مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٩) العدد (١٦) ٢٠٢٥

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (9) No. (16) 2025

مقارنة بعض الخصائص الكيميائية لفحم السنديان *Quercus calliprinos* webb الناتج بطريقتي المترب والبراميل المزدوجة

د. أسامة رضوان *

د. سامر ناصر **

م. أغيد سلوم **

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/١٠/٢٦ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٥/١٢/١١)

□ ملخّص □

أجريت هذه الدراسة لتبيان الفرق بين طريقتي التفحيم التقليدية (المترب) والبراميل المزدوجة من حيث بعض الصفات الكيميائية لفحم السنديان العادي. حيث أجري البحث في منطقة الحفة – محافظة اللاذقية خلال عام ٢٠٢٤. أظهرت النتائج تفوق الفحم المنتج بطريقة البراميل معنوياً بالنسبة الأقل في متوسط محتوى الرطوبة(٤,٤٣%) ومتوسط محتوى الرماد(٤,١٦%) مقارنة بنسبة أعلى في متوسط محتوى الرطوبة (٤,٩%) ومتوسط محتوى الرماد (٤,٧٤%) عند الفحم المنتج بطريقة المترب، فيما تفوق الفحم المنتج بطريقة البراميل معنوياً بالنسبة الأعلى في متوسط محتوى المواد المتطايرة (١٠,٥٤%) مقارنة بنسبة أقل (٩,٥٤%) عند الفحم المنتج بطريقة المترب، وكانت الفروقات غير معنوية في نسبة الكربون الثابت بين الفحم الناتج بكلتا الطريقتين، إذ بلغت نسبته بالمتوسط (٨١,٦٢%) في طريقة البراميل و(٨١,٢٩%) في طريقة المترب.

الكلمات المفتاحية: السنديان العادي – الفحم – المترب– البراميل المزدوجة–الفحم – الخصائص الكيمائية للفحم

* أستاذ ، قسم الحراج والبيئة – كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية – سورية

**مدرس ، قسم الحراج والبيئة – كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية – سورية

** طالب دراسات عليا(ماجستير) ، قسم الحراج والبيئة – كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٩) العدد (١٦) ٢٠٢٥

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (9) No. (16) 2025

Comparison of Some Chemical Properties of *Quercus Calliprinos* Webb. Charcoal Produced by Double Barrel and Traditional Pit Methods

Osama Radwan [*]
Samer Nasser [**]
Aghiad Salloum [***]

(Received 26/10/2025 . Accepted 11/12/2025)

□ ABSTRACT □

This study was conducted in the Al-Haffah area, Lattakia governorate, during 2024, with the aim of comparing some of the chemical properties of charcoal produced from pruning residues of Palestine oak (*Quercus calliprinus*) using two methods: the double barrels and the traditional method (earth-mound kiln).

The results indicated that the barrel-produced charcoal was significantly superior with a lower average moisture content (4.43%) and ash content (4.16%) compared to a higher average moisture content (4.9%) and ash content (4.74%) in the mound-produced charcoal. Meanwhile, the barrel-produced charcoal was significantly superior with a higher average volatile matter content (10.54%) compared to a lower percentage (9.54%) in the mound-produced charcoal. The differences in fixed carbon content were not significant between the charcoal produced by both methods, as its average percentage was 81.62% in the barrel method and 81.29% in the mound method. We conclude that the double-barrel method is superior to the traditional method in producing Palestine oak charcoal in terms of yield, energy efficiency, and production speed.

Keywords: Palestine Oak, Charcoal, Earth-mound Kiln, Double-Barrel, chemical properties

*Professor, Department of Forestry and Ecology- Faculty of Agriculture- Lattakia University, Lattakia, Syria. osamagr3@gmail.com.

**Teacher, Department of Forestry and Ecology- Faculty of Agriculture- Lattakia University, Lattakia, Syria. amenmamon@hotmail.com

*** Postgraduate student, Department of Forestry and Ecology. Faculty of Agriculture, Lattakia University, Lattakia, Syria. Aghiad.salloum@Latakia-univ.edu.sy.

١- المقدمة:

شهدت الدول المتقدمة العديد من التغييرات الهامة في أنماط استخدام الطاقة، حيث بدأ الاستعمال الفعلي للخشب بوصفه مصدراً للطاقة بعد الارتفاع المذهل لأسعار مواد الطاقة الأخرى، حيث استخدم كمصدر للتدفئة (45 % من الخشب المنتج عالمياً يستخدم في أعمال الطهي وتدفئة المنازل) ومن المواد الخشبية التي يمكن استعمالها لتوليد الطاقة الخشب المدور Round wood وبقايا المناشير residues وبقايا القطع Logging residue والمشاجر Plantations (John *et al.*, 1982 ؛ حميد، 2009).

في الدول النامية تعد الكتلة الحيوية المصدر الرئيسي للطاقة لأكثر من ٨٠% من السكان (Neina *et al.*, 2020)، حيث يعتمد أكثر من ٣ مليار شخص عليه لأغراض الطهي والتدفئة (Del Rio *et al.*, 2020 ; Sana *et al.*, 2020).

و يعتبر الفحم الخشبي Charcoal رخيص نسبيا مقارنة مع مصادر الطاقة الأخرى كالبترول والغاز والكهرباء ويمثل مصدر للطاقة للاستخدام المنزلي للعائلات الفقيرة، واحتل الفحم المرتبة الثانية بعد البترول كمصدر للطاقة، حيث شكل ٢٣% من الاستهلاك العالمي للطاقة، ويلاقي الحصول على الطاقة من الخشب في البلدان المتطورة إقبالاً كبيراً (Benjamin *et al.*, 2011).

يعيش نبات السنديان العادي.*Quercus calliprinos* webb بشكل طبيعي في شرق حوض المتوسط ، دائم الخضرة، ينمو في الأراضي الصخرية والفقيرة وهو لا يبالي بالتركيب الكيميائي والفيزيائي للتربة يقاوم البرودة ويتحمل الجفاف لحد ما. يعتبر السنديان شجرة صغيرة إلى متوسطة الحجم(٨ – ٢٠) م، قطرها ١م، تاجها كثير التفرع، تخلف بشدة بعد القطع. الأوراق دائمة الخضرة، الأزهار المذكرة تنتظم بشكل نورات هرية، الأزهار المؤنثة صغيرة جداً، الثمار بلوطة، بيضوية، تنضج بعد حوالي ١٨ شهر من الإخصاب (نحال وآخرون،2018). يتمتع خشب السنديان بالقساوة والمتانة وبكثافته العالية ومحتواه العالي من اللجنين، مما يجعله مناسباً لإنتاج فحم عالي الجودة، وكثافته عالية وبالتالي يعطي مردوداً أعلى من الفحم، ومحتواه منخفض من الرماد وله قيمة حرارية عالية بسبب تركيبه الكيميائي (Bridgwater, 2012).

يتم إنتاج فحم السنديان بطريقة المترب (Earth Pit) وهي تقنية تقليدية بسيطة وفعالة لتفحيم خشبه، وتعتمد على التحكم في كمية الأكسجين أثناء الانحلال الحراري، رغم أنها أقل كفاءة من الأفران الصناعية، إلا أنها مناسبة للمناطق الريفية (Bridgwater, 2012).

وفي الآونة الأخيرة شهدت صناعة الفحم تطورات على مستوى طرق الحصول علية وفي نفس الوقت الاستفادة من النواتج الثانوية لهذه الصناعة ، مثل تقطير الخشب(إماهة الخشب) ، وطريقة الافران المعدنية المتنقلة، وطريقة البراميل المزدوجة(علاء الدين وأسود، ٢٠١٣).

يفضل تصميم البراميل المزدوجة(Double Barrel) عن غيره لأنه يصدر الحد الأدنى من الملوثات وآمن نسبياً ودارة احتراقه مغلقة إضافة إلى أن تكاليف تصنيعه منخفضة ويستخدم مواد متوافرة وسهل الحصول عليها، تصميم البراميل المزدوجة يستخدم من قبل عدد صغير من المزارعين المحترفين لصنع كميات قليلة من الفحم (Pollnow and Intern, 2014).

وتتحدد نوعية وجودة الفحم بالعديد من الخصائص الفيزيائية مثل الكثافة الواضحة والحرارة العالية الناتجة والخصائص الكيميائية مثل المحتوى الرطوبي والمواد المتطايرة والمحتوى من الكربون الثابت والرماد (FAO,1985).

وتشير دراسات FAO (١٩٨٥) إلى أن الأنواع ذات المحتوى الرطوبي المنخفض تعطي طاقة أكثر كون الرطوبة العالية تخفض من قيمة الحرارة الناتجة عن الفحم، كما أن الناتج من المواد المتطايرة يتراوح بين (٤٠-٥ %)، وكذلك فإن محتوى الفحم من الرماد يتراوح بين (٠,٥ - ٥%) فالنوع الجيد يعطي كمية من الرماد أقل من ٣% .

فيما ذكرت دراسات الـ FAO (٢٠٠٣) أن المحتوى من الكربون الثابت يتراوح بين القيم المنخفضة بحدود ٥٠% حتى القيم المرتفعة التي تصل لحوالي٩٥% وقد حددت المعايير المرغوب فيها في الفحم بمحتوى كربون أكبر من ٧٥%، ويمكن التحكم بمحتوى الفحم من الكربون الثابت برفع الحرارة وإطالة فترة التفحيم وكلما زادت كمية الكربون الثابت كلما زادت إنتاجية الفحم الناتج (Hindi, 2012) .

وجد أحمد (٢٠١٨) أن الفحم المنتج احتوى رطوبة بأعلى نسبة لها في فحم خشب فرشاة الزجاج *Callistemon viminalis* وبلغت (٦,٥٨%) وأقل محتوى رطوبي من الفحم المنتج من الثويا *Thuja orientalis* وبلغت (٢,٦٠%).

ويشير Pari وآخرون (٢٠٢٠) إلى أن المحتوى المناسب للرطوبة المكتسبة من الجو للفحم المنتج، يجب أن تتراوح بين (٤%-٢) وإن جودة الفحم المنتج تتأثر بمحتواها الرطوبي حيث تقل قيمتها بزيادة محتوى رطوبتها، كما وتتناسب كمية الأدخنة الناتجة من احتراق الفحم طردياً مع محتواها الرطوبي.

فالفحم عالي الجودة يتميز بنسبة مواد متطايرة منخفضة تتراوح نسبتها بين 7-20 % (Ruiz-Aquino *et al.*, 2022) وكلما ارتفعت درجة حرارة التفخيم، انخفضت هذه النسبة، وهذا يعني دخان أقل، رائحة أقل وتوهج أعلى عند الاشتعال (Karacan and Erzurumluoglu, 2015).

وجد Yorgun and Yildiz (2015) عند تفحيم السنديان البلوطي *Quercus infectoria*، أن نسبة المواد المتطايرة انخفضت بشكل حاد مع زيادة درجة حرارة التفحيم، فعند ٤٠٠ مْ كانت النسبة حوالي ٣١,٤%، ووصلت إلى ٩,٤% فقط عند ٨٠٠ مْ.

وجد El-juhany وآخرون (٢٠٠٦) أن المحتوى من الرماد في الفحم المنتج من عدة أنواع من الأكاسيا *Acacia* sp. يختلف اختلاف واضح في كميته حيث كانت ٧,٠٢% في النوع *Acacia seyal* ,6.42% في *Acacia karroo* وكانت منخفضة في الأنواع *A. salicina* (4.53%) و في النوع *A. negrii* (٣,٢٢%).

يُمثل محتوى الكربون الثابت الفرق، كنسبة مئوية،(١٠٠% مطروحاً منها المكونات الأخرى من الفحم (الرطوبة، والرماد، والمواد المتطايرة) (Hibajene and Kalumiana, 2003). وحسب Pereira وآخرون (٢٠١٣) تتراوح كمية الكربون النقي الموجودة في الفحم النباتي بين ٧٠-٩٠ %، ويلعب المحتوى من الكربون والأكسجين والهيدروجين في الخشب دوراً في إنتاجية الفحم وكمية الطاقة الناتجة عنه.

فيما أشار Hindi (٢٠١٢) بأنه يمكن التحكم في نسبة محتوى الكربون الثابت من خلال أقصى درجة حرارة ومدة بقائه أثناء عملية الكربنة. وفي دراسة أجراها Fu وآخرون (٢٠٢٢) أظهرت النتائج أن محتوى الكربون الثابت للفحم المنتج في فرن ترابي كان ٨٠,٧١%.

يتطرق هذا البحث إلى كيفية إنتاج الفحم من الخشب كشكل من أشكال الوقود بطريقة البراميل المزدوجة والطريقة التقليدية ومقارنة بعض الخصائص الكيميائية للفحم الناتج من الطريقتين من نواتج تقليم أحد أهم الأشجار في سورية وهي شجرة السنديان العادي.

٢-أهمية البحث وأهدافه:

٢-١- أهمية البحث:

نتيجة الاستخدام الواسع لفحم السنديان في سورية والذي يتم إنتاجه بالطريقة التقليدية (المترب) ذات السلبيات العديدة والتي من أهمها إنتاج كميات كبيرة من الملوثات الضارة بالصحة والبيئة.

كان لابدّ من اقتراح طريقة جديدة أكثر حفاظاً على البيئة وأكثر أماناً وأقل تكلفة من سابقة الذكر وهي طريقة البراميل المزدوجة.

٢-٢-أهداف البحث:

هدف هذا البحث إلى المقارنة بين طريقتي التفحيم بالمترب والبراميل المزدوجة في بعض الخصائص الكيميائية المؤثرة على جودة الفحم المنتج من نواتج التقليم في عمليات التربية والتنمية للسنديان العادي .

٣-مواد البحث وطرائقه Materials and Methods

٣-١- العمل الحقلي:

٣-١-١- المادة النباتية المستخدمة :

تم الحصول على خشب السنديان العادي من عمليات التربية والتنمية ضمن موقع الكرس التابع لمنطقة الحفة تحت إشراف دائرة الحراج – مديرية الزراعة في محافظة اللاذقية.

٣-١- ٢- مكان تنفيذ الدراسة:

تم تنفيذ البحث في مفحمة القاموع (موقع الكرس)التابعة لمنطقة الحفة – محافظة اللاذقية حيث تبعد عن مركز مدينة اللاذقية حوالي ٣٥ كم وارتفاعها عن سطح البحر ٥٥٠ م. يسود فيها المناخ المتوسطي المعتدل وتهب بالمنطقة رياح جنوبية شرقية وتتراوح النسبة المئوية للرطوبة الجوية ضمن المجال ٦٠-٧٠ % وسجل الهطول المطري بمتوسط سنوي قدره ٦٣١ مم/سنة والسفح غربي والتربة حمراء أو طينية(نحال ، ٢٠٠٢). (شكل

الشكل رقم ١: موقع الكرس – منطقة الحفة

٣-١-٣- الأدوات والمواد المستخدمة في العمل الحقلي:

منشار آلي ويدوي – مناجل – مقص تقليم – كفوف – مجرفة – مشط – شوكة – وعاء ماء – بياكوليس – متر.

٣-١-٤- التفحيم بالطريقة التقليدية:

بعد الحصول على المادة النباتية تم نقلها إلى موقع المترب للتفحيم .

٣-١-٤-١- مرحلة تجهيز المترب:

تم تجهيز المترب بتسوية الأرض بشكل جيد إذ إن ميول الأرض يسبب خلل في توزيع الاشتعال ضمن الأخشاب المرتبة بشكل منتظم وتتخذ المتارب الشكل الدائري.

٣-١-٤-٢- خطوات التفحيم بالطريقة التقليدية (Menemencioglu, 2013) :

١. مرحلة تجهيز الأخشاب: تمّ تأمين الخشب اللازم للتفحيم بأطوال بين ٥٠-١٠٠ سم وبقطر بين ٢-١٠ سم، حيث بلغت الكمية النهائية اللازمة للمترب ١٠٠ كغ.

٢. مرحلة التعمير: حيث تم ترتيب الحطب بشكل يحقق إمكانية التوازن في الاحتراق الجزئي واستمرار الاشتعال في أثناء عملية التفحيم والسيطرة على المترب وعدم حدوث حرائق، وفي بداية هذه المرحلة وضعت الأخشاب بشكل عمودي في المنتصف ثم رتبت الأخشاب الباقية بشكل دائري عليها حيث تم إسناد كل قطعة على سابقتها ومع الابتعاد عن المركز وضعت القطع الخشبية بشكل مائل بحيث أخذ المترب في النهاية شكل قبة وترك في وسطها فوهة من الأعلى إلى الأسفل يطلق عليها فوهة الإشعال. بعد ذلك رصفت حجارة متوسطة الحجم حول قاعدة القبة لإسناد الأخشاب الطرفية وتنظيم دخول الهواء من الأسفل.

٣. مرحلة التغطية: تم تغطية سطح القبة بالكامل بأوراق الشجر والأفرع الصغيرة وبسماكة تتراوح بين ١٠-١٥سم ثم غطي بطبقة من التربة الناعمة لمنع دخول الهواء قدر الإمكان وتنظيم عملية الاحتراق وتركت فوهة الإشعال دون تغطية وخصص لها غطاء خاص.

٤. مرحلة إشعال المترب: بعد اكتمال بناء المترب، تم طرح بعض الحطب والقش والخرق البالية في فوهة الإشعال وإشعالها ثم غطيت الفوهة بالغطاء الخاص بها، بعد ذلك تم تغذية الاشتعال بالحطب الناعم وفقا للحاجة حتى التأكد من اشتعال طبقة الأخشاب في القمة، من ثم أغلقت الفوهة وبدأت مرحلة المراقبة خوفاً من حدوث فتحات ضمن الغطاء الترابي ودخول الهواء فيها وحدوث احتراق كامل.

٥. مرحلة التخمير: المقصود بها انتهاء الاحتراق في أسفل المترب وتفحم الأخشاب الموجودة على محيطه ومن العلامات التي دلّت على الوصول لهذه المرحلة خروج الدخان والنار من بين الحجارة المرصوفة على محيط المترب وأشارت هذه المرحلة إلى انتهاء عملية التفحيم والتي استمرت ٣ – ٤ يوم.

٦. مرحلة الفتح: بعد انتهاء الاحتراق وظهور علامات النضج تم إزالة التربة والحجارة بشكل كامل باستخدام المشط والشوكة والرفش والمجرفة وتخليص الفحم المنتج من التربة والرماد مع إخماد النار التي قد تندلع نتيجة بقاء بعض الأفرع والأغصان دون احتراق، بقي الفحم المنتج مدة ٢٤ ساعة من ثم فرز إلى مكوناته المختلفة (فحم درجة أولى، فحم درجة ثانية، فحم تكسير)(شكل،٢).

الشكل رقم ٢: طريقة المترب

٣-١-٥-التفحيم بطريقة البراميل المزدوجة:

تمّ تصميم التجربة باستخدام برميلين معدنين مختلفين حجماً وقطراً، الأكبر بحجم ٢٠٠ ليتر وقطر ٦٠ سم مفتوح بالكامل من إحدى الجهتين ومغلق بالجهة الأخرى ليمثل البرميل الخارجي، بينما صمم البرميل الداخلي بقطر ٤٠ سم وبارتفاع أقل بـ ١٠ سم من ارتفاع البرميل الخارجي مغلق من جهة ومفتوح من جهة أخرى (Issac and Adetayo, 2010)

واتبعت الخطوات التالية في هذا العمل:

-تمّ تأمين الخشب اللازم للتفحيم بعد قطعه بطول ٦٢ سم وبقطر ٢-٥ سم حيث بلغ الوزن ١٠ كغ

-رتبت الأخشاب داخل البرميل الداخلي بشكل متراص يتسع لأكبر كمية ممكنة من الخشب.

-تم ادخال البرميل الداخلي بعد إغلاقه بالغطاء الحاوي على ثقوب في البرميل الخارجي.

-وضعت قطع من الخشب والأغصان الناعمة بين البرميلين ومن ثم إشعالها. ثم انتظرنا حتى إشعال النار بشكل جيد ثم تمت تغطية البرميل الخارجي بغطاء مزود بمدخنة.

-بعد تمام عملية التفحيم، تم قلب البرميلين بهدوء وإخراج البرميل الداخلي الحاوي على الفحم.

تعتبر هذه الطريقة هي الأفضل لكونها آمنة نسبياً وتكاليفها منخفضة (تستخدم مواد متوافرة سهلة الحصول) وانبعاث الملوثات بحدودها الدنيا وعملية الاحتراق تحدث في جوّ مغلق وتحتاج لعدد قليل من العمال ذوي الخبرة، وتتم عملية التفحيم بمدة ٢-٤ ساعات (Pollnow and Intern, 2014)(شكل، ٣).

الشكل رقم ٣: طريقة البراميل المزدوجة

٣-٢- العمل المخبري:

تم أخذ عينات كافية من الفحم الناتج من كلتا الطريقتين إلى مخبر كيمياء التربة- كلية الهندسة الزراعية في جامعة اللاذقية لدراسة الخصائص الكيميائية.

٣-٢-١- المواد والأدوات المستخدمة:

ملاقط- ميزان حساس - ميزان حراري الكتروني _ فرن تجفيف _ مرمدة.

٣-٢-٢- الخصائص الكيميائية المدروسة:

تم أخذ عينات من الفحم الناتج بطريقة المترب وطريقة البراميل المزدوجة لدراسة الخصائص الكيميائية حسب (FAO,1985) حيث أخذت ثلاث مكررات لكل عينة لإجراء اختبارات (المحتوى الرطوبي، المواد المتطايرة، الرماد) ويشمل المكرر قطعة فحم واحدة يتراوح وزنها بين ٢-٥ غ:

أ- **محتوى الرطوبة Moisture Content (%):**

تمّ وزن العينات ثم وضعت في الفرن لمدة ٢ ساعة على حرارة ١٠٥ْم (FAO, 1985; ASTM D3127,2004) (الشكل ٤) ومن ثمّ حسب المحتوى الرطوبي وفق العلاقة التالية:

$$MC = \frac{wc - dc}{dc} \times 100$$

حيث أنّ MC: المحتوى الرطوبي % . wc : وزن عينة الفحم الجافة هوائياً (g). dc: وزن عينة الفحم بعد اخراجها من الفرن على حرارة ١٠٥ مْ.

الشكل رقم ٤ : قياس المحتوى الرطوبي (%)

ب- المحتوى من المواد المتطايرة Volatile matter (%):

وضعت العينة الجافة بعد تجفيفها في الفرن على حرارة ١٠٥ مْ ثم وضعت في المرمدة على حرارة ٥٥٠ مْ لمدة ١٠ دقائق (الشكل ٥). تمّ حساب المحتوى من المواد المتطايرة وفق القانون التالي:

$$vm\% = \frac{M_{Od} - M_{sf}}{M_{Od}}$$

حيث أنّ M_{Od} : وزن عينة الفحم الجافة بالفرن.

M_{sf} : وزن عينة الفحم بعد عشر دقائق في الفرن على حرارة ٥٥٠ْم.

الشكل رقم ٥: قياس المحتوى من المواد المتطايرة

ج- المحتوى من الرماد Ash Content (%):

تمّ وزن العينة بدقة بعد تجفيفها في الفرن على حرارة ١٠٥ مْ ثم قمنا بالترميد في المرمدة على درجة حرارة ٤٥٠- ٥٠٠ مْ حتى أصبح لون الرماد رمادي فاتح (الشكل ٦)، ثم حسب المحتوى من الرماد من خلال العلاقة بين وزن الرماد المتبقي ووزن عينة الفحم الجافة بالفرن وفق العلاقة التالية.

$$\%ash\ content = 100 \times \frac{M_{ar}}{M_{Od}}$$

حيث أنّ M_{ar}: وزن الرماد المتبقي. M_{Od} : وزن العينة الجافة بالفرن.

الشكل رقم ٦ : قياس المحتوى من الرماد (%)

د- المحتوى من الكربون الثابت Fixed Carbon(%):

تمّ طرح نسبة المحتوى من الرطوبة والمواد المتطايرة والرماد من الفحم النباتي بنسبة ١٠٠% باستخدام الصيغة التالية (Hibajene and Kalumiana, 2003): FC%=100-(MC%+VM%+AC%)

حيث أنّ: FC: المحتوى من الكربون (%)، VM : المحتوى من المواد المتطايرة (%)، AC : المحتوى من الرماد (%).

٣-٣- البرنامج الإحصائي المستخدم:

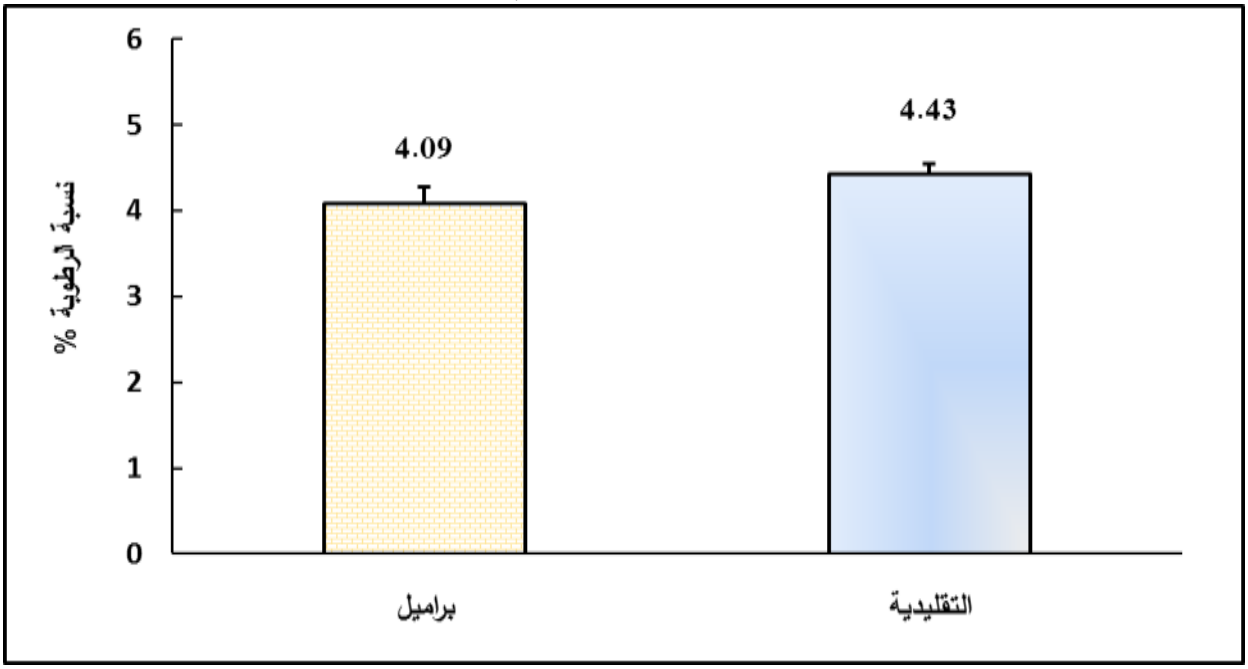
تم تحليل النتائج بواسطة البرنامج الاحصائي GenStat12، عن طريق اختبار t.student لعينتين مستقلتين، والحصول على متوسط المكررات الثلاثة لكل عينة في كلتا الطريقتين ، وحساب قيمة أقل فرق معنوي LSD عند مستوى معنوية ٠,٠١ ، وعرضت النتائج باستخدام برنامج Excel.

4-النتائج والمناقشة:

تمّ تحديد متوسطات الخصائص الكيميائية التالية (محتوى الرطوبة والمحتوى من المواد المتطايرة والمحتوى من الرماد) وحساب المحتوى من الكربون الثابت للفحم المنتج بطريقتي البراميل والطريقة التقليدية.

٤-١- محتوى الرطوبة %:

تمّ تحديد النسبة المئوية للرطوبة في الفحم الناتج من طريقتي التفحيم المحددتين من خلال وزن العينات في المخبر وعلى ٣ مكررات ومن ثم وضعت بالفرن وعرضت نتائج القياس في الشكل (٧):



الشكل رقم ٧: متوسطات النسب المئوية لمحتوى الرطوبة في فحم البراميل والمترب

من الشكل(٧) تراوحت النسب المئوية للرطوبة في عينات طريقة البراميل بين 3.864 و 4.322 بمتوسط وقدره 4.094± 0.186(انحراف معياري) في العينة الواحدة، في حين تراوح بين ٤,٣٣٨ و٤,٥٦٦ في عينات طريقة المترب بمتوسط قدره ٤,٤٣٢ ± ٠,١١٩ في العينة الواحدة.

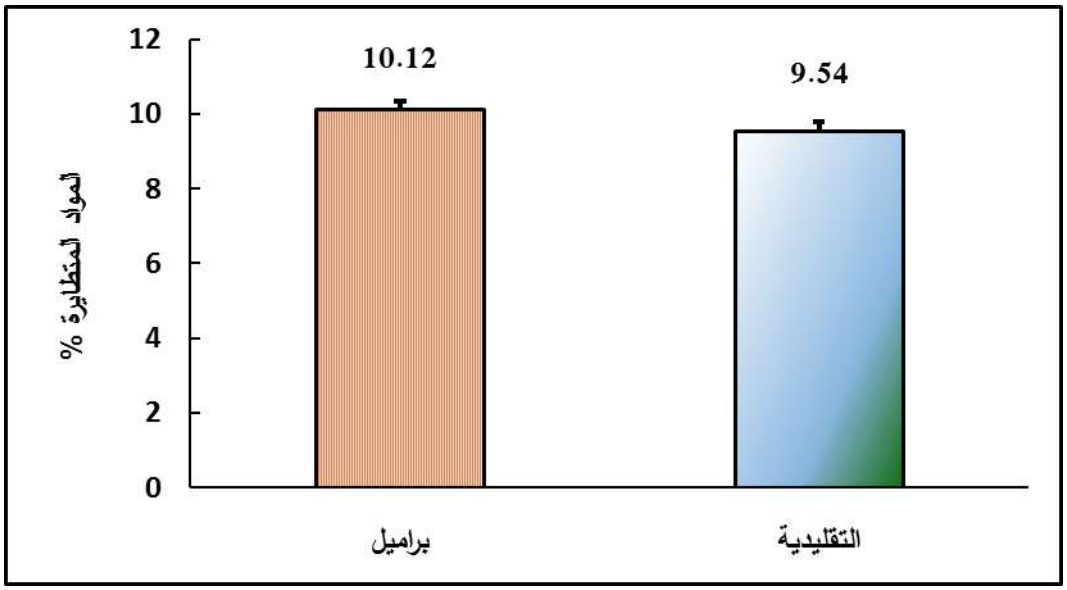
ودلت نتائج اختبارT-Test لعينتين مستقلتين أو لمجتمعين مستقلين وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة ٠,٠١، في نسبة رطوبة الفحم الناتج بالطريقتين بقيمة sig= 0.016، وكانت الافضل في طريقة البراميل لأنها الأقل قيمة.

تتوافق هذه النتائج مع التوصية التي اشارت إلى أن الفحم عالي الجودة، يجب أن يحتوي على نسبة رطوبة من ٥% إلى ١٠% (Pallavi, *et al*. 2013)، ويعد انخفاض نسبة الرطوبة مؤشراً ايجابياً ، حيث يؤدي إلى زيادة القيمة الحرارية وسهولة الاشتعال(Akowuah *et al*. 2012).

وهذه القيم قريبة من تلك التي وجدها Lalmuankima (٢٠١٩) في دراسته على فحم أنواع خشبية مختلفة في الهند والتي تراوحت بين ٤,٣٧% و ٦,٠٦%، وأفضل من القيم المسجلة في دراسة Saikia وآخرون (٢٠٠٧) على فحم أنواع مختلفة في الهند والتي تراوحت بين ١٠,٧٨% و ١٢,٣٤%، ودراسة El-Juhany وآخرون (٢٠٠٣) على فحم أنواع مختلفة من الاكاسيا في السعودية والتي تراوحت بين ٥,٣٨% و ٧,١٩%، مما يعزز جودة الفحم المنتج في هذه الدراسة بكلتا الطريقتين.

٤-٢- المحتوى من المواد المتطايرة % :

تم تحديد المحتوى من المواد المتطايرة في عينات الفحم الناتج من كلتا الطريقتين وعرضت النتائج على شكل متوسطات، الشكل(٨).



الشكل رقم ٨ : متوسطات النسب المئوية لمحتوى المواد المتطايرة في فحم البراميل والمترب

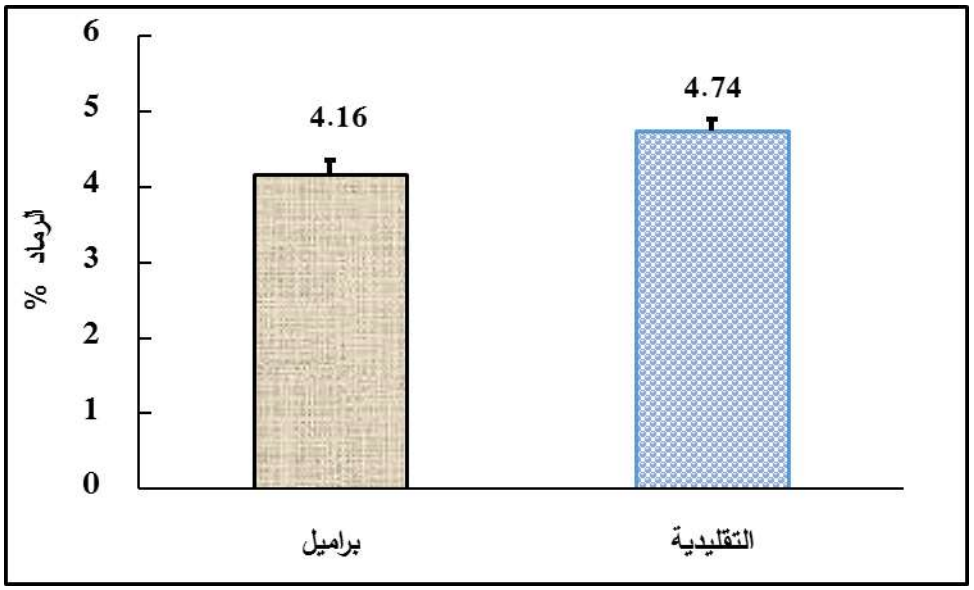
يلاحظ من الشكل رقم (٨) بأن النسب المئوية للمواد المتطايرة في عينات طريقة البراميل تراوحت بين ٩,٨٠٨ و ١٠,٢٤٩ بمتوسط وقدره ١٠,١٢± 0.233 في العينة الواحدة، في حين تراوحت بين 9.286 و9.761 في عينات طريقة المترب بمتوسط قدره 9.539 ± 0.250 في العينة الواحدة، وتتراوح نسبة المتطاير في الفحم الجيد بين 7-20 % (Ruiz-Aquino *et al.*, 2022).

وبكون عينات كل طريقة هي مكررات، يمكن اعتبارها كعينة أو مجتمع مستقل ، إذ دلت نتائج اختبار T-Test لعينتين مستقلتين، وجود فروق معنوية بنسبة المواد المتطايرة لعينات الفحم الناتج بالطريقتين لصالح عينات الفحم الناتج بطريقة البراميل عند مستوى دلالة ٠,٠١ بقيمة sig= 0.004. وهو ما يتوافق مع ما ذكره(Karacan and Erzurumluoglu,2015) من أن القيم المنخفضة للمواد المتطايرة ، تعطي دخان أقل، رائحة أقل وتوهج أعلى عند الاشتعال وتساهم في احتراق أبطأ وتبقي قطع الفخم فترة أطول حتى الاحتراق الكامل .

وحسب EL-Juhany (٢٠٠٦) فإن هذه النسب لفحم السنديان العادي المنتج بالطريقتين هي قيم منخفضة وتبقي قطع الفخم فترة أطول حتى الاحتراق الكامل، وهو ما أكده (Contreras-Trejo *et al.*, 2025) في دراسته على فحم أنواع مختلفة من السنديان ، بأن زيادة حرارة الاحتراق تؤدي إلى ارتفاع محتوى المواد المتطايرة مما يعزز من جودة الفحم المنتج، ودراسة (Ahmed *et al.*, 2007) بأن الفحم الغني بالمواد المتطايرة يمتلك نسبة رطوبة منخفضة.

٤- ٣- المحتوى من الرماد % :

تم تحديد المحتوى من الرماد في عينات الفحم الناتج من كلتا الطريقتين وعرضت النتائج على شكل متوسطات، الشكل(٩).



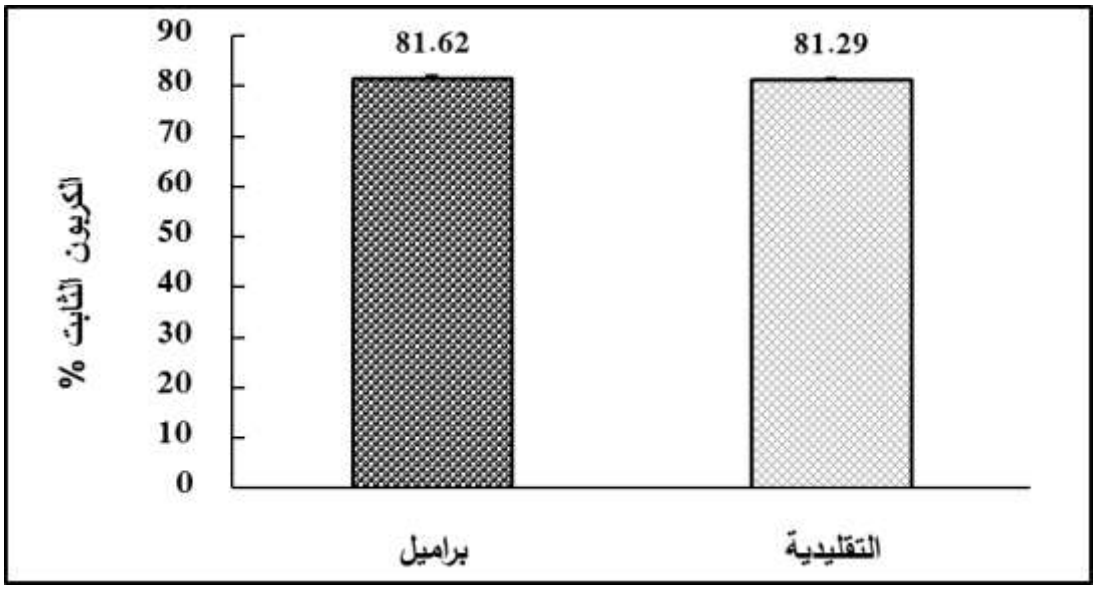
الشكل رقم ٩ : متوسطات النسب المئوية لمحتوى الرماد في فحم البراميل والمترب

من الشكل (٩) تراوحت النسب المئوية للرماد في عينات طريقة البراميل بين 3.846 و4.467 % بمتوسط وقدره 4.162± 0.195% في العينة الواحدة، في حين تراوحت بين 4.566 و4.878% في عينات الطريقة التقليدية بمتوسط قدره 4.74 ± 0.159 % في العينة الواحدة.

ودلت نتائج اختبار T-Test لعينتين مستقلتين وجود فروق معنوية بنسبة الرماد الناتج بالطريقتين لصالح عينات الفحم الناتج بطريقة البراميل عند مستوى دلالة ٠,٠١ بقيمة sig= 0.001، حيث حققت طريقة البراميل نسبة رماد أقل، تتوافق هذه النتائج مع دراسة (أحمد، ٢٠١٨) التي أظهرت نسب رماد تتراوح بين ١,٦-٥,٨% لأنواع مختلفة من أشجار الغابات في شمال العراق، كما أنها أفضل من النتائج التي توصل إليها El-Juhany وآخرون (٢٠٠٣) على فحم الأكاسيا في السعودية (4.53-7.02%).

٤-٤- المحتوى من الكربون الثابت %:

تم حساب المحتوى من الكربون بناءً على نتائج المحتوى من الرطوبة والمواد المتطايرة والرماد في عينات الفحم الناتج من كلتا الطريقتين، وعرضت النتائج على شكل متوسطات، الشكل(١٠).



الشكل رقم ١٠ : متوسطات النسب المئوية لمحتوى الكربون الثابت في فحم البراميل والمترب

من الشكل(١٠) تراوحت النسب المئوية للكربون الثابت في عينات طريقة البراميل بين 80.982 و82.249 بمتوسط وقدره 81.624± 0.383 في العينة الواحدة، في حين تراوح بين 81.128 و81.436 في عينات طريقة المترب بمتوسط قدره 81.29 ± 0.168 في العينة الواحدة، ودلت نتائج اختبار T-Test لعينتين مستقلتين عدم وجود فروق معنوية بنسبة الرماد الناتج بالطريقتين عند مستوى دلالة ٠,٠٥ بقيمة sig= 0.183.

وهذه النسب تتوافق مع ما ذكره Pereira وآخرون (٢٠١٣) بأن كمية الكربون النقي الموجود في الفحم النباتي يتراوح بين ٧٠-٩٠%. وتعد هذه النسب لفحم السنديان، أعلى من القيم التي وجدها EL-Juhany وآخرون (٢٠٠٦) على فحم أنواع مختلفة من الأكاسيا في السعودية والتي لم تتجاوز ٦٣%.

٥-الاستنتاجات والتوصيات:

٥-١-الاستنتاجات:

١. الجودة الافضل للفحم الناتج من طريقة البراميل لوجود فروق معنوية بين الطريقتين في كل من نسبة الرطوبة ونسبة الرماد ونسبة المواد المتطايرة، حيث النسب الأعلى لقيم الرطوبة والرماد كانت في الطريقة التقليدية، بينما أعطت طريقة البراميل نسباً أعلى في المواد المتطايرة.

٢. تقع قيم الكربون الثابت للفحم الناتج بكلتا الطريقتين ضمن القيم الموصى بها والفروقات غير معنوية فيما بينها.

٥-٢-التوصيات:

١-الاستفادة من مبدأ عمل طريقة البراميل المزدوجة في صنع أجهزه بمقاسات كبيرة تساهم زيادة الناتج المحلي من الفحم الخشبي.

٢-التوسع في صناعة الفحم الخشبي محلياً بالاستفادة من الأحطاب الناتجة عن عمليات تقليم البساتين المثمرة.٣-التوسع بالدراسات والأبحاث العلمية المطبقة على صناعة الفحم والبحث عن طرق أكثر أمانا من الطريقة التقليدية وأقل تأثرا بالظرف الجوية وأقل ضرر وملوثات.

٤-استمرار الدراسة على الأنواع الخشبية المحلية الأخرى والمدخلة والتي لم تجرى عليها أي تجارب خاصة بالتفحيم.

٥- تشجيع وتبني استخدام تقنية البراميل المزدوجة لدى المزارعين والمنتجين المحليين كبديل صديق للبيئة وأكثر كفاءة من الطرق التقليدية".

٦- إجراء المزيد من الأبحاث لتحسين تصميم البراميل المزدوجة ودراسة تأثير متغيرات التشغيل (درجة الحرارة، حجم الفتحات، مدة العملية) على الخواص النهائية للفحم بهدف الوصول إلى منتج بمواصفات قياسية مثالية.

٦- المراجع العلميّة:

١. أحمد، أسامة (٢٠١٨). *دراسة بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للفحم الخشبي المصنع من عدة أنواع من أشجار الغابات في شمال العراق*. مجلة جامعة كركوك للعلوم الزراعية. المجلد (٩) العدد (١).

٢. حميد، محمود (٢٠٠٩): *صناعة الفحم الخشبي من بعض الأنواع الخشبية (السنديان العادي والسنديان البلوطي والقطلب والأوكاليبتوس) وتحديد مواصفاته الظاهرية والفيزيائية*. بحث منشور في مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية.

٣. علاء الدين، حسن؛ أسود، أحمد.٢٠١٣. *الصناعات الحراجية وتكنولوجيا الاخشاب*. منشورات جامعة اللاذقية. كلية الزراعة.٤٣٦ ص.

٤. نحال، إبراهيم؛ شلبي، محمد نبيل؛ رحمة، أديب 1996. *الحراج والمشاتل الحراجية*. منشورات جامعة حلب، كلية الزراعة، 600 صفحة.

٥. نحال، إبراهيم. 2002. *علم البيئة الحراجية*، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، منشورات جامعة حلب – كلية الزراعة. ٣٨٠ ص.

6. Ahmed, M., Zhou,J., Ngo,H. and W, Guo. (2007). *Insight in to biochar properties and its cost analysi*s. School of civil and environmental engineering. Australia.

7. Akowuah J., Kemausuor F. and Mitchual J.S.(2012). "*Physiochemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquet*tes," International Journal of Energy and Environmental Engineering, 3(20), 1-6.

8. ASTM D3127(2004*). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse – Derived Fuel by the Bomb Calorimeter*. Annual Book of ASTM Standard, 11.04. ASTM International, http//www.astm.info/standard/E71 1.htm

9. Benjamin, T,A.; Margaret A.A. and Aaron. A.A.(2011*).Charcoal Production in Gushegu District, Northern Region ,Chana: Lessons For Sustainable Forest Management* . International Journal of Environmental Sciences. 1(7),1944-1951.

10. Bridgwater, A. V. (2012*). "Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading*". Biomass and Bioenergy.

11. Contreras-Trejo, J. C., et al. (2025). *Carbonisation of Quercus spp. Wood: Temperature, Yield and Energy Characteristic*s. Processes, 13(7), 2302. https://www.mdpi.com/2227-9717/13/7/2302

12. Del Rio DDF, Lambe F, Roe J, Matin N, Makuch KE, Osborne M. (*2020). Do we need better behaved cooks? Reviewing behavioural change strategies for improving the sustainability and effectiveness of cookstove program*s. Energy Res Soc Sci. 70:101788.

13. El-Juhany, L. I. (2003). *Effect of tree age on fuelwood properties of some Acacia species grown in the Bisha area, Saudi Arabia*. Journal of King Saud University-Agricultural Sciences, 15(1), 1-12.

14. El-Juhany, L. I., Aref, I. M. and Megahed, M. M. (2003). *Properties of charcoalproduced from some endemic and exotic acacia species grown in Riyadh*, Saudi Arabia J Adv Agric Res 8(4): 695-704.

15. El-Juhany, L. I. (2006*). Effect of carbonization temperature on properties of charcoal from some hardwoods grown in Saudi Arab*ia. Journal of King Saud University-Agricultural Sciences, 18(2), 93-103.

16. F.A.O. (1985*) . Industrial Charcoal Making . Mechanical Wood Products Branch , Forest Industries Division* , FAO Forestry Department . M-37 , ISBN 92-5-102307-7 . Rome . Italy.

17. FAO.(2003*).Food and Agriculture Organization of the United Nations: Forest products.*

18. Fu, C.-H.; Lin, J.-C.; Liu, L.-C.;Wang, S.-H.; Lin, Y.-J.(2022*). A Study on Properties of Charcoal Producing from Alien Tree Species: Cinnamomum burmannii*. Forests, 13, 1412. https://doi.org/10.3390/f13091412

19. John, G. Haygreen and Jiml. Bowyer. (1982*). Forest products and wood science. An introduction, First Edition.* The Iowa state university press

20. Hibajene, S.H. and Kalumiana, O.S. (2003). *Manual for charcoal production in earth kilns in Zambia. Department of Energy*, Ministry of Energy and Water Development, Lusaka, Zambio.

21. Hindi , Sharif S. Z. (2012) . *Effect Of Wood Material And Pyrolytic Condition On Biocarbon Production . International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER*) . Vol.2, Issue.3, May-June 2012 Pp-1386-1394

22. Issac, O.F and Adetayo, O.T. (2010). Small scale biochar production technologies: a review . Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (2): 151-156. Joseph, S., et al and J. Amonette. 2010. *An investigation into the reactions of biochar in soil. Aust. J. Soil Res*. Vol.48, Pp: 501–51 5.

23. Karacan, I and Erzurumluoğlu, L.(2015).*The Effect of Carbonization Temperature on the Structure and Properties of Carbon Fibers Prepared from Poly(m-phenylene Isophthalamide) Precurso*r. Department of Textile Engineering, Erciyes University, Kayseri TR38039, Turkey. Fibers and Polymers.Vol.16, No.8, 1629-1645.

24. Lalmuankima, V. (2019). *Study on the properties of charcoal from different wood species of Mizoram*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(3), 3484-3487.

25. Menemencioglu , K (2013) . *Traditional Wood Charcoal Production Labour In Turkish Forestry (Çankırı Sample)* . Journal Of Food, Agriculture & Environment Vol.11 (2): 1136-1142.

26. Neina D, Faust S, Joergensen RG (2020). *Characterization of charcoal and firewood ash for use in African peri-urban agriculture.* Chem Biol Technol Agric 7:5. https:// doi. org/ 10. 1186/ s40538- 019- 0171-2

27. Pallavi H.V., Srikantaswamy S., Kiran B.M., Vyshnavi D.R. and Ashwin C.A.,(2013). "*Briquetting Agricultural Waste as an Energy Source,"* Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology, 2(1), 160–172.

28. Pari, L., et al. (2020*).* "Effect of moisture content on the emissions and energy efficiency of wood charcoal in domestic cooking." Renewable Energy, 147, 1059-1068.

29. Pereira , Barbara L. Corradi , Angelica De C. O. Carnerio , Ana Marcia M. L. Carvalho Jorge L. Colodette , Aylson Costa Oliveira And Mauricio P. F. Fontes (2013). *Influence Of Chemical Composition Of Eucalyptus Wood On Gravimetric Yield And Charcoal Properties . Wood Chemistry & Charcoal , Bio Resources* 8 (3) . 4574 – 4592

30. Pollnow, J. and Intern. S (2014). *Biochar Feedstock Research Using a Two-Barrel Nested Retort.* The Kerr Center for Sustainable Agriculture, 2014, 5.

31. Ruiz-Aquino F, Jiménez- Mendoza ME, Fuente-Carrasco ME, Santiago-García W, Suárez-Mota ME, Aquino-Vásquez C, Rutiaga-Quiñones JG, (2022*). Energy Properties of 22 Timber Species from Oaxaca, Mexico.* Southeast Eur for 13(2): 107-113. https://doi.org/10.15177/seefor.22-13.

32. Saikia, P., et al. (2007). *Physico-chemical characteristics of charcoal from some priority tree species of Arunachal Pradesh*. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 4(2), 55-58.

33. Sana A, Kafando B, Dramaix M, Meda N, Bouland C (2020). *Household energy choice for domestic cooking: distribution and factors influencing cooking fuel preference in Ouagadougo*u. Environ Sci Pollut Res 27:18902–18910

34. Yorgun, S., and Yildiz, D. (2015*). Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Oak Trees Using Thermogravimetric Analyser and Micro-Tubing Reactor*. International Journal of Chemical Reactor Engineering.V(13): 3. 269-280.