

نقاوة الفحم الحيوي وكفاءة انتاجه باستخدام تقانة محلية على مستوى المزرعة من مصادر مختلفة للكتلة الحيوية.

محمد إبراهيم⁽¹⁾ و علي زيدان⁽²⁾

(1) مركز البحوث العلمية الزراعية في طرطوس، طرطوس، سورية. البريد الالكتروني mohamadali.87@hotmail.com

0968753421 - درست في جامعة تشرين - كلية الهندسة الزراعية - قسم علوم التربة والمياه.

(2) كلية الزراعة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

الملخص:

نفذ هذا العمل في مركز البحوث العلمية الزراعية في طرطوس بالتعاون مع جامعة تشرين، بهدف دراسة إمكانية تصنيع جهاز بسيط لإنتاج الفحم الحيوي محلياً يمكن أن يكون في متناول كل مزارع، واختبار كفاءته في تفحيم مصادر مختلفة من الكتلة الحيوية ودراسة الجدوى الاقتصادية من عملية تحويل المخلفات الزراعية إلى فحم حيوي.

تضمنت التجربة تصنيع نموذجاً لجهاز التفحيم محلياً واختبار كفاءة التفحيم باستخدام أربع مصادر متجددة للمخلفات الزراعية، وهي بقايا قشور الفول السوداني، بقايا عصر ثمار الزيتون، بقايا تقليم أشجار الحمضيات وبقايا صناعة البيرة من مولاس الشعير، ثم درست الجدوى الاقتصادية لهذه التجربة عن طريق حساب معامل الربحية الناتج عن تحويل (1 طن) من الكتلة الحيوية إلى فحم حيوي أو إلى كومبوست أو كمصدر للطاقة، ومقارنتها مع قيمة النواتج من الفحم الحيوي أو الكومبوست أو الطاقة المعبر عنها بكمية الغاز أو النفط المكافئة لاستخلاص نفس كمية الطاقة الحرارية من هذه الكمية من الكتلة الحيوية.

كان هناك علاقة ايجابية بين حرارة التفحيم ونقاوة الفحم الحيوي حيث ازدادت نقاوة الفحم الحيوي في نواتج التفحيم من (54.2 %) على حرارة (350 م⁰)، إلى (79 %) على حرارة (450 م⁰) لمدة ساعة، أو إلى حوالي (80 %) على حرارة (550 م⁰) لمدة ½ ساعة، أو (650 م⁰) لمدة ¼ ساعة.

بقايا عصر ثمار الزيتون أعطت أعلى كفاءة تحويل إلى فحم حيوي، يليها بقايا تقليم أشجار الحمضيات ثم قشور الفول السوداني وبقايا صناعة البيرة، أظهرت النتائج أن عملية تفحيم قشور الفول السوداني تبدأ بالاكتمال والاستقرار عندما تصل درجة الحرارة إلى (450 م⁰) لمدة ساعة واحدة أو (550 م⁰) لمدة ½ ساعة أو (650 م⁰) لمدة ¼ ساعة أو أكثر.

وأظهرت دراسة الجدوى الاقتصادية، أن خيار كفاءة تحويل الكتلة الحيوية إلى فحم حيوي بهذا الجهاز قد حقق أعلى معامل ربحية وصل إلى حوالي (675%) متفوقاً بفارق كبير على كافة الخيارات الأخرى المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الفحم الحيوي، التفحيم، كتلة حيوية، مخلفات زراعية، الجدوى الاقتصادية.

1- المقدمة:

الفحم الحيوي هو مركب غني بالكربون، يتم الحصول عليه عندما تعرض الكتلة الحيوية، كالخشب والروث وبقايا المحاصيل، إلى حرارة عالية بحدود (400 - 700 م°) في مكان مغلق بعيداً عن الهواء، عن طريق ما يسمى التحلل الحراري (Pyrolysis). تتميز منطقة البحر الأبيض المتوسط بمناخ متوسطي جاف ونصف جاف يسرع تدهور محتوى التربة من المادة العضوية وبهطول مطري غزير خلال فترة قصيرة مما يعرض التربة للانجراف، ويرى كثير من الباحثين (Kimetu et al., 2008; Steiner et al., 2007) أن العائد الجيد لاستخدام مواد مرتفعة الثمن في تحسين الإنتاجية الزراعية كالأسمدة، يعتمد على وجود مستويات مناسبة من المادة العضوية في التربة والتي يمكن ضمانها على المدى الطويل عن طريق الإدارة الجيدة للفحم الحيوي في التربة، خصوصاً وأن الإدارة المستدامة للتربة، أصبحت مؤخرًا أساساً للانطلاق بالثورة الخضراء (Conway, 1999)، التي تعتمد على تقانات الحفظ والاستمرارية والتي يمكن أن يقدم الفحم الحيوي فيها، فرصاً جيدة لتحويل الثورة الخضراء إلى نظام زراعي مستدام.

يقدم الفحم الحيوي عوائد مالية للمستخدم من خلال قدرته على مسك العناصر الغذائية في التربة وبالتالي يساهم في زيادة إنتاج المحاصيل الزراعية وتقليل المتطلبات من الأسمدة المعدنية والعضوية خاصة أن التربة في منطقتنا تعاني من انغسال للعناصر الغذائية الأمر الذي يلوث المياه الجوفية ويشكل عبئاً على المزارع في شراء الأسمدة الكيميائية الباهظة الثمن حيث يباع الفحم الحيوي في الدول الغربية على شكل أكياس مغلقة يطلقون عليها Colden Black والجدير ذكره هنا أن إدخال واعتماد تقانة استخدام الفحم الحيوي في إدارة الإنتاج الزراعي لا تتطلب موارد جديدة، لكنها تزيد من كفاءة استخدام الموارد المتوفرة محلياً من ناحية، وتسهم في الحفاظ على البيئة من ناحية أخرى لأن عملية التخميم تعمل على سحب غاز CO₂ من الغلاف الجوي وتخزينه في ذرات الفحم الحيوي لمئات بل لآلاف السنوات خاصة وأن بعض المزارعين يلجأون إلى التخلص من المخلفات الزراعية بطرق ملوثة للبيئة ومسببة للحرائق، لذلك يجب ألا ينظر لتقانة استخدام الفحم الحيوي كبديل للإدارة السائدة لاستخدامات الأراضي بل كقيمة مضافة وداعمة لتحسينها واستدامتها.

وبعد التنبيه إلى أهمية الفحم الحيوي في مجالات كثيرة ومنها الإنتاج الزراعي، يتجه العالم اليوم نحو البحث عن تقنيات جديدة لصناعته، وضرورة مراجعة واستعراض طرائق استخدام والاستفادة من الكتلة الحيوية بكافة مصادرها، والتعرف على تقانات التحويل الكيميائي الحراري، وخاصة التحلل الحراري (pyrolysis)، 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 اتباعها 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 من خلال إنتاج وتطبيق الفحم الحيوي في تحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية والمائية، (Lehmann and Rondon, 2006)، حيث يوفر إنتاج الفحم الحيوي على نطاق صغير وتطبيقه على التربة 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)

من جهة أخرى يبلغ الإنتاج السنوي للمخلفات الزراعية أكثر من (500) مليون طن على مستوى العالم (Sánchez, 2009)، كما إن طرق إدارة النفايات التي عفا عليها الزمن والتي تتبعها ممارسات زراعية غير ملائمة تدعم انتقال الآفات وتعرض بنية التربة للخطر وتحول بعض العناصر الغذائية إلى أشكال كيميائية لا تقبلها المحاصيل تسبب طلباً عاجلاً على حل غير مكلف اقتصادياً وهو الفحم الحيوي الذي من شأنه تحسين أداء الزراعة (استعادة العناصر الغذائية وجودة التربة على وجه الخصوص)،

(Abdullah and Wu, 2009)، حيث أن هذه المخلفات الزراعية متاحة في الغالب للاستخدام كمصدر بديل للطاقة، وكمكتلة حيوية صالحة لإنتاج الفحم الحيوي للأغراض الزراعية وغيرها وفق عملية سهلة يمكن المستفيدين والمزارعين القيام بها باستخدام طرائق ومعدات بسيطة، حيث يكون الفحم الحيوي ناتج ثانوي لهذه العملية إلى جانب إنتاج الطاقة. فضلاً عن أن إنتاج الفحم الحيوي يساعد في إعادة تدوير المخلفات الزراعية ومخلفات الغابات ومخلفات معالجة الأخشاب والجزء العضوي من نفايات الصرف الصحي الصلبة، كما تقلل عملية التخمير 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 الفحم الحيوي هو حل لمشكلة انخفاض خصوبة التربة بسبب الزراعة المستمرة، إلى جانب التمدن السريع للمادة العضوية وانغسال العناصر الغذائية نحو المياه الجوفية، إضافة إلى انجراف التربة حيث يسرع النفاذية المائية في التربة الطينية لأن الشحنة السالبة الناتجة عن تأكسد المادة العضوية المدمصة على سطوحه تعمل كملاط يربط ذرات التربة مع بعضها وبالمقابل يبطئ نفاذية التربة الرملية لأنه يملأ الفراغات بين حبيباتها ويزيد سعة الاحتفاظ بالماء في التربة وبالتالي يقلل المقنن المائي للمحاصيل خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة.

يتميز الفحم الحيوي بأنه شديد الثبات والمقاومة للتحلل في التربة، حيث أن الدراسات المخبرية التي أجراها (Cheng ورفاقه 2008) و (Liang ورفاقه 2008) قدرت أنه يبقى في التربة بحدود 900-9000 سنة، وهي أطول بمئات أو بآلاف المرات من فترة بقاء المواد العضوية في التربة، لذلك يمكن أن توفر إضافة الفحم الحيوي للتربة مخزناً للكربون المعدني. ومن جهة أخرى، إن خيار الإدارة المتكاملة لخصوبة التربة التي تجمع بين استخدام كل من الأسمدة العضوية والأسمدة المعدنية لزيادة إنتاج المحاصيل له بعض المشاكل المرتبطة بها عند التطبيق، حيث يؤدي تحلل الأسمدة العضوية إلى إطلاق غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز وغيرها من الغازات (Duku, et al., 2011).

كما أن زيادة تكاليف التخلص من النفايات العضوية وتنفيذ أهداف الطاقة المتجددة، جعل من إنتاج وتطبيق الفحم الحيوي وإدارة النفايات أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية، خاصة عندما يلجأ بعض المزارعين إلى التخلص من المخلفات الزراعية بطرق ملوثة للبيئة ومسببة للرائح، ويمكن تجنب ذلك من خلال التوجه نحو إنتاج الفحم الحيوي من تدوير النفايات العضوية مثل نفايات الخشب، وبقايا التقليم وعصر الزيتون وقشر الأرز، وقش القمح، وبقايا الفاكهة، وغيرها بدلاً من مجرد حرقها، حيث يحافظ الفحم الحيوي المنتج على أكثر من (50 %) من الكربون في صورة عالية الثبات بدلاً من تطايرها على شكل غاز CO_2 المسبب لظاهرة الاحتباس الحراري، فضلاً عن أنه يقدم عوائد مالية للمستخدم من خلال زيادة إنتاج المحاصيل الزراعية وتقليل المتطلبات من الأسمدة المعدنية والعضوية (Shabangu, et al., 2014).

تتنوع طرائق تصنيع الفحم الحيوي بين الطرائق الحديثة التي تعتمد على أفران التخمير 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). حيث يعتمد إنتاجه في هذه الأفران إلى حد كبير على تصميم الفرن وظروف التشغيل والخصائص الفيزيائية والكيميائية للكتلة الحيوية، لكنها وبالرغم من أنها تعطي إنتاجاً كبيراً من الفحم الحيوي (Anderson, 2009)، لكنها تبقى معقدة ميكانيكياً ومكلفة اقتصادياً، (Brown, 2009)، وصعبة التنفيذ بسبب تكاليف الاستثمار الكبيرة، (Cheng, et al., 2012).

يتم إنتاج الفحم الحيوي عالمياً على المستوى الاستثماري للاستخدامات الزراعية، باستخدام أنظمة تفحيم متقدمة، (Lima and Marshall, 2010)، حيث تسمح هذه الأنظمة بالتحكم المسبق في ظروف العملية، والتي يمكن من خلالها التأثير في الخواص الفيزيائية والكيميائية للفحم الحيوي الناتج من عملية التفحيم. ومع ذلك، لا تزال تقانات إنتاجه التقليدية شائعة الاستخدام (Major et al., 2010)، كما أن تطوير هذه التقانات يتطلب المزيد من البحوث في هذا المجال.

هذا ويحضر الفحم الحيوي على مستوى المزرعة في كثير من دول العالم، بالطريقة التقليدية في أفران أرضية مطمورة بالتراب تبدأ فيها عملية التفحيم عند رفع درجة الحرارة إلى حوالي (300 م⁰) وتستمر بعد ذلك ذاتياً من تلقاء نفسها لعدة أسابيع حيث تبدأ الغازات الناتجة عن الكتلة الحيوية بالاحتراق ونشر حرارة كبيرة قد تصل إلى حوالي (500 م⁰) أو أكثر (FAO, 1983; Nsamba, et al., 2015). وتتصف الطرق التقليدية لإنتاج الفحم الحيوي بأنها بسيطة بشكل عام ومنخفضة التكلفة وتستخدم على نطاق واسع لإنتاج الفحم، لكنها تحتاج إلى زمن طويل وقليلة الكفاءة وكثيرة الآثار السلبية على صحة الإنسان والبيئة (Haruthaithanasan et al., 2010)، فضلاً عن أن الحرارة المنخفضة لعملية التفحيم بالطريقة التقليدية تترك أثراً أكثر سمية للنبات بسبب استمرار وجود آثار من القطران ومركبات عضوية أخرى سامة في الفحم الحيوي (Gell et al., 2011).

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

(Panwar and Rathore, 2008) :

- 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.

أهداف البحث:

- تصنيع واختبار جهاز بسيط لإنتاج الفحم الحيوي ويسمح بالاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة عن عملية التفحيم في الأعمال المنزلية.
- دراسة نقاوة الفحم الحيوي.
- دراسة وتحديد كفاءة التفحيم لمصادر مختلفة من الكتلة الحيوية.
- دراسة الجدوى الاقتصادية لتصنيع الفحم الحيوي.

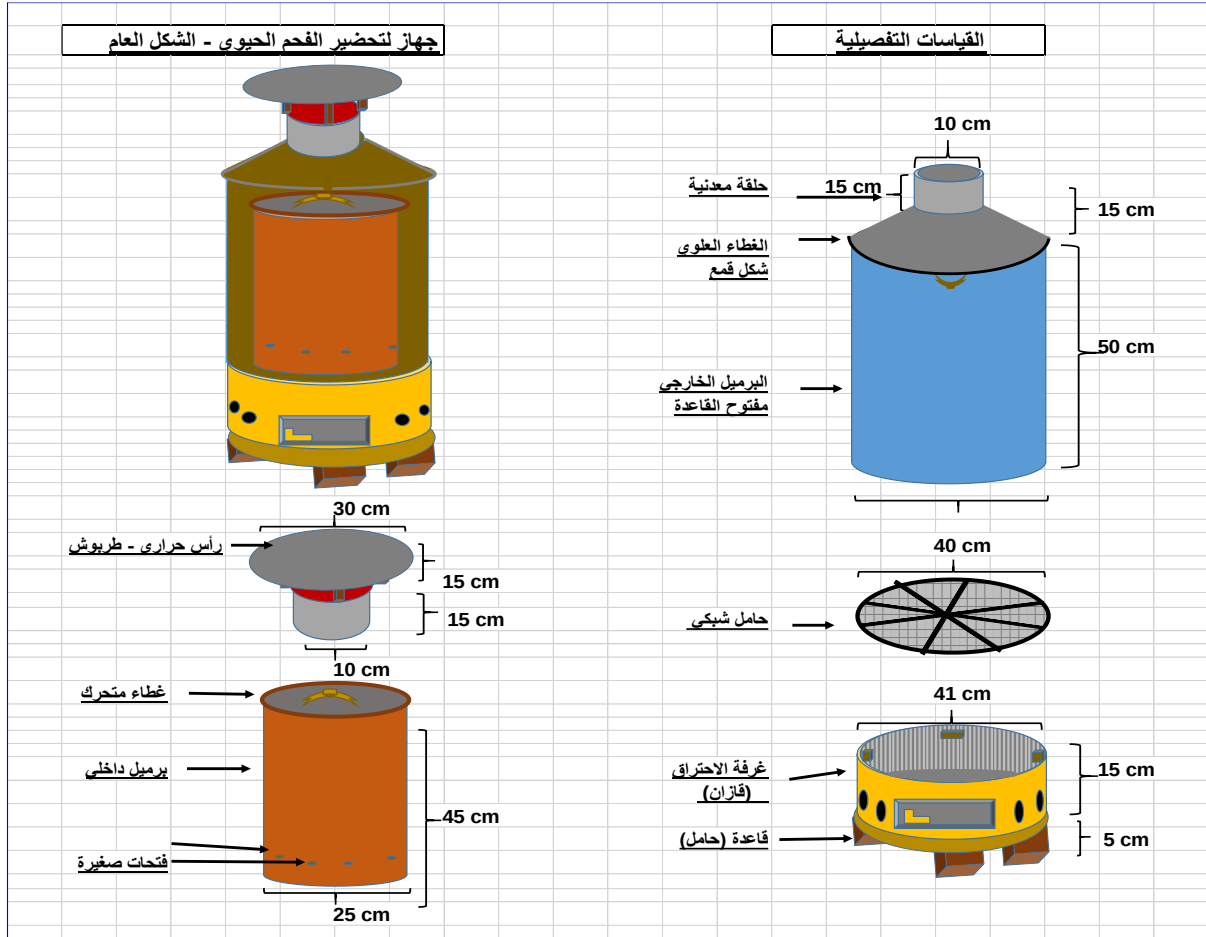
2- مواد البحث وطرقه:

2-1- تصميم الجهاز:

تم تصميم جهاز محلي لفرن تحضير الفحم الحيوي على مستوى المزرعة من الصاج المقاوم للحرارة غير القابل للصدأ، بالاستفادة من تقانة إنتاج الفحم الحيوي التقليدية التايلاندية،

(Prakongkep et al., 2015)، ذات الاسطوانة المعدنية المزودة، (داخلية وخارجية)، بعد إجراء بعض التعديلات في الجهاز التايلندي المذكور من ناحية مقاييس الاسطوانتين الداخلية والخارجية ومخرج نواتج الاحتراق والطاقة الحرارية ليصبح أكثر كفاءة في

إنتاج الفحم الحيوي ويسمح بالاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة خلال فترة التخميم 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 التخميم الداخلية التي يُستبعد منها الهواء مع إضافة رأس مسطح يسمح بخروج غازات الاحتراق وبنفس الوقت يسمح بالاستفادة من الطاقة الحرارية المحررة من عملية التخميم في الأغراض المنزلية وفق الشكل (1) .



شكل (1) : المظهر العام لنموذج الفرن المصنع محليا لإنتاج الفحم الحيوي على المستوى المنزلي مع القياسات لكافة القطع المكونة.

2-2- تصميم التجربة:

A-دراسة كفاءة التخميم لمصادر مختلفة من الكتلة الحيوية في جهاز التخميم:

تم استخدام أربعة مصادر من الكتلة الحيوية الجافة وهي بقايا قشور الفول السوداني وبقايا عصر ثمار الزيتون وتقليم أشجار الحمضيات وبقايا صناعة البيرة من مولاس الشعير، حيث ملئ البرميل الداخلي (أسطوانة التخميم) بوزن محدد من الكتلة الحيوية معروفة المصدر وتم إحكام الإغلاق لعزل الهواء، وتم تحديد زمن التخميم حوالي الساعتين استناداً إلى تجارب سابقة لكل عملية تخميد على حده، (Ibraheem and Zidan, 2020)، وفي نهاية عملية التخميم تم تسجيل وزن الفحم الناتج عن عملية التخميم لتحديد كفاءة العملية وفق المعادلة التالية:

كفاءة التفحيم = (وزن الفحم الناتج أوزن الكتلة الحيوية الجافة هوائياً) * 100

B-نقاوة الفحم الحيوي %:

نفذ البحث في مخبر خصوبة التربة وتغذية النبات-كلية الزراعة -جامعة تشرين في شهر آب عام 2021، حيث تضمنت التجربة (12) معاملة، مكونة من تداخل أربع مستويات لحرارة التفحيم (350، 450، 550، 650 م°) وثلاث مستويات لزمن التفحيم (15، 30 د، 60).
(15، 30 د، 60).

جدول (1) أرقام ورموز معاملات التجربة

أرقام المعاملات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
حرارة التفحيم (م°)	C ₁ = 350 C°			C ₂ = 450 C°			C ₃ = 550 C°			C ₄ = 650 C°		
زمن التفحيم (د)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
	15	30	60	15	30	60	15	30	60	15	30	60

تم تحديد درجة نقاوة الفحم الحيوي والنسبة المئوية للرماد بترميد عينة منه من كل معاملة، (X1) وزنها (5 غ) في بوتقة بورسلان على درجة حرارة 500 م° لمدة 5 ساعات ثم تبريدها وتسجيل وزن الرماد الناتج (X2)، الذي يعبر عن الشوائب المعدنية الموجودة في الفحم الحيوي على شكل رماد.

حيث تحسب نقاوة الفحم الحيوي من المعادلة التالية:

$$\% \text{ للفحم الحيوي} = 100 * \frac{X1}{(X2-X1)}$$

C-الجدوى الاقتصادية لتحضير الفحم الحيوي:

نفذت دراسة الجدوى الاقتصادية اعتماداً على حساب تكاليف تحويل طن واحد (1000 كغ) من الكتلة الحيوية الجافة هوائياً من مصادر مختلفة إلى فحم حيوي أو تحويلها إلى كومبوست أو حساب كمية الطاقة الحرارية الناتجة عن حرقها كمصدر للطاقة

ومقارنتها مع قيمة النواتج من الفحم الحيوي أو الكومبوست أو الطاقة المعبر عنها بكمية الغاز أو النفط الخام المكافئة لاستخلاص نفس كمية الطاقة الحرارية من هذه الكمية من الكتلة الحيوية، وحسب معامل الربحية (%) من المعادلة التالية:

$$\text{معامل الربحية \%} = (\text{إجمالي الربح} / \text{إجمالي التكاليف}) * 100$$

وتم اختيار نوع من الكتلة الحيوية الذي يمثل متوسطاً افتراضياً في مواصفاته للمصادر الأربعة المدروسة واستخدامه في هذه الدراسة الاقتصادية جدول (2).

حيث أن وزن (1000 كغ) من الكتلة الحيوية الجافة يعطي في الحالات المثالية (870 كغ) من الكومبوست وفق (Fermoso ورفاقه 2018)، ويسمح استخدام الكتلة الحيوية كمصدر للطاقة الحرارية باستخلاص (15 جيجا جول/طن) من الطاقة، وهي تعادل نفس كمية الطاقة الممكن استخلاصها من (273 كغ) غاز طبيعي أو (357 كغ) نفط خام متوسط المواصفات وفق (ETB, 2009). جدول (1).

جدول (2) كمية الطاقة الكامنة وقيمتها التقديرية لمصادر طاقة مختلفة

اسم المادة وكمية الطاقة لوحدة الوزن	الوزن المكافئ كغ	كمية الطاقة جيجاجول	*القيمة التقديرية ليرة سورية
الخشب كوقود = 15 جيجا جول/طن	1000	15	100000
النفط كوقود = 42 جيجا جول/طن	357	15	136731
الغاز كوقود = 55 جيجا جول/طن	273	15	120450

*حسبت أسعار وحدة الوزن من كل مادة وفق سعر السوق المحلي.

3- النتائج والمناقشة:

3-1 - كفاءة التفحيم لمصادر الكتل الحيوية المختلفة:

يبين الجدول (2) كفاءة التفحيم لأربع أنواع من الكتل الحيوية مختلفة التكوين النسيجي والتي جرى تفحيمها باستخدام جهاز التفحيم المصنع محلياً الشكل (1). ولحساب كفاءة التفحيم تم أخذ 10 كغ من الكتلة الحيوية الجافة هوائياً وتسجيل الأوزان المتبقية بعد التفحيم وحساب كفاءة التفحيم كما هو مبين في الجدول (3).

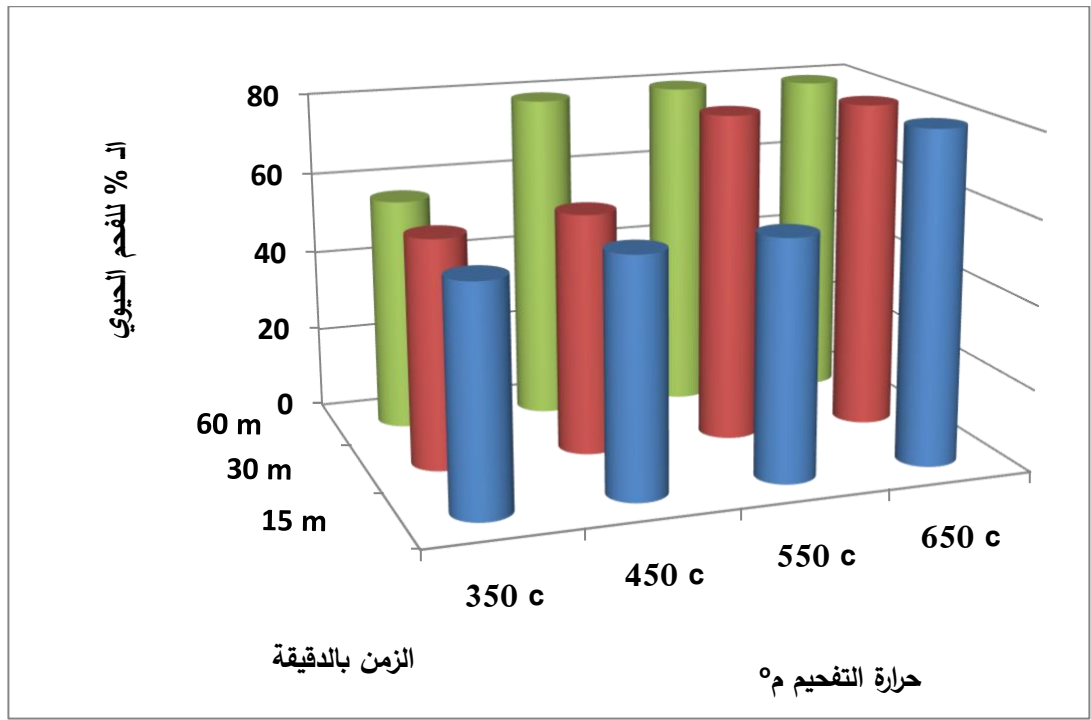
جدول (3): كفاءة التفحيم لمصادر مختلفة من الكتل الحيوية.

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

حيث يبين الجدول (3) أن متوسط كفاءة التفحيم للأربع مصادر للكتلة الحيوية 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 et al., 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 ورفاقه 2011) و (zhao ورفاقه 2017). تتوافق هذه النتائج مع (Wijitkosum and Jiwnok, 2019) الذين وجدوا إن كفاءة التفحيم تختلف باختلاف مصادر الكتلة الحيوية وهي دائماً أعلى في المواد المتخشبة من المواد السليلوزية.

3-2-نقاوة الفحم الحيوي:

كان هناك علاقة ايجابية بين حرارة التفحيم ونقاوة الفحم الحيوي كما يبين الشكل (2) حيث ازدادت نقاوة الفحم الحيوي في نواتج التفحيم من (54.2 % على حرارة (350 م⁰، إلى (79 % على حرارة (450 م⁰ لمدة ساعة، أو إلى حوالي (80 % على حرارة (550 م⁰ لمدة ½ ساعة، أو (650 م⁰ لمدة ¼ ساعة. كما انخفضت نسبة الشوائب في الفحم الحيوي نتيجة عملية الاحتراق وتطاير الغازات وبخار الماء خلال عملية التفحيم من (45.8 % إلى حوالي (20 % بارتفاع درجة حرارة وفترة التفحيم، حيث تتوقف عملية الاحتراق ويتحول معظم الكربون العضوي إلى كربون عنصري (غرافيت)، وهذا ما وجدته Keilluweit وزملائه (2010) من حيث زيادة الكربون العنصري على حساب العضوي مع تقدم عملية التفحيم.



شكل: (2) يوضح تأثير حرارة وزمن التفحيم على نقاوة الفحم الحيوي.

3-3- دراسة الحدود الاقتصادية لتحضير الفحم الحيوي:

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، كما هو مبين في الجدول (4).

جدول (4) 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 الكومبوست من مخلفات تقليم أشجار الحمضيات، فقد سجلت تكلفة إنتاج الكيلو غرام الواحد من الكومبوست حوالي (165.52 ل.س) متضمنة: تحضير مكان التخمر، أجور جمع وتقطيع وفرم، وأجور تحميل وأكياس وتعبئة ونقل وتسويق وأجور عمالة، وشملت التكاليف إضافة 100 غ عناصر نادرة و2 كغ سماد آزوتي (يوريا) تم خلطها مع (1000 كغ) من هذه البقايا لتحسين خواصها الخصوبية، حيث يضاف الأزوت لتعويض النقص في تركيب الكومبوست حيث أن خفض النسبة C/N من 1/500 إلى 1/100 في الكتلة الحيوية يجعلها أفضل لتصنيع الكومبوست وفق (Starback, 1994)، فضلاً عن تعزيز نشاط الكائنات الحية الدقيقة وفق ما وجدته (Gonzales ورفاقه 2009).

أما تكاليف كميات الغاز الطبيعي والنفط الخام المكافئة للطاقة الناتجة عن حرق (1000 كغ) 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 %) كنفت خام.

وبالرغم من أن خيار حرق الكتلة الحيوية لاستخلاص الطاقة، سجل معاملاً ربحياً عالياً (387.5 %) إذا حسب كغاز مكافئ نظراً 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 هاماً 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 بأنها لإيجابي على البيئة حيث

يثبت الكربون في التربة لآلاف السنين (Liang et al., 2008) ، ويقلل انبعاث غازات الدفيئة وفق (Jackson and Schlesinger, 2004).

4-الخلاصة:

- تختلف كفاءة التخصيم باختلاف مصادر الكتلة الحيوية حيث تكون أعلى في المواد الخشبية منها في المواد السليلوزية.
- حققت كفاءة تحويل المخلفات الزراعية إلى فحم حيوي أعلى معامل ربحية مقارنة بخيار تحويل نفس كمية هذه المخلفات إلى كومبوست أو من استخدامها كمصادر للطاقة.
- يمكن تحضير الفحم الحيوي على مستوى المزرعة من المخلفات الزراعية بتكاليف بسيطة وبزمن قصير ويمكن أن يكون في متناول كل مزارع، خصوصاً وأن الجهاز يسمح بالاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة عن عملية التخصيم في الأعمال المنزلية.
- يوصى بنشر ثقافة إعادة تدوير بقايا المزرعة بتحويلها إلى فحم حيوي كمحسن لخصائص التربة واستدامة خصوبتها ومثبت للكربون فيها حفاظاً على البيئة.
- ينصح أصحاب القرار في وزارة الزراعة والبيئة بتشجيع ودعم المزارع للحصول على هذه التقنية بقرض أو منحة مالية للمزارعين المتميزين أو إدخالها في خطة التعاون مع المنظمات الدولية والإقليمية المهتمة بالزراعة والبيئة مثل (FAO, UNDP, ACSAD,.....).

- Abdullah, H and H. Wu. (2009). Biochar as a Fuel: 1. Properties and Grindability of Biochars Produced from the Pyrolysis of Mallee Wood under Slow-Heating Conditions. *Energy & Fuels*, 23: 4174–4181.
- Anderson, P. (2009). PM Emissions from TLUD Cook Stoves. *Ethos conference*, Kirkland, Biomass Energy Foundation, 23-25.
- Brown, R. (2009) . Biochar production technology, center for sustainable environmental technologies, department of mechanical engineering, Iowa state univ. Bioe. conf.
- 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.
- 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. *Bioresource technology*, 107: 471-475.
- 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.
- Conway, G. (1999) . The Doubly Green Revolution, Cor. Univ. Press, Ithaca, NY, US.
- Duku, M., S. Gu and E. Hagan. (2011) . Biochar production potential in Ghana. A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15: 3539–3551.
- Engineering ToolBox, (ETB). (2009). Biomasses used as Fuel - Energy Content..
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.(1983) . Simple technologies for charcoal making. FAO forestry paper 41. Rome: FAO.
- Fermoso, F., A. Serrano, B. Alonso-Fariñas, J. Fernández-Bolaños, R. Borja, and Rodríguez-Gutiérrez, G. (2018). Valuable Compound Extraction, Anaerobic Digestion, and Composting: A Leading Biorefinery Approach for Agricultural Wastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66: 8451–8468.
- Gell, K., J. Van and M. Cayuela. (2011) . Residues of bioenergy production chains as soil amendments: Immediate and temporal phytotoxicity. *Jour. Hazard Mater*, 186.: 2017–2025.
- 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.
- Haruthaithanasan, M., O. SaeTun, N. Lichaikul, S. Ma, S. Thongmanivong and H. Chanthavong. (2010) . The role of biochar production in sustainable development in Thailand, Lao PDR and Cambodia. *Biochar*, 266–288.
- 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*, 7.
- Jackson, R. and H. Schlesinger. (2004). Curbing the US carbon deficit. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101: 15827– 29.
- Keilluweit, M., Nico, P., Johnson, M. and M. Kleber.2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* Vol. 44, Pp: 1247-1253.

Kimetu, J., J. Lehmann, S. Ngoze, D. Mugendi, J. Kinyangi, S. Riha, Verchot, J. Recha and A. Pell. (2008) . Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient, 11: 726–739.

Lehmann, J., and M. Rondon. (2006) . Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Palm, C., Fernandes, E., Pretty, J., Herrero, H., Sanchez, P., Husson, O., Sanginga, N., Laing, M., Thies, J. (Eds.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, 517–530.

Lehmann, J. and S. Joseph. (2009) . *Biochar for environmental management science and technology*. Earthscan, London.

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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 6069–6078.

Lima, I and W. Marshall. (2010) . Pyrolytic products from poultry manure. U.S. Patent, 7794: 601.

Major, J., D. Rondon, S. Molina, J. Riha and J. Lehmann. (2010) . Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil*, 333: 117–128.

Nsamba, H., S. Hale, G. Cornelissen and R. Bachmann. (2015) . Sustainable technologies for small scale biochar production –A review. *Jour. Sust. bioenergy systems*, 5 : 10-31.

Panwar, N and N. Rathore. (2008) . Design and performance evaluation of a 5kw producer gas stove. *Biomass and bioenergy*, 32: 1349-1352.

Prakongkep, N., R. Gilkes and W. Wiriyaakitnatekul. (2015) . Forms and solubility of plant nutrient elements in tropical plant waste biochars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 5 : 732–740.

Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances* , 27:185–94.

Shabangu, S., D. Woolf, E. Fisher, L. Angenent and J. Lehmann. (2014) . Techno-economic assessment of biomass slow pyrolysis in to different biochar and methanol concepts. *Fuel*, 117: 742-748.

Spokas, K., K. Cantrell, J. Novak, D. Archer, J. Ippolito, H. Collins and K. Nichols. (2012) . Biochar: A Synthesis of Its Agronomic Impact beyond Carbon Sequestration. *Jour. Envi. Quality*, 41 : 97.

Starbuck, C. J. (1994) . Using Sawdust as a Soil Amendment. Missouri Department of Conservation, Forestry Division.

Steiner, C., W. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J. Macedo, W. Blum and W. Zech. (2007) . Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291: 275–290.

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.

Wijitkosum, S and P. Jiwonok. (2019) . Elemental Composition of Biochar Obtained from Agricultural Waste for Soil Amendment and Carbon Sequestration. *Applied sciences*, 9: 3980.

Zhao, S., N. Ta and D. Wang. (2017). Effect of temperature on structural and physicochemical properties of biochar with apple tree branches as feedstock material. *Energies*, 10 : 1293.

Biochar purity by local technology at the farm level from different sources of biomass

Mohammad Ibraheem (1) and Ali Zidan (2)

(1) Center of scientific agricultural research, Tartous, Syria. mohamadali.87@hotmail.com.

(2) Faculty of Agriculture, TU, Lattakia, Syria

Abstract:

This work was carried out at the Agricultural Scientific Research Center in Tartous, in cooperation with Tishreen University, with the aim of studying the possibility of manufacturing a simple device for locally producing biochar that could be accessible to every farmer, and testing its efficiency in charring different sources of biomass and studying the economic feasibility of the process of converting agricultural residuals into biochar.

The experiment included manufacturing a model of the charring device locally and testing the efficiency of charring of four renewable sources of agricultural residuals, which are the peanut shells, the residuals of the olive mill, the residuals of pruning citrus trees and the residuals of barley molasses of the beer industry. Then, the economic feasibility of this experiment was studied by calculating the profitability factor resulting from converting (1 ton) of biomass into biochar or into compost or used as an energy source, and comparing it with the value of the outputs from biochar or compost or energy expressed in the amount of gas or oil equivalent to extract the same amount of thermal energy from this amount of biomass.

There was a positive relationship between the biochar temperature and the biochar purity, as the biochar purity increased from (54.2%) at a temperature of (350 °C), to (79%) at a temperature of 450 °C for an hour, or to about (80%) at (550° C) for ½ hour, or (650° C) for ¼ hour.

the residuals of the olive mill gave the highest conversion efficiency into biochar, followed by the residuals of pruning citrus trees, then peanut shells and the residuals of barley molasses, and also showed that the economic feasibility of the option of converting biomass to biochar with this device achieved the highest profitability factor of about (675 %) with high superiority on the other studied options.

Key words; Biochar, charring, biomass, agricultural residuals, economic feasibility.