استعمال نواتج تقليم أشجار التفاح في صناعة الوقود الصلب

بسام العطا الله*[1] وجواد شرف[1] وصفوان أبو عساف[1] ورمال صعب[1] وعلي الهوارين[1] وسامر كيوان[1] ووسيم محسن[1] وعوض الفلاح[1]

(1). مركز بحوث السويداء، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية.

(*للمراسلة: د. بسام العطا الله، البريد الإلكتروني: bassamatalah@hotmail.com، جوال: 0997165063).

تاريخ الاستلام: 2020/8/17   تاريخ القبول: 2020/9/9

الملخص

نُفذت هذه الدراسة في محطة بحوث عرى/ مركز بحوث السويداء/ الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية/ سورية خلال عامي 2019 و2020. هدفت الدراسة الحالية إلى بيان إمكانية قولبة أسطوانات مُخصصة للتدفئة من بقايا تقليم أشجار التفاح واستعمالها كمصدر للتدفئة المنزلية، بالإضافة إلى تحديد خصائص المنتج النهائي. صُنّعت الأسطوانات من بقايا التقليم بعد فرمها وخلطها مع عدة مواد للربط (النشاء، الجبس، الغراء) بنسب مختلفة (5 و10% للجبس والغراء، 2، 5 و10% للنشاء) وكبسها بمكبس هيدروليكي، كما نُفذت عدة اختبارات هي اختبار التماسك واختبار النقل واختبار الاحتراق، واستُخدم في هذه الدراسة أساليب التحليل الاحصائي الوصفي بالإضافة إلى تحليل التباين لمقارنة المتوسطات. بينت النتائج أن المتوسط العام لوزن الأسطوانة الواحدة كان 451.25 غ، ولحجم الأسطوانة الواحدة 1741.41 سم^3. بالإضافة لذلك، كانت معاملات النشاء هي الأفضل بالنسبة لاختبار التماسك خاصةً معاملة النشاء 10% والتي سجلت درجة تماسك ممتازة. على العكس من ذلك، خسرت معاملات النشاء وزناً أكبر خلال اختبار النقل مقارنة مع المعاملات الأخرى. أما بالنسبة لاختبار الاحتراق فلم تُلاحظ فروق بين المعاملات المدروسة، فقد كان متوسط درجة الحرارة الدنيا قبل تنفيذ الاختبار 12.38 م°، بينما كان متوسط مدة الوصول إلى درجة الحرارة 18 م° حوالي 11 دقيقة، وبلغ متوسط درجة الحرارة القصوى 21.25 مْ، ومتوسط مدة نزول درجة الحرارة عن الدرجة 18 م° حوالي 29.5 دقيقة، وكان المتوسط العام لمدة الاحتراق لثلاث أسطوانات حوالي 55 دقيقة. تنصح هذه الدراسة باعتماد قولبة بقايا تقليم الأشجار المثمرة وغيرها من المخلفات الزراعية، واستعمالها كمصدر لوقود التدفئة في المنازل.

الكلمات المفتاحية: بقايا التقليم، التدفئة، أشجار التفاح، الوقود الصلب، القولبة.

المقدمة:

يفرض الاستنزاف السريع للوقود الأحفوري على الباحثين البحث عن بدائل أكثر نظافة وأكثر استدامة، خاصة تلك البدائل المتوافرة محلياً والمحتملة الاستعمال (Moulogianni and Bournari, 2017). يُعد استعمال المخلفات الزراعية (Agricultural waste) كوقود حلاً ممكناً حيث يقلل الاعتماد على الوقود التقليدي ويزيد كفاءة استعمال الطاقة، ويتميز بكلفة إجمالية أقل في إنتاج الوقود الحيوي (Pari *et al.*, 2018). يُقصد بالمخلفات الزراعية أنها جميع النواتج الثانوية من الإنتاج النباتي والحيواني والتصنيع الزراعي كالعروش والفروع والأوراق والسيقان والثمار غير المسوقة والتفل بأنواعه وفضلات الحيوان وغيرها (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2006). تُشكل نواتج التقليم من بساتين الفاكهة أحد أهم المخلفات الزراعية التي تمتلك طاقة كبيرة جداً يمكن استعمالها في التدفئة، حيث تشير التقديرات النظرية إلى أن نواتج التقليم في أوروبا تعطي حوالي 246 بيتا جول سنوياً (García-Galindo *et al.*, 2016)، كما تشكل زراعة التفاح في أوروبا 4.2% من مجمل أشجار الفاكهة (EUROSTAT, 2018)، وبهذا فهي تعطي طاقة محتملة من نواتج تقليم التفاح تقدر بـ 29 بيتا جول منها 9 بيتا جول في بولندا وحدها (Dyjakon and Mudryk, 2018). عموماً معظم هذه البقايا تضيع، حيث يتم في 90% من الحالات إخراجها خارج البستان أو حرقها في المكان (García-Galindo *et al.*, 2016). اعتماداً على ما سبق، تُعد الاستراتيجية المتمثلة في تحويل نواتج التقليم إلى طاقة (Energy) هي الأمثل في الاستفادة من نواتج التقليم، لكن ذلك يتطلب استثمار بعض المدخلات مثل الأيدي العاملة وبعض الآلات (Frackowiak *et al.*, 2016). عموماً، يوجد عدة طرائق لتطبيق الاستراتيجية السابقة منها تقطيع بقايا التقليم (Magagnotti *et al.*, 2013) أو تحويلها إلى بالات (Bales) (Dyjakon, 2018).

تُعد المخلفات الزراعية بشكلها الخام غير متجانسة الحجم والشكل، وتحتوي نسبة عالية من الرطوبة وطاقة أقل وهذا ما يجعل استعمالها بشكلها الخام كوقود (Fuel) أمراً غير مجدياً، لذلك يجب العمل على زيادة كثافة المنتج عن طريق كبسه بقوة ميكانيكية لتحويله إلى قوالب (Pellets) (Mola-Yudego *et al.*, 2014). تعد عملية القولبة (Pelletizing) تقانة جيدة للحصول على منتج ذي رطوبة أقل وكثافة أعلى وقدرة أكبر على التدفئة وشكل منتظم مقارنة مع نواتج التقليم الخام (Castellano *et al.*, 2015).

أُدخلت القوالب الخشبية كمصدر للطاقة البديلة بدايةً في الدول التي تمتلك قطاعاً غابياً كبيراً مثل السويد وأستراليا وأمريكا (Sikkema *et al.*, 2020)، وأُدخلت أيضا القوالب المصنعة من المخلفات الزراعية في أوروبا حديثاً بسبب السياسات المتبعة فيها، والتي تهدف إلى استبدال الوقود الأحفوري بالوقود البديل (الحيوي) بنسب متدرجة تصل إلى 80% بحلول عام 2050 (Ungureanu *et al.*, 2018). يُعد تصنيع القوالب الزراعية بشكل صلب (Solid) ضرورة لرفع كفاءة استخدمها في التدفئة المنزلية أو الصناعية أو توليد الكهرباء (Obi *et al.*, 2016)، بالإضافة إلى أن التعامل غير الصحيح مع المخلفات الزراعية لا يُعد خطر على البيئة وحسب، وإنما يشكل خسارة كبيرة لقيمة هذه المخلفات (Bin *et al.*, 2016).

تبلغ مساحة المحاصيل والخضار الشتوية والصيفية في سورية المروية 752386 هكتار والبعلية 2095811 هكتار، وكما تبلغ مساحة الاشجار المثمرة المروية 182759 هكتار والبعلية 863617 هكتار (وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، 2018). وبالتالي يمكن تصور الحجم الكبير من المخلفات الزراعية الناتجة، بالإضافة إلى بقايا معامل تصنيع العنب ورب البندورة ومعاصر الزيتون. لا يزال استعمال بقايا التقليم لأهداف التدفئة مطبقاً على نطاق ضيق (Romański *et al.*, 2014)، لذا هدفت هذه الدراسة إلى

استثمار بقايا تقليم أشجار التفاح في تصنيع وقود صلب (Solidified Fuel)، وتحديد خصائص المنتج النهائي الشكلية وإمكانية استعماله كرديف لوقود التدفئة.

مواد البحث وطرائقه:

موقع الدراسة والمادة النباتية

نُفذت الدراسة في محطة بحوث عرى/ مركز بحوث السويداء/ الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية/ سورية خلال الفترة 2019 و2020 حيث استُعمل في هذه الدراسة بقايا تقليم أشجار التفاح الجافة كمادة رئيسية في تصنيع أسطوانات التدفئة الصلبة.

تصنيع الأسطوانات

انطلاقاً من تعريف "نظام إدارة المخلفات الزراعية" (Agricultural waste management system) بأنه نظام مخطط يخول استعمال ما يلزم للتحكم بالمخلفات الزراعية واستعمالها بأسلوب يحافظ على استدامة الهواء والماء والتربة والنبات والحيوان، وانطلاقاً من العمليات المقترحة لتطبيق نظام إدارة المخلفات الزراعية المتمثلة بعملية إنتاج المخلفات وجمعها ثم نقلها وتخزينها أو معالجتها ثم استعمالها (USDA, 2016). تم في هذه الدراسة تطبيق العمليات السابقة عبر إنتاج بقايا التقليم من أشجار تفاح مزروعة بعمر 15 سنة في حقول مركز بحوث السويداء، ثم جُمعت بعد تجفيفها ونُقلت إلى موقع تنفيذ التجربة، ثم فُرمت باستعمال فرامة آلية (الشكل a1) إلى قطع بطول من 1–2 سم وقطر أصغر من 0.5 سم. بعد ذلك عُولجت البقايا المفرومة بخلطها بمواد ربط مختلفة (الكرتون، النشاء، الجبس، الغراء، تفل العنب، روث الحيوانات) بنسبة تراوحت من 2%–10% حتى تمام التجانس مع كمية مناسبة من الماء، ثم كُبست بمكبس هيدروليكي بقوة كبس 20 ميغا باسكال (205 كغ/ سم^2) (الشكل b1)، وتُركت لتجف تحت أشعة الشمس المباشرة مدة 72 ساعة على أرض مستوية (الشكل c1)، ثم نُقلت إلى مكان التخزين، وتُركت على درجة حرارة الغرفة لحين االاستعمال.

الشكل 1: آلتي الفرم (a) والمكبس الهيدروليكي (b) المستخدمتين في هذه الدراسة، وصورة للمنتج النهائي (c).

المعاملات المدروسة

بعد تنفيذ تجربة أولية لتحديد مواد الربط المستعملة ونسب استعمالها، تم اختيار ثلاثة مواد للربط ليتم خلطها مع بقايا التقليم المفرومة، في حين تم استبعاد مواد الكرتون وتفل العنب وروث الحيوانات لعدم كفاءتها، كما تم استعمال التصميم العشوائي التام بتطبيق سبع معاملات وهي النشاء (2، و5، و10%) والغراء (5، و10%)، والجبس (5، و10%) وكُررت ثلاث مرات، وفي كل مكرر ستة أسطوانات، وبالتالي لكل معاملة يوجد ثمان عشرة أسطوانة. بالنسبة لمعاملات النشاء، فقد استُعمل النشاء كمادة ربط

بعد طبخه بكمية مناسبة من الماء، حيث استخدم النشاء المطبوخ بعد تنفيذ التجارب الأولية التي بينت عدم جدوى استعمال النشاء غير المطبوخ، كما اختُبرت كمية الماء المضافة لطبخ النشاء تجريبياً بحيث تم الحصول على قوام عالي اللزوجة.

الاختبارات المطبقة والمؤشرات المدروسة

أُخذ الوزن الجاف لكل أسطوانة بعد التصنيع بثلاثة أيام، ثم نُقلت لمكان التخزين. وبعد شهر من التخزين سُحبت عينة عشوائية بمعدل ثلاث أسطوانات من كل مكرر ليكون حجم العينة 63 أسطوانة، ثم تم تنفيذ الاختبارات المدروسة على العينة المسحوبة (عدا اختبار التماسك فقد نُفذ على الأسطوانات كافة). نُفذ اختبار التماسك بعد ثلاثة أشهر من التخزين استناداً إلى الشكل الخارجي للمنتج ومدى تماسكه باتباع السلم التالي: تالف، جيد، جيد جدا، وممتاز، كما حُسب حجم الأسطوانات للعينة المسحوبة. أما بالنسبة لاختبار النقل (نُفذ بعد شهر من التخزين)، فقد سُجل الوزن الجاف للأسطوانات قبل عملية النقل ثم وُضعت في عربة نقل ونُقلت مسافة 10 كيلومتر ثم فُرغت من العربة، وسُجل الوزن الجاف لتحديد الفاقد خلال عملية النقل. بالنسبة لاختبار الاحتراق (Combustion) (نُفذت خلال الأسبوع الثالث من شهر 1 عام 2020)، فقد نُفذ في غرفة أبعادها 4*4*3 (طول*عرض*ارتفاع) باستعمال مدفأة حطب، واستُخدم ثلاث أسطوانات مصنعة لكل اختبار احتراق، وحُدد كل من مؤشر درجة الحرارة قبل الاحتراق باستعمال عدة موازين حرارة موزعة في أنحاء الغرفة، سرعة الاحتراق متمثلة في سرعة الوصول إلى درجة حرارة 18 م°، درجة الحرارة القصوى، مدة بقاء درجة الحرارة فوق 18 م° ومدة الاحتراق متمثلة بالفرق بين زمن بدء الاحتراق وزمن التحول الكامل للأسطوانات إلى رماد. بالإضافة لذلك، تم اختبار وجود رائحة واخزة من عدمها للمعاملات كافة.

التحليل الإحصائي

استُعمل في هذه الدراسة أساليب التحليل الاحصائي الوصفي لتحديد أهم الخصائص الوصفية لأسطوانات التدفئة المصنعة كالمتوسط الحسابي والتباين والانحراف المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى. بالإضافة لذلك، طُبق أسلوب تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-way ANOVA) لمعرفة الفروقات بين متوسطات بعض المؤشرات المدروسة اعتماداً على قيمة أقل فرق معنوي عند مستوى معنوية 1% باستعمال البرنامج الإحصائي SPSS النسخة 23.

النتائج والمناقشة

لا يستفيد مزارعو أشجار الفاكهة في سورية من منتجات التقليم في إنتاج الطاقة، كما يتم التخلص عادة من هذه المنتجات بشكل رئيسي بحرقها بعد جمعها، وهذا الأسلوب متبع في الكثير من الدول (Bilandzija *et al.*, 2012). قُدر وزن نواتج التقليم في هذه الدراسة بحوالي 5 كغ/ شجرة (متوسط 10 شجرات اختيرت عشوائياً بعمر 15 سنة)، وهذا يعني 1.25 طن/ هكتار، بينما سُجل وزن نواتج التقليم للتفاح في دراسات أخرى ما يقارب 2.34 كغ/ شجرة وهذا يساوي 5.56 طن/ هكتار (Bilandzija *et al.*, 2012)، وما يقارب 4.9 طن/ هكتار (Radojevic *et al.*, 2007.)، و1.9 طن مادة جافة/ هكتار (Magagnotti *et al.*, 2013)، و2.8 طن/ هكتار من نواتج تقليم الكرمة (Spinelli *et al.*, 2010.)، يعود اختلاف الأرقام السابقة عن الرقم المسجل في هذه الدراسة إلى اختلاف عمر الأشجار وكثافة زراعتها. آخذين بالاعتبار حجم الطاقة المتولدة من نواتج تقليم شجرة التفاح الواحدة وهو 39.92 ميغا جول على اعتبار أن كل شجرة تنتج 2.34 كغ من نواتج التقليم (Bilandzija *et al.*, 2012)، قد تنتج شجرة التفاح في دراستنا هذه ما يقارب 80 ميغا جول على اعتبار أن كل شجرة تنتج ما يقارب 5 كغ من نواتج التقليم، وبضرب هذا الرقم بعدد أشجار التفاح المثمرة فقط على مستوى سورية وهو 13070300 شجرة (المجموعة الإحصائية السنوية،

2018) ينتج 1045624000 ميغا جول، وبتقسيم الرقم الأخير على 3.6 (1 كيلو وات ساعي يقابل 3.6 ميغا جول) يصبح 292951111.1 كيلو وات ساعي (292951.1 ميغا واط ساعي) وهذا يكفي لتزويد محافظة صغيرة مثل محافظة السويداء بالكهرباء لمدة 6 سنوات.

المواصفات العامة للمنتج النهائي

اعتماداً على ما سبق، وتماشياً مع تطبيقات التكنولوجيا الملائمة (Appropriate Technology) وهي بالتعريف مجموعة التقنيات التي تطبق بسهولة وبشكل اقتصادي باستعمال المصادر المحلية من قبل المجتمعات المحلية (Pearce, 2007)، صُممت هذه الدراسة للاستفادة من نواتج تقليم أشجار التفاح في تصنيع وقود صلب رديف لوقود التدفئة. بينت نتائج التحليل الوصفي اختلاف الأوزان الجافة للأسطوانات المصنعة حسب المعاملات المدروسة، حيث بلغ المتوسط العام للأسطوانة الواحدة 471.25 غرام (متوسط 63 أسطوانة)، وبلغ الحد الأدنى للمعاملة جبس 5% والحد الأعلى للمعاملة نشاء 10% (الجدول 1).

الجدول 1: الخصائص الوصفية لأسطوانات المعاملات المدروسة بالنسبة لمؤشر الوزن الجاف (غ).

نوع المعاملة (مادة الربط)	متوسط الوزن (غ)	التباين	الانحراف المعياري	الحد الادنى	الحد الأعلى	المدى
نشاء 2%	467.74	408.74	20.22	432.5	511.67	79.17
نشاء 5%	469.83	348.63	18.67	434.17	506.67	72.5
نشاء 10%	506.56	552.95	23.51	448.33	533.33	85
غراء 5%	471.25	1901.67	43.61	415	585	170
غراء 10%	501.67	3320.23	57.62	365	570	205
جبس 5%	409.33	1913.81	43.75	305	465	160
جبس 10%	472.35	1147.24	33.87	395	520	125

عدد المكررات 3/ 3 أسطوانات لكل مكرر.

كما قُدر المتوسط العام لحجم الاسطوانات المصنعة بنحو 1741.41 سم^3، وتراوح بين 1641.49 سم^3 كحد أدنى لمعاملة الجبس 5% و1882.3 سم^3 كحد أعلى لمعاملة الغراء 5% (الجدول 2)، بينما بلغ المتوسط العام لكثافة الأسطوانات المصنعة 281.4 كغ/م^3. لم تُظهر نتائج تحليل التباين أية فروقات معنوية بين المعاملات المدروسة بالنسبة لمؤشر حجم الأسطوانة.

يختلف وزن وحجم المنتج النهائي حسب الهدف من استعماله، ففي هذه الدراسة كان الهدف هو استعمال الأسطوانات المصنعة في التدفئة فكان حجمها ووزنها مناسباً لاستعمالها في مدافئ الحطب صغيرة الحجم (الشكل c1)، بينما يمكن أن تكون على شكل بالات كبيرة (Dyjakon and Mudryk, 2018) أو تكون على شكل قوالب أكبر من المنتج في هذه الدراسة ب 3.6 مرة (Smith *et al.*, 2019)، حيث نتج هذا الرقم من تقسيم كثافة المنتج من المعاملة 100% بقايا التقليم على متوسط كثافة المنتج في هذه الدراسة 281.4 كغ/م^3.

الجدول 2: الخصائص الوصفية لأسطوانات المعاملات المدروسة بالنسبة لمؤشر الحجم (سم^3).

نوع المعاملة (مادة الربط)	المتوسط (سم^3)	التباين	الانحراف المعياري	الحد الادنى	الحد الأعلى	المدى
نشاء 2%	1754.56	4108.74	64.09	1692.46	1746.32	153.86
نشاء 5%	1731.52	2331	149.43	1538.6	2145.6	607
نشاء 10%	1692.46	12625.54	112.36	1538.6	1846.32	307.72
غراء 5%	1882.3	13313	115.38	1692.46	2119.5	427.04
غراء 10%	1765.5	46492.29	215.62	1384.74	2296.13	911.38
جبس 5%	1641.49	16006.56	126.52	1538.6	1898.03	359.43
جبس 10%	1722.05	18485.05	135.96	1538.6	1980.56	441.96

عدد المكررات 3/ 3 أسطوانات لكل مكرر.

أظهرت نتائج تحليل التباين وجود تأثير معنوي للمعاملة المدروسة على الوزن الجاف (الجدول 3). سجلت المعاملة 10% نشاء أعلى قيمة للوزن الجاف وبفروق معنوية عن باقي المعاملات عدا معاملة الغراء 10%، بينما احتلت المعاملة جبس 5% المرتبة الأخيرة وبفروق معنوية عن بقية المعاملات. قد يعود اختلاف الأوزان الجافة للأسطوانات المصنعة إلى اختلاف مادة الربط، فالجبس يجف سريعا مقارنة مع الغراء والنشاء، كما أن النشاء يحتفظ بالماء لفترة أطول، وهذا ما يفسر احتلال معاملة النشاء 10% المرتبة الأولى من حيث الوزن الجاف.

الجدول 3: نتائج تحليل التباين لمؤشر الوزن الجاف.

نوع المعاملة	نشاء 2%	نشاء 5%	نشاء 10%	غراء 5%	غراء 10%	جبس 5%	جبس 10%
متوسط الوزن الجاف (غ)	490.0^{bc}	491.67^{bc}	533.89^{a}	474.44^{cd}	517.22^{ab}	443.33^{d}	486.67^{bc}

تشير الأحرف المختلفة لوجود الفروق المعنوية على مستوى 1%، قيمة أقل فرق معنوي 33.782. عدد المكررات 3/ 3 أسطوانات لكل مكرر.

اختبارات التماسك والنقل

نُفذت اختبارات التماسك ومقاومة النقل للتحقق من جودة المنتج النهائي ومدى تحمله لظروف التخزين والنقل. سجلت المعاملات الحاوية على النشاء القيم الأعلى من عدد الأسطوانات بدرجة تماسك ممتازة (الجدول 4)، حيث كانت القيمة الأعلى لمعاملة النشاء 10%، بينما وُصفّت معظم الأسطوانات في معاملتي الغراء والجبس بدرجة تماسك جيدة. بالتوافق مع اعتماد هذه الدراسة على تنفيذ اختبار التماسك للحكم على جودة القوالب المصنعة، طُبق اختبار مقاومة التفتت على القوالب المصنعة من بعض المخلفات الزراعية ولكن باستعمال سلم جودة مختلف (Smith *et al.*, 2019).

الجدول 4: نتائج اختبار التماسك.

نوع المعاملة (مادة الربط)	التماسك			
	تالف	جيد	جيد جدا	ممتاز
نشاء 2%	1	7	4	6
نشاء 5%	3	3	6	6
نشاء 10%	2	0	1	15
غراء 5%	2	10	5	1
غراء 10%	3	9	6	0
جبس 5%	3	15	0	0
جبس 10%	1	14	3	0

عدد المكررات 3/ 6 أسطوانات لكل مكرر.

أظهرت نتائج تحليل التباين أن المعاملة نشاء 10% خسرت أكبر وزن وبفروق معنوية عن المعاملات كافة، في حين خسرت المعاملة جبس 5% أقل وزن وبفروق معنوية عن بقية المعاملات (الجدول 5). تبين هذه النتيجة استمرار معاملات النشاء في خسارة وزنها خلال عملية التخزين، وتتوافق هذه النتيجة مع الاستنتاج السابق أن معاملات النشاء لا تفقد رطوبتها بسرعة حيث سجلت هذه المعاملات القيم الأعلى في فرق الوزن بين الوزن الجاف قبل التخزين والوزن الجاف قبل النقل (الجدول 5)، وهذا يدل على ضرورة تجفيف الأسطوانات بعد التصنيع لمدة أطول قبل تخزينها. تشير الدراسات إلى أن محتوى الرطوبة للمنتج يجب ألا يزيد عن 13% لضمان التخزين لفترة أكثر من 4 شهور (Vladut *et al.*, 2010). على الرغم من أن الرطوبة الزائدة في المنتج النهائي لها تأثيراً سلبياً على تماسك المنتج وقدرته على التخزين، إلا أن الرطوبة المثالية تلعب دوراً كعامل ربط للمنتج (Graham *et al.*, 2017).

يُعد تماسك المنتج النهائي خلال التعامل معه وخلال عملية النقل هو المفتاح الرئيس لإنتاج منتج بمواصفات قياسية (Obernberger and Thek, 2010). نُفذ اختبار النقل في هذه الدراسة لمسافة 10 كيلومترات، وقد اختيرت هذه المسافة كونها مناسبة لنقل المنتج في حال تصنيعه في الأرياف من المصنع إلى مكان االاستعمال. بينت نتائج تحليل التباين لفرق الوزن قبل وبعد النقل وجود فروق معنوية بين المعاملات، حيث سُجل أكبر فرق للمعاملة نشاء 5% بفروق معنوية عن المعاملات نشاء 2%، غراء 5%، غراء 10% وجبس 10% بينما سُجل أقل فرق للمعاملة غراء 5% وبفروق معنوية عن المعاملتين نشاء 5% ونشاء 10%، على الرغم من خسارة المعاملتين نشاء 5% ونشاء 10% الوزن الأكبر بين المعاملات المدروسة إلا أن هاتين المعاملتين أظهرتا أفضل درجة تماسك بعد التخزين بثلاثة أشهر (الجدول 4). اعتماداً على ما سبق، يُنصح باستعمال النشاء المطبوخ كمادة ربط عند قولبة نواتج التقليم.

لم تُلاحظ في هذه الدراسة نمو أية عفون على الأسطوانات كافة مما يدل على محتواها المائي المناسب، حيث يطيل محتوى الماء المنخفض للقوالب المصنعة من فترة تخزينها، بينما يسبب المحتوى المائي المرتفع نمو العفون (Ishii K and Furuichi, 2014).

الجدول 5: نتائج تحليل التباين لفرق الأوزان (غ) في اختبار النقل.

نوع المعاملة	نشاء 2%	نشاء 5%	نشاء 10%	غراء 5%	غراء 10%	جبس 5%	جبس 10%
الوزن الجاف قبل النقل	446.11	449.44	478.11	447.22	485.00	426.67	456.67
فرق الوزن*	43.89 b	42.22 b	55.78 a	27.22 c	32.22 c	16.67 d	30.00 c
الوزن الجاف بعد النقل	443.33	442.22	472.22	445.00	481.11	421.67	453.11
فرق الوزن**	2.78c	7.22a	5.89ab	2.22 c	3.89bc	5.00abc	3.56bc

*: يمثل الفرق بين الوزن الجاف قبل التخزين والوزن الجاف قبل عملية النقل، قيمة أقل فرق معنوي 8.76. **: يمثل الفرق بين الوزن الجاف قبل وبعد النقل، قيمة أقل فرق معنوي 2.885.

تشير الأحرف المختلفة لوجود فروق معنوية على مستوى 1%. قُدرت الأوزان بالغرام. عدد المكررات 3/ 3 أسطوانات لكل مكرر.

اختبار الاحتراق

تُؤلف الكتلة الحية (Biomass) للنبات مواداً تُنتج عبر عملية التمثيل الضوئي، وتكون هذه المواد غنية بالكربون مما يجعلها تنتج طاقة إما بالاحتراق أو باستعمال بعض العمليات الكيميائية (Bridgwater, 2012)، كما أن اختبار الاحتراق لتحديد القيمة الحرارية للمنتج النهائي يُعد من المعايير المهمة المنصوح فيها (Garcia–Maraver *et al.*, 2011).

نُفذت اختبارات الاحتراق بهدف تحديد قدرة الأسطوانات على الاحتراق وملائمتها لالاستعمال داخل المنازل. أظهرت النتائج أن متوسط درجة الحرارة الدنيا قبل البدء بتنفيذ اختبار الاحتراق كان 12.38 م°، بينما كان متوسط مدة الوصول إلى درجة الحرارة 18 م° حوالي 11 دقيقة مما يدل على سرعة اشتعال الأسطوانات المستعملة، في حين بلغ متوسط درجة الحرارة القصوى 21.25 م°، كما بلغ متوسط مدة نزول درجة الحرارة عن الدرجة 18 م° حوالي 29.5 دقيقة. بالإضافة لذلك، بينت النتائج أن المتوسط العام لمدة الاحتراق كانت حوالي 55 دقيقة، كما أظهرت النتائج عدم وجود رائحة غريبة أو واخزة بالنسبة للمعاملات كافة، كما أن كمية الرماد الناتجة عن االاستعمال كانت بسيطة، وهذا ما يشجع استعمال الأسطوانات للتدفئة داخل المنازل. لم تُلاحظ أية فروق في مؤشرات الاحتراق المدروسة بين المعاملات المدروسة، وهذا يدل على أنه لا يوجد تأثير لمادة الربط المستخدمة. إذا أُخذ بالاعتبار أن زمن نزول درجة الحرارة عن الدرجة 18 م° كان 29.5 دقيقة لكل 3 أسطوانات مستخدمة (بوزن حوالي 1.5 كغ)، وإذا فرضنا

أن عدد ساعات استعمال المدفئة في المنازل وسطياً 12 ساعة في اليوم، يكون االاستعمال اليومي من أسطوانات التدفئة حوالي 36 كغ، وبهذا يمكن لـ 1 طن من الأسطوانات المصنعة من بقايا التقليم أن يستمر استعماله مدة 27 يوماً على الأقل.

يُعد نظام القولبة المطبق في هذه الدراسة تقانة فعالة لتطبيقات التكنولوجيا الملائمة للاستفادة من نواتج التقليم وغيرها من المخلفات الزراعية في التدفئة، حيث طُبقت هذه التقانة بأسلوب بسيط وبإمكانيات بسيطة متوافرة لدى الجميع (يمكن توفير الآلات اللازمة عن طريق الجمعيات الفلاحية مثلاً) مما يبين الأهمية الاقتصادية لها من خلال توفيرها مصدراً رديفاً للتدفئة، ومن خلال توفير فرص عمل جديدة خاصة أن المخلفات الزراعية تُنتج على مدار العام، بالإضافة لذلك يقلل تطبيق هذه التقانة من الضرر البيئي الناتج عن طريقة الحرق التقليدية للتخلص من نواتج التقليم، علماً بأن بعض الدول تمنع بالقانون حرق بقايا التقليم في الحقل مثل إيطاليا (Amirante *et al.*, 2016)، كما أن هذه البقايا قد تكون بيئة خصبة للمسببات المرضية في حال تركها بالحقول، فضلاً عن ذلك، يبرز الأثر البيئي أيضاً في الحفاظ على الثروة الحراجية عن طريق تقليل التعدي عليها بسبب توفر البدائل للتدفئة المنزلية. أخيراً، يمكن أن تطبق تقانة القولبة على نطاق أوسع ليشمل المخلفات الزراعية كافة، كما يمكن استعمال الوقود الصلب الناتج في المجالات الصناعية أو في مجال إنتاج الكهرباء.

الاستنتاجات

1. يُعد الاستفادة من بقايا التقليم أمراً ملحاً ومفيداً للحفاظ على البيئة، ولاستعمالها في التدفئة.
2. أظهرت معاملات النشاء أفضل درجة تماسك بين المعاملات المدروسة.
3. بينت تجارب الاحتراق إمكانية استعمال الأسطوانات المصنعة من بقايا التقليم في التدفئة المنزلية نظراً لعدم ملاحظة أية رائحة واخزة.

التوصيات

1. اعتماد النسبة مادة النشاء كمادة ربط عند استعمال نواتج التقليم في القولبة.
2. تجفيف القوالب بعد التصنيع لمدة كافية قبل التخزين.
3. اعتماد نظام القولبة للاستفادة من نواتج تقليم الأشجار المثمرة وغيرها من المخلفات الزراعية في إنتاج وقود صلب.

المراجع

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (2006). دراسة تدوير المخلفات الزراعية للاستعمالات الصناعية والمنزلية في الدول العربية، جامعة الدول العربية، الخرطوم، السودان.

وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي (2018). قسم الإحصاء، مديرية الإحصاء والتعاون الدولي، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سورية.

Amirante, R.; M. L. Clodoveo; E. Distaso; F. Ruggiero; and P. Tamburrano (2016). A tri-generation plant fuelled with Olive tree pruning residues in Apulia: An energetic and economic analysis. Renewable Energy. 89: 411-421.

Ana, K.; de.G. Smith; S. Letícia; A.D. Luciano; D. A.S.Varanda; R.O. Luis; and F.M. Yamaji (2019). Production and evaluation of briquettes from urban pruning residue and sugarcane bagasse. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 23 (2): 138-143.

Bilandzija, N.; N. Voca; T. Kricka; A. Matin; and V. Jurisic (2012). Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. Spanish Journal of Agricultural Research. 10 (2): 292-298.

Bin, W.; F. dong; M. Chen; J. Zhu; J. Tan; X. Fu; Y. Wang; and S, chen (2016). Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: Based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism. The Tenth International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT). Procedia Environmental Sciences. 31: 12-17.

Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass Bioenergy. 38: 68-94.

Castellano, J.; M. Gomez; M. Fernandez; L.S. Esteban; and J.E. Carrasco (2015). Study on the effects of raw materials composition and pelletization conditions on the quality and properties of pellets obtained from different woody and non woody biomasses. Fuel. 139: 629-635.

Dyjakon, A. (2018). Harvesting and baling of pruned biomass in apple orchards for energy production. Energies11: 1680; doi:10.3390/en11071680

Dyjakon, A.; and K. Mudryk (2018). Energetic potential of apple orchards in europe in terms of mechanized harvesting of pruning residues. In renewable energy sources: engineering, technology, innovation; Mudryk, K. and Werle, S. (Eds). Springer: Cham, Switzerland. Pp 593–602.

EUROSTAT (2010). Regional statistics by NUTs classification of Eurostat. Data on regional agriculture statistics. “Structure of Agricultural Holdings” Dataset. Data for Year 2010; EUROSTAT: Luxembourg, 2016; Available online: http://ec.europa.eu/eurostat/web/regions/ data/data base (accessed on 20 February 2018).

Frackowiak, P.; F. Adamczyk; G. Wachalski; M. Szaroleta; A. Dyjakon; L, Pari; and A. A Suardi (2016). Prototype machine for harvesting and baling of pruning residues in orchards: First test on apple orchard (*Malus mill*.) in Poland. J. Res. Appl. Agric. Eng. 61: 88–93.

García-Galindo, D.; D. F. Cay Villa-Ceballos; L. Vila-Villarroel; E. Pueyo; and F. Sebastian (2016). Seeking for ratios and correlations from field data for improving biomass assessments for agricultural pruning in Europe method and results. In Proceedings of the 24th European Biomass Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands. Pp 214–232.

Garcia-Maraver, A.; V. Popov; and M. A. Zamorano (2011). Review of European standards for pellet quality. Renewable Energy. 36: 3537-3540.

Graham, S.; C. Eastwick; C. Snape; and W. Quick (2017). Mechanical degradation of biomass wood pellets during long term stockpile storage. Fuel Processing Technology.160: 143-151.

Ishii, K.; and T. Furuichi (2014). Influence of moisture content, particle size and forming temperature on productivity and quality of rice straw pellets. Waste Management. 34: 2621-2626.

Magagnotti, N.; L. Pari; G. Picchi; and R. Spinelli (2013). Technology alternatives for tapping the pruning residue resource. Bioresour. Technol.128: 697–702.

Mola-Yudego, B.; M, Selkimäki; and J. R. González-Olabarria (2014). Spatial analysis of the wood pellet production for energy in Europe. Renewable Energy. 63: 76-83.

Moulogianni, C.; and T. Bournaris (2017). Biomass production from crops residues: ranking of agro-energy regions. Energies. 10: 1061.

Obernberger, I.; and G. Thek (2010). Pellet Production and Logistics. Pellet Handb, 1st ed.; Earthscan Ltd.: London, UK. Pp 85–129.
Obi, F. O; B. O. Ugwuishiwu; and J. N. Nwakaire (2016) Agricultural waste concept, generation, utilization and management. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH). 35 (4): 957-964.
Pari, L.; A. Suardi; L. Longo; M. Carnevale; F. Gallucci; and L. Jatropha (2018). Pruning residues for energy: characteristics of an untapped by-product. Energies. 11: 1622.
Pearce, J. M (2007). Teaching physics using appropriate technology projects. The Physics Teacher. 45: 164-167.
Radojevic, R.; M. Zivkovic; M. Urosevi; and D. Radivojevic (2007). Technological and technical aspects of using pruning residues of fruit trees and grapevine. J Agric Technic Energy Agric. 11: 32-36.
Romański, L.; A. Dyjakon; F. Adamczyk; and P. Frąckowiak (2014). Problems with deriving the fruit tree pruned biomass for energy use. Agricultural Engineering. 3 (151): 157 -167.
Sikkema, K.; M. Steiner; M. Junginger; W. Hiegl; M. Hansen; and A. Faaij (2011). The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020. Biofuels Bioprod. Biorefin. 5: 250-278.
Spinelli, R.; N. Magagnotti; and C. Nati (2010). Harvesting vineyard-pruning residues for energy use. Biomass Bioenerg. 115: 316-322.
Ungureanu, N.; V. Valentin; V. Gheorghe; D. Mirela-Nicoleta; and Z. Bianca-Ștefania (2018). Influence of biomass moisture content on pellet properties- review. 10.22616/ERDev2018.17.N449.
USDA. Agricultural waste management field handbook (2016). United States Department of Agriculture, Soil conservation Service. http://www.info.usda.gov/ viewerFS. aspx?hid=21430.
Vladut, V.; M. Chitoiu; A. Danciu; M. Militaru; and C. Lehr (2010). The importance of humidity on agricultural and forestry biomass in the process of pellets and agri-pellets production. Bulletin USAMV Agriculture. 67: 292-300.

Using the Pruning Residues of Apple Trees in Solid Fuel Industry

Bassam Al Atalah*(1), Jwad Sharaf (1), Safwan Abu Assaf (1), Remal Saab (1), Ali Alhwarin (1), Samer Kiwan(1), Wassim Mohsen (1)and Awad Alflah (1)

(1). Sweida Research Center/ General Commission for Scientific Agricultural Research (GCSAR)/ Syria.

Abstract

This study was conducted at Ira Research Station/ Sweida Research Center/ General Commission for Scientific Agricultural Research/ Syria during 2019 and 2020. The aim of the current study was determining the possibility of pelletizing heating cylinders from the pruning residues of apple trees, and using them as a source of heating at houses, in addition to determining the properties of the final product. Cylinders were prepared starting from pruning residues after they were cut and mixed with several bond materials (starch, gypsum, glue) at different ratios (5 and 10% for gypsum and glue, 2, 5 and 10% for starch), and finally they were compressed by a hydraulic compressing machine. In addition, several tests

were conducted, including compaction, transportation and combustion tests. Statistical descriptive analytical approach was used in this study, in addition to ANOVA analysis to compare means. The results revealed that the general mean for the weight of one cylinder was 471.25 g, and for the size was 1741.41 cm^3. In addition, starch treatments were the best for the compaction test, especially 10% starch treatment that registered as an excellent compaction degree. On the contrary, starch treatments lost the greatest weight after transportation test compared to other treatments. As for combustion test, no differences were noticed among all treatments. In general, the mean temperature before starting the combustion test was registered as 12.38 °C, whereas the mean time for reaching 18° C was 11 min, and the maximum temperature reached was 21.25° C. The mean time of dropping the temperature below 18° C was 29.5 min, and the general mean for combustion duration of three cylinders was 55 min. This study recommended pelletizing the pruning residues of fruit trees and other agricultural wastes, and using the resultant product as a heating source at houses.

Keywords: Pruning residues, Heating, Apple trees, Solid fuel, Pelletizing.