاتية وقدرته على إعادة تنظيم بنية التربة، مع اختلاف التأثير حسب ظروف الإنتاج الحراري.

استنتاجات الدراسة:

ان إضافة الفحم الحيوي الحبيبي (14طن/هكتار) يحسن خصائص التربة الهيدرولوجية خلال 3أشهر، حيث زادت المسامية الكبيرة (< 50 ميكرون) بنسبة 10% وحسنت السعة المائية، خاصة عند إنتاجه بدرجة 800C°، مع الحاجة لدراسات طويلة المدى لتقييم استقرار هذه التحسينات.

III.6. الدراسة السادسة:[6]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

S. Baronti et al.

والذي جاء بعنوان:

Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.)

تأثير استخدام الفحم الحيوي على العلاقات المائية في نبات الكرمة

الهدف من هذه الدراسة:

هو دراسة تأثير إضافة الفحم الحيوي بتركيزين مختلفين على العلاقة بين التربة والمياه بعد عام وعامين من التطبيق، والتحقق من أي آثار مترتبة على حالة الماء في نبات الكرمة ومعدلات التمثيل الضوئي.

لخصت هذه الدراسة الى مايلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم الحصول على الفحم الحيوي من مخلفات تقليم أشجار البساتين باستخدام تقنية الانحلال الحراري البطيء عند 500C° في فرن حلقي متنقل (قطر 2.2 م، سعة 2 طن).
- **ثانيا:** بعد عملية تحلل حراري، تم تكسير الفحم الحيوي إلى جزيئات أقل من 5 سم قطراً قبل تطبيقه على التربة.

- **أخيرا:** تم تحديد الخصائص الفيزيائية للفحم الحيوي من خلال تحليل توزيع الجسيمات بالغربلة الجافة، وقياس المسامية باستخدام مقياس مسامية الزئبق (نطاق0.003-160 مم)، وتقييم المساحة السطحية بطريقةBET ، ودراسة منحنيات احتباس الماء بجهاز صفيحة الضغط، مع قياس الكثافة الظاهرية باستخدام أسطوانات معيارية، حيث خضعت جميع العينات للتجفيف المسبق عند 250C° لمدة 30 دقيقة مع إجراء ثلاث مكررات لكل تحليل لضمان دقة النتائج.

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** تم إنشاء تجربة عشوائية بثلاث معاملات (تطبيق واحد للفحم الحيوي، تطبيقان، وشاهد) وخمس مكررات في عام 2009، شملت التجربة 15 قطعة تجريبية بمساحة إجمالية قدرها 225 متر مربع لكل قطعة (بعرض 7.5 متر وطول 30 متر)، تضم كل منها 4 صفوف من الكروم و3 مسافات بينية.
- **أخيرا:** وزع الفحم الحيوي في المسافات البينية بين صفوف الكروم باستخدام ناثرة آلية، ثم تم دمج الفحم الحيوي في التربة باستخدام محراث إزميل (محراث نكاش) حتى عمق 30 سم.

نتائج الدراسة:

أدى إضافة الفحم الحيوي إلى تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة حيث انخفضت كثافتها الظاهرية وزادت مسامية التخزين، ورفع المحتوى المائي المتاح بنسبة 45% في المعاملة BB مقارنة بالشاهد، كما تحسنت حالة الماء في النباتات المعالجة حيث قل الجهد الورقي السلبي وزاد التوصيل الثغري، بينما ظلت التربة محبة للماء بزمن اختراق أقل من 5 ثوانٍ لجميع المعاملات.

استنتاجات الدراسة:

الفحم الحيوي يمكن أن يكون أداة فعالة في إدارة الإجهاد المائي، لكن تطبيقه العملي يحتاج لتوازن دقيق بين الفوائد والمخاطر المحتملة.

III.7. الدراسة السابعة:[7]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

M. Castellini et al.

والذي جاء بعنوان:

Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil

تأثير إضافة الفحم الحيوي على الخواص الفيزيائية والهيدروليكية للتربة الطينية

الهدف من هذه الدراسة:

هو تقييم تأثير إضافة الفحم الحيوي على خصائص التربة الطينية الفيزيائية والهيدروليكية، بما في ذلك التوصيل المائي وقدرة الاحتفاظ بالرطوبة والكثافة الظاهرية، ودراسة آثاره المحتملة على محصول قمح الديورم، مع مراعاة العوامل المؤثرة في النتائج.

لخصت هذه الدراسة الى مايلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم الحصول على الفحم الحيوي تجاري من مخلفات تقليم أشجار الفاكهة باستخدام طريقة الانحلال الحراري البطيء عند 500C°.
- **ثانيا:** تم تحديد محتوى الكربون (C) والنيتروجين (N) باستخدام محلل عنصري (Flash EA 1112)؛ وللتحليل الكيميائي، تم غربلة عينات الفحم الحيوي باستخدام منخل قياس 0.5 مم ثم تجفيفها في الفرن عند 105C° لمدة 24 ساعة.
- **أخيرا:** باستخدام مطياف بصري ICP تم تحديد المحتوى الكلي للعناصر المعدنية (P, K, S, Ca…) بعد حرقه في فرن عند500C° (طريقة Kowalenko و van Laerhoven)، تم إذابة الرماد بالماء الملكي (بخلط حمض النيتريك وحمض الهيدروكلوريك بنسبة حجمية 1/3)، ثم قياس الأس الهيدروجيني (pH) في محلول مائي من الفحم الحيوي بنسبة 1/2.5.

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** تم استخدام أسطوانات PVC (قطر 25 سم، ارتفاع 28 سم) مُجهزة بقاعدة مزدوجة من الشبك الفولاذي والغشاء القطني لمنع فقدان التربة، حيث وُضعت على طوب مسامي للحفاظ على استقرارها، مع تفتيت الفحم الحيوي إلى جزيئات بحجم 1 سم لتعزيز تأثيره، ثم خلط التربة (رطوبة 0.249 غ/غ) بتركيزات مختلفة من الفحم الحيوي (5-30 غ/كغ) لدراسة تأثيرها على الخصائص الفيزيائية للتربة.

- **ثانيا:** تم تعبئة أسطوانات التربة المعدلة بالفحم الحيوي والعينات الشاهدة يدوياً بكثافة 1.1 جم/سم³، عن طريق كبس 1-2 كغ تربة لكل دفعة حتى الوصول لارتفاع 25 سم (حجم 12,272 سم³)، مع إعداد 6 مكررات لكل تركيز فحم حيوي (30 أسطوانة إجمالاً).
- **أخيرا:** بعد 12 شهراً من التجربة، تم تركيب مجس TDR (بطول 15 سم) عمودياً في كل أسطوانة لرصد محتوى رطوبة التربة بشكل مستمر، حيث تم قياس الإشارات بواسطة جهاز TDR−100، وتخزين البيانات كل ساعة عبر مسجل البيانات CR1000.

نتائج الدراسة:

إن إضافة الفحم الحيوي بتركيز 30 غ/كغ أدى إلى تحسن ملحوظ في الخصائص الهيدروليكية للتربة الطينية، حيث زاد التوصيل الهيدروليكي المشبع بنسبة تصل إلى +32%، و تحسنت قدرة التربة على احتباس الماء قرب نقطة التشبع (+11%) مع زيادة المسامية الكلية (+37%) وسعة الهواء (+27%)؛ ومع ذلك، انخفضت السعة الحقلية النسبية (-10%)، مما يشير إلى اختلال في التوازن المائي−الهوائي؛ في المقابل، أظهر التركيز الأقل (10غ/كغ) نتائج أكثر توازناً، حيث حقق زيادة في محصول القمح القاسي بنسبة 4% مع انخفاض في تصريف المياه (8.3-%) دون التسبب في اختلالات كبيرة؛ كما لم تحدث تغيرات في الكثافة الظاهرية الجافة بين المعاملات المختلفة (أقل من 2%).

استنتاجات الدراسة:

إضافة الفحم الحيوي بتركيز معتدل (10غ/كغ) يحسن الخصائص الهيدروليكية للتربة الطينية ويزيد محصول القمح، بينما التركيزات العالية (30غ/كغ) تسبب اختلالاً في التوازن المائي−الهوائي، مما يؤكد ضرورة ضبط الجرعات وفقاً لنوع التربة والغرض الزراعي.

III.8. الدراسة الثامنة:[8]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Wan Azlina Wan Abdul Karim Ghani et al.

والذي جاء بعنوان:

Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization

إنتاج الفحم الحيوي من نشارة خشب المطاط المستهلك واستخداماته المحتملة في عزل الكربون : توصيف كيميائي وفيزيائي

الهدف من هذه الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحويل نشارة خشب المطاط إلى فحم حيوي فعال لعزل الكربون، مع تحليل تأثير درجات الحرارة المختلفة على خصائصه الفيزيوكيميائية وقدرته على امتصاص ثاني أكسيد الكربون، بهدف تقديم حل مستدام لإدارة المخلفات الزراعية وتخفيف آثار التغير المناخي.

لخصت هذه الدراسة الى ما يلي:

- **أولا:** تم انتاج الفحم الحيوي من نشارة الخشب المطاط؛ حيث وُضعت نشارة الخشب المجففة بحجم جسيمات (2-3 مم) في مفاعل أسطواني من الفولاذ المقاوم للصدأ (60 مم قطر× 43 مم ارتفاع)؛ ثم أُدخل المفاعل في فرن كهربائي أنبوبي مزود بنظام تحكم حراري ومزدوج حراري لمراقبة درجة الحرارة.
- **ثانيا:** بدأ تدفق النيتروجين المسخن مسبقاً بمعدل 30 مل/دقيقة؛ بعد ذلك عُرّضت العينة لدرجات حرارة تتراوح بين 450C°-850 لمدة 60 دقيقة.
- **ثالثا:** بعد اكتمال التفاعل تم جمع الفحم الحيوي الناتج وتخزين العينات لتحضيرها للتحاليل اللاحقة.

نتائج الدراسة:

أثبتت الدراسة نجاح تحويل نشارة خشب المطاط لفحم حيوي فعال عبر الانحلال الحراري، مع ارتفاع درجة الحرارة (450C°-850)، زاد محتوى الكربون (>85%) وتحولت المادة من محبة للماء إلى كارهة له، مع ظهور مركبات عطرية؛ سجل الفحم الحيوي أعلى قدرة على امتصاص CO_2 عند 650C° ومساحات سطحية تصل ل 200 م²/غم، مما يجعله خياراً مثالياً لتخزين الكربون وإدارة المخلفات الخشبية بشكل مستدام.

استنتاجات الدراسة:

تمكنت الدراسة من إثبات نجاح تحويل نشارة خشب المطاط (مخلفات زراعية) إلى فحم حيوي فعال باستخدام تقنية الانحلال الحراري.

III.9. الدراسة التاسعة:[9]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Alfred Obia et al.

والذي جاء بعنوان:

In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils

التأثيرات الموضعية للفحم الحيوي على التكتل، واحتباس الماء، والمسامية في التربة الاستوائية خفيفة القوام.

الهدف من هذه الدراسة:

هو تحليل تأثير الفحم الحيوي من أعواد الذرة على ثبات التربة، واحتباس الماء، وتوزيع المسام في الزراعة الحافظة (للذرة وفول الصويا)، وتقييم تأثير أحجام جزيئات الفحم الحيوي (من أعواد الذرة وقش الأرز) على نفس الخصائص في الزراعة التقليدية للذرة.

لخصت هذه الدراسة الى مايلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم إنتاج الفحم الحيوي عن طريق الانحلال الحراري البطيء (2-3 أيام) من مادتين أوليتين (ذرة الكوز، وقشر الأرز)، أنتج على دفعتين:
  - الدفعة الأولى تم انتاجها من ذرة الكوز (أكواز ذرة كاملة وجافة بعد إزالة الحبوب) عند درجة حرارة تقارب 350C° (350-300C°) معظم الوقت) لمدة يومين في فرن من الطوب.
  - بينما أُنتجت الدفعة الثانية من خليط بين ذرة الكوز وقشر الأرز في فرن أسطواني معدل عند درجة حرارة 350C° لمدة يوم واحد.
- **أخيرا:** استُخدم فحم الدفعة الأولى في تجارب الممارسات الزراعية (التجربة أ)، بينما استُخدم فحم الدفعة الثانية في تجارب تحليل أحجام جسيمات الفحم الحيوي (التجربة ب).

الفحم الحيوي في التربة:

التجربة (أ)

- **أولا:** تم خلط الفحم الحيوي المطحون بتربة أحواض الزراعة بثلاثة تركيزات (0%، 0.8%، 2.5% وزن/وزن)، ما يعادل 0، 2، 6 طن/هكتار، ثم أُضيف السماد بانتظام خلال موسمي الزراعة (2011-2012 و2012-2013).
- **ثانيا:** تم تقسيم الأرض إلى قسمين: جزء للذرة والآخر لفول الصويا، مع تطبيق تركيزات الفحم الحيوي الثلاثة على مجموعات منفصلة.
- **أخيرا:** كل محصول (ذرة أو فول الصويا) زُرع في 9 صفوف، كل صف يحتوي 15 حوضًا زراعيًا.

التجربة (ب)

- **أولا:** أُجريت التجربة على فحم ذرة الكوز بثلاثة أحجام جسيمية (أصغر من 0.5 مم، 0.5-1 مم، 1-5 مم) في نظام الزراعة التقليدية، حيث تم تقسيم الأرض إلى 3 كتل رئيسية، كل كتلة تحتوي على 3 قطع معالجة بأحجام مختلفة من الفحم الحيوي.
- **ثانيا:** تم تقسيم كل قطعة رئيسية إلى 3 قطع فرعية تلقت جرعات مختلفة من الفحم (0%، 1.7-3.4%، أو 2-4% حسب نوع التربة).
- **ثالثا:** تمت ازالة الطبقة السطحية (7 سم) من التربة وخلطت مع الفحم الحيوي، ثم أعيد وضع الخليط بعد تفكيك التربة تحتها (حتى 30 سم).
- **رابعا:** عُزلت القطع الفرعية (0.5×0.5 م) بألواح بلاستيكية لمنع تداخل المعاملات، ثم تم اضافة السماد قبل زراعة الذرة وفق الجرعات الموصي بها.
- **أخيرا:** أُجريت تجربة منفصلة مجاورة باستخدام فحم قشر الأرز بأحجام (أصغر من 0.5 مم و0.5-1 مم)، حيث تم استخدام تصميم عشوائي كامل مع منهجية مشابهة لتجربة ذرة الكوز.

نتائج الدراسة:

أظهر الفحم الحيوي المستخلص من أكواز الذرة وقش الأرز تأثيراً إيجابياً على خصائص التربة الاستوائية خفيفة القوام، حيث عزز استقرار التربة المجمعة بنسبة 2.6-6.8% حسب حجم الجسيمات ونوع المحصول، كما قلل الكثافة الظاهرية بمقدار 0.03-0.06 غ/سم^3, ورفع سعة الماء المتاح 3-9% لكل 1%

إضافة فحم، مع تحسين توزيع المسامية وزيادة المسام الكلية 2% لكل 1% فحم، بينما تسبب في انكماش التربة بنسبة 10-20% أثناء تحليل احتباس الماء.

استنتاجات الدراسة:

إضافة كميات صغيرة من الفحم الحيوي (1-2%) تحسن بشكل فعال خصائص التربة الخفيفة، حيث أظهر الفحم الخشن (1-5 مم) فعالية مساوية للفحم الناعم مع تجنب مشكلة الغبار أثناء التطبيق، بينما تفوق فحم ذرة الكوز على فحم قش الأرز في تحسين خصائص التربة، مما يعزز مقاومة التربة للجفاف ويدعم نمو المحاصيل.

III.10. الدراسة العاشرة:[10]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Keiji Jindo et al.

والذي جاء بعنوان:

Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures

تأثير إضافة الفحم الحيوي على المواد العضوية الدبالية أثناء تسميد الروث

الهدف من هذه الدراسة:

هو الحصول على معلومات حول التغير في البنية الكيميائية للكسور الدبالية المختلفة (حمض الهيوميك HA وحمض الفولفيكFA) نتيجة إضافة الفحم الحيوي أثناء التسميد المشترك لنوعين مختلفين من السماد الطبيعي (سماد الدواجن PM وسماد الأبقارCM).

لخصت هذه الدراسة الى مايلي:

تحضير الفحم الحيوي:

- **أولا:** تم انتاج الفحم الحيوي من أخشاب الأشجار عريضة الأوراق من نوع البلوط المنشار (Quercus serrata)، عن طريق الانحلال الحراري البطيء باستخدام فرن ياباني تقليدي تحت الضغط الجوي ودرجة حرارة 550C°.

- **ثانيا:** لتحليل خصائص الفحم الحيوي، تم طحنه وغربلته للحصول على جزيئات بأقطار أقل من 0.5 مم.
- **أخيرا:** خضع الفحم الحيوي لتحاليل شملت قياس الأس الهيدروجيني، المساحة السطحية، سعة الامتصاص، والعناصر الأساسية (K,P,N,O,H,C)، المسامية الدقيقة والمسامية المتوسطة باستخدام طريقة رقم الميثيلين الأزرق(MB number) ورقم اليود(Iodine number) .

الفحم الحيوي في التربة:

- **أولا:** تم تحضير خليطين رئيسيين من روث الماشية (CM) وروث الدواجن (PM) مع إضافة مخلفات التفاح (76.8 كغ)، قش الأرز (9.7 كغ) ونخالته (12.7 كغ).
- **ثانيا:** تم اضافة الفحم الحيوي (20 كغ) لبعض الخلطات(CM+B و PM+B) بينما استخدمت خلطات بدون فحم حيوي كعينة شاهدة.
- **ثالثا:** وضعت الخلطات في أكوام مخروطية الشكل لمدة 3 أشهر، مع التقليب مرتين أسبوعياً أول أسبوع ثم مرة أسبوعياً بعد ذلك، مع الحفاظ على رطوبة 60% ومراقبة درجة الحرارة باستخدام مسجل حراري.
- **أخيرا:** تم جمع العينات في مرحلتين: بعد أسبوع (مرحلة الترمم) وبعد 12 أسبوعاً (مرحلة النضج)، وأخذت من 5 نقاط مختلفة في الكومة ثم جففت وطحنت.

نتائج الدراسة:

إن إضافة الفحم الحيوي إلى خليط التسميد (روث الدواجن والماشية) عززت تكوين المواد الدبالية (الأحماض الدبالية HA والأحماض الفولفيةFA)، حيث زادت نسبة البلمرة (HA/FA) إلى أكثر من 1.6، مما يشير إلى نضج أفضل للسماد؛ كما أدت إضافة الفحم الحيوي إلى زيادة المحتوى الكربوني والبنية العطرية في المواد الدبالية، مما عزز مقاومتها للتحلل البيولوجي وحسّن استقرارها طويلة المدى في التربة؛ كشفت التحاليل (مثل FT-IR والرنين المغناطيسي النووي C NMR13) عن زيادة المجموعات الكربوكسيلية والعطرية في الأحماض الفولفية المستخلصة من السماد المدعم بالفحم الحيوي، مما يعكس تحولًا نحو بنى كيميائية أكثر تعقيدًا واستقرارًا، إن هذه النتائج تؤكد دور الفحم الحيوي في تعزيز جودة السماد من خلال تحفيز تكوين مواد دبالية مقاوِمة، مع الحفاظ على فعالية عملية التحلل الطبيعي.

استنتاجات الدراسة:

إضافة الفحم الحيوي عززت جودة السماد بشكل ملحوظ من خلال زيادة استقرار المواد الدبالية بنسبة 30% وتعزيز محتواها الكربوني والعطري، مما قلل تحلل الأحماض الفولفية بنسبة 40% وحسّن كفاءة السماد كتعديل عضوي للتربة بنسبة 35% مقارنة بالطرق التقليدية.

خاتمة الفصل

أظهرت مراجعة الدراسات السابقة أن للفحم الحيوي تأثيرات إيجابية على العديد من خصائص التربة، لاسيما في البيئات الصحراوية؛ وتختلف هذه التأثيرات باختلاف المادة الأولية، وطريقة التحضير وظروف التربة.

المراجع الفصل الثالث

[1] J. Ippolito, J. Novak, W. Busscher, M. Ahmedna, D. Rehrah, and D. Watts, "Switchgrass biochar affects two Aridisols," *Journal of environmental quality*, vol. 41, pp. 1123-1130, 2012.

[2] H. H. Schomberg, J. W. Gaskin, K. Harris, K. Das, J. M. Novak, W .J. Busscher, *et al.*, "Influence of biochar on nitrogen fractions in a coastal plain soil," *Journal of environmental quality*, vol. 41, pp. 1087-1095, 2012.

[3] A. Ajayi and R. Horn, "Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar," *Soil and Tillage Research*, vol. 164, pp. 34-44, 2016.

[4] A. Ajayi, D. Holthusen, and R. Horn, "Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar amended soils," *Soil and Tillage Research*, vol. 155, pp. 166-175, 2016.

[5] M. Andrenelli, A. Maienza, L. Genesio, F. Miglietta, S. Pellegrini, F. Vaccari, *et al.*, "Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil," *Agricultural Water Management*, vol. 163, pp. 190-196, 2016.

[6] S. Baronti, F. Vaccari, F. Miglietta, C. Calzolari, E. Lugato, S. Orlandini, *et al.*, "Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.)," *European Journal of Agronomy*, vol. 53, pp. 38-44, 2014.

[7] M. Castellini, L. Giglio, M. Niedda, A. Palumbo, and D. Ventrella, "Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil," *Soil and Tillage Research*, vol. 154, pp. 1-13, 2015.

[8] W .A. W. A. K. Ghani, A. Mohd, G. da Silva, R. T. Bachmann, Y. H. Taufiq-Yap, U. Rashid, *et al.*, "Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: chemical and physical characterization," *Industrial Crops and Products*, vol. 44, pp. 18-24, 2013.

[9] A. Obia, J. Mulder, V. Martinsen, G. Cornelissen, and T. Børresen, "In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils," *Soil and Tillage Research*, vol. 155, pp. 35-44 , .2016

[10] K. Jindo, T. Sonoki, K. Matsumoto, L. Canellas, A. Roig, and M. A. Sanchez-Monedero, "Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures," *Waste Management*, vol. 49, pp. 545-552, 2016.

الفصل الرابع:

الجزء العملي /

النتائج والمناقشة

في هذا الفصل سوف نقوم بتحضير الفحم الحيوي من المخلفات النباتية وتم تشخيص العينات باستخدام تقنيات التحليل الطيفية: جهاز الأشعة المرئية وفوق البنفسجية (UV-Vis) وجهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR) والتحليل الطيفي للامتصاص الذري وتم دراسة تأثير العينات على التربة، وتم إجراء الجانب العملي للموضوع بوحدة الطاقات المتجددة، بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي.

IV.1.المواد والأدوات والأجهزة المستعملة

IV.1.1.الأدوات والأجهزة

أنابيب اختبار (tubes essai)، قمع، ورق الترشيح (Papier à filter) وملعقة (Spatule)، ميزان حساس، فرن ومطحنة كهربائية، جهاز الأشعة المرئية وفوق البنفسجية (UV-Vis) وجهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR) والتحليل الطيفي للامتصاص الذري(ASS).

IV.1.2.المواد الأولية

قشور برتقال، قشور الرمان، الرمل، محلول عضوي قاعدي طبيعي، وبذور(الفول(F)، الحمص (C)، البازلاء (P))، الماء المقطر.

IV.2.خطوات العمل

IV.2.1. مرحلة جمع وتحضير العينات

تم الحصول على القشور من سوق الشعبي لولاية الوادي –الجزائر، مثل ما هو مبين في

الشكل (IV.1)، تم تنظيف الأجزاء الهوائية للعينات المدروسة (قشور البرتقال، قشور الرمان) وتنقيها من الشوائب وغسلها جيدا بالماء المقطر البارد للتخلص من الأتربة والعوالق، لتجفف هذه الأخيرة في غرفة مهواة بعيدا عن الرطوبة والشمس وفي درجة الغرفة، ثم تم تحضير ثلاث عينات من كل مخلف **الشكل (IV.2)** حيث:

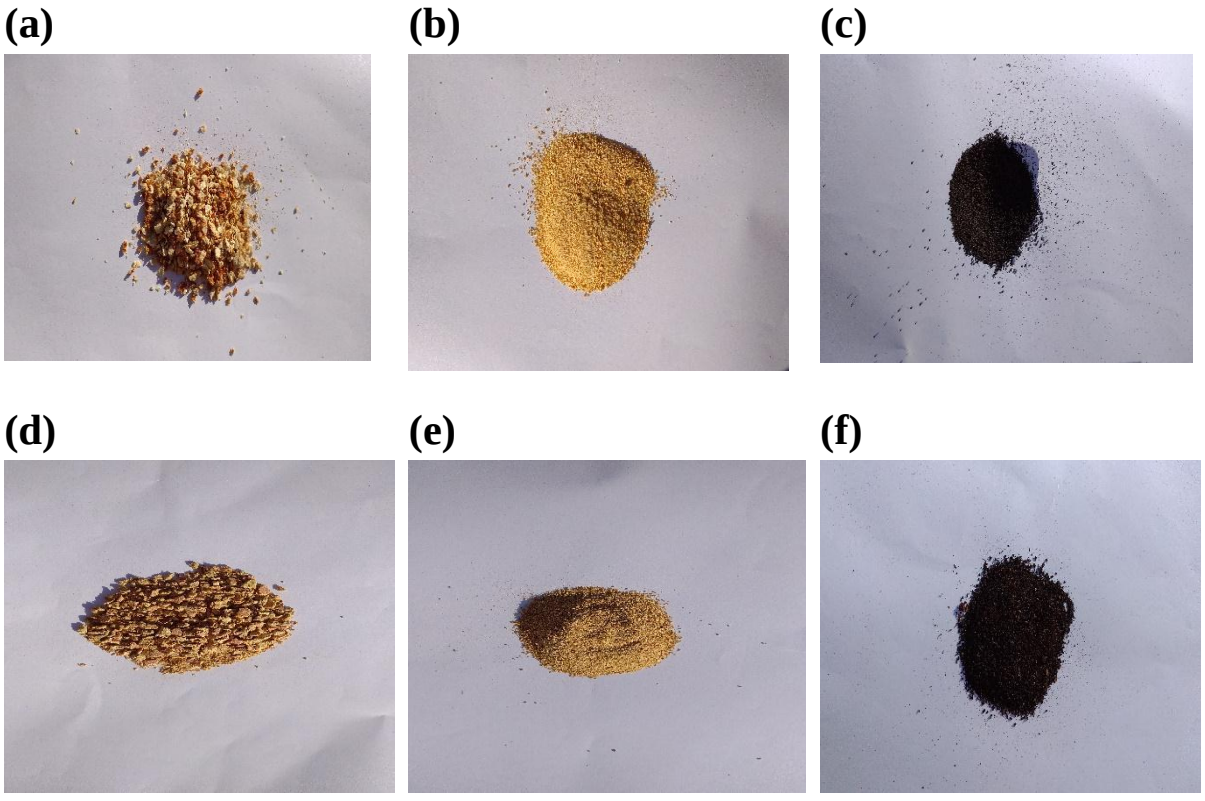
العينة الأولى: تقطيع القشور المجففة إلى فتات صغير.

العينة الثانية: طحن قشور لكل المخلف.

العينة الثالثة: حرق القشور ثم طحنها بواسطة مطحنة كهربائية.

أخيرا حفظت في علب زجاجية نظيفة، جافة وعاتمة اللون محكمة الإغلاق إلى حين استخدامها.

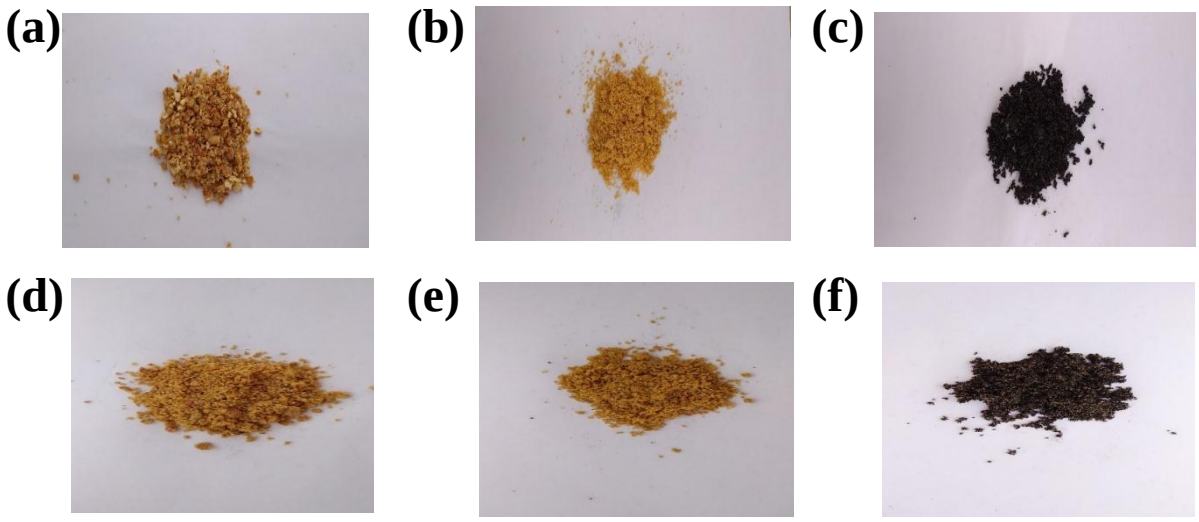
الشكل (1.IV): قشور الرمان(a)، وقشور البرتقال(b).



الشكل (2.IV): قشور البرتقال: فتات(a)، مطحون(b)، محروق(c) وقشور الرمان: فتات(d) ، مطحون(e)، محروق(f).

2.2.IV. تحضير سماد

لتحضير تربة الزرع تم أخذ 50غ من العينة (المخلف العضوي) وتخلط مع 50غ من الرمل، ثم تبلل بالماء مع التحريك وتترك لمدة 3 أيام كما هي موضحة في **الشكل (3.IV)**، مع احتفاظ ب 10غ من الرمل الصافي في الثلاجة للتحليل لاحقا.



الشكل (3.IV): قشور البرتقال: سماد قشور فتات(a)، سماد قشور المطحونة(b)، سماد قشور محروقة (c) وقشور الرمان: سماد قشور فتات(d) ، سماد قشور المطحونة(e)، سماد قشور المحروقة(f).

3.2.IV.مرحلة الزرع

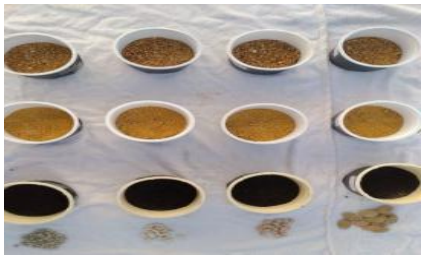
بعد انقضاء 3 أيام يحفظ 10غ من السماد المتحصل عليه في الثلاجة ويقسم الباقي من كل نوع على 4 أجزاء، ثم في علب نضع 3سم من الرمل ثم بعدها توضع طبقة من السماد بسمك 0.5 -1سم، ونكمل بحوالي 4 سم من الرمل، ثم بعد يتم تجهيز تربة الزرع نقوم بغمر البذور فيها كما هو موضح في **الشكل (4.IV)**.

4.2.IV. مرحلة السقي

تخفف علبة اختبار من محلول العضوي الحيوي مع 1لتر من الماء المقطر، مع حفظ انبوبة اختبار من عينة في الثلاجة الى غاية استخدامه لاحقا في التحليل.

(a)

(b)



(c)

الشكل (4.IV): مراحل تحضير تربة الزرع: وضع 3سم من الرمل(a)، وضع طبقة السماد(b)، اكمال وضع 4سم من التربة مع غمر البذور(c).

5.2.IV. جمع العينات

في هذه المرحلة تم متابعة تطور النباتات من خلال أخذ عينات من علب الزرع بواسطة مصاصة بشكل منتظم كل 6 أيام، وتحفظ في أنابيب اختبار في الثلاجة إلى غاية استخدامها كما هو موضح في **الشكل (5.IV)** مع ترميز لها كما هو موضح في **الجدول (1.IV)** مع تاريخ يوم في الثلاجة لغاية استخدامها في التحليل لاحقا.

قياس نمو النبات: تم استخدام مسطرة مدرجة لقياس ارتفاع الساق وطول الأوراق بشكل دقيق، وذلك لمتابعة تطور النباتات ومقارنة تأثيرات السماد المختلف.

التوثيق والتصوير: تم تصوير النباتات في كل مرحلة من مراحل النمو، وذلك بهدف توثيق التغيرات الحاصلة في حجم النبات وتطوره بمرور الوقت.

الجدول (1.IV): الترميز لكل عينة من النبات.

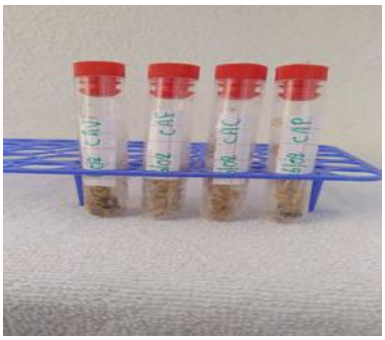
حالة المخلف	التربة	البذور	الاختصار
بدون مخلف	بدون معالجة	فول	SF
بدون مخلف	بدون معالجة	حمص	SC
بدون مخلف	بدون معالجة	بازلاء	SP
برتقال مفتت	معالجة	فول	CCF
برتقال مطحون	معالجة	فول	CGF
برتقال محروق	معالجة	فول	CAF
برتقال مفتت	معالجة	حمص	CCC
برتقال مطحون	معالجة	حمص	CGC
برتقال محروق	معالجة	حمص	CAC
برتقال مفتت	معالجة	بازلاء	CCP
برتقال مطحون	معالجة	بازلاء	CGP
برتقال محروق	معالجة	بازلاء	CAP
رمان مفتت	معالجة	فول	PCF
رمان مطحون	معالجة	فول	PGF
رمان محروق	معالجة	فول	PAF
رمان مفتت	معالجة	حمص	PCC
رمان مطحون	معالجة	حمص	PGC

رمان محروق	معالجة	حمص	PAC
رمان مفتت	معالجة	بازلاء	PCP
رمان مطحون	معالجة	بازلاء	PGP
رمان محروق	معالجة	بازلاء	PAP

(a)

(b)

(c)



الشكل (5.IV): طريقة جمع العينات: إدخال المصاصة في علبة الزرع وذلك بإحداث ثقب لاستخراج العينة (a)، شكل العينة المأخوذة داخل المصاصة (b)، وضع العينات في أنبوب اختبار(c).

3.IV.تقنيات التوصيف

1.3.IV.مطيافية الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet visible spectrophotometer,Uv-visble)

تعد مطيافية الامتصاص المرئي للأشعة فوق البنفسجية (انظر إلى **الشكل (6.IV)**) أداة حيوية في دراسة الصفات الضوئية للمواد، حيث تعتمد في دراستها على تحليل تأثير الضوء (الموجات الكهرومغناطيسية) على المادة، ويعتمد هذا التحليل الطيفي على اثارة إلكترونات التكافؤ التي تنتقل من الحالة المستقرة إلى الحالة المثارة بعد امتصاصها لفوتونات الأشعة فوق البنفسجية المرئية[1].

عندما تستقبل الإلكترونات موجة ضوئية بتردد يتوافق مع ترددات الاهتزازية، فإنها تمتص طاقة الموجة الضوئية وتكتسب حركة اهتزازية، تنتقل هذه الطاقة الاهتزازية عبر التفاعلات مع الإلكترونات المجاورة، حيث تتحول تدريجياً إلى طاقة حرارية، لذلك يشير التحليل الطيفي للامتصاص إلى قياس امتصاص المادة للضوء كدالة لطول الموجة؛ حيث تتناسب شدة ذروة الامتصاص الطيفي طردياً مع التركيز الجزيئي، مما يؤدي ازدياد عدد الجزيئات الماصة عند طول موجي محدد إلى ارتفاع قيم الامتصاص الضوئي ويعتمد هذا النوع من المطيافية على مبدأ Beer-lambert الذي يشير إلى أن الجزء الممتص من الإشعاع الساقط يتناسب مع عدد الجزيئات الممتصة في مساره[2].

رياضيا، يمكن تفسير هذا القانون على النحو التالي:

$$\text{Log}\,(I_0/I) = \varepsilon c l \qquad (1)$$

حيث:

I_0 : شدة الضوء الساقط.

I : شدة الضوء المنقول بواسطة محلول العينة.

c : تركيز العينة.

l : طول مسار العينة.

ε : معامل الامتصاص المولي.

تُعرف النسبة (I / I_0) بالنفاذية (T) ويُعرف لوغاريتم النسبة العكسية (I_0 / I) بالامتصاصية (A).

الشكل (6.IV): جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية.

2.3.IV.مطيافية الأشعة تحت الحمراء

يعد التحليل الطيفي (FTIR) تقنية فريدة تسمح بأداء التحليل الكيميائي للعينات المحضرة والخصائص الوظيفية والمعلومات الهيكلية للمركب (الموضح في **الشكل (7.IV)**)، وتميز العينات بقمم مميزة في طيف (FTIR)، مما يشير إلى وجود أو عدم وجود المجموعات الوظيفية؛ إذ يتم تشكيل أقراص من كل مركب من هذه المركبات مع بروميد البوتاسيوم (KBr) بعد طحنها بصورة جيدة ويتم بعدها قياس طيف الأشعة تحت الحمراء في المجال الطيفي مابين $4000- 400\ cm^{-1}$[3].

الشكل (7.IV): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء.

3.3.IV.التحليل الطيفي للامتصاص الذري

يُعتبر جهاز الامتصاص الذري (AAS) من الأدوات التحليلية الدقيقة المستخدمة في تحديد تركيز العناصر المعدنية لمختلف العينات؛ يتميز الجهاز بحساسية عالية، حيث يبلغ الانحراف المعياري حوالي ±3% عند استخدام اللهب، و±15% في حال عدم استخدامه يقوم مبدأ عمله على امتصاص الذرات الحرة في حالتها الأرضية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي خاص (مصباح كاثود مجوف) بطول موجي مميز لكل عنصر[4, 5].

يتكوّن الجهاز من عدة أجزاء رئيسية تشمل: مصدر الضوء، نظام تحويل العينة إلى رذاذ (إما باستخدام لهب أو فرن غرافيتي)، نظام بصري (مونوكروماتور) لعزل الطول الموجي المناسب، نظام تصحيح الخلفية، كاشف ضوئي، ونظام معالجة البيانات كما هو موضح في **الشكل(8.IV)** .

تمر العينة في الجهاز بمرحلتين أساسيتين: التبخير ثم التفكك إلى ذرات حرة، وذلك باستخدام نوع لهب مناسب (متكافئ، غني أو فقير بالوقود)، أما من الناحية النظرية، تعتمد تقنية AAS على امتصاص الضوء بتردد معين وفق العلاقة التالية[4]:

$$(2) \quad \upsilon = (E_q - E_o)/h$$

حيث

h : ثابت بلانك

υ : التردد

E_o : الذرات في الحالة الأرضية

E_q: الإلكترونات في إلى حالة مثارة

ويُفسَّر الامتصاص بواسطة قانون Beer-lambert

$$(3) \quad A=0.434K\ L=K'N_0L$$

حيث

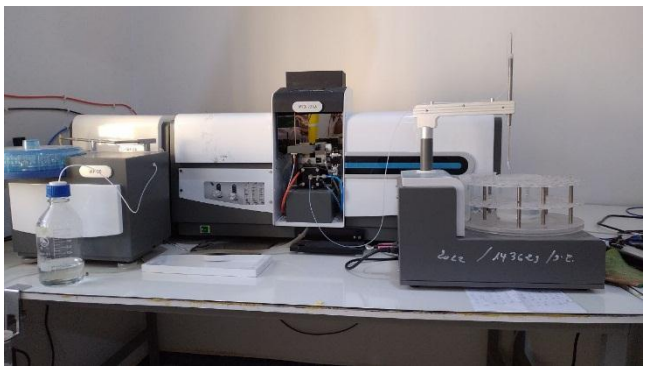
A: الامتصاص.

L: المسار البصري.

N_0: عدد الذرات في الحالة الأرضية.

K_0: معامل الامتصاص المركزي.

كما تجدر الإشارة إلى أن معظم الذرات تبقى في حالتها الأرضية عند درجات حرارة أقل من 3000 كلفن، مما يجعل الامتصاص فعالاً في هذه الظروف.



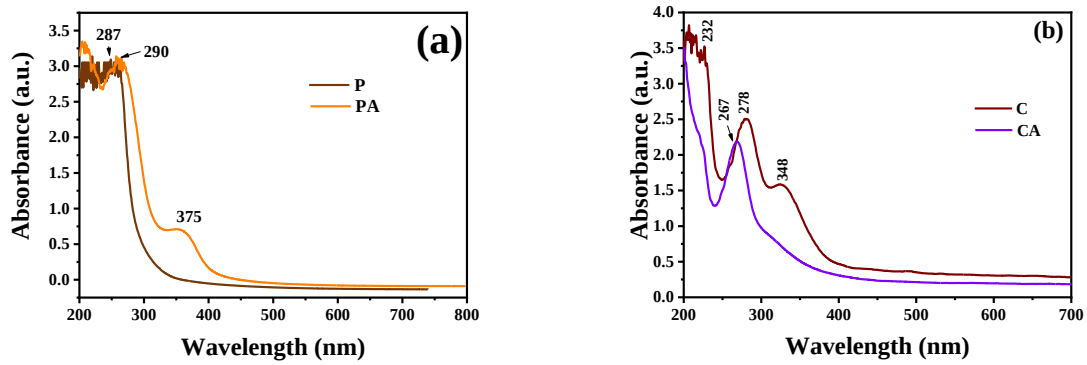
الشكل(8.IV) : التحليل الطيفي للامتصاص الذري.

4.IV.النتائج والمناقشة

1.4.IV.الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis)

يوضح **الشكل (9.IV) (a)** الأطياف UV-Vis للرمان العادي (P) تُظهر قمة امتصاص عند 287 نانومتر بسبب الأنثوسيانين (Anthocyanin) والمركبات الفينولية؛ أما الرمان المحروق (PA) فيُظهر قمتين عند 290 و375 نانومتر، مما يشير إلى تحلل الأنثوسيانين(Anthocyanin) وتكوين مركبات جديدة بفعل الحرق.

يوضح **الشكل (9.IV) (b)** الأطياف UV-Vis للبرتقال العادي (C) تُظهر قممًا عند 232، 278، و348 نانومتر ناتجة عن الكاروتينات (Carotenoid) والفلافونويدات؛ البرتقال المحروق (CA) يُظهر قمة واحدة عند 267 نانومتر، مما يدل على تحلل الأصباغ وفقدان القمم المرئية.

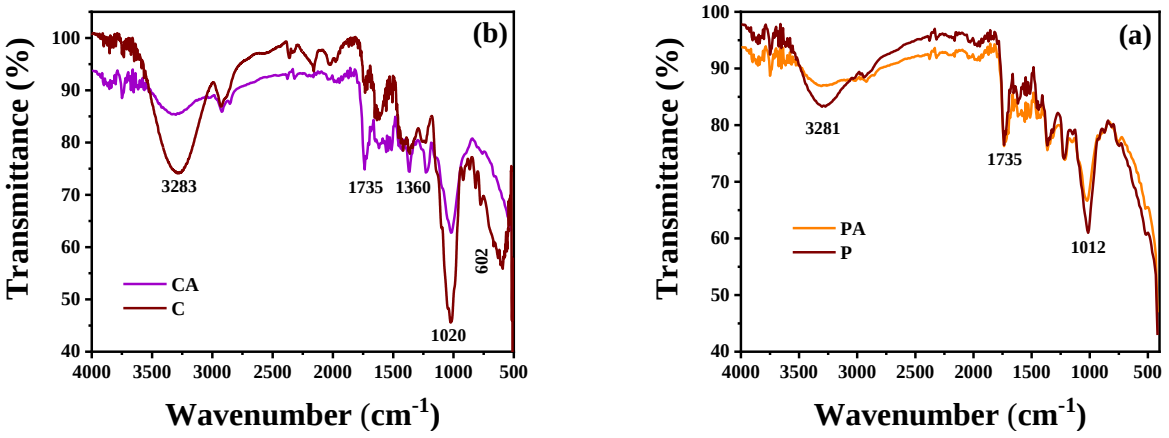


الشكل (9.IV): منحنى أطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية لرمان (a)، وبرتقال (b).

2.4.IV.الأشعة تحت الحمراء

يوضح **الشكل (10.IV) (a)** أطياف FTIR للرمان العادي (P) والمحروق (PA) حيث تظهر قمم عند $3281cm^{-1}$ ناتجة عن اهتزاز تمدد لمجموعات هيدروكسيل (OH)، ومجموعات الكربونيل(C=O) عند القمم $1735\ cm^{-1}$، بالإضافة الى روابط (C-O-C) عند القمة $1012\ cm^{-1}$؛ يلاحظ احتفاظ العينة المحروقة بهذه القمم مع انخفاض طفيف في شدتها، مما يدل على تحلل جزئي للمركبات العضوية دون تغير كبير في المجموعات الوظيفية الأساسية.

يوضح **الشكل (10.IV) (b)** أطياف FTIR للبرتقال العادي (C) والمحروق (CA) حيث تظهر قمم عند $3283\ cm^{-1}$ناتجة عن اهتزاز تمدد لمجموعات هيدروكسيل (OH)، ومجموعات الكربونيل (C=O) عند القمم $1735\ cm^{-1}$، الى جانب روابط (C-H) عند القمة $1360\ cm^{-1}$ وروابط (C-O) عند القمة $1020\ cm^{-1}$؛ بعد الحرق لوحظ انخفاض في شدة بعض القمم خاصة عند $1360cm^{-1}$ هذا يدل على تكسر جزئي في المركبات الأليفاتية، مع احتفاظ نسي بالمجموعات الوظيفية.



الشكل(10.IV): منحنى أطياف الأشعة تحت الحمراء لرمان (a)، و برتقال (b).

3.4.IV.تأثير نمو النباتات

أظهرت نتائج **الجدول(2.IV)** و **الشكل (11.IV)** (انظر إلى **الملحق II**) أن المخلف المحروق (CA) كان الأكثر فعالية في تعزيز نمو البازلاء (CAP) والحمص(CAC) ، حيث بلغ طول الساق 4.4 سم و4.2 سم بعد 47 يومًا، حيث تظهر النباتات كثيفة وطويلة، مما يعكس توفر العناصر الغذائية.؛ بينما سجل الفول في المخلفات المفتتة (CCF) والمطحونة (CGF) نموًا أقل (4 سم و2.7 سم) ، مما يشير إلى انخفاض كفاءة هذه المخلفات.

يوضح **الجدول (3.IV)** و **الشكل (12.IV)** (انظر إلى **الملحق II**)تفوق المخلف المحروق (PA)في دعم نمو الفول (PAF) بطول 4.8 سم بعد 42 يومًا، حيث تظهر النباتات قوية؛ أما الحمص (PAC) و البازلاء (PAP) فسجلا نموًا جيدًا مبكرًا (3.4-3.5)، بينما كانت المخلفات المفتتة (PCF) والمطحونة (PGF) أقل فعالية (3-5 سم)، و من **الجدول (4.IV)** و **الشكل(13.IV)** (انظر إلى **الملحقII**) نجد أن الفول(SF) قد سجل نموًا قويًا بطول 6.3 سم بعد 60 يوما مع سيقانً صحية؛ على عكس الحمص (SC) والبازلاء (SP) سجلا نموًا أقل (4.5 سم و3 سم) ، وهذا يؤكد حاجة التربة إلى التعزيز بالمخلفات لتحسين أداء النباتات.

الجدول(2. IV): طول الساق في مخلف البرتقال(بوحدة cm).

العينة / التاريخ	CAP	CAC	CAF	CCF	CGF
بعد21يوم	0.5	-	-	-	-
لعد30يوم	2.4	0.6	-	-	-
بعد36يوم	3.2	2.7	-	-	-
بعد43يوم	4.2	4	0.6	1.2	-
بعد47يوم	4.4	4.2	2.5	2.5	1.5
بعد53يوم			3.7	3.5	2.7
بعد61يوم	-	-	4	4	-

الجدول (3.IV): طول الساق في مخلف الرمان(بوحدة cm).

العينة / التاريخ	PAP	PAC	PAF	PCF	PGF
بعد18يوم	0.6	0.8	-	-	-
بعد29يوم	2	2.5	1.8	-	-
بعد34يوم	3.5	3.4	3.4	-	-
بعد42يوم	4	-	4.8	-	1.5
يوم50بعد	-	-	5.5	0.	3
بعد63يوم	-	-	-	3	5

الجدول (4.IV):طول الساق في الشواهد(بوحدة cm).

الشواهد			
العينة / التاريخ	SP	SC	SF
بعد24يوم	-	-	0.7
بعد32يوم	1	1.5	2.4
بعد41يوم	2.4	3.7	4.3
بعد50يوم	3	4.5	5.3
بعد60يوم	-	-	6.3

4.4.IV.التحليل الطيفي للامتصاص الذري

تفسير تركيز معدن الزنك

يُظهر **الجدول (5.IV)** نتائج التحليل الطيفي للامتصاص الذري لمعدن الزنك، حيث تم استخدام سماد مخلوط (بما في ذلك سماد الرمان الفتات PC وسماد البرتقال المحروق CA) لتقييم تأثيره على محتوى الزنك في تربة مع نبات الفول والبازلاء مقارنة بالتربة العادية (7.6043 µg/mL كمرجع أساسي)، و أظهرت النتائج أن سماد الرمان الفتات سجل محتوى زنك بقيم 7.5463 µg/mL للفول و 7.738 µg/mL للبازلاء، مع قيمة قصوى وصلت إلى 8.0991 µg/mL في عينة PCP4 للبازلاء، في المقابل احتوى سماد البرتقال المحروق على أعلى محتوى زنك (8.3427 ميكروغرام/مل)، لكنه أظهر تركيزًا أقل في النباتات، خاصة مع الفول (7.043 ميكروغرام/مل)، و يبرز البازلاء محتوى زنك أعلى مقارنة بالفول، مما يشير إلى اختلاف في تراكم العنصر بين النباتين تحت تأثير السماد المخلوط، كما أكدت هذه الدراسة أن طريقة

معالجة السماد تؤثر على محتوى الزنك، حيث يعزز السماد المفتت تراكم الزنك في النباتات، بينما يزيد الحرق من تركيز الزنك في السماد نفسه دون تحسين كبير في تراكمه في النباتات، مما يجعل سماد الرمان الفتات الخيار الأمثل لزيادة محتوى الزنك في البازلاء، بينما يبقى تأثيره على الفول محدودًا ومقاربًا لمستويات التربة العادية.

الجدول (5.IV): نتائج التحليل الطيفي للامتصاص الذري لمعدن الزنك في التربة.

العينة	تركيز المعدن (µg/mL)	العينة	تركيز المعدن (µg/mL)
التربة			
S	7.6043		
سماد مخلف البرتقال		سماد مخلف الرمان	
CA	8.3427	PA	7.1172
CC	7.4187	PC	7.0283
CG	6.8466	PG	7.4149
مخلف برتقال محروق		مخلف رمان محروق	
نبات الفول			
CAF1	7.0669	PAF1	7.5502
CAF2	7.4612	PAF2	7.1674
CAF3	6.9780	PAF3	7.4690
CAF4	6.5721	PAF4	7.2911
CAF5	7.1365	PAF5	7.3259
نبات البازلاء			
CAP1	7.3685	PAP1	7.7087
CAP2	7.4999	PAP2	7.3801
CAP3	7.0940	PAP3	7.7357
CAP4	6.8079	PAP4	7.4690
CAP5	7.5038	PAP5	7.3994
مخلف برتقال فتات		مخلف رمان فتات	
نبات الفول			
CCF1	7.5927	PCF1	7.3221
CCF2	6.6997	PCF2	7.6661
CCF3	7.0940	PCF3	7.5424
CCF4	7.4303	PCF4	7.4844
CCF5	6.9316	PCF5	7.7164
نبات البازلاء			
CCP1	7.3530	PCP1	7.7203

CCP2	6.9277	PCP2	7.6043
CCP3	6.5412	PCP3	7.5308
CCP4	7.5772	PCP4	8.0991
CCP5	7.2332	PCP5	7.7357

تفسير تركيز معدن الحديد

يُظهر **الجدول (6.IV)** نتائج التحليل الطيفي للامتصاص الذري لتركيز الحديد، حيث تم استخدام سماد مخلوط من مخلفات البرتقال والرمان بأشكال مختلفة (محروق، فتات، مطحون) لدراسة تأثيره على محتوى الحديد في تربة مع نبات الفول والبازلاء مقارنة بالتربة العادية (16.9479 µg/Ml كمرجع أساسي)، و سجلت التربة العادية أعلى تركيز للحديد، تليها أسمدة البرتقال بتركيزات 16.6287 µg/mL(محروق)، 16.3550 µg/mL(فتات)، و 15.7986 µg/mL(مطحون) ، في المقابل أظهر سماد الرمان الفتات أعلى كفاءة في زيادة محتوى الحديد في النباتات، حيث بلغ المتوسط في الفول حوالي 16.3879 µg/mL وفي البازلاء حوالي 16.9625 ميكروغرام/مل، متفوقًا على أسمدة البرتقال، كما أظهرت البازلاء محتوى حديد أعلى من الفول، خاصة مع سماد الرمان الفتات، حيث اقتربت قيمها من مستويات التربة العادية، مما يشير إلى اختلاف في تراكم العنصر بين النباتين تحت تأثير السماد، و تؤكد النتائج أن سماد الرمان الفتات يُعد الخيار الأمثل والمستدام لتحسين محتوى الحديد في المحاصيل، خاصة البازلاء، بفضل قدرته على تعزيز توافر الحديد بكفاءة عالية.

الجدول (6.IV): نتائج التحليل الطيفي للامتصاص الذري لتركيز الحديد في التربة.

العينة	تركيز المعدن (µg/mL)	العينة	تركيز المعدن (µg/mL)
التربة			
S	16.9479		
سماد مخلف البرتقال		سماد مخلف الرمان	
CA	16.6287	PA	15.9537
CC	16.3550	PC	15.8898
CG	15.7986	PG	15.7074
مخلف برتقال محروق		مخلف رمان محروق	
نبات الفول			
CAF1	15.8351	PAF1	16.1908
CAF2	16.4280	PAF2	16.7290

16.1270	PAF3	16.1908	CAF3
16.2547	PAF4	15.8168	CAF4
16.0905	PAF5	16.3185	CAF5
نبات البازلاء			
16.5192	PAP1	16.0905	CAP1
16.4645	PAP2	16.0722	CAP2
16.6104	PAP3	16.3276	CAP3
16.7108	PAP4	16.1543	CAP4
16.5831	PAP5	16.1452	CAP5
مخلف رمان فتات		مخلف برتقال فتات	
نبات الفول			
16.3185	PCF1	16.2729	CCF1
16.3003	PCF2	15.7439	CCF2
16.4006	PCF3	15.9081	CCF3
16.5010	PCF4	16.0905	CCF4
16.4189	PCF5	15.9628	CCF5
نبات البازلاء			
16.8841	PCP1	16.0540	CCP1
16.6560	PCP2	15.5341	CCP2
16.8841	PCP3	15.9901	CCP3
17.3584	PCP4	16.2729	CCP4
17.0300	PCP5	16.3733	CCP5

خاتمة الفصل:

تضمن هذا الفصل شرح لكيفية تحضير الفحم الحيوي من المخلفات مع إجراء التوصيف للعينات بجهاز الأشعة المرئية وفوق البنفسجية (UV-Vis) وجهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR) والتحليل الطيفي للامتصاص الذري وتم دراسة تأثير العينات على التربة مع دراسة تأثير تركيز معدن الزنك والحديد على التربة.

مراجع الفصل الرابع

[1] S. Attal, R. Thiruvengadathan, and O. J. A. c. Regev, "Determination of the concentration of single-walled carbon nanotubes in aqueous dispersions using UV− Visible absorption spectroscopy," vol. 78, no. 23, pp. 8098-8104, 2006.

[2] A. Mandru, J. Mane, R. J. J. o. P. I. Mandapati, and Research, "A Review on UV-visible spectroscopy," vol. 1, no. 2, pp. 091-096, 2023.

[3] M. A. Mohamed, J. Jaafar, A. Ismail, M. Othman, and M. Rahman, "Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy," in *Membrane characterization*: Elsevier, 2017, pp. 3-29.

[4] A. F. J. A. S. R. Lagalante, "Atomic absorption spectroscopy: A tutorial review," vol. 34, no. 3, pp. 173-189, 2004.

[5] M. A. Farrukh, *Atomic absorption spectroscopy*. BoD–Books on Demand, 2012.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

تسلط هذه الدراسة الضوء على الإمكانات التحويلية لاستخدام مخلفات النباتات والفحم الحيوي في تعزيز خصوبة التربة الصحراوية ومعالجة تحديات نقص المغذيات فيها، وذلك من خلال دمج الكتلة الحيوية من البرتقال والرمان (المفتت والمحروق)، ودمجها مع نظام ري بمحلول عضوي قاعدي طبيعي؛ حيث أظهر البحث تحسنًا ملحوظًا في جودة التربة ونمو نباتات البازلاء والحمص والفول.

وتُبرز النتائج أن مخلفات البرتقال المحروقة تُعزز نمو البازلاء والحمص بفعالية، حيث بلغ طول ساقيهما إلى 4.4 سم و4.2 سم على التوالي بعد 47 يومًا، بينما تدعم بقايا الرمان المحروقة نمو الفول ليصل إلى 4.8 سم بعد 42 يومًا، مع الحفاظ على صحة النباتات؛ في المقابل، تُظهر البقايا المطحونة والمفتتة فعالية أقل عمومًا، إذ بلغ نمو نبات الفول المفتت (CCF) والمطحون (CGF) إلى 4 سم و2.7 سم فقط على التوالي في مخلف البرتقال.

وقد بيّن التحليل الطيفي للامتصاص الذري أن سماد الرمان المفتت (PC) يتفوق على غيره في تعزيز محتوى الزنك والحديد في النباتات، حيث بلغت مستويات الزنك في البازلاء 7.738 ميكروغرام/مل (مع ذروة بلغت 8.0991 ميكروغرام/مل في PCP4)، بينما بلغت قيم الحديد فيها 16.9625 ميكروغرام/مل، وذلك مقارنةً بقيم التربة الأساسية الطبيعية البالغة 7.6043 ميكروغرام/مل للزنك و16.9479 ميكروغرام/مل للحديد؛ أما بالنسبة لسماد البرتقال المحروق (CA)، فعلى الرغم من احتوائه على أعلى نسبة زنك (8.3427 ميكروغرام/مل)، إلا أنه يُظهر تراكمًا محدودًا للزنك في النبات، وخاصةً في الفول (7.043 ميكروغرام/مل)؛ على عكس البازلاء التي ظهر فيها تراكمًا أعلى للزنك والحديد مقارنةً بالفول، مما يعكس استجابة كل نبات تكون تبعا لنوع السماد.

كما تؤكد الدراسة أن طريقة معالجة المخلفات تؤثر بشكل كبير على توافر العناصر الغذائية، حيث تُعزز المخلفات المفتتة تراكم العناصر الغذائية في النبات، بينما تزيد المخلفات المحروقة من تركيز العناصر الغذائية في السماد نفسه.

ختاما، توصي هذه الدراسة باعتماد ممارسات زراعية مستدامة، مثل استخدام مخلفات الرمان والبرتقال المفتتة كوسيلة فعالة لتحسين خصوبة التربة الصحراوية ودعم إنتاج المحاصيل، كما تدعو الى مواصلة إجراء الأبحاث المستقبلية لتعزيز تقنيات معالجة النفايات ودراسة التأثيرات طويلة المدى للري بالمحلول العضوي القاعدي على خصوبة التربة وإنتاجية المحاصيل.

الملاحق

المـــلـــحـــق I

1-جدول الامتصاصية الأشعة تحت الحمراء

التردد (cm^{-1})	الرابطة	المجموعة الوظيفية
3640-3610 (s.sh)	O-H stretch ، hydroxyl	Alcohls ,phenols
3500-3200 (s.b)	O-H stretch؛H-bonded	Alcohls.phenols
3400-3250 (m)	N-H stretch	1°,2° amines, amides
3300-2500 (m)	O-H stretch	Carboxylic acids
3300-3270 (n.s)	-C=C-H stretch	Alkynes (terminal)
3100-3000 (s)	C-H stretch	Aromatices
3100-3000 (m)	= C-H stretch	Alkenes
3000-2850 (m)	C-H stretch	Alkenes
2830-2695 (m)	H-C=O C-H stretch	Aldehydes
2260-2210 (v)	C=N stretch	Nitriles
2260-2100 (w)	-C=C- stretch	Alkynes
1760-1665 (s)	C=O stretch	Carbonyls (general)
1760-1690 (s)	C=O stretch	Carboxylic acids
1750-1735 (s)	C=O stretch	Esters,saturated aliphatic
1740-1720 (s)	C=O stretch	Aldehydes, saturated aliphatic
1715 (s)	C=O stretch	α,β -unsaturated esters
1710-1665 (s)	C=O stretch	Ketones , saturated aliphatic
1680-1640 (m)	C=O stretch	1°,2° unsaturated aldehydes, ketones
1650-1580 (m)	-C=C- stretch	Alkenes

1600-1585 (m)	N-H bend	1° amines
1550-1475 (s)	C-C stretch (in-ring)	Aromatic
1500-1400 (m)	N-O asymmetric stretch	Nitro compounds
3100-3000 (m)	C-C stretch (in-ring)	Aromatic
3000-2850 (m)	= C-H stretch	Alkenes
2830-2695 (m)	H-C=O :C-H stretch	Alkanes
2260-2210 (v)	C=N stretch	Aldehydes
2260-2100 (w)	-C=C- stretch	Nitriles
1760-1665 (s)	C=O stretch	Alkynes
1760-1690 (s)	C=O stretch	Carbonyls (general)
1750-1735 (s)	C=O stretch	Carboxylic acids
1740-1720 (s)	C=O stretch	Esters, saturated aliphatic
1730-1715 (s)	C=O stretch	Aldehydes saturated aliphatic
1715 (s)	C=O stretch	α,β -unsaturated esters
1710-1665 (s)	C=O stretch	Ketones , saturated aliphatic

m = متوسط، w = ضعيف، s = قوي، n = ضيق، b = واسع، sh = حاد

المـــلـــحـــق II

الشكل (8.IV): مراحل نمو نبات مخلف البرتقال.

نبات مخلف البرتقال					
العينة التاريخ	CAP	CAC	CAF	CCF	CGF
بعد21 يوم				-	-
بعد30 يوم				-	-
بعد36 يوم					-
بعد43 يوم					
بعد47 يوم					
بعد53 يوم					
بعد61 يوم	-				

الشكل (9.IV): مراحل نمو نبات مخلف الرمان.

نبات مخلف الرمان					
العينة التاريخ	PAP	PAC	PAF	PCF	PGF
بعد18 يوم			-	-	-
بعد29 يوم				-	-
بعد34 يوم				-	-
بعد42 يوم				-	
بعد50 يوم				-	
بعد63 يوم	-	-			

الشكل(10.IV): مراحل نمو نبات الشاهد.

نبات الشاهد			
العينة / التاريخ	SP	SC	SF
بعد24يوم	-	-	
بعد32يوم	-		
بعد41يوم			
بعد50يوم			