إعداد

أ. د. علي زيدان

د. محمد ابراهيم

الفهرس

	الموضوع	الصفحة
1-	مقدمة.	5
2-	الفصل الأول: تاريخ الفحم الحيوي وانتاجه عالمياً.	6
3-	الفصل الثاني: التعريف بالفحم الحيوي وتركيبه الجزيئي.	8
4-	الفصل الثالث: لماذا نحن بحاجة إلى استخدام الفحم الحيوي؟	12
4- 1-	الفحم الحيوي محسن خصوبي للتربة.	12
4- 2-	الفحم الحيوي محسن فيزيائي للتربة.	15
4- 3-	الفحم الحيوي منتج صديق للبيئة	19
5-	الفصل الرابع: تحضير الفحم الحيوي والعوامل المؤثرة في انتاجيته كماً ونوعاً.	21
5- 1-	درجة حرارة التفحيم.	23
5- 2-	زمن التفحيم.	25
5- 3-	المادة الأم التي يصنع منها الفحم الحيوي.	25
6-	الفصل الخامس: ماهي كمية الفحم الحيوي المنتجة من المخلفات الزراعية ؟	26
7-	الفصل السادس: اضافة الفحم الحيوي إلى التربة	28
8-	الفصل السابع : انتاج الفحم الحيوي على مستوى المزرعة.	29
8- 1-	الجدوى الاقتصادية من انتاج الفحم الحيوي.	32
9-	الفصل الثامن: استخدام الفحم الحيوي في انتاج المحاصيل الزراعية.	33
10-	الفصل التاسع: الخلاصة والتوصيات.	36
11-	المراجع العلمية.	38

فهرس الجداول

	الموضوع	الصفحة
1-	بعض مواصفات الفحم الحيوي لمصادر عديدة من الكتل الحيوية تحت تأثير درجات حرارة تفحيم مختلفة.	22
2-	كفاءة عملية التفحيم لأربع أنواع من الكتل الحيوية.	31
3-	الجدوى الاقتصادية لخيارات تحويل الكتلة الحيوية إلى فحم حيوي أو كومبوست او مصدر للطاقة.	32

فهرس الأشكال

	الموضوع	الصفحة
1-	مراحل التحلل الحراري (التفحيم)	10
2-	بنية الغرافيت	11
3-	الشكل الفراغي للفحم الحيوي	11
4-	مواقع ادمصاص الأنيونات على سطح الفحم الحيوي	12
5-	آلية ادمصاص الشوارد الموجبة والسالبة (النترات، الامونيوم، الفوسفات)	13
6-	تأثير الخلط بين السماد العضوي والفحم الحيوي في الارتشاحية المائية للتربة سم/د	18
7-	آلية تشكل الفحم الحيوي خلال عملية التحلل الحراري	21
8-	مع تقدم عملية التفحيم تصبح الهياكل الكربونية في الفحم الحيوي أكثر ترتيباً ومسامية	23
9-	مقارنة بين درجة ثبات الفحم الحيوي والمادة العضوية	27
10-	المظهر العام لنموذج الفرن المصنع محلياً لإنتاج الفحم الحيوي على المستوى المنزلي .	30

فهرس الصور

	الموضوع	الصفحة
1-	صورة مقطعية تظهر الفرق بين تربة تيرابريتا والتربة الأصلية	6
2-	نسب إنتاج الفحم الحيوي في العالم	7
3-	قشور وقطع صغيرة من الفحم الحيوي+ فحم حيوي مطحون	8
4-	تفحيم كيزان الذرة الصفراء	9
5-	صورة ميكروغرافية للهيكل البنائي للفحم الحيوي	16
6-	صورة الكتروميكروغرافية للمسام في الفحم الحيوي	16
7-	حرق الكتلة الحيوية في جو مفتوح إلى اليمين وجو مغلق بغياب الهواء إلى اليسار	19
8-	اضافة الفحم الحيوي في حفرة الغرسة قبل الزراعة أو بين الغراس	28
9-	زيادة نمو نبات الفاصولياء بزيادة نسب الفحم الحيوي في التربة	35
10-	موجز لأهم خصائص وفوائد الفحم الحيوي الزراعية والبيئية.	37

1-مقدمة:

يعد تأمين الغذاء للتعداد السكاني المتزايد أحد أبرز التحديات التي تواجه البشرية في المستقبل القريب، حيث من المتوقع أن يتخطى عدد سكان الأرض 9 مليار بحلول عام 2050، الأمر الذي يضاعف الحاجة للبحث في آفاق جديدة تلبي الاحتياجات الغذائية المتعددة خاصة في ظل انخفاض مساحات الأراضي الصالحة للزراعة نتيجة تدهور الأراضي والزحف العمراني وغيرها من العوامل، انطلاقاً من ذلك كان لابد من إيجاد طرق جديدة تعزز من كفاءة استخدام الأراضي الزراعية في إنتاج الغذاء عن طريق تحسين المؤشرات الخصوبية للتربة كالمادة العضوية التي تؤدي دوراً بالغ الأهمية في كيمياء التربة وخصوبتها، حيث أن انخفاض محتوى التربة من المادة العضوية يشكل تهديداً كبيراً لخصوبتها وإنتاجية المحاصيل والعائد الاقتصادي خاصة في النظم الزراعية الجافة وشبه الجافة.

يشكل الفحم الحيوي Biochar أحد الخيارات التي تعطي آمالاً كبيرة في تحسين خصوبة التربة وزيادة إنتاجيتها، إذ اكتسب استخدامه أهمية عالمية وازداد الاهتمام به لقدرته على تحسين احتفاظ التربة بالماء والعناصر المغذية.

إدخال واعتماد تقانة استخدام الفحم الحيوي هنا في إدارة الإنتاج الزراعي لا تتطلب موارد جديدة، وإنما تزيد من كفاءة استخدام الموارد المتوفرة محلياً ، وتسهم في الحفاظ على البيئة من ناحية أخرى، لذلك يجب ألا ينظر لتقانة استخدام الفحم الحيوي كبديل للإدارة السائدة لاستخدامات الأراضي بل كقيمة مضافة وداعمة لتحسينها واستدامتها.

(Cernansky. 2015)

2-الفصل الأول: تاريخ الفحم الحيوي ومراكز انتاجه عالمياً

يعود أصل الفحم الحيوي إلى الممارسات الزراعية لسكان الأمازون، منذ حوالي 6000 سنة، اكتشف الأمريكيون الأصليون الذين يعيشون في غابة الأمازون أن إضافة الفحم إلى التربة يجعلها أكثر خصوبة، وتم تسميه هذه الأرض ب تيرا بريتا.

تيرا بريتا هي تربة خصبة غنية بالفسفور والكالسيوم والمغنيزيوم كما تحتوي على سبعين ضعفاً من الكربون، حيث تتكون هذه التربة السميكة أحيانا 1 م من خليط من التربة في مكانها وجزيئات صغيرة من الفحم ورماد الخشب المعدني والمواد العضوية المرطبة. (Sohi. 2012) صورة(1).

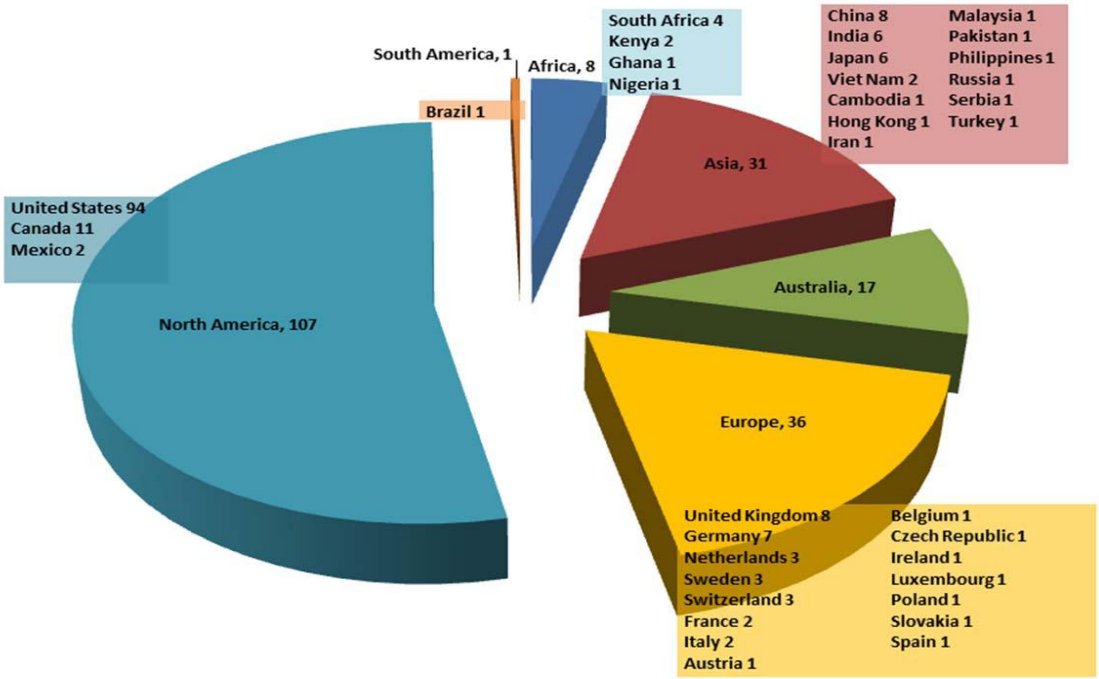
صورة (1): صورة مقطعية تظهر الفرق بين تربة تيرابريتا والتربة الأصلية.

أشار الباحث (Liebig, 1878) الى تطبيقات ميدانية منذ قديم الزمن، في مجال استخدامات الفحم الحيوي في الزراعة في الصين، حيث خلطت الكتلة الحيوية للنفايات وغطيت بالتربة، وعرضت للحرق بظروف محدودة التهوية على مدى عدة أيام حتى تحولت الى فحم على شكل كتلة سوداء، تبين لاحقا أن هذه الكتلة السوداء إذا ما أضيفت للتربة تساهم في تحسين النمو الخضري للنبات المزروع فيها .وفي اليابان، واستنادا الى (Miyazaki, 1697) ، فقد وصف الفحم الحيوي في الكتابات اليابانية القديمة في المجال الزراعي، باسم" سماد النار "وعلى الرغم من ذلك فلم يعط الاهتمام على المستوى العالمي إلا منذ السنوات القليلة الماضية.

أما بالنسبة لمناطق انتاج الفحم الحيوي عالمياً تتركز معظم شركات الفحم الحيوي في أمريكا الشمالية، وتم ملاحظة نمو كبير لهذه الشركات بين عامي (2013–2014) في أستراليا وآسيا حيث تضاعفت من 8% إلى 16 % والذي قد يكون مؤشر على الاتجاه نحو التنويع من شركات الفحم الحيوي في جميع مناطق العالم وتظهر الصورة (2) النسب المئوية لإنتاج القارات والدول من الفحم الحيوي .

ومن بين 204 شركة تم تحديدها على أنها تعمل في قطاع الفحم الحيوي في عام 2014، 120 منها إما أنتجت و/أو باعت منتج الفحم الحيوي ويمثل هذا زيادة بنسبة 100% تقريبًا عن الشركات الـ 62 التي تم تحديدها في عام 2013.

كما تمول وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) تحضير الفحم الحيوي كممارسة للحفاظ على البيئة أو كمنتج مشترك لإنتاج الطاقة الحيوية، وذلك من خلال برامج تركز على البحث والتطوير حيث تدعم الأبحاث الجديدة حول تطبيقات الفحم الحيوي من خلال مختبراتها الوطنية والأبحاث الممولة من الخارج فيقوم على سبيل المثال، المعهد الوطني للأغذية والزراعة حالياً بتمويل 351 مشروعاً نشطاً للبحث والإرشاد والتعليم مع التركيز على الفحم الحيوي.



صورة (2): نسب انتاج الفحم الحيوي في العالم.

3-الفصل الثاني: التعريف بالفحم الحيوي وتركيبه الجزيئي

ما هو الفحم الحيوي؟

الفحم الحيوي وفق (Lehmann and Joseph, 2009): هو منتج غني بالكربون العنصري، ينتج عن ما يسمى بالتحلل الحراري (Pyrolysis) للمواد العضوية بغياب أو وجود محدود للأكسجين، وفي درجات حرارة منخفضة نسبيًا (أقل من 700م^0) ، وأشار هذان الباحثان إلى أن هذه العملية تتشابه مع عملية تكوين فحم الطاقة (Charcoal)، ولا تختلف عن ذلك إلا أن عملية تحضير الفحم الحيوي (Biochar) تتم لغرض موجه نحو استخدامه كمحسن للتربة.

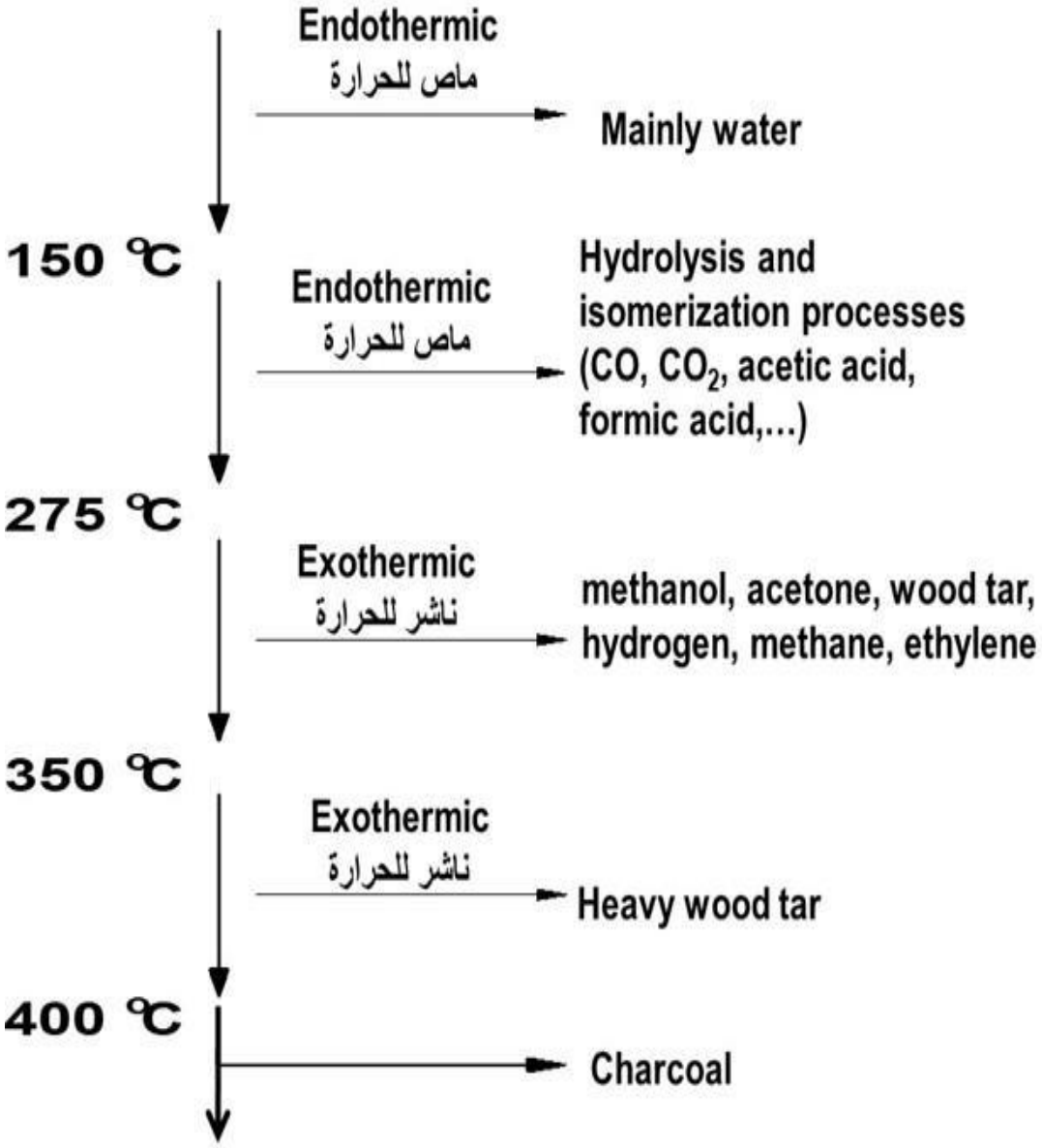
صورة (3): قشور وقطع صغيرة من الفحم الحيوي + فحم حيوي مطحون.

هذه العملية غالبا ما تعكس إنتاج الفحم، كأحد أقدم التكنولوجيات الصناعية التي طورها الإنسان منذ قديم الزمان، Harris, (1999)، ومع ذلك، فإن عملية تصنيع الفحم الحيوي تتميز عن صناعة الفحم التقليدية، بأن الفحم الحيوي ينتج بقصد الإضافة للتربة كمادة محسنة وتخزين للكربون وفلتر للماء الراشح، فالعملية الإنتاجية، إلى جانب الهدف من استخدامه، يشكلان الأساس في تصنيفها وتسميتها.

صورة(4): تفحيم كيزان الذرة الصفراء.

العمليات الحرارية لتكوين الفحم الحيوي تدعى (pyrolysis) وهي كلمة مركبة مشتقة من الأصل اليوناني، حيث أن (pyro) تعني النار أو الحرارة و (lysis) تعني التفكك، وبمجملها تعني التحلل الحراري للكتلة الحيوية الذي يؤدي إلى تشكل الفحم الحيوي (Schmidt and Wilson. 2014).

يتم إنتاج الفحم الحيوي من الناحية الفنية، عن طريق ما يسمى التحلل الحراري(Pyrolysis) للمواد العضوية في درجات حرارة ما بين (700 – 400 مo) وفي ظروف معدومة أو قليلة الأوكسجين كما هو مبين في الشكل (1) التالي:

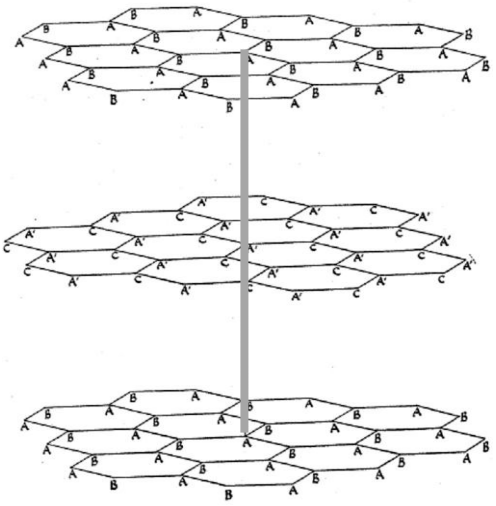


Carbonization Processes (Pyrolysis)

شكل1: مراحل التحلل الحرارى (التفحيم)

التركيب الجزيئي للفحم الحيوي:

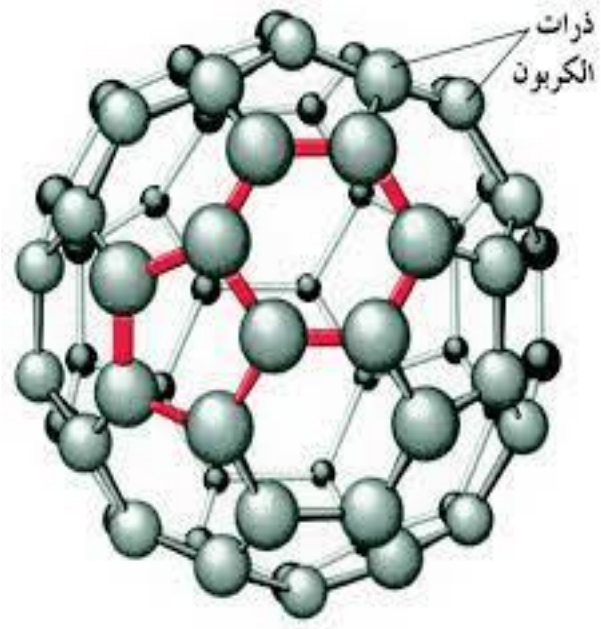
تتكـون حبيبـات الفحـم الحيـوي مـن جزيئـات بللوريـة ميكرونية مكونة من عدد كبير من ذرات الكربون المعدني التـي تشـكل الحلقـات العطريـة، وهـي مركبـات تتميـز بحلقات سداسية من ذرات الكربون المرتبطة معاً والتي تتكدس بحلقات طولية على شكل أوراق أو طبقات مشكلة ما يسمى الفحم الحيوي أو(الغرافيت) (Brenal, 1924) شكل (2)، مـع بعض الشوائب الصلبة والفراغات التي تشـكل بـدورها مسـامات كبيـرة وصـغيرة بـين الطبقـات وتعطيه الطابع المسامي.



شكل (2) بنيةالغرافيت (Brenal .1924)

تحتـوي الهياكـل العطريـة للفحـم الحيـوي علـى نسـب منخفضـة مـن O/C لتصـبح أكثـر مقاومـة للتحلـل الميكروبـي ، وهـذه الخصـائص هامـة جـداً لأن الفحـم الحيوي الذي يقاوم التحلل المكروبي هو الأنسب لتثبيت الكربون لآلاف السنين. شكل (3)

كمـا يحتـوي الفحـم الحيـوي علـى تراكيـب عطريـة شـديدة التعقيد تقـاوم التحلـل فـي التربـة وبالتـالي يمكنهـا تثبيـت الكربـون فـي التربـة لآلاف السنين وهو بذلك يتفوق على المادة العضوية التي تتحلل بوقت قصير في التربة وذات تكلفة ماديـة كبيرة حيث يتميز الفحم الحيوي بأنـه شـديد الثبـات والمقاومـة للتحلـل فـي التربـة، حيـث أن الدراسـات المخبريـة التـي أجراهـا Cheng وزملائـه (2008) و Liang وزملائـه (2008) قـدرت أنـه يبقـى فـي التربـة بحـــدود 900–9000 ســـنة، وهـــي أطـــول بـــألاف المرات من فترة بقاء المواد العضوية في التربة.



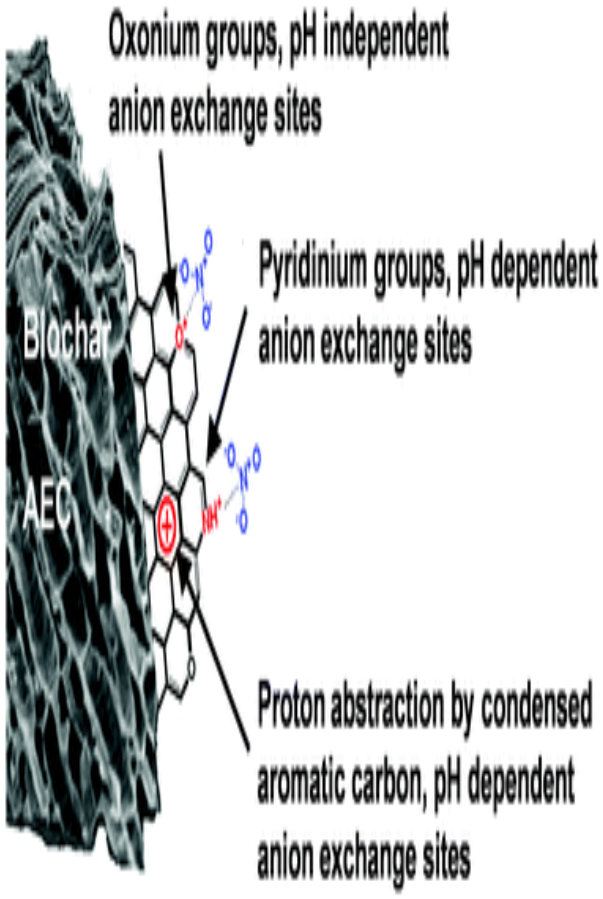
شكل (3):الشكل الفراغي للفحم الحيوي

4-الفصل الثالث: لماذا نحن بحاجة إلى استخدام الفحم الحيوي؟

4-1-الفحم الحيوي محسن خصوبي للتربة

يقلل استخدام الأسمدة الكيميائية وتكاليف المستلزمات الزراعية ويزيد خصوبة التربة من خلال الآليات التالية:

- السطح النوعي المرتفع ووجود مواقع سطحية قطبية وغير قطبية في الفحم الحيوي تعزز ادمصاص العناصر الغذائية الكاتيونية والأنيونية اضافة لوجود مواقع لادمصاص الأنيونات على سطوح الفحم الحيوي لا تعتمد على تغيرات الـ (pH)، تساهم أيضا في زيادة السعة التبادلية الأنيونية (AEC) ومسك الأنيونات كما يوضح الشكل (3). (Lawrinenko and Laird. 2015)

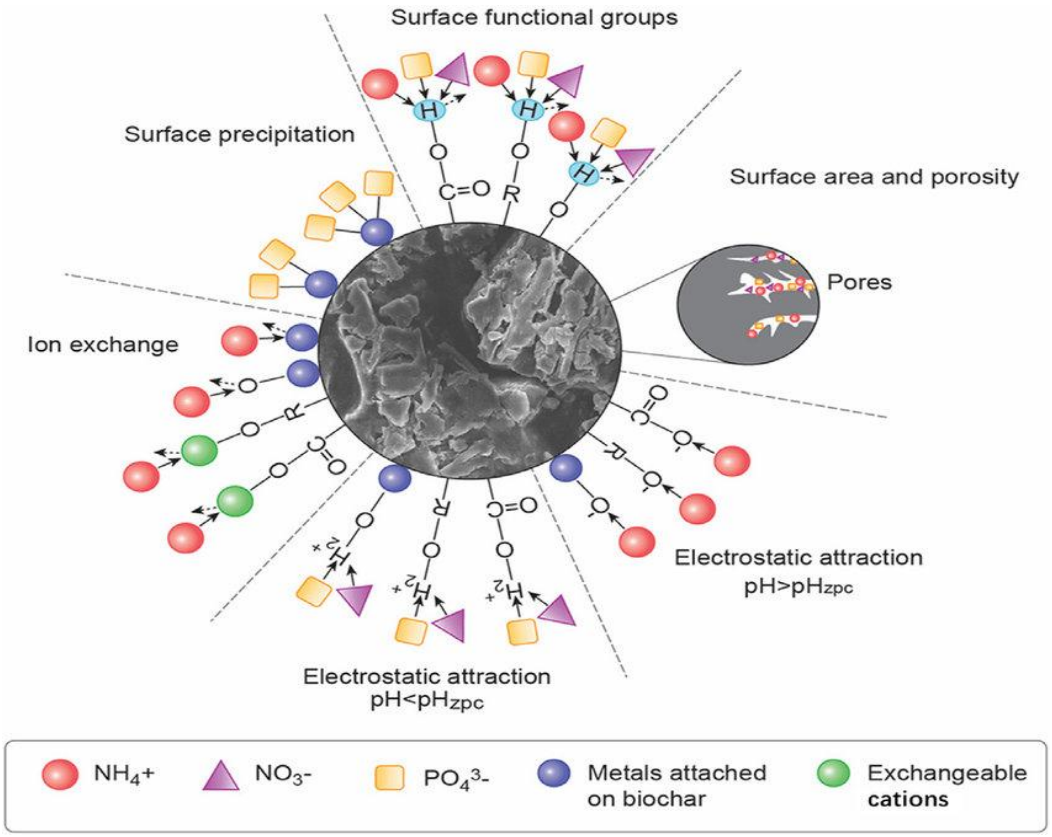


الشكل (4): مواقع إدمصاص الأنيونات على سطح الفحم الحيوي

لاحظ العديد من الباحثين (Dias et al, 2009) (Hua et al, 2009)، أن تطبيق الفحم الحيوي مع أسمدة أخرى يزيد فعالية وكفاءة هذه الأسمدة في تخصيب التربة، حيث خلطه مع سماد الدواجن يقلل من خسارة الآزوت، واستخدامه مع الأسمدة الآزوتية في تربة مزروعة بنبات الفجل أدى الى زيادة فعالية وكفاءة هذه الاسمدة في النمو والإنتاج.

- الفحم الحيوي يحتوي أيضاً على عناصر غذائية في بنيته يمكنه الاحتفاظ بها وتحريرها ببطء مع مرور الزمن.

- عملية التبادل الأيوني خاصة لشوارد الأمونيوم (+NH4) التي تدمص على سطوح الفحم الحيوي ، حيث كان انخفاض انغسال الآزوت على شكل أمونيوم تراكمياً بنسبة (15%) على مدى (70) يوماً وفق ما وجده Ding وزملائه (2013).
- مزيج من القوى الإلكتروستاتيكية والقوى الشعرية الموجودة على سطوحه وفي مساماته نتيجة تركيبه المعقد. (Zhang etal. 2020). شكل (4).



الشكل (5): ألية ادمصاص الشوارد الموجبة والسالبة النترات والأمونيوم والفوسفات

- زيادة الفحم الحيوي لسعة احتفاظ التربة للماء حيث يزيد رطوبة التربة حوالي (35 %) في الطبقة العليا و (13.9 %) في الطبقة السفلى، مما يقلل من انغسال شوارد النترات والفوسفور وتخفيف استخدام الأسمدة الآزوتية والفوسفورية المعدنية. .
- التأثير على تغيرات قيم الـ (pH) في التربة، والذي عزز الادمصاص المباشر لشوارد الأمونيوم والنترات فيها.

- يؤثر في التغيرات في البيئة الميكروبية للتربة وزيادة امتصاص العناصر الغذائية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة خاصة أن التركيب المسامي للفحم الحيوي الذي يوفر وسطاً مناسباً للمستعمرات الميكروبية والفطريات والميكورايزا.
- وجد (Ibraheem and Zidan.2020) في هذا المجال، أن إضافات الفحم الحيوي للتربة تفوقت على إضافات السماد العضوي في التخفيف من انغسال النترات والكلور والبوتاسيوم منها من خلال تعزيز قدرتها على الاحتفاظ بهذه الشوارد بالرغم من أنه يسهم بدرجة كبيرة في زيادة نفاذية التربة للماء.

4-2-الفحم الحيوي محسن فيزيائي

يقلل الفحم الحيوي من استهلاك المياه في المناطق الجافة ويقلل من انجراف التربة في المناطق الساحلية الرطبة.

تلعب كثافة ومسامية الفحم الحيوي دور مهم في حركة جزيئاته التي تتفاعل مع الدورة الهيدرولوجية في التربة ، فهو يغير طريقة حركة الماء في فراغات التربة، حيث أن جزيئاته تخلق ممرات استثنائية في التربة التي تبطئ جريان المياه في التربة الرملية وتسرعه في التربة الطينية.

كما يؤثر الفحم الحيوي في خصائص التربة الفيزيائية مثل المسامية الكلية، وتوزيع المسام بين صغيرة وكبيرة، وكثافتها الظاهرية، والمحتوى الرطوبي، والسعة الحقلية، نرى ذلك في عدة آليات أهمها:

- **السطح النوعي المرتفع والشحنة السالبة للفحم الحيوي:**

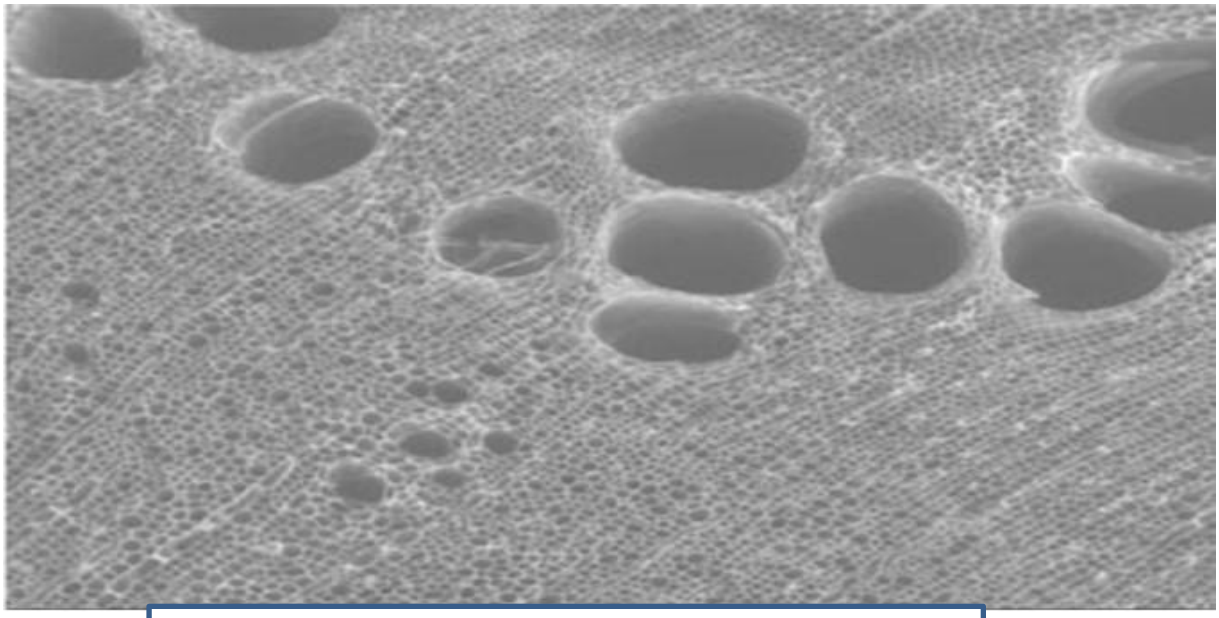
تتراوح مساحة السطح النوعي للتربة الرملية اللومية بدون الفحم الحيوي ما بين (10-40 م^{2}\غ) وللتربة السلتية اللومية ما بين (5-150م^{2}/غ) وللتربة الطينية ما بين (150-250 م^{2}/غ)، لكنها تصل إلى (3000 م^{2}/غ) في الفحم الحيوي، (Brodowski, et al. 2006) هذا الأمر يمكن الفحم الحيوي من ادمصاص مواد عضوية على سطوح جسيماته، وخلق سطوح مؤكسدة تسمح للفحم بجذب الكاتيونات ومسكها بشكل أفضل من أشكال أخرى من المواد العضوية وتشكل هذه الكاتيونات جسور تربط الحبيبات الترابية مع بعضها مشكلة مسامات كبيرة تسمح بزيادة ارتشاح الماء في التربة الطينية . (Laird.2008; Lehmann. 2007)

- **المسامية العالية للفحم الحيوي:**

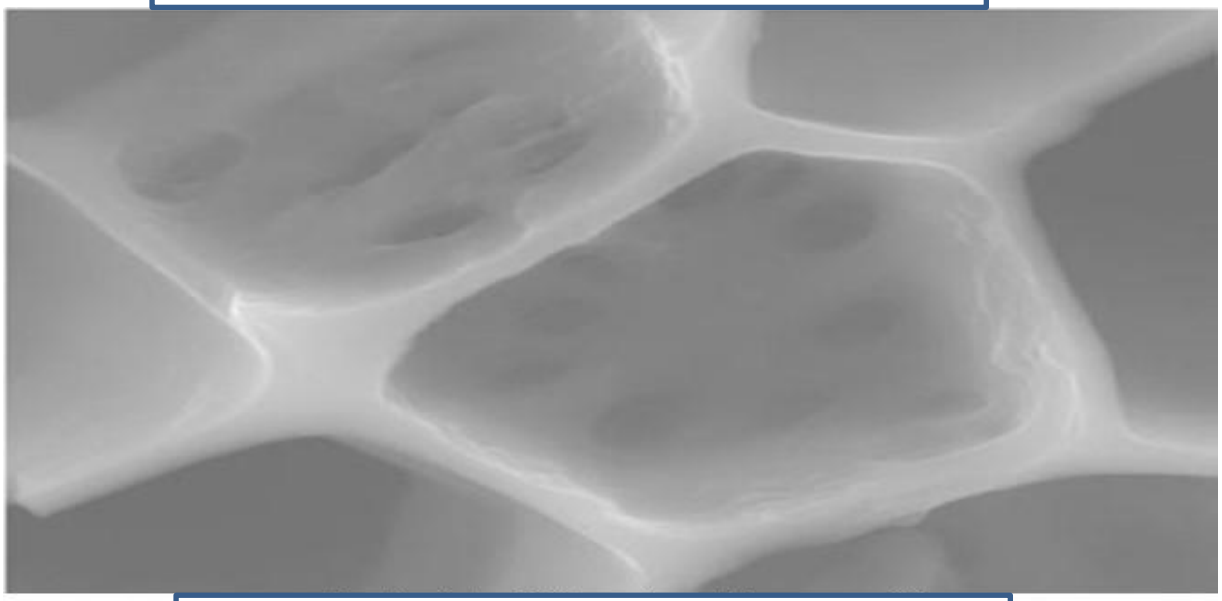
معظم حجوم مسامات الفحم الحيوي يقل قطرها عن (µ0.002)، إلى جانب وجود نسبة من المسامات الكبيرة تتراوح أقطارها من (1 إلى µ10)، هذه المسامات تلعب دور في تشكيل مسامات واسعة وزيادة معدل ارتشاح الماء في التربة الطينية، وتعمل بشكل مشابه لجزيئات الطين، مما يعزز تجميع حبيبات التربة الطينية وتشكيل البناء الحبيبي المفضل زراعياً (Major et al .2009) أما في التربة الرملية يلعب الفحم الحيوي دور مهم في زيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء عن طريق تحويل المسامات الكبيرة في التربة إلى مسامات متوسطة وصغيرة ، حيث أدى إضافة الفحم الحيوي بنسبة 5٪ (وزن/وزن) إلى انخفاض متوسط أقطار المسام في التربة الرملية من (0.07 مم إلى 0.046 مم). وفق نتائج Devereux وزملائه (2012).

حيث تعمل المسامات الكبيرة الموجودة في امتصاص الغازات، في حين ترتبط المسامات المتوسطة بامتصاص المركبات السائلة والصلبة وتعتبر المسامات الكبيرة مغذيات مهمة للمسامات ذات الاقطار الأصغر، وتساعد في نقل الجزيئات التي

تتركز بواسطة المسام المتوسطة والكبيرة، وهي ذات صلة أيضًا بحركة الجذور عبر التربة والبيئة الحاضنة لمجموعة متنوعة من الكائنات الدقيقة في التربة.



صورة (5): صورة ميكروغرافية للهيكل البنائي للفحم الحيوي



صورة (6): صورة الكتروميكروغرافية للمسام في الفحم الحيوي

- **الكثافة الظاهرية المنخفضة للفحم الحيوي:**

تساهم هذه الكثافة في انخفاض كثافة التربة الظاهرية بعد اضافة الفحم الحيوي وهذا يساعد على زيادة احتفاظ التربة بالماء. (Devereux. et al. 2012).

- **التأثير على الطبقة الكتيمة تحت السطحية وحله لمشكلة انجراف التربة المائي:**

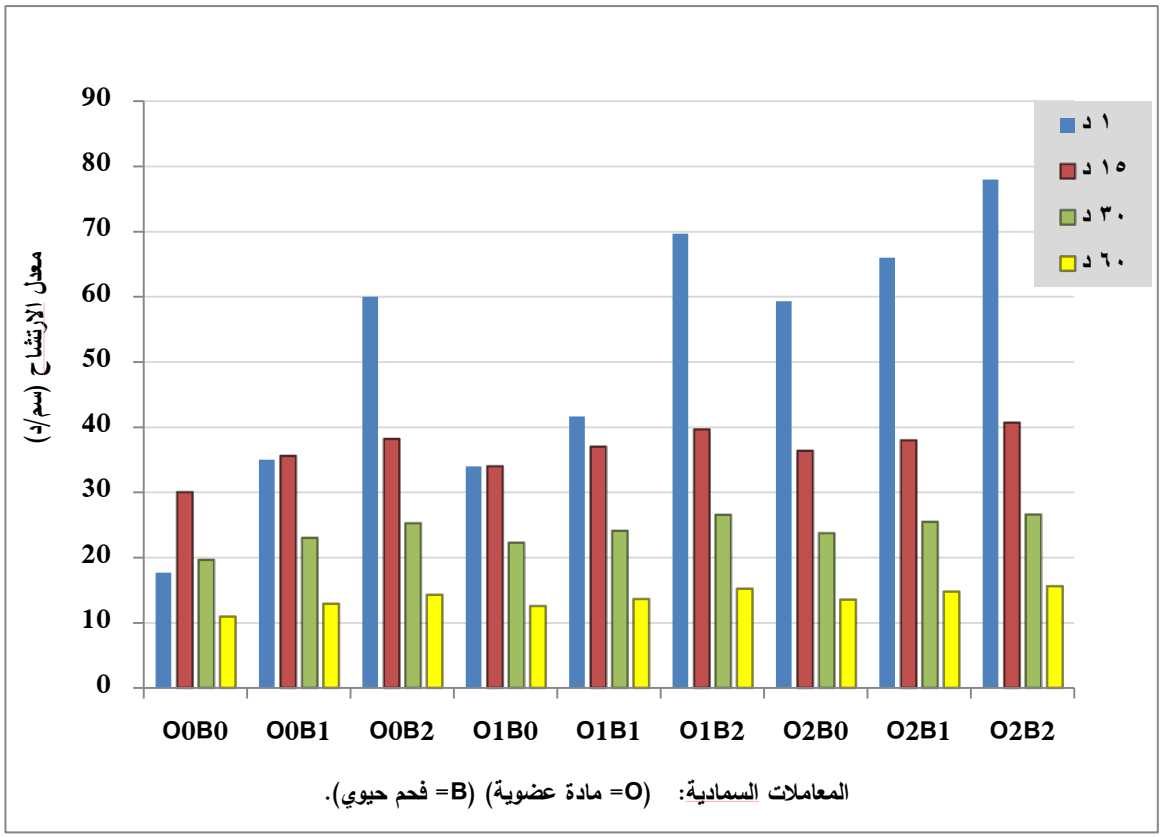
يحسن الفحم الحيوي بناء التربة ويقلل من تشكل الطبقة الكتيمة تحت سطحية المسببة للانجراف المائي في التربة لأن الفحم الحيوي يزيد نسبة الشوارد المجمعة لحبيبات التربة مثل الكالسيوم في محلول التربة، حيث تعمل هذه الشوارد على الحد من تشتت حبيبات الطين، وتفكك التجمعات الترابية. (Masiello, et al.2015).

كما يقلل الفحم الحيوي التأثير السلبي لدورات الترطيب والتجفيف المتكررة التي تسبب انكماش التربة وانخفاضها مؤدية لتحطم التجمعات الترابية وانسداد المسامات وبالتالي خفض الارتشاحية المائية وحدوث الإنجراف المائي.(Ajaya and Horn, 2017)

- **استصلاح الترب المالحة والقلوية:**

يعتبر الفحم الحيوي عامل مساعد في التخفيف من الآثار السلبية للأملاح في الترب المتأثرة بالملوحة والقلوية، لأنه يحسن الخصائص الهيدرولوجية لهذه الترب حيث يزيد في سرعة رشح الماء منها وبالتالي يساهم في تسهيل عملية غسيل الأملاح، خاصة وأن المصلحات الكيميائية المستخدمة لاستصلاح هذه الترب قصيرة الأمد. (Sun etal. 2018).

ظهر ذلك جليا في دراسة نفذت في محطة البحوث العلمية الزراعية في بيت كمونة بطرطوس، بالتعاون مع كلية الزراعة بجامعة تشرين، تضمنت اختبار (9) معاملات مكونة من تداخل ثلاث مستويات مضافة من المادة العضوية على شكل زبل بقري متخمر (O_0, O_1, O_2) وثلاث مستويات من الفحم الحيوي (B_0, B_1, B_2)، بالنسب الوزنية التالية (0 ,1 ,2 %)، لكل منهما في أحواض ليزومترية زجاجية سعة 8 كغ تربة، وجرى قياس حجوم أو كميات الماء الراشح من الأحواض خلال أربع فترات زمنية متزايدة (1 ,15 ,30 ,60) دقيقة، لجميع المعاملات حيث بينت النتائج أن إضافات الفحم الحيوي للتربة بشكل منفرد حقق زيادة طردية في معدل الارتشاح للماء في كافة أزمنة القياس. وكان هناك تشابهاً كبيراً في تأثير الإضافات الافرادية للفحم الحيوي والمادة العضوية في زيادة ارتشاح التربة للماء تحت كافة أزمنة القياس، مع تفوق ملحوظ لمستويات الفحم الحيوي على نفس المستويات من المادة العضوية المضافة في التسبب في زيادة ارتشاح الماء من التربة. وظهر تأثير التكامل بين الفحم الحيوي والمادة العضوية فقد ظهر بشكل واضح وايجابي في زيادة ارتشاح التربة للماء. وأعطت المعاملة المشتركة (O_2B_2) المكونة من (2% مادة عضوية + 2% فحم حيوي) أعلى معدل ارتشاح مائي في التجربة بفارق معنوي واضح عن الشاهد وكافة معاملات التجربة. شكل (6) (Ibraheem, et al. 2021).



الشكل (6): تأثير الخلط بين السماد العضوي والفحم الحيوي في الارتشاحية المائية للتربة (سم/د)

4-3-الفحم الحيوي منتج صديق للبيئة من خلال الآليات التالية:

- **تخفيض انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون:**

تقوم عملية التفحيم بحجز ذرات الكربون في الفحم الحيوي وتمنعها من الاتحاد مع الأكسجين وانطلاقها إلى الهواء الخارجي على شكل غاز CO_2 حيث تنتج هذه العملية فحم حيوي يحتوي على الكربون العنصري المثبت لآلاف السنين مما ينعكس إيجاباً على البيئة ويساهم في التخفيف من التأثيرات السلبية للتغيرات المناخية، خصوصا وأن المنشآت الصناعية تنتج كميات هائلة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، خاصة إذا علمنا أن تركيزه في الغلاف الجوي يبلغ ما يقارب من (400) جزء في المليون (Anderson et al. 2012).

صورة (7) :حرق الكتلة الحيوية في جو مفتوح الى اليمين وفي جو مغلق بغياب الهواء الى اليسار.

- **إعادة تدوير المخلفات:**

يبلغ الإنتاج السنوي للمخلفات الزراعية أكثر من (500) مليون طن على مستوى العالم (Sánchez, 2009)، كما أن الإدارة الخاطئة لهذه النفايات والتي تتبعها ممارسات زراعية غير ملائمة تدعم انتقال الآفات وتعرض بنية التربة للخطر وتحول بعض العناصر الغذائية إلى أشكال كيميائية لا تقبلها المحاصيل. بالمقابل إنتاج الفحم الحيوي يساعد في إعادة تدوير المخلفات الزراعية ومخلفات الغابات ومخلفات معالجة الأخشاب والجزء العضوي من نفايات الصرف الصحي الصلبة، كما تقلل عملية التفحيم من وزن وحجم الكتلة الحيوية ويسهل طريقة التعامل معها ، ويجعلها خالية من الروائح الضارة والنفايات السائلة حيث يمكن أن ينتج 1 طن من الكتلة الحيوية الجافة ما لا يقل عن (400 كغ) من الفحم الحيوي يحتوي على (80 إلى 90٪) كربون عنصري، (Zhao et al., 2017).

كما أن عملية التفحيم (Carbonization) لا تعطي طاقة فحسب بل تسهم في خفض حجم وكتلة البقايا العضوية بشكل كبير مما يسهل عملية التعامل معها من ناحية النقل والتخزين وهذا ما أشار إليه (Ibraheem. etal. 2020) ، حيث وجدوا أن التحكم الجيد في عملية التحلل الحراري للكتلة الحيوية تخفض حوالي 57 % من حجم النفايات العضوية للحصول على الفحم الحيوي.

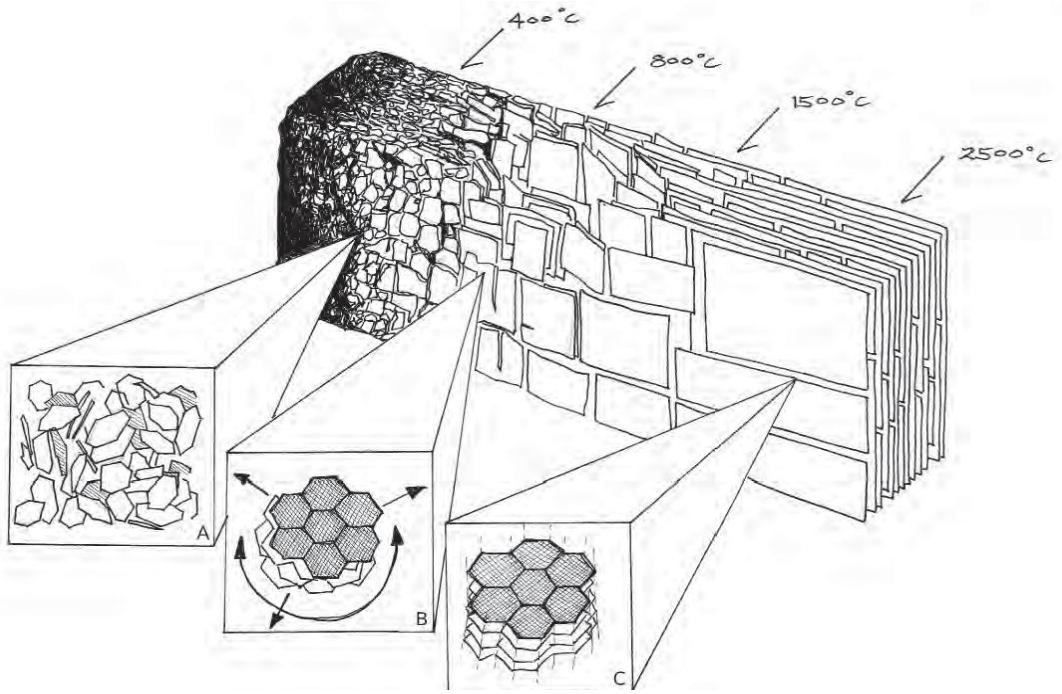
كما أن الإدارة الجيدة للنفايات العضوية نحو تصنيع الفحم الحيوي تسهم في التخفيف من الآثار السلبية للتغيرات المناخية من خلال وإعادة تدوير واختزال النفايات وخفض انبعاثات غاز الميثان من مطامر نفايات المدن(القمامة)، وتخفيف الطاقة المستخدمة في المسافات الطويلة لنقل هذه النفايات وغير ذلك.

- **تقليل انغسال العناصر الغذائية إلى المياه الجوفية والمسطحات المائية:**

يسهم الإفراط في استخدام الأسمدة الكيميائية من قبل الكثير من المزارعين في انغسال جزء كبير من الأسمدة نحو الآفاق السفلى من التربة في الحقول الزراعية ونحو المياه الجوفية ويؤدي إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل وخسارة جزء كبير من الغلة المالية وتهديد السلامة البيئية، فضلاً عن أن مستويات العناصر الغذائية العالية في المياه السطحية أو الجوفية يسبب ظاهرة الإثراء الغذائي وموت الأسماك والكائنات البحرية نتيجة نقص الأكسجين في هذه المياه.

5-الفصل الرابع: تحضير الفحم الحيوي والعوامل المؤثرة في إنتاجه كماً ونوعاً:

يعمل التحلل الحراري (Hydrolysis) على تفكيك السلسلة البوليميرية للتركيب المعقد للكتلة الحيوية (سليلوز، هيميسيليلوز، لجنين، دهون ....) لينتج مجموعة من المنتجات الصلبة المكونة أساساً من ذرات الكربون المعدني (الغرافيت) على شكل جزيئات بللورية، إضافة إلى مركبات سائلة وغازية تتبخر أو تتطاير خارج الكتلة المتفحمة تاركة ما يدعى الفحم الحيوي مع بعض الشوائب الصلبة من كربونات الكالسيوم والعناصر المعدنية، في غياب أو وجود كمية محدودة من الأكسجين، وتلعب حرارة التفحيم دوراً رئيساً في تطور البنية النسيجية للفحم الحيوي من خلال إعادة ترتيب البنية البللورية للمكونات الصلبة (Asadullah et al, 2011). شكل (7)



الشكل (7): آلية تشكل الفحم الحيوي خلال عملية التحلل الحراري.

تعد خصائص الكتلة الحيوية جنباً إلى جنب مع درجة حرارة التفحيم وزمن التفحيم العوامل الرئيسة التي تؤثر في خصائص الفحم الحيوي والسطح النوعي المتشكل لديه، ، لأن هذه العوامل تتحكم في درجة تشكل الحلقات العطرية، وحجز ذرات الكربون في بنية الفحم الحيوي الناتج، (Keilluweit etal, 2010).

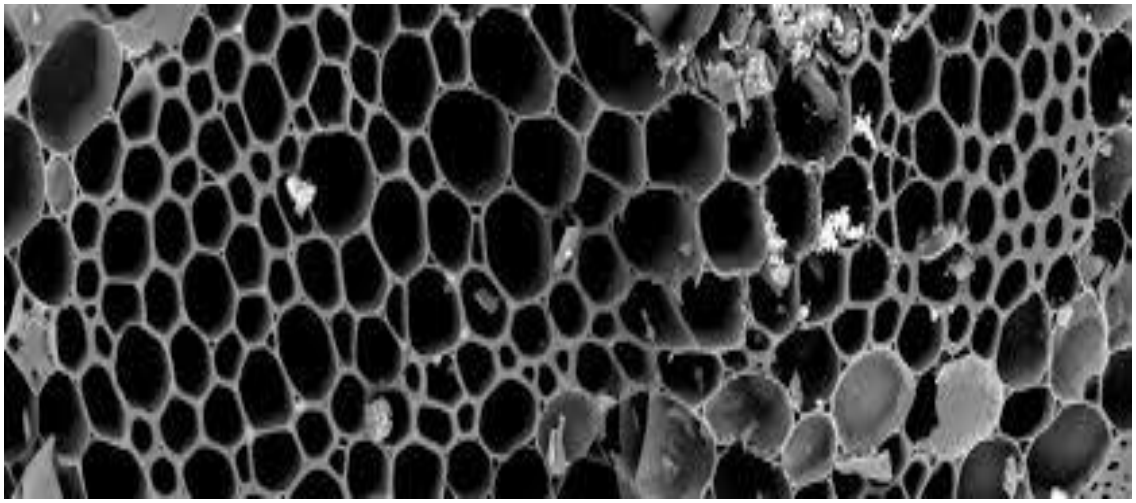
جدول(1): بعض مواصفات الفحم الحيوي لمصادر عديدة من الكتل الحيوية وتحت تأثير درجات حرارة تفحيم مختلفة.

مصدر الكتلة الحيوية	حرارة التفحيم م°	الإنتاجية %	pH 10/1	السطح النوعي م2/غ	CEC م.م/100غ	الكربون %	المرجع
قش الفول السوداني	700	-	11.2	-	254	-	Ahmad et al. 2018.
قشور ثمار الفول السوداني	450	42.9	9.32	-	160.12	79	Ibrahheem & Zidan. 2020.
قش الأرز	300	50.1	9.3	-	60.6	72.5	Wu et al. 2012.
قشور ثمار فول الصويا	700	29.6	11.3	420.3	29.2	82	Ahmad. etal.2012
قش فول الصويا	700	-	11.1	-	222	-	Ahmad. etal.2012
قشور ثمار الكانولا	300	-	6.5	-	199	-	Yuan et al. 2011.
قش الكانولا	700	-	10.8	-	179	-	Yuan et al. 2011.
تفل الزيتون	450	-	9.3	-	217	86.2	Haider & Zidan 2020.
تفل قصب السكر	475	-	6.6	259	122	57.3	Inyang. Etal.2010
بقايا تقليم الكرمة	475	-	10.4	92	65	66.5	Nunes etal.2022

وسنستعرض هذه العوامل وفق ما يلي:

5-1-درجة حرارة التفحيم:

- تساهم درجة حرارة التحلل الحراري (التفحيم) في زيادة في مساحة السطح النوعي لجزيئات الفحم الحيوي ، (Zhao, et al. 2017)، ووجد أن تحلل الكتلة الحيوية على حرارة (600 م^{o}) قد زادت مساحة السطح النوعي لجزيئات الفحم الحيوي الناتج بمقدار (70%).(Angin, et al. 2012) شكل (8).
- زيادة مسامية الفحم الحيوي أيضا ونسبة المسامات الصغيرة فيها على حساب الكبيرة وهذا يؤثر على خصائصه النوعية الادمصاصية والمائية. (Lee, et al. 2013)



الشكل (8): مع تقدم عملية التفحيم تصبح الهياكل الكربونية في الفحم الحيوي أكثر ترتيباً ومسامية

- تؤثر حرارة التفحيم على محتوى الفحم الحيوي من العناصر الغذائية حيث أنتجت حرارة تفحيم بحدود الـ (500) م^{0} تنتج فحماً حيوياً أكثر غنى بالعناصر الغذائية (P, K, Ca. Mg)، وتصل نسبة الكربون العنصري فيه إلى (78%). (Gaskin, et al. 2008)، ووجد (Gai, et al. 2014)، أن إنتاج الفحم الحيوي ومحتواه من الآزوت والهيدروجين والأكسجين يقل مع زيادة درجة حرارة التفحيم من (400 إلى 700 م^{0})بينما محتواه من الرماد وقيمة الـ pH والكربون العنصري يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة.
- وفي مجال تحضير الفحم الحيوي المناسب للاستخدام الزراعي من الكتلة الحيوية، ركز الكثير من الباحثين على بعض الخصائص الهامة للفحم الحيوي الناتج التي تتأثر بتغيرات حرارة التفحيم كنسبة الكربون العنصري وعلى ضرورة التخلص من بعض الشوائب السامة لجذور النبات كالقطران والزيوت الطيارة المتشكلة خلال عملية التفحيم لما لها من تأثير سلبي على خصائص الفحم الحيوي والنشاطات الحيوية في التربة. وبهذا الخصوص أشار بعض الباحثين أن الحرارة المنخفضة لعملية التفحيم تترك آثاراً أكثر سمية للنبات بسبب استمرار وجود بعض القطران ومركبات عضوية أخرى سامة في الفحم الحيوي (Gell etal, 2011).

- مع زيادة درجة حرارة تفحيم الكتلة الحيوية، يميل محتوى الكربون الحيوي ومحتوى الرماد إلى الزيادة بينما تميل الشوائب غير الكربونية كالهيدرجين والأكسجين والنتروجين ونسب H/C و O/C للنقصان، Ahmed etal, (2007)، وهذا ما وجده Suliman وزملاؤه (2016)، أيضاً مع تفحيم الكتلة الحيوية لخشب نبات الحور.
- لاحظ Al-Wabel وزملائه (2013) أن الفحم الحيوي الناتج عن حرارة تفحيم مرتفعة للكتلة الحيوية يتمتع بإمكانية أكبر لتثبيت الكربون بشكل أكثر مقاومة للتحلل عند إضافته للتربة مقارنة مع الفحم المنتج بحرارة منخفضة.
- وفي دراسة أخرى لـHarvey وزملائه (2012)، وجدوا أن الفحم الناتج عن عملية التفحيم على درجات حرارة مرتفعة، يحتوي على عدد أكبر من جزيئات الكربون المقاومة للتحلل، وعزوا هذه الظاهرة إلى تشكل الهياكل العطرية، حيث يتم تحرير الأكسجين والهيدرجين من مصفوفة الفحم الحيوي جاعلاً إياه أكثر عطرية وبالتالي أكثر مقاومة للتحلل. كما بينت هذه الدراسة أن مقاومة الفحم للتحلل لا ترتبط فقط بدرجة الحرارة وزمن التفحيم، وإنما أيضا بالمواد الأولية للكتلة الحيوية الداخلة في عملية التفحيم حيث لوحظ اختلاف في مقاومة التحلل للفحم الناتج عن عدة مواد أولية عند نفس درجة الحرارة.
- وجد Cao و Harris (2010)، أن انخفاض وزن الفحم الحيوي الناتج مع ارتفاع حرارة التفحيم سببه فقدان العناصر غير المعدنية مثل (H, N, S ,O)، التي تتطاير مع زيادة حرارة التفحيم، بينما تتركز المعادن في الفحم الحيوي أثناء عملية التفحيم على شكل سيليكات وأكاسيد وكربونات المعدن مكونة الرماد أثناء تفحيم الكتلة الحيوية وتتأثر نتيجة ذلك درجة حموضة الفحم الحيوي التي تميل للقلوية عادة.

5-2-زمن التفحيم:

يؤثر زمن التفحيم في ناحيتين:

الأولى : انتاجية الفحم الحيوي: بشكل عام كلما كانت عملية انتاج الفحم الحيوي في زمن بطيء عند نفس درجة الحرارة كلما كانت الكمية المنتجة من الفحم الحيوي كبيرة (Kwapinski, et al. 2010).

الثاني مساحة السطح النوعي: لاحظ Imam و Capareda (2012)، أنه خلال الـ (20) دقيقة الأولى من عملية التفحيم تزداد مساحة السطح النوعي لجزيئات الفحم بشكل متسارع وبحدود (30 %)، ثم تصبح هذه الزيادة بطيئة خلال الزمن من (60 إلى 100) دقيقة وذلك عند نفس درجة الحرارة.

5-3-المادة الأم التي يصنع منها الفحم الحيوي:

أشار Keiluweit وزملائه (2010)، أن المادة الأولية التي يصنع منها الفحم الحيوي تؤثر في محتواه من العناصر الغذائية بنفس درجة تأثير ظروف عملية التفحيم، حيث وجدوا أن كمية الآزوت المنخفضة في الفحم الحيوي المنتج من جذوع اللفت تعود إلى انخفاض تركيزه أصلا في جذوع اللفت.

حقق الفحم الحيوي المصنع من كيزان الذرة المرتبة الأولى من حيث قدرته على ادمصاص الأمونيوم والنترات ثم قشور الفول السوداني وقش القمح في المرتبتين الثانية والثالثة، وذلك لأن فحم كيزان الذرة كانت ذات سطوح نوعية أعلى. في حين وجد (Sun, et al. 2011)، أن الفحم الحيوي المصنوع من زرق الدواجن يتميز بسطح نوعي أكبر من الفحم الحيوي المصنوع من قش القمح بالرغم من إنتاجهما على نفس درجة حرارة التفحيم (400 م^{o}).

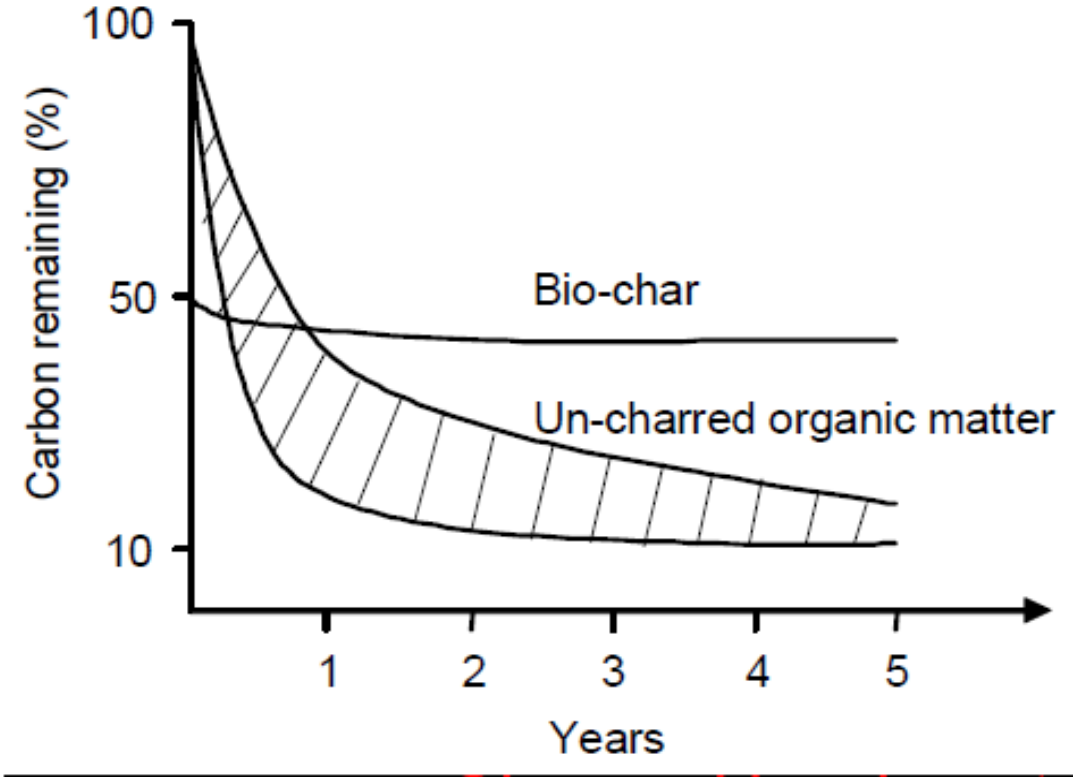
6-الفصل الخامس: ماهي كمية الفحم الحيوي المنتجة من المخلفات الزراعية؟

عادةً ما تكون الكتل الخشبية أكثر غنى بالكربون مقارنةً بالمواد الحيوية الأولية الأخرى مثل حمأة الصرف الصحي والبقايا الحيوانية، (Spokas, et al. 2012) لذلك اعتبرت الكتل الحيوية الخشبية واحدة من أهم مصادر إنتاج الفحم الحيوي وفق Xu و Chen (2013)، لأنها تعطي أعلى نسبة من الفحم الحيوي مقارنة مع أنواع أخرى من الكتل الحيوية وذلك لاحتوائها على كميات كبيرة من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين وكميات صغيرة من المستخلصات العضوية وغير العضوية (Zhao et al, 2017)، فخلال عملية التفحيم تتحلل مكونات الكتلة الحيوية من السليلوز والهيميسيليلوز وغيرها حرارياً وتنتج سوائل عضوية مكثفة كالقطران والفورفورال وحامض الخليك والأسيتون والميثانول وبخار ماء وغازات غير قابلة للتكثيف بينما تتحلل هياكل اللجنين لتعطي الفحم الحيوي (Titiladunayo et al, 2012).

لكن في الحقيقة وجود كمية ضئيلة من المخلفات لا تمنع من تحويلها إلى فحم حيوي لأن للفحم الحيوي أثر تراكمي في التربة مع مرور الزمن فإذا أضيف 2% منه في العام الأول وإضافة ذات النسبة في العام التالي (2%) سيجعل محتوى التربة من الفحم الحيوي 4% وهكذا سيلاحظ المزارع هنا أن فوائد استخدام الفحم الحيوي تتوضح بشكل أكبر مع مرور الزمن وأن استخدامه للأسمدة الكيميائية بدأ ينخفض بشكل ملحوظ.

يأتي الأثر التراكمي للفحم الحيوي من هياكله العطرية، حيث يتم تحرير الأكسجين والهيدرجين من مصفوفة الفحم الحيوي جاعلاً إياه أكثر عطرية وبالتالي أكثر مقاومة للتحلل. (Cheng, et al. 2008)

وهذا ما توصل إليه (Lehmann, 2007) ، حيث وجد أن ارتفاع السطوح النوعية لجزيئاته، وطبيعة تركيبته الكيميائية، تجعل الفحم الحيوي الأكثر ثباتا من أي من محسنات التربة الأخرى، إلى جانب قدرته على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية وزيادة إتاحتها في محلول التربة، وتفوقه على المادة العضوية في التربة بهذا الخصوص، شكل (9)



شكل(9): مقارنة بين درجة ثبات الفحم الحيوي والمادة العضوية

7-الفصل السادس: اضافة الفحم الحيوي إلى التربة

لإضافة الفحم الحيوي للتربة، يمكن الحصول على نتائج إيجابية واضحة من استخدام 2 ٪ فقط وزن الى وزن، لكن يفضل رفع النسبة الى أكثر من 10 – 5 ٪، على عمق (20 – 10 سم) بالخلط مع التربة بالحراثة أو مع خطوط الزراعة للحصول على أكثر وضوحا واستدامة طويلة الأجل في التأثير الإيجابي في زراعة الخضار والمحاصيل الحقلية، أما بالنسبة لأشجار الفاكهة، فيمكن المحافظة على إضافة نفس النسبة في الجور أثناء زراعة الغراس وتحت تاج الشجرة لاحقا صورة (8) لمرة واحدة في الحياة .وللتخفيف من تكاليف الإضافة دفعة واحدة، يمكن اتباع الإضافات السنوية لبقايا المحاصيل أو بقايا التقليم بعد تفحيمها واعادتها للتربة حيث أن الإضافات السنوية وان كانت صغيرة فإن أثرها التراكمي يسهم في رفع نسبة الكربون في التربة الى أعلى من 5 % خلال سنوات عديدة. (Steiner etal. 2007)

صورة (8): إضافة الفحم الحيوي في حفرة الغرسة قبل الزراعة أو بين الغراس.

8-الفصل السابع: انتاج الفحم الحيوي على مستوى المزرعة

قدمت الدراسات والبحوث دلائل ايجابية لاستخدامات الفحم الحيوي في مجال الإنتاج الزراعي (Lehmann, 2009) وساهمت في زيادة الاقتناع بأهميته في الإدارة البيئية والانطلاق ببحوث تطبيقية وعلمية جديدة .وبناء على ذلك انطلقت عملية إنتاج الفحم الحيوي عالميا على المستوى الاستثماري للاستخدامات الزراعية، باستخدام أنظمة تفحيم متقدمة، حيث تسمح هذه الأنظمة بالتحكم في ظروف تنفيذ هذه العملية، والتي يمكن من خلالها التأثير في الخواص الفيزيائية والكيميائية للفحم الحيوي الناتج عنها .ومع ذلك، لا تزال تقانات إنتاج الفحم الحيوي التقليدية مستخدمة حتى تاريخه مع ازدياد الحاجة لمزيد من البحوث العلمية النوعية لتطوير هذه التقانات وزيادة كفاءتها في الإنتاج والنوعية.

وهذا الموضوع له علاقة بنشر الوعي بين المستفيدين ومختلف أصحاب المصلحة في استخدامه كالمزارعين وموظفي الإرشاد الزراعي وعلماء الأبحاث وتجار الأسمدة، وبناء وتطوير قدراتهم حول أفضل وأسهل التقانات الممكن إتباعها لإنتاجه وتطبيقاته، وإعداد خطة عمل لمشروع إنتاج وتطبيق الفحم الحيوي على المستوى الوطني بناءً على فرص تمويل لزيادة الكربون في التربة، وذلك نظراً لوجود فوائد زراعية وبيئية مهمة كما أن إنتاج الفحم الحيوي على نطاق صغير وتطبيقه على التربة يوفر فرصاً لزيادة واستدامة الإنتاج الزراعي إلى جانب الأمن الغذائي وتحسين صحة الإنسان والتكيف مع تغير المناخ والتخفيف من حدته وآثاره السلبية، (Woolf et al., 2010).

تتنوع طرائق تصنيع الفحم الحيوي بين الطرائق الحديثة التي تعتمد على أفران التفحيم الآلية على مستوى الإنتاج الصناعي التجاري ذات الطابع الاستثماري، كتلك التي تستخدمها شركة Lambiotte retort وشركة Agrocarbon وهي أكبر مصنع لأفران التحلل الحراري البطيء في اليابان (Collison, et al., 2009)، لكنها وبالرغم من أنها تعطي إنتاجاً كبيراً من الفحم الحيوي (Anderson, 2009)، لكنها تبقى معقدة ميكانيكياً ومكلفة اقتصادياً، وصعبة التنفيذ بسبب تكاليف الاستثمار الكبيرة، (Cheng, et al., 2012).

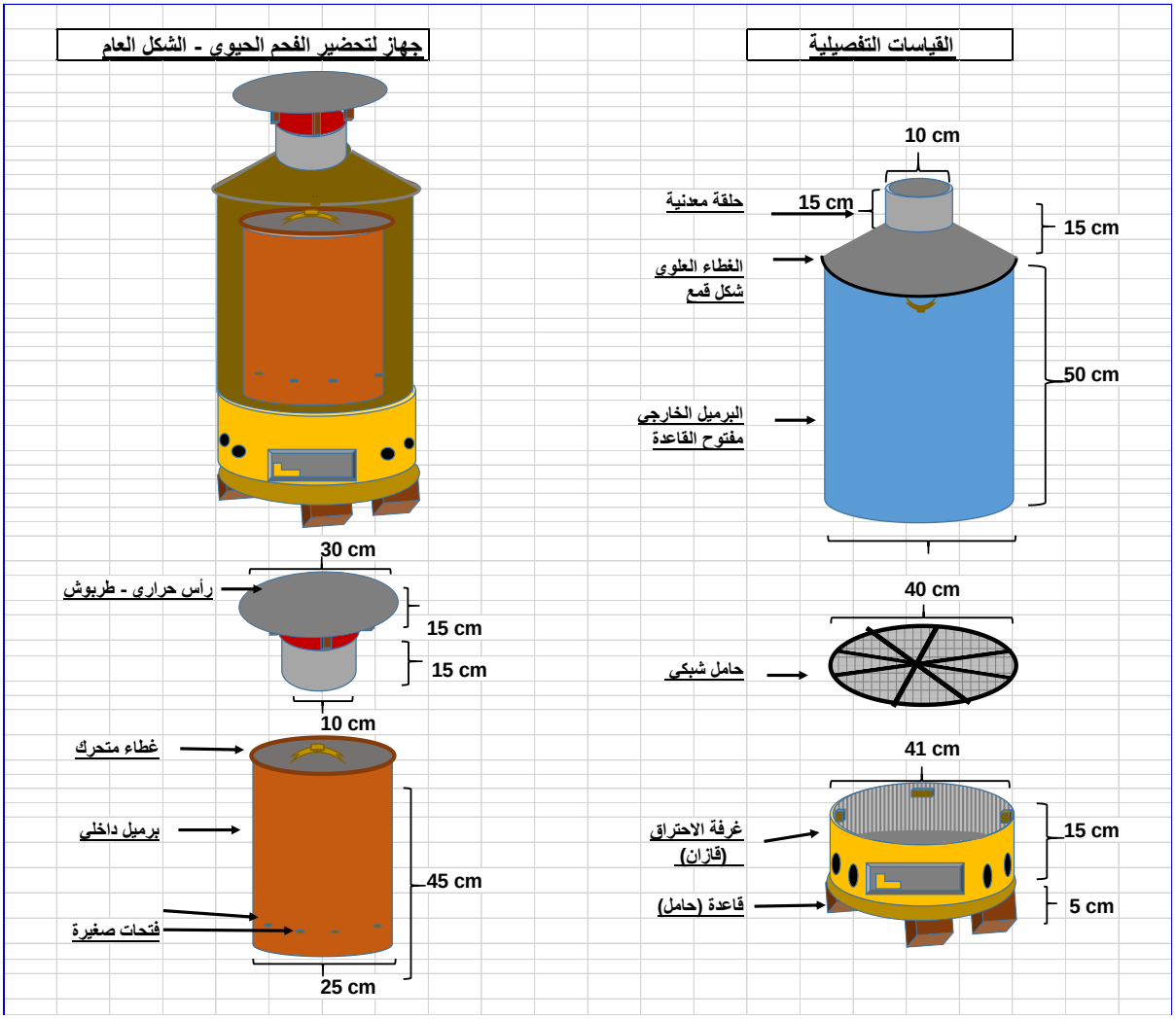
لذلك، عند اختيار طريقة وتصميم فرن التفحيم على مستوى المزرعة، لا بد من مراعاة الأمور التالية:

- الفعالية والسرعة: يجب أن يكون ذو كفاءة عالية في إنتاج أكبر قدر من الفحم الحيوي جيد النوعية في زمن قصير وبطريقة صديقة للبيئة.
- السهولة والمرونة: يجب أن يكون سهل التشغيل والتحكم أثناء التشغيل ويتميز بالقدرة على تفحيم مجموعة متنوعة من المواد الأولية للكتلة الحيوية.
- قابلية النقل: يجب أن يكون خفيف الوزن مقبول الشكل وذو تصميم بسيط للسماح بسهولة الانتقال بين حقول المزارعين.
- التكلفة والصيانة: يجب أن يكون سهل الصيانة ومقبول السعر لتلبية قدرة المزارعين على شرائه.

(Panwar and Rathore, 2008)

واستنادا الى ذلك تم تصنيع نموذجا لجهاز التفحيم محليا واختبار كفاءة التفحيم باستخدام أربع مصادر متجددة للمخلفات الزراعية ثم درست الجدوى الاقتصادية لهذا الاجراء.

صمم الجهاز بطريقة الاسطوانة المعدنية المزدوجة، (داخلية وخارجية)، مع وجود مخرج لنواتج الاحتراق والطاقة الحرارية بحيث يسمح بالاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة خلال فترة التفحيم في إعداد الطعام وتسخين الماء وتحضير المشروبات الساخنة في المنزل الريفي. حيث يتم تعريض الكتلة الحيوية لبقايا المحاصيل وتقليم الأشجار والبقايا العضوية المنزلية لعملية التحلل الحراري في أسطوانة التفحيم الداخلية التي يُستبعد منها الهواء، مع إضافة رأس مسطح يسمح بخروج غازات الاحتراق وبنفس الوقت يسمح بالاستفادة من الطاقة الحرارية المحررة خلال العملية في الأغراض المنزلية وفق الشكل (10).



شكل (10): المظهر العام لنموذج الفرن المصنع محليا لإنتاج الفحم الحيوي على المستوى المنزلي مع القياسات لكافة القطع المكونة.

ويبين الجدول (2) كفاءة التفحيم لأربع أنواع من الكتل الحيوية مختلفة التكوين النسيجي والتي جرى تفحيمها باستخدام جهاز التفحيم المصنع محلياً ولحساب كفاءة التفحيم تم أخذ 10 كغ من الكتلة الحيوية الجافة هوائياً وتسجيل الأوزان المتبقية بعد التفحيم وحساب كفاءة التفحيم.

جدول (2): كفاءة عملية التفحيم لأربع أنواع من الكتل الحيوي.

مصدر الكتلة الحيوية	الوزن قبل التفحيم كغ	الوزن بعد التفحيم كغ	الشوائب بعد التفحيم %	كفاءة التفحيم %
النواتج الصلبة لمعاصر الزيتون	10.0	7.82	21.80	78.20
مخلفات تقليم أشجار الحمضيات	10.0	6.58	34.20	65.80
قشور قرون الفول السوداني	10.0	5.88	41.20	58.80
مولاس الشعير لمخلفات البيرة	10.0	5.02	49.80	50.20
متوسط كفاءة التفحيم				**63.25**

ونلاحظ من الجدول أن متوسط كفاءة التفحيم للأربع مصادر للكتلة الحيوي سجل (63.25%) من الوزن الجاف هوائياً، وكانت نسبة الفحم الحيوي الناتج هي الأعلى في المخلفات الصلبة لمعاصر الزيتون يليها مخلفات تقليم أشجار الحمضيات ثم قشور قرون الفول السوداني ثم بقايا صناعة البيرة من مولاس الشعير وذلك لأنه في النواتج الصلبة لمعاصر الزيتون تكون نسبة اللجنين فيها مرتفعة والذي يكون مقاوم للتحلل الحراري (Spokas etal., 2012).على العكس من مولاس الشعير الذي تكون فيه نسبة السليلوز كبيرة على حساب اللجنين والذي يحتوي على نسبة كبيرة من المعادن القلوية التي سرعان ما تتحول إلى رماد خلال عملية التفحيم توافقا مع نتائج (Duku وزملائه 2011) و (zhao وزملائه 2017).

8-1- الجدوى الاقتصادية لإنتاج الفحم الحيوي بواسطة الجهاز المحلي:

إن إعادة تدوير الكتلة الحيوية باختلاف مصادرها يمكن أن يتجه نحو خيارات ثلاث:

- إما تحويلها إلى فحم حيوي للاستخدامات الزراعية والبيئية.
- تحويلها إلى كومبوست بعد تقطيعها وفرمها وتدعيمها بالأسمدة المعدنية ثم تخميرها.
- استخدامها كمصدر للطاقة الحرارية واستخلاص الطاقة منها بالحرق المباشر.

لذلك تمت دراسة تكاليف استخدام طن واحد من الكتلة الحيوية وحساب القيمة الحقيقية لمنتج كل خيار من الخيارات الثلاث المذكورة وحساب الربح الممكن تحقيقه بالعملة المحلية ومعامل الربحية كنسبة مئوية من مصاريف الإنتاج وذلك وفق أسعار عام (2021)، كما هو مبين في الجدول (3).

الجدول (3) الجدوى الاقتصادية لخيارات تحويل الكتلة الحيوية إلى فحم حيوي أو كومبوست أو مصدر للطاقة.

المؤشر الاقتصادي	وحدة القياس	الفحم الحيوي	المكافئ من الكومبوست	المكافئ من الغاز الطبيعي	المكافئ من النفط الخام
الإنتاجية المكافئة لطن كتلة حيوية	كغ	632.5	870	273	357
سعر مبيع وحدة الإنتاج	ل.س	3000	200	2000	385
إجمالي قيمة الإنتاج	ل.س	1897500	174000	546000	137445
إجمالي التكاليف المكافئة	ل.س	245000	144000	112000	112000
الربح	ل.س	1652500	30000	434000	25445
تكلفة الكيلو غرام الواحد	ل.س	387.35	165.52	410.26	313.73
معامل الربحية	**%**	**674.49**	**20.83**	**387.5**	**22.72**

حيث قدرت تكلفة إنتاج الكيلوغرام الواحد من الفحم الحيوي بحدود (387.35 ل.س) متضمنة تكاليف وسائل ومستلزمات الإنتاج كجهاز التفحيم، وحطب التفحيم وحطب إنتاج طاقة التفحيم، وأجور عمالة وحرق وتفحيم وقيمة أكياس وتعبئة وتخزين وتسويق وغيرها.

وبالنسبة لصناعة الكمبوست من مخلفات تقليم أشجار الحمضيات، فقد سجلت تكلفة إنتاج الكيلو غرام الواحد من الكمبوست حوالي (165.52ل.س) متضمنة: تحضير مكان التخمير، أجور جمع وتقطيع وفرم، وأجور تحميل وأكياس وتعبئة ونقل وتسويق وأجور عمالة، وشملت التكاليف إضافة 100غ عناصر نادرة و2 كغ سماد آزوتي (يوريا) تم خلطها مع (1000كغ) من هذه البقايا لتحسين خواصها الخصوبية، حيث يضاف الآزوت لتعويض النقص في تركيب الكمبوست حيث

أن خفض النسبة C/N من 1/500 إلى 1/100 في الكتلة الحيوية يجعلها أفضل لتصنيع الكمبوست وفق (Starback, 1994) ، فضلاً عن تعزيز نشاط الكائنات الحية الدقيقة وفق ما وجده (Gonzales وزملائه 2009).

أما تكاليف كميات الغاز الطبيعي والنفط الخام المكافئة للطاقة الناتجة عن حرق (1000كغ) من الكتلة الحيوية، فقد قدرت بـ (112000 ل.س) متضمنة قيمة بقايا التقليم، وأجور تقطيع وتجميع وتحضير، وأكياس تعبئة وتسويق، مما جعل تكلفة الكيلوغرام من الغاز الطبيعي المكافئ (410.26 ل.س) وللنفط الخام (313.73 ل.س).

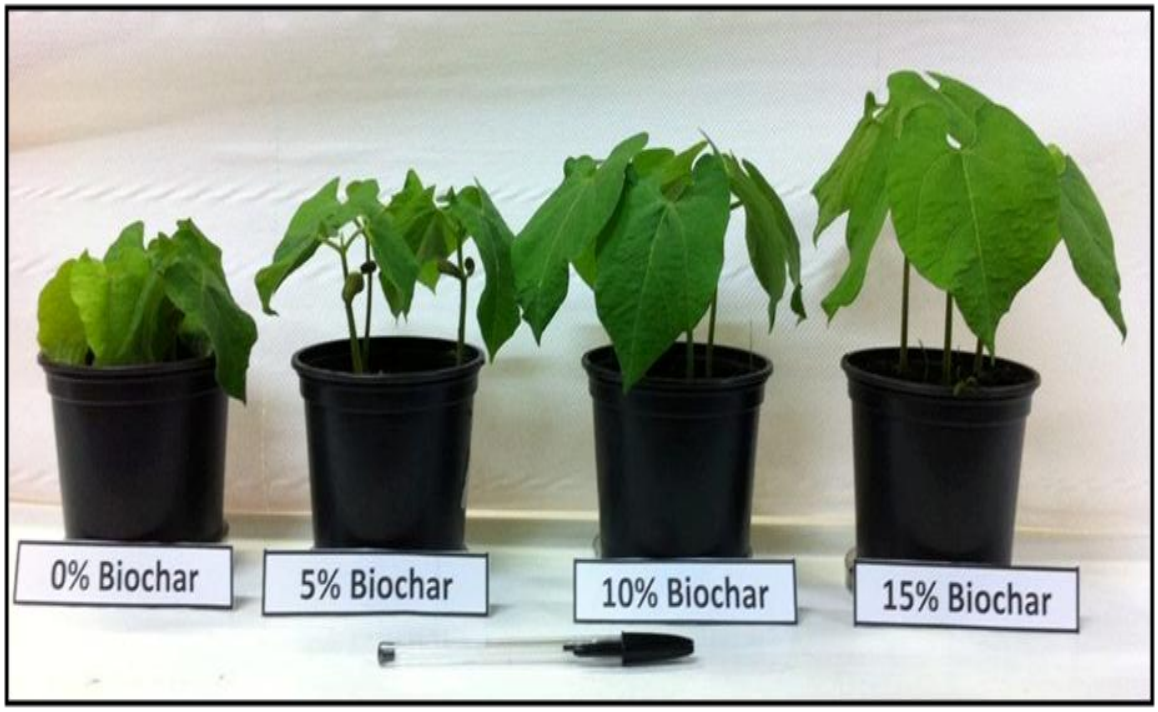
وبمقارنة معامل الربحية الممكن الحصول عليه من الخيارات الثلاث لإعادة تدوير واستخدام الكتلة الحيوية وفق الجدول (3) ، يتبين أن كفاءة التحويل إلى فحم حيوي تحقق أعلى معامل ربحية من خيار التحويل إلى كومبوست أو التحويل إلى طاقة حرارية، حيث سجل خيار الفحم الحيوي معامل ربحية بحدود (674.49 ل.س) والكومبوست (20.83 ل.س) أما خيار التحويل إلى طاقة فقد سجل (387.5 %) كغاز مكافئ و (22.72 %) كنفط خام.

وبالرغم من أن خيار حرق الكتلة الحيوية لاستخلاص الطاقة، سجل معاملاً ربحياً عالياً (387.5 %) إذا حسب كغاز مكافئ نظرا لارتفاع سعر السوق المحلية غير الرسمي بسبب الحصار المفروض على سورية، إلا أن خيار التحويل إلى فحم حيوي يتفوق عليه من حيث أنه يؤمن مصدراً هاما لمستلزمات الإنتاج الزراعي (Conway, 1999) من جهة ويعطي قيمة مضافة لخصائص التربة والإنتاج النباتي (Lehmann and Joseph, 2009)، من جهة أخرى كما أنه يتميز عنه بأثرها لإيجابي على البيئة حيث يثبت الكربون في التربة لآلاف السنين (Liang etal., 2008) ، ويقلل انبعاث غازات الدفيئة وفق (Jackson and Schlesinger, 2004).

9-الفصل الثامن: استخدام الفحم الحيوي في إنتاجية المحاصيل الزراعية.

- استخدم الفحم الحيوي في سورية في محطة بحوث زاهد في محافظة طرطوس بإضافته مع السماد العضوي واستخدامه في زراعة محصول البطاطا وأظهرت النتائج التأثير الإيجابي لكل من السماد العضوي والفحم الحيوي على إنتاجية وحدة المساحة من نبات االبطاطا مع زيادة مستوى الفحم الحيوي أو السماد العضوي أو كليهما معاً بفرق معنوي واضح عن معاملات الشاهد، وكان تفاعل التأثير بين السماد العضوي والفحم الحيوي إيجابيا حيث حققت معاملة المزارع التقليدية المكونة من (5 كغم٢) سماد عضوي مع 2% فحم حيوي أعلى إنتاج من درنات البطاطا حيث سجلت (62.7 طن.هـ-١) بزيادة قدرها (230%) عن معاملة الشاهد التي سجلت (19.03طن.هـ-١) فقط. (Ibraheem. etal. 2021)
- استخدم الفحم الحيوي وحمض الفولفيك كمصدر عضوي في زراعة محصول البطاطا في مصر، ووجد أن الفحم الحيوي يعتبر بديلاً واعدًا للأسمدة الكيماوية تحت ظروف التربة المصرية، (التربة طينية) حيث وجد العديد من الآثار المفيدة لاستخدام الفحم الحيوي وحمض الفولفيك في الزراعة مثل الإمداد السريع بالعناصر الغذائية وزيادة إنتاجية المحاصيل، فضلاً عن تقليل التكاليف المادية وتلوث البيئة. (2020),Metwaly
- كما استخدام الفحم الحيوي في زراعة محصول الكوسا في مص أيضاً حيث زاد الفحم الحيوي من أوزان ثمار الكوسا الطازجة بنسبة (55٪) مقارنة مع الشاهد لأن الفحم الحيوي زاد من كفاءة استخدام النبات لعنصري الآزوت والفوسفور. (Amin and Essa. 2017).
- في الولايات المتحدة الأمريكية وجد Niar (2015)، زيادة في إنتاج محصول البطاطا مع زيادة استخدام الفحم الحيوي وعزى السبب إلى زيادة الكتلة الحيوية الميكروبية في التربة إضافةً لقدرة الفحم الحيوي على زيادة احتفاظ التربة بالماء، وزيادة سعة التبادل الكاتيوني للتربة، وزيادة الاحتفاظ بالعناصر الغذائية، مما يجعل الفحم الحيوي وسيلة هامة لإدارة الترب المتدهورة ومتراجعة الخصوبة. وعزى Akhtar وزملائه (2015) ذلك لزيادة محتوى البوتاسيوم في الأوعية الناقلة للنباتات المعاملة بالفحم الحيوي وهو عنصر يحتاجه نبات البطاطا بكميات كبيرة لأنه يلعب در هام في تحويل السكريات إلى نشاء ونقلها وتخزينها في الدرنات.
- في الصين استخدم الفحم الحيوي في زراعة محصول الأرز حيث وجد Zhang وزملائه (2014) زيادة ملحوظة في إنتاج محصول الأرز لأن الفحم الحيوي وفر إمداد مستمر للنبات بعنصر الآزوت من خلال الادمصاص الكبير للأمونيوم على سطوحه والانخفاض الحاد في انبعاثات أكسيد النيتروز من حقول الأرز.

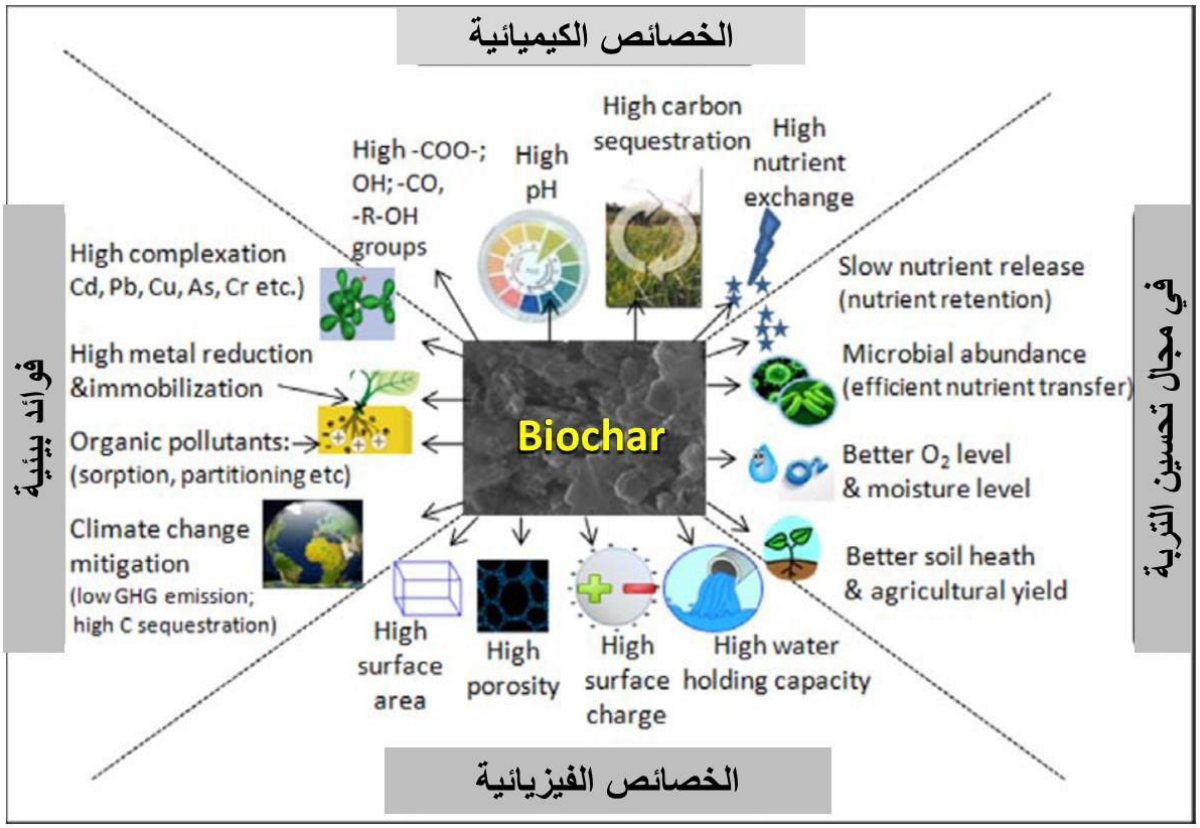
- أما استخدام الفحم الحيوي على نبات الذرة الصفراء أيضاً في الصين أعطى نبات الذرة نظام جذري أكثر تطوراً وانتشاراً في التربة مقارنة مع معاملات الشاهد والذي حسن امتصاص العناصر الغذائية ونقلها إلى النبات خاصة في المناطق الجافة لفترات طويلة وزاد انتاجية النبات بنسبة (19%). (Abvien etal. 2015)
- في الدنمارك لوحظ زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء في تربة رملية خشنة بعد استخدام الفحم الحيوي زاد من عمق وكثافة جذور نبات الشعير وانعكس ذلك على الانتاجية وفق Bruun وزملائه (2014) .
- وفي دراسة ل Hmid وزملائه (2014) في ايطاليا، أظهرت أن :الهضم أو التحلل الحراري للمخلفات الصلبة الناتجة عن معاصر الزيتون وتحويلها لفحم حيوي أعطى نتائج ايجابية باستخدامه في الزراعة، حيث أن إضافته إلى تربة ملوثة بالعناصر الثقيلة ومزروعة بنبات الفاصولياء زاد من معدل النمو الخضري، صورة (9). وخفف لدرجة كبيرة من امتصاص النبات لهذه العناصر، وقلل من تركيزها في الثمار وفي محلول التربة، كما زاد من نسبة البروتين بالثمار وزاد من نشاط أحياء التربة الدقيقة وكذلك نشاط ديدان الأرض.



صورة(9): زيادة نمو نبات الفاصولياء بزيادة نسب الفحم الحيوي في التربة.

10-الفصل التاسع: الخلاصة والتوصيات.

لقد تطور الفهم العلمي لعمليات وتفاعلات الفحم الحيوي في التربة والنبات على مدى العقد الماضي، الذي يوفر الأساس لتفسير نتائجه وتحديد الاستخدامات المثلى منه ويلخص المعرفة الحالية التي تمت مراجعتها في هذه الورقة.



صورة (10): موجز لأهم خصائص وفوائد الفحم الحيوي الزراعية والبيئية

ولتمكين التبني على نطاق واسع يجب دمج الفحم الحيوي بسهولة مع العمليات الزراعية خاصة أنه مجدي اقتصادياً لأن فوائد استخدامه لا تقف عند أثر البيئي الجيد في إعادة تدوير المخلفات وتخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة تصل إلى 50% أو حماية المياه الجوفية والمسطحات المائية من وصول العناصر الغذائية المنغسلة إليها لكنه ضرورة في الوقت الحالي لتقليل التكاليف والأعباء الاقتصادية التي يتكبدها المزارع اليوم في تأمين الأسمدة الكيميائية والعضوية إضافة إلى فوائد أخرى للفحم الحيوي مثل تخفيض التلوث بالمعادن الثقيلة ومعالجة الترب المالحة والحامضية وزيادة مناعة النبات ضد المسببات المرضية .

ومن أهم التوصيات في هذا المجال:

- يفضل خلط الفحم الحيوي مع المادة العضوية ليعطي تأثير ايجابي مضاعف لكل منهما لأن الفحم الحيوي يزيد من عمر المادة العضوية في التربة كما أن المادة العضوية تخفض من قلوية وملوحة الفحم الحيوي.
- ننصح بإدراج استخدام الفحم الحيوي ضمن المعادلة السمادية انبات البطاطا كونه يساهم في زيادة الإنتاج وتقليل تكاليف استخدام الأسمدة.
- نظراً لأهمية الفحم الحيوي الزراعية وكونه محسن خصوبي وفيزيائي جيد ننصح بالقيام بالمزيد من الأبحاث التطبيقية عنه واستخدامه في زراعة محاصيل زراعية مختلفة.
- ينصح أصحاب القرار في وزارة الزراعة والبيئة بتشجيع ودعم المزارع للحصول على جهاز تصنيع الفحم الحيوي بقرض أو منحة مالية للمزارعين المتميزين أو إدخالها في خطة التعاون مع المنظمات الدولية والإقليمية المهتمة بالزراعة والبيئة مثل (.....,FAO, UNDP, ACSAD).
- يوصى بنشر ثقافة إعادة تدوير بقايا المزرعة بتحويلها إلى فحم حيوي كمحسن لخصائص التربة واستدامة خصوبتها ومثبت للكربون فيها حفاظا على البيئة. وتشجيع الاستثمار في هذا المجال لتأمين احتياجات الإنتاج الزراعي من الفحم الحيوي واحتياجات الصناعات الأخرى التي يدخل الفحم الحيوي في نشاطاتها.

11-المراجع العلمية:

1. Abiven, S; A. Hund; V. Martinsen; and G. Cornelissen . (2015). Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia. Plant and Soil, 395 (1-2): 45–55.
2. Ahmed,M., Zhou,J., Ngo,H. and W,Guo. 2007. Insight in to biochar properties and its cost analysis. School of civil and environmental engineering. Australia.
3. Ahmad, M., Lee, S. S., Dou, X., Mohan, D., Sung, J.-K., Yang, J. E., & Ok, Y. S. (2012). Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE. Bio resource technology. 118.
4. Ahmad Z, Gao B, Mosa A, Yu H, Yin X, Bashir A and S. Wang. 2018. Removal of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by biochars derived from potassium-rich biomass. J. Clean. Prod.180:437–449.
5. Al-Wabel, M. I., Al-Omran, A., El-Naggar, A. H., Nadeem, M., and A. R. Usman. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. Bio-resource Technology. V: 131. Pp: 374–379.
6. Ajayi, A and Horn, R . Biochar-Induced Changes in Soil Resilience: Effects of Soil Texture and Biochar Dosage. Pedosphere. Vol; 27,2017, 236–247.
7. Akhtar, S; M. Andersen; and F. Liu. (2015). Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato. Journal of Agronomy and Crop Science, 201(5), 368–378.
8. Amin, A; and M. Eissa. (2017). Biochar effects on nitrogen and phosphorus use efficiencies of zucchini plants grown in a calcareous sandy soil. J. Soil Sci. Plant Nutr.(17): 912–921.
9. Anderson, P. (2009). PM Emissions from TLUD Cook Stoves. Ethos conference, Kirkland, Biomass Energy Foundation, 23-25.
10. Angin , D. 2012. Effect of pyrolysis temperature and heating rate on Biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. Bio resource technology. Pp: 593-597.
11. Asadullah, M., Zhang, S., Min, Z., Yimsiri, P and C, Li. 2011. Effects of biomass char structure on its gasification reactivity. Bio-resource. Technol. V: 101. Pp: 7935–7943.
12. Bernal,J.D. 1924. The structure of Graphite. Proceedings of Royal Society A: Mathematical , Physical and Engineering Sciences: 106(740). Pp:749-773.
13. Brodowski, S; John, B; Flessa, H and Amelung, W. Aggregate-occluded black carbon in soil. European Journal of Soil Science. Vol; 57, 2006, 539-546.
14. Bruun, E; C. Petersen ; E. Hansen ; J. Holm ; and N. Hauggaard .(2014). Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. Soil Use Manage. (30):109–118.
15. Cao, X. and Harris, W. 2010. Properties of dairy manure derived biochar pertinent to its potential use in remediation. Bio resource Technology. V: 101. Pp: 5222-5228.
16. Cernansky, R., 2015. Agriculture: state-of-the-art soil. Nature 517, 258–260.

17. Cheng, C., J. Lehmann, J. Thies and S. Burton. (2008) . Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. Journal of Geophysical Research, 113: 2027.
18. Cheng, G., Q. Li, F. Qi, B. Xiao, S. Liu, Z. Hu and P. He. (2012). All thermal gasification of biomass using micron size biomass as external heat source. Bio resource technology, 107: 471-475.
19. Cheng, G., Q. Li, F. Qi, B. Xiao, S. Liu, Z. Hu and P. He. (2012). All thermal gasification of biomass using micron size biomass as external heat source. Bio resource technology, 107: 471-475.
20. Collison, M., L. Collison, R. Sakrabani, B. Tofield and Z. Wallage. (2009). Biochar and carbon sequestration: a regional perspective, Norwich, UK: The low carbon innovation centre, University of East Anglia, a report prepared for east of England development agency (EEDA), DA1 carbon reduction, Ref, 7049.
21. Conway, G. (1999) . The Doubly Green Revolution, Cor. Univ. Press, Ithaca, NY, US.
22. Devereux, R; Sturrock, J and Mooney,S . The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. Earth and Environmental Science Trans actions of the Royal Society of Edinburgh. Vol; 103, 2012, 13–18.
23. Dias, B.O., Silva, C.A., Higashikawa, F.S., Roig, A and S. Monedero. 2009. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. Bioreso. Tech. 101, 1239-1246.
24. Ding, Y., Liu, Y., Wu, W., Shi, D. and M. Yang, M. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multilayered soil columns. Water Air Soil Poll. Vol. 213, Pp: 47-55.
25. Duku, M., S. Gu and E. Hagan. (2011) . Biochar production potential in Ghana. A review. Renewable and sustainable energy reviews, 15: 3539–3551.
26. Gai,X., Wang,H., Liu,J., Zhai,L., Liu,Sh.,Ren,T. and H,Liu. 2014. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of Ammonium and Nitrate . Poles one. V: 3. Pp: 175-189.
27. Gaskin,J., Stiner,C., Harris, K., Das,C. and B, Bihens. 2008. Effect of low temperature pyrolysis condition on biochar for agriculture use .V: 6. Pp: 2016-2069.
28. Gell, K., Van, J. and M,Cayuela. 2011. Residues of bioenergy production chains as soil amendments: Immediate and temporal phytotoxicity. Jour. Hazard Mater. V: 186.Pp : 2017–2025.
29. González, J ., K. Del Pardo and S. Martín. (2009). Wood waste characterization for composting. In; International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics, ISHS Acta Horticulture, 1: 843.
30. Harris, P. 1999. 'On charcoal', Interdisciplinary Sci. Rev. vol 24. pp: 301–306.
31. Harvey, L., Zimmerman, A., Louchouarn, P., Amonette, J andB,Herbert.2012. An index-based approach to assessing recalcitrance and soil carbon sequestration potential of engineered black carbons (biochars). Environ. Sci. Technol. V: 46 .Pp: 1415- 1421.
32. Hmid A, Al Chami Z, Sillen W, De Vocht A, and J. Vangronsveld. 2014. Olive mill waste biochar: a promising soil amendment for metal immobilization in contaminated soils. Environ. Sci. Pollute. Res. 2014:1e13.

33. Hua, L., Wu, W.X., Liu, Y.X., McBride, M and Y. X. Chen. 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. Environ. Sci. Pollute. Res. 16, 1-9.
34. Ibraheem, M and A. Zidan. 2020. The effect of Integration Between Heat and Time Factors on the Efficiency of the Carbonization of Peanut Shells to Prepare Biochar. SSRG, IJAES, v7. Issue 3.
35. Ibraheem, M; zidan, A and H, Ead. 2020. Effect of levels of organic fertilizer and biochar on productivity and marketing tuber sizes of potato (Solanum Tuberosum). Syrian journal of agricultural research (SJAR). V: 8 (3).
36. Ibraheem, M; zidan, A and H, Ead. 2021. Studying the combined effect of biochar and organic matter on soil water Infiltration. Tishreen University journal. V: 43(1).
37. Imam, T. and Capareda, S. 2012. Characterization of bio-oil, syn-gas and biochar from switch grass pyrolysis at various temperatures. J. Anal. Appl. Pyrolysis. V: 93. Pp: 170 - 177.
38. Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., & Zimmerman, A. R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. Bioresource Technology, 101(22), 8868–8872
39. Jackson, R. and H. Schlesinger. (2004). Curbing the US carbon deficit. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 101: 15827– 29.
40. Kwapinski, W., Byrne, C., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy,.J., Novotny, E and M, Hayes. 2010. Biochar from waste and biomass. Jour. Waste Biomass. V: 1. Pp: 177–189.
41. Keilluweit, M., Nico, P., Johnson, M. and M,Kleber. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). Environ. Sci. Technol.V: 44. Pp: 1247-1253.
42. Lawrinenkoa, M. and Laird, D . 2015. Anion Exchange Capacity of Biochar. Green Chemistry, Issue 9. Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, USA.
43. Laird, D. The charcoal vision: A win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. Agro. J. Vol; 100,2008, 178–181.
44. Lee, Y., Eum, P., Ryu, C., Park, Y., Jung, J. and Hyun, S. 2013. Characteristics of biochar produced from slow pyrolysis of Geodae-Uksae 1. Bioresource. Technol. Vol. 130, Pp: 345- 350.
45. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Front. Ecol. Environ . V:5. Pp: 381–387.
46. Lehmann, J. and S,Joseph. 2009. Biochar for environmental management science and technology. Earthscan, London.
47. Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, S. Sohi, J. Thies, J. Skjemstad, F. Luiza, M. Engelhard, E. Neves and S. Wirick. (2008) . Stability of biomass-derived black carbon in soils. Geochemical et Cosmo chemical Acta, 72: 6069–6078.
48. Liebig, J. von. 1878. Chemische Brief, C. F. Winter'sche Verlagshandlung, Leipzig and Heidelberg, Germany.
49. Major, J; Steiner, C; Downie, A and Lehmann,J . Chapter 15. Biochar effects on nutrient leaching. In: J Lehmann, S Joseph(eds) Biochar for environmental management: science and technology. Earth-scan, London.2009.

50. Masiello, C; Dugan, B; Brewer, C; Spokas, K; Novak, J and Liu, Z . Biochar effects on soil hydrology. Lehmann J, Stephen J (eds) Biochar for environmental management. science and technology. Rutledge. 2015, 543–562.
51. Metwaly, H. (2020). Response of Potato Growth, Yield and Quality to Fulvic Acid and Biochar Applications under Different Levels of Chemical Fertilization. Journal of plant production. (11): 145-151.
52. Miyazaki, Y. 1697. Nougyou-Zennsho [Encyclopedia of Agriculture], vol 1, pp: 91–104, in 12-volume Nihon Nousho Zenshu [Complete Works of Ancient Agricultural Books in Japan], Nousangyoson Bunka Kyokai, Tokyo (in Japanese).
53. Nair, A . (2015) . Application of biochar in potato production and its effects on soil properties, crop yield and quality. Amer. Soc. Hort. Sci. ASH, Ann. Conf., New Orliens, USA.
54. Nunes, L. J. R., Rodrigues, A. M., Matias, J. C. O., Ferraz, A. I., & Rodrigues, A. C. (2021). Production of Biochar from Vine Pruning: Waste Recovery in the Wine Industry. Agriculture, 11(6), 489.
55. Panwar, N and N. Rathore. (2008) . Design and performance evaluation of a 5kw producer gas stove. Biomass and bioenergy, 32: 1349-1352.
56. Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. Biotechnology Advances , 27:185–94.
57. Schmidt, H and Wilsonm, K . 2014. The 55 uses of biochar. the Biochar Journal 2014, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114.
58. Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P andK. A,Nichols. 2012. Biochar: A Synthesis of Its Agronomic Impact beyond Carbon Sequestration. Jour. Envi. Quality. V: 41. Pp: 97
59. Sohi، S. P. (2012). Carbon storage with benefits. Science 338: 1034-1035.
60. Starbuck, C. J. (1994) . Using Sawdust as a Soil Amendment. Missouri Department of Conservation, Forestry Division.
61. Sun, K., Ro, K., Guo, M., Novak, J. and Mashayekhi, H. 2011. Sorption of biphenyl A, 17a–ethinylestradiol and phenanthrene on thermally and hydrothermally produced biochar. Bioresource Technol. V: 102. Pp: 5757–5763.
62. Sun, J; Yang, R; Li, W; Pan, Y; Zheng, M and Zhang, Z. Effect of biochar amendment on water infiltration in a coastal saline soil. Journal of soils and sediments. Vol; 18, 2018, 3271-3279.
63. Titiladunayo, I. McDonald, A. andO,Faptu.2012. Effect of temperature on biochar product yield from selected lignocelluloses biomass in pyrolysis process . Waste biomass. V:3. Pp: 311-318.
64. Woolf, D., J. Amonette, F. Street-Perrott, J. Lehmann and S. Joseph. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature Communications, 1: 1–9.
65. Wu, W., Yang, M., Feng, Q., McGrouther, K., Wang, H., Lu, H., & Chen, Y. (2012). Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment. Biomass and Bioenergy, 47, 268–276.
66. Xu, Y and B,Chen. 2013. Investigation of thermodynamic parameters in the pyrolysis conversion of biomass and manure to biochars using thermo gravimetric analysis. Bio-resource. Technol. V: 146. Pp: 485–493.

67. Yuan, J., Xu, R. and H. Zhang. 2011. The forms of alkalis in the biochar producedfrom crop residues at different temperatures. Bioresource. Technol. Vol.102, Pp: 3488-3497.
68. Zhao, Sh., Ta,N. and D,Wang. 2017. Effect of temperature on structural and physicochemical properties of biochar with apple tree branches as feedstock material . Energis.V:10.Pp: 1293.
69. Zhang, L; X. Sun; Y. Tian; and X. Gong . (2014) .Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant Calathea insignis. Scientia Horticulture, (176): 70–78.
70. Zhang,L; Zhao, J and Wang,Y. Biochar addition drives soil aggregation and carbon sequestration in aggregate fractions from an intensive agricultural system. Soils Sediments. 2020, 1349-1368.