

دراسة خواص المواد الخام لخلطات البلاط السيراميكي وتأثير الفونولايت على مقاومة الكسر

¹ سالم علي قراب، ¹ محمد علي بلعم، ¹ صهيب محمد البرتولي، ¹ أنس ناجي أبوليفة

sgarrab@eng.misuratau.edu.ly; Mohamed.ballem@eng.misuratau.edu.ly; bartddn@gmail.com

¹ قسم هندسة وعلوم المواد، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، ليبيا

الملخص

يتضمن هذا البحث دراسة المواد الخام (التربة الحمراء، التربة الخضراء، الكاولين، الرمل، الفونولايت، الحجر الجيري، والدولوميت) والمستعملة في إنتاج البلاط السيراميكي في المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء ليبيا. شملت الدراسة أيضاً تأثير تغيير النسبة الوزنية لمكون الفونولايت على مقاومة الكسر للبلاط السيراميكي الأرضي. تم إجراء بعض الاختبارات الفيزيائية على المواد الخام تضمنت اختبار الانكماش، اختبار الفقد الحراري، اختبار امتصاص الماء، كما شملت الدراسة إجراء اختبار مقاومة الكسر لعدد ثلاث عينات مخبرية. الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية أجريت بالاستفادة من الإمكانيات المتوفرة بمختبر المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن أعلى نسبة للانكماش كانت لمادة الفونولايت وأقل نسبة للانكماش للرمل، بينما سجلت أعلى قيمة فقد حراري وكذلك أعلى نسبة امتصاص لمادة الحجر الجيري، بينما أعلى قيمة لمقاومة الكسر سجلت لمادة الفونولايت. نتائج اختبار مقاومة الكسر أوضحت أن زيادة نسبة مادة الفونولايت في تركيبة البلاط الأرضي تزيد من مقاومته للكسر.

كلمات مفتاحية: السيراميك الأرضي؛ الفونولايت؛ الخواص الفيزيائية؛ الخواص الميكانيكية؛ مقاومة الكسر.

1 مقدمة

السيراميك مادة غير عضوية وغير معدنية ممكن أن تحتوي على تكوين بلوري أو شبه بلوري. ويتكون السيراميك إما من كتلة منصهرة والتي تتحول لصلب عند التبريد (تتشكل وتتكون تحت تأثير الحرارة)، أو يصنع كيميائياً في درجات حرارة منخفضة. تاريخياً تنحدر كلمة سيراميك من الكلمة الإغريقية كيراميكوس Keramikos ومعناها صانع الفخار [1, 2]، وتتكون المواد الصلصالية بصورة عامة من تحلل الصخور النارية مثل الجرانيت (صخور صلبة قوية التحمل

ومفيدة في إنشاء المباني، يمكن صقله حتى يصير أملس مما يجعله صالحاً لبناء الأعمدة) ويتكون من تجمد المواد المنصهرة من باطن الأرض، والتي تتكون من نسب متساوية من عنصر الميكا (صيغته الكيميائية أكثر تعقيداً) والبوتاسيوم ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) والكوارتز (SiO_2) والفلدسبار البوتاسيومي ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)، حيث يعتبر الفلدسبار أقل هذه المركبات ثباتاً عندما يتعرض للماء والهواء بعد فترات زمنية طويلة يتحلل الفلدسبار ويذوب (K_2O) وجزء من السيلسكا أما الباقي فيتحد مع الماء مكوناً الكاولينيت [1, 3]. إن لتقدم العلم والتكنولوجيا الأثر الكبير في تطوير المنتجات السيراميكية ومن أسباب انتشار هذه الصناعة في كثير من دول العالم هي النواحي الجمالية والصناعية لهذه المواد وأيضاً توفر مصادرها الأولية في أغلب دول العالم، وقد ازداد الطلب على المنتجات السيراميكية لسهولة تصنيعها وخواصها العالية، فضلاً عن قلة تكلفة البعض منها، وتختلف المنتجات السيراميكية حسب استخداماتها الشائعة حيث تشمل الطوب الحراري العادي والخفيف، وأنابيب صرف المياه، والبلاط بأنواعه، وصناعة الزجاج والأسمنت، وصناعة المواد الحاكة والحراريات، كذلك فإن الخواص الخاصة للمواد السيراميكية مثل خاصية العزل الحراري، والعزل الكهربائي تجعلها ملائمة للعديد من المهام التي تغفل فيها المعادن والبوليمرات في مجال الهندسة الكهربائية، الهندسة الميكانيكية، والهندسة الكيميائية [4]. وتستخدم المواد السيراميكية كذلك في بناء أحواض إنتاج الأحماض نظراً لخمولها الكيميائي ومقاومتها لتأثير الأحماض والقلويات، كذلك استخدمت في صناعة الأجزاء المعوضة للعظام وفي ترميم الأسنان وبسبب خواصها الميكانيكية والفيزيائية المميزة [5, 6]. تصنف المواد السيراميكية بصورة عامة إلى: السيراميك التقليدي (Traditional Ceramics) والسيراميك الهندسي (Advanced Ceramics)، السيراميك التقليدي يتميز بأن معظمه سليكات والتركيب الدقيق له مسامي ويكون خشناً نوعاً ما وغير منتظم ومتعدد الأطوار وهو يصنع عادةً من مزج الأطنان مع الفلدسبار وتليدهُ وترجيجهُ وهو يشمل منتجات الطين (Clay Products) وغيرها من المواد؛ أما السيراميك المتقدم أو الحديث، فيشير إلى المواد السيراميكية المنتجة بتقنيات صناعية متقدمة وهو يتميز بالثقاوة العالية، والحجم الدقائقي الصغير، وتوزيع حجمي ضيق، والتركيب الدقيق له أكثر تجانساً وأقل مسامية من السيراميك التقليدي ويمكن أن يكون بالكامل زجاجي أو بلوري تماماً، أو يكون مزيج ما بين الزجاجي والبلوري وهو يتضمن الكاربيدات والنتريدات والبوريدات والاكسيدات والفرايت

وغيرها من المواد [7, 8]. حيث أن السيراميكات التقليدية ضعيفة بسبب احتواءها على المسامات والشقوق بالإضافة إلى معامل مرونة صغير بسبب نسبة الأطوار الزجاجية (glassy phases)، لذلك السيراميك الهندسي طور جوانب الضعف من خلال الحصول على سيراميكات ذات كثافة تامة مع القليل جداً من الشقوق ومعامل مرونة عالٍ. في بعض الأحيان يطلق مصطلح السيراميك المتقدم (advanced ceramics) على المنتجات السيراميكية المستخدمة في التطبيقات المهمة مثل الكهربائية، المغناطيسية، الضوئية، الكيميائية، الحرارية، الميكانيكية، البيولوجية، والنووية [9, 10]. وبتزايد الطلب على بلاط السيراميك يوماً بعد يوم أصبح الباحثون مهتمين بتطوير بلاط مرشح ذو قوة ميكانيكية ملائمة للاستخدامات المنزلية وكذلك لأغراض الديكور، حيث يتم إنتاج بلاط السيراميك عن طريق حرق المواد الخام مثل الرمل والطين والفلسبار في درجات حرارة عالية. يصنف بلاط السيراميك إلى مجموعتين كبلاط الجدران والأرضيات، حيث تلعب كمية ونوعية الطين الذي يحتوي عليه الجسم دوراً رئيسياً في الخصائص النهائية للمواد، بحيث يعطي الطين اللدونة لمزيج السيراميك؛ أما الكوارتز (الرمل) (SiO_2) فيحافظ على شكل المادة المشكلة أثناء إطلاق النار؛ والفلسبار بمثابة معامل للتدفق (flux) ويمكن التعديل في الخواص الحرارية والعزلية والميكانيكية للمنتجات من خلال تغيير نسب المكونات الثلاثة الرئيسية [11]. ونظراً لتوفر الخامات اللازمة لصناعة مواد البناء في بلادنا ليبيا تم إنشاء مصنع لصناعة بلاط السيراميك ومواد البناء (شركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء) بمنطقة الكراريم في مدينة مصراتة التي تتوسط شمال ليبيا على شاطئ المتوسط نظراً لقرب هذه المنطقة من الميناء التجاري المجهز بأرصفتها الرسو والشحن والمناولة لغرض التصدير، وأيضاً لقربها من خط الغاز الطبيعي الممتد من البريقة حتى مليتة. يهدف هذا البحث إلى التعرف على المواد الخام الداخلة في صناعة البلاط السيراميكي ودراسة خصائص كل مكون على حدى وذلك بإجراء أهم الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية، وكذلك تضمن البحث دراسة تأثير تغيير نسبة الفونولايت على مقاومة الكسر للبلاط المنتج.

2 الجانب العملي:

تضمن هذا الجزء دراسة مراحل تحضير العينات المخبرية للبلاط، وإجراء الاختبارات المخبرية على المواد الخام لصناعة البلاط السيراميكي وذلك لمعرفة خصائصها، شملت هذه المواد التربة الحمراء، التربة الخضراء، الكاولين، الرمل، الفونوليت، الحجر الجيري، والدولوميت. وتم دراسة تأثير إضافة

الفونوليت بنسب مختلفة على مقاومة الكسر للبلاط الأرضي وتم إجراء جميع الاختبارات في مختبر شركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء، واستخدمت عدة أجهزة من أهمها: ميزان إلكتروني، الطاحونة المخبرية، المكبس، فرن المصنع، وجهاز قياس مقاومة الكسر وذلك على النحو الموضح في الفقرات التالية.

2-1 تحضير عينات البلاط المخبري:

2-1-1 تحضير عينات المواد الخام:

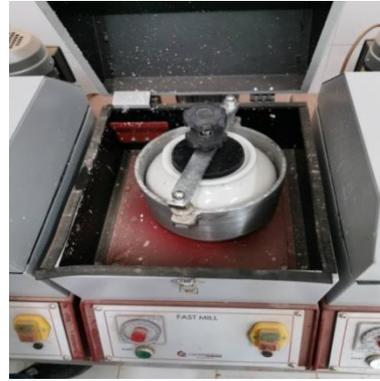
تم في هذه المرحلة تحضير عينات البلاط من المواد الخام وذلك باستخدام وزن ثابت مقداره 400 جم من المادة الخام لكل عينة وإضافة نسبة 60% من الماء لها مع إضافة مفك كيميائي إلى الوعاء المخبري، وذلك حسب التسلسل التالي.

أ- الطحن الرطب

بعد الانتهاء من عملية الوزن وإضافة الماء والمفك يتم وضع العينات كل على حدى في الطاحونة المخبرية والموضحة بالشكل 1(أ)، ويتم الطحن لمدة 25 دقيقة باستخدام جرة تحتوي على كرات تعمل على طحن وخط المواد للحصول على عجينة سائلة القوام كما هو موضح بالشكل 1(ب).



(ب)



(أ)

شكل 1: (أ) الطاحونة المخبرية المستعملة في عملية الطحن، (ب) العجينة المتحصل عليها

ب- تجفيف العجين بعد الطحن

بعد الحصول على العجينة السائلة، توضع في المجفف عند درجة حرارة 120 درجة مئوية لمدة 24 ساعة كما يظهر بالشكل 2 وذلك لامتصاص معظم الماء من العجين.



شكل 2: العجينة داخل فرن التجفيف

ج- الطحن الجاف

عند الانتهاء من عملية التجفيف يتم طحن العجين الجاف يدوياً كما هو موضح بالشكل 3 (أ) ويضاف ماء بنسبة من (4 إلى 6)% وذلك لتسهيل عملية الكبس، ثم غربلة الناتج للحصول على مسحوق ناعم جداً كما هو موضح بالشكل 3 (ب).



(ب)

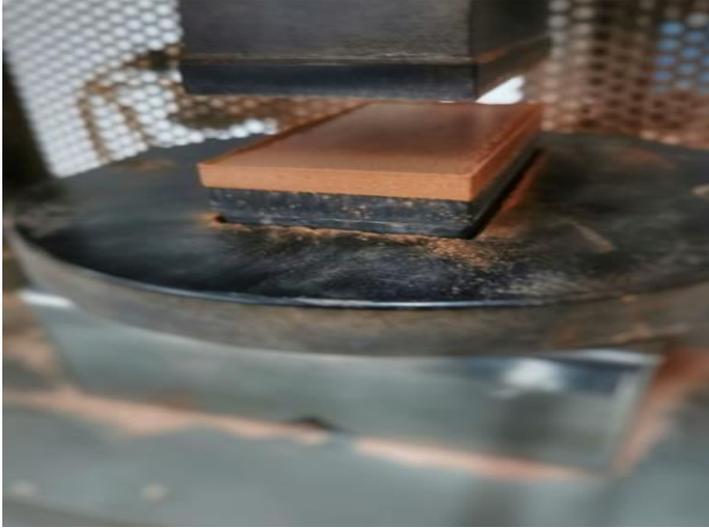


(أ)

شكل 3: (أ) عملية الطحن اليدوي الجاف، (ب) غربلة المسحوق

د- كبس المسحوق

بعد أن تم الحصول على المسحوق الناعم من عملية الطحن الجاف والغربلة يتم وزن 100 جم من المسحوق ثم توضع في قالب الكبس وتكبس بواسطة جهاز الكبس، تصل قوة الكبس إلى 100 بار للحصول على الشكل المطلوب بمقاس (110×50 ملليمتر) كما هو موضح بالشكل 4.



(ب)



(أ)

شكل 4: (أ) المكبس الهيدروليكي المستعمل في عملية الكبس، (ب) المسحوق بعد الكبس

هـ- تجفيف البلاط الخام

بعد عملية الكبس توضع العينات المكبوسة في المجفف لمدة ساعة عند درجة حرارة 120 درجة مئوية وعند الانتهاء من عملية التجفيف يتم استخدام آلة قياس الأبعاد (القدمة ذات الورنية) لأخذ أبعاد العينة لحساب الانكماش وكذلك يتم وزن العينة لحساب الفقد الحراري

و- الحرق

هذه هي الخطوة الأخيرة وفيها يتم وضع العينات في الفرن عند درجة حرارة ما بين (1100-1200) درجة مئوية مع دورة مدتها 47 دقيقة تمر خلالها العينات على ثلاث مراحل داخل الفرن، بداية بالتجهيز ثم الحرق وأخيراً التبريد، وعند خروج العينات من الفرن يتم أخذ أبعاد ووزن العينات من جديد وذلك لحساب الانكماش والفقد الحراري، والشكل 5 يوضح العينات قبل إدخالها إلى فرن الحرق.



شكل 5 عينات البلاط المصنعة من المواد الخام قبل إدخالها إلى فرن الحرق

2-1-2 تحضير عينات الفونولايت:

لدراسة تأثير تغيير نسبة الفونولايت على مقاومة الكسر للبلاط السيراميكي، تم تحضير ثلاث عينات مخبرية من المكونات الأساسية للبلاط الأرضي (التربة الحمراء، التربة الخضراء، الكاولين، الفونولايت، الرمل، بالإضافة إلى الماء والمفكك)؛ مع ملاحظة أن العينة الأولى منها لا تحتوي على الفونولايت (نسبة الفونولايت 0%)، والعينة الثانية كانت نسبة الفونولايت فيها 10%، والعينة الثالثة كانت نسبة الفونولايت 20%، وتم تحضير هذه العينات باتباع نفس الخطوات المذكورة في الفقرة 1-1-2.

2-2 الاختبارات المعملية:

تم إجراء الاختبارات وفقاً للمواصفات المتبعة في شركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء، والتي تستند إلى المواصفات المعتمدة عالمياً وشملت هذه الاختبارات:

2-2-1 اختبار الانكماش

تم إجراء اختبار الانكماش طبقاً للمواصفة ASTM C326 حيث تم أخذ القياسات للعينات قبل دخولها لفرن الحرق وبعد خروجها منه وذلك لحساب النسبة المئوية للانكماش حسب العلاقة:

$$\frac{D_3 - D_4}{D_3} \times 100$$

حيث: D_3 طول العينة قبل الحرق، D_4 طول العينة بعد الحرق

2-2-2 اختبار الفقد الحراري

تم إجراء اختبار الفقد الحراري طبقاً للمواصفة ISO 10545 فبعد الانتهاء من مرحلة التجفيف للعينات المخبرية يتم وزن العينات قبل إدخالها لفرن الحرق وبعد خروجها منه، ويتم حساب النسبة المئوية للفقد الحراري من العلاقة:

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

m_1 الوزن قبل الحرق، m_2 الوزن بعد الحرق

2-2-3 اختبار الامتصاص

تم إجراء اختبار الانكماش طبقاً للمواصفة ASTM C373 فبعد خروج العينات من الفرن يتم وزن العينات ثم توضع في وعاء مفتوح من الأعلى يحتوي على ماء ويتم غمرها فيه لمدة 24 ساعة،

ثم يتم إخراج العينات ووزنها للحصول على الفرق الوزني وبالتالي حساب الامتصاص من خلال العلاقة :

$$\frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100$$

m_3 الوزن بعد الحرق، m_4 الوزن بعد الغمر في الماء

2-2-4 اختبار مقاومة الكسر

تم استعمال اختبار الثلاثي النقاط طبقاً للمواصفة ASTM C648 وذلك لحساب لحساب مقاومة الكسر لعينات البلاط حيث توضع العينة بين الدعامتين بحيث يكون الجزء الممتد خارج الدعامات بمقدار سدس طول العينة من كل جانب، وتكون المسافة بين الدعامتين مساوية لثلاثي طول العينة، ويكون وجه البلاطة للأعلى؛ يبدأ التحميل ويستمر حتى تنكسر العينة ويتم تسجيل مقاومة الكسر التي تعرض على شاشة جهاز الاختبار المستعمل والذي هو من نوع (FLEXI 2000, Gabbrielli Technology)، والشكل 6 يوضح أحد العينات أثناء الاختبار.



شكل 6 يوضح أحد عينات البلاط السيراميكي أثناء إجراء الاختبار

3 النتائج والمناقشة:

الجدول 1 يعرض القراءات التي تم تسجيلها والنتائج المتحصل عليها من اختبارات المواد الخام، والتي سيتم توضيحها ومناقشتها في الفقرات التالية.

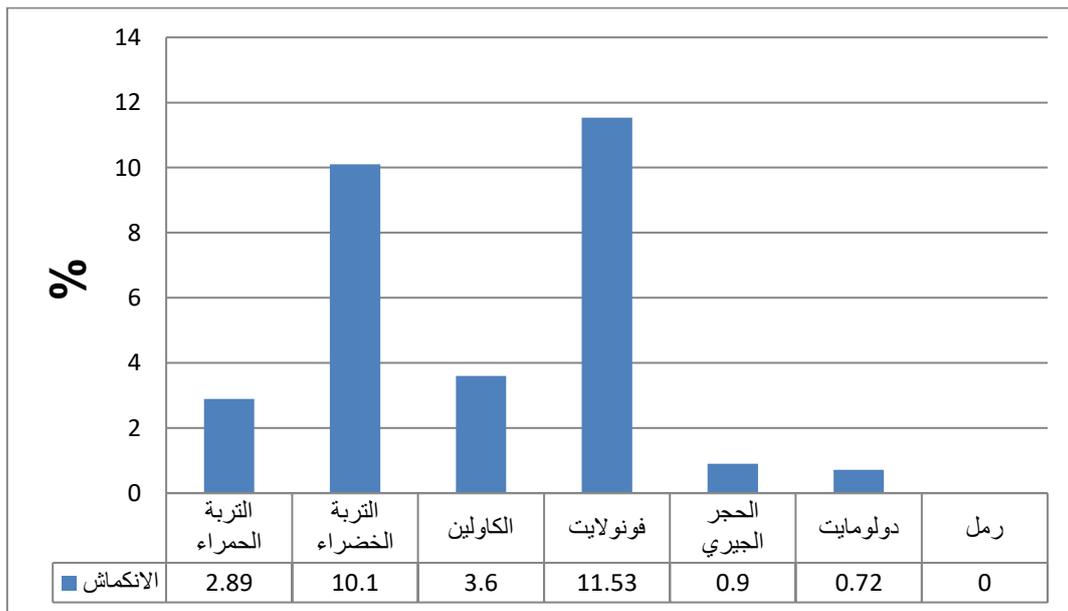
جدول 1 نتائج اختبارات المواد الخام

مقاومة الكسر (N/mm ²)	الامتصاص (%)	m_4 (g)	m_3 (g)	الفقد الحراري (%)	m_2 (g)	m_1 (g)	الانكماش (%)	D_4 (mm)	D_3 (mm)	الخام
--------------------------------------	--------------	--------------	--------------	-------------------	--------------	--------------	--------------	---------------	---------------	-------

10	3.43	90	87.01	4.27	87.01	90.9	7.96	101.7	110.5	التربة الحمراء
7	8.33	97.5	90	5.55	85	90	10.10	99.6	110.8	التربة الخضراء
5	12.64	98	87	8.42	87	95	3.60	107	111	الكاولين
35	0.00	86	86	8.51	86	94	11.55	98	110.8	الفونوليت
0.5	25.00	75	60	35.48	60	93	0.90	110	111	الحجر الجيري
0.4	7.93	68	63	30.00	63	90	0.72	110.2	111	الدولوميت
2	0.00	92.7	92.7	3.43	92.7	96	0.00	111	111	الرمل

3-1 نتائج اختبار الانكماش للمواد الخام:

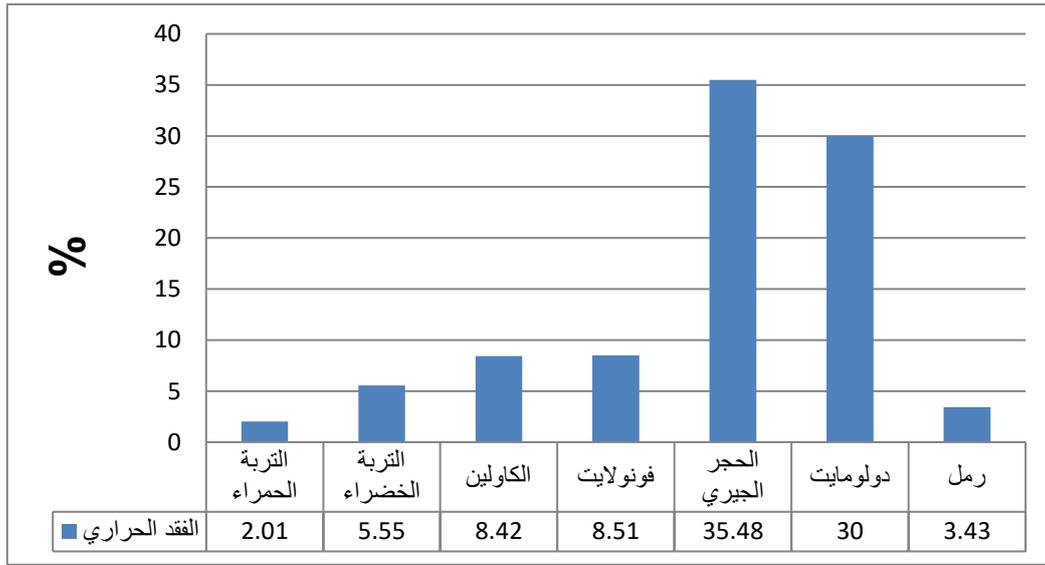
بعد حرق عينات البلاط للمواد الخام عند درجة حرارة 1160 درجة مئوية في الفرن يتضح التفاوت في نسب الانكماش لهذه الخامات، ويلاحظ أن الفونوليت له القيمة الأكبر للانكماش وعكسه الرمل مما يجعل هذين المكونين الاثنتين من أهم المكونات المؤثرة في التحكم في أبعاد البلاط وذلك باختلاف نسبتها في التركيبة كما هو موضح بالشكل 7.



شكل 7 نتائج الانكماش للمواد الخام

2-3 نتائج اختبار الفقد الحراري للمواد الخام:

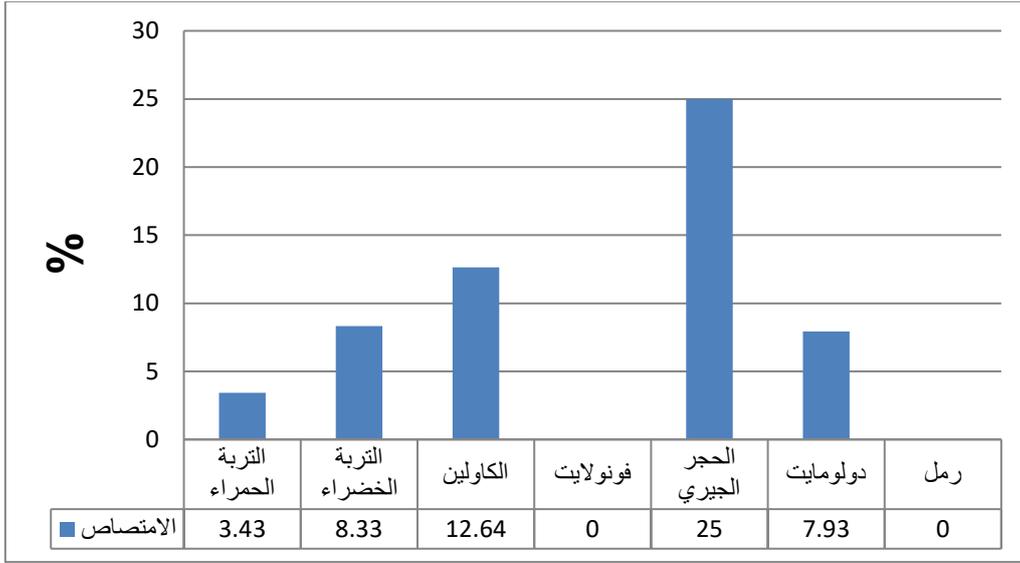
كلما كان الفقد الحراري للمادة أعلى كلما كان وزن البلاطة أخف وبالتالي نلاحظ من الشكل 8 أن المواد الجيرية لديها أعلى فقد حراري بسبب تبخر الماء وخروج الغازات من هذه المواد أثناء الحرق في الفرن.



شكل 8 الفقد الحراري في المواد الخام

3-3 نتائج اختبار الامتصاص للمواد الخام:

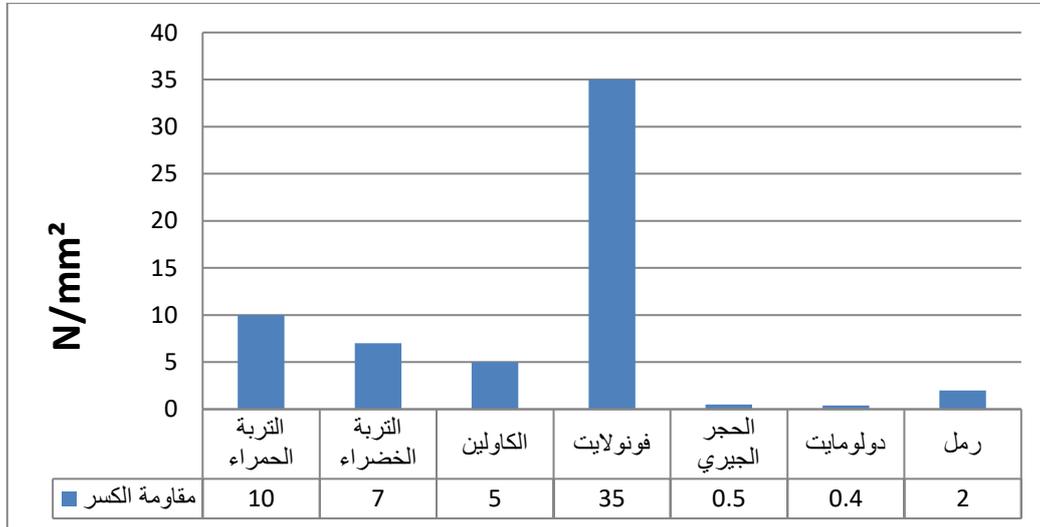
يلاحظ من الشكل 9 أن الحجر الجيري امتصاصيته عالية مقارنة ببقية المواد، أي أن له مسامية عالية مما يجعله يدخل في تركيبة البلاط الحائطي ليساعد في عملية الالتصاق بالجدران.



شكل 9 الامتصاص في المواد الخام

3-4 نتائج اختبار مقاومة الكسر للمواد الخام:

يلاحظ أن الفونولايت لديه أعلى مقاومة كسر مقارنة بالمواد الأخرى كما هو موضح بالشكل 10، الأمر الذي يجعله يدخل في تركيبة البلاط الأرضي بشكل أساسي وذلك لزيادة تحمل البلاطة للأحمال.

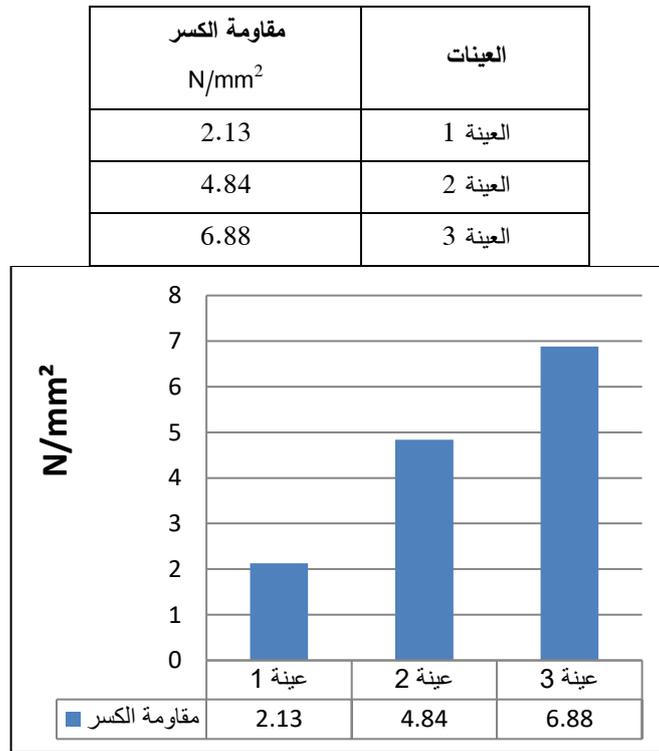


شكل 10 مقاومة الكسر في المواد الخام

3-5 نتائج اختبار مقاومة الكسر لعينات الفونولايت:

تم اختبار تأثير الفونولايت على مقاومة الكسر للبلاط السيراميكي وذلك بتحضير ثلاث عينات تحوي نسبة 0%، 10%، 20% من الفونولايت وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول 2 أدناه بالجدول والموضحة بيانياً بالشكل 11.

جدول 2 نتائج اختبار مقاومة الكسر للعينات الثلاث



شكل 11 نتائج اختبار مقاومة الكسر للعينات الثلاث

من الشكل 11 يتضح أن العينة 1 والتي لا تحتوي على الفونولايت سجلت أقل مقاومة كسر والتي كانت (2.13N/mm²). والعينة 2 التي تحتوي على الفونولايت بنسبة (10%) زادت مقاومتها للكسر بمقدار الضعف تقريباً مقارنة بالعينة الأولى حيث كانت (4.84 N/mm².)، أما العينة 3 والتي تحتوي على الفونولايت بنسبة (20%) سجلت أعلى مقاومة كسر (6.88 N/mm²). نلاحظ من خلال التركيبات الثلاث انه كلما زادت نسبة الفونولايت في التركيبة زادت مقاومة الكسر لها، هذا ما يفسر أن بعد حرق مكونات الخلطة في الفرن عند درجات الحرارة ما بين (1100 - 1200) درجة مئوية ينصهر الفونولايت ويتدفق ويتغلغل ليملى المسامات ويكون طور زجاجي عند التبريد بالتالي تزداد مقاومة الكسر للبلاطة [12].

4 الخلاصة:

من خلال الدراسة السابقة يمكن استخلاص ما يلي:

1. إن الفونولايت له أكبر نسبة انكماش، وعلى العكس من ذلك الرمل ما يجعل من هذين المكونين الاثنین أساس التحكم في أبعاد البلاط وذلك باختلاف نسبتھما في التركيبية.
 2. إن المواد (الدولوميت والحجر الجيري) لها القيمة الأعلى للفقد الحراري، وبالتالي تساهم في تخفيف وزن البلاط.
 3. كلما كان الفقد الحراري للمادة أعلى كلما كان وزن البلاطة أخف.
 4. إن الحجر الجيري له امتصاص عالٍ، وبالتالي يساهم في عملية الالتصاق للبلاط الحائطي.
 5. كلما زادت نسبة الفونولايت في مكونات خلطة البلاط كلما زادت مقاومة الكسر للبلاطة.
- 5 التوصيات:**

إن هذا البحث يُعد خطوة مبدئية تفتح المجال أمام الباحثين في مجال هندسة علوم المواد وكذلك المهتمين بدراسة المواد السيراميكية وبخاصة المستعمل منها في مجال البناء، فهذا الموضوع قابل للبحث والإضافة من عدة نواحٍ لعل من أبرزها ما يلي:

1. دراسة تركيبات وطرق مختلفة لزيادة مقاومة الكسر للبلاط الأرضي.
2. دراسة البلاط الحائطي وإجراء الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية عليه.
3. دراسة إمكانية تقليل كمية المفكك الكيميائي للخلطة مع استعمال أنواع أخرى متوفرة محلياً.
4. توسيع الدراسة السابقة لتشمل الاختبارات الكيميائية ومقاومة الخدش.

المراجع:

- [1] J. R. Kelly and P. Benetti, "Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice," *Australian dental journal*, vol. 56, pp. 84-96, 2011.
- [2] D. G. Wildgoose, *et al.*, "Glass/ceramic/refractory techniques, their development and introduction into dentistry: A historical literature review," *The Journal of prosthetic dentistry*, vol. 91, pp. 136-143, 2004.
- [3] S. Mukherjee, *Applied mineralogy: applications in industry and environment*: Springer Science & Business Media, 2012

- [4] F. Chyad, *et al.*, "Preparation and Studying Some Physical and Mechanical Properties of Porcelain with Using Feldspar Replacement," *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, vol. 10, pp. 464-478, 2010.
- [5] M. Mhadhbi, *et al.*, "Recent Advances in Ceramic Materials for Dentistry," *Advanced Ceramic Materials*, 2021.
- [6] N. B. Singh, "Clays and Clay Minerals in the Construction Industry," *Minerals*, vol. 12, p. 301, 2022.
- [7] D. E. Quesada, *et al.*, *Ceramic Materials: Synthesis, Characterization, Applications and Recycling*: BoD–Books on Demand, 2019.
- [8] T. A. Otitoju, *et al.*, "Advanced ceramic components: Materials, fabrication, and applications," *Journal of industrial and engineering chemistry*, vol. 85, pp. 34-65, 2020
- .
- [9] V. Rajendran, *Materials science*: Tata McGraw-Hill Education, 2011.
- [10] ذ. م. علي, "دراسة تأثير متغيرات عملية التصنيع على العلاقة بين مقاومة الكسر و متانة الكسر للمواد السيراميكية," *الجامعة التكنولوجية, العراق*, 1999.
- [11] L. S. Muñoz, *et al.*, "R&D+i for ceramic tiles in the 21st century: Competition, diversity, and functionality," 2010.
- [12] P. Andrade, *et al.*, "Effect of phonolite addition on sintering kaolinitic clay," *Cerâmica*, vol. 51, pp. 362-371, 2005.

تصميم جهاز لتغويز خشب شجرة الأثل

¹ عبد العاطي مطر، ² جبريل الجروشي

¹ طالب ماجستير، قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، ليبيا
² أستاذ متقاعد، قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، ليبيا

¹ طالب ماجستير، قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، ليبيا
² أستاذ متقاعد، قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، ليبيا

الملخص

يعتبر الوقود الأحفوري مصدر الطاقة الرئيسي في العالم المعاصر، إلا أن محدودية هذا المصدر وتأثيراته البيئية السلبية جعل الأمر ملحاً لإيجاد بدائل متجددة وآمنة بيئياً. وتعتبر الكتلة الحيوية إحدى هذه البدائل المتجددة، حيث يمكن استخدام الكتلة الحيوية لإنتاج الغاز الاصطناعي المعروف بغاز المولدات (producer gas)، وهو الغاز الناتج من عملية الإحتراق الناقص للكتلة الحيوية الصلبة، والذي يتكون أساساً من خليط من غازات الهيدروجين وأول أكسيد الكربون والميثان. وتسمى عملية إنتاج غاز المولدات عملية التغويز (gasification)، بينما يسمى الجهاز المستخدم في هذه العملية بالمغوز (gasifier). ويمكن استخدام غاز المولدات بعد تنقيته وتبريده كوقود لتشغيل محركات الإحتراق الداخلي. يهدف هذا البحث إلى تصميم جهاز لتغويز خشب الأثل. حيث تمت عملية تصميم مغوز سحب هابط نوع (Impert) بالاعتماد على البيانات التجريبية الصادرة من قبل معهد أبحاث الطاقة الشمسية الأمريكي (SERI). كان طول القطر الأصغر للمغوز 6 سنتيمترات، والقطر الرئيسي للمغوز 26.8 سنتيمتراً، السعة القصوى لاستهلاك الخشب 14 كيلوجرام/ساعة، ومعدل التغويز النوعي (SGR) 0.25 م³/سم². ساعة. تمت عملية تشغيل المغوز بنجاح، حيث كانت عملية إنتاج الغازات القابلة للإشتعال بعد حوالي 15 دقيقة من بدء التشغيل، وبمعدل استهلاك 2.8 كيلوجرام/ساعة من سيقان شجر الأثل بقطر 7±2 مم، وطول 40 إلى 50 ملليمترًا.

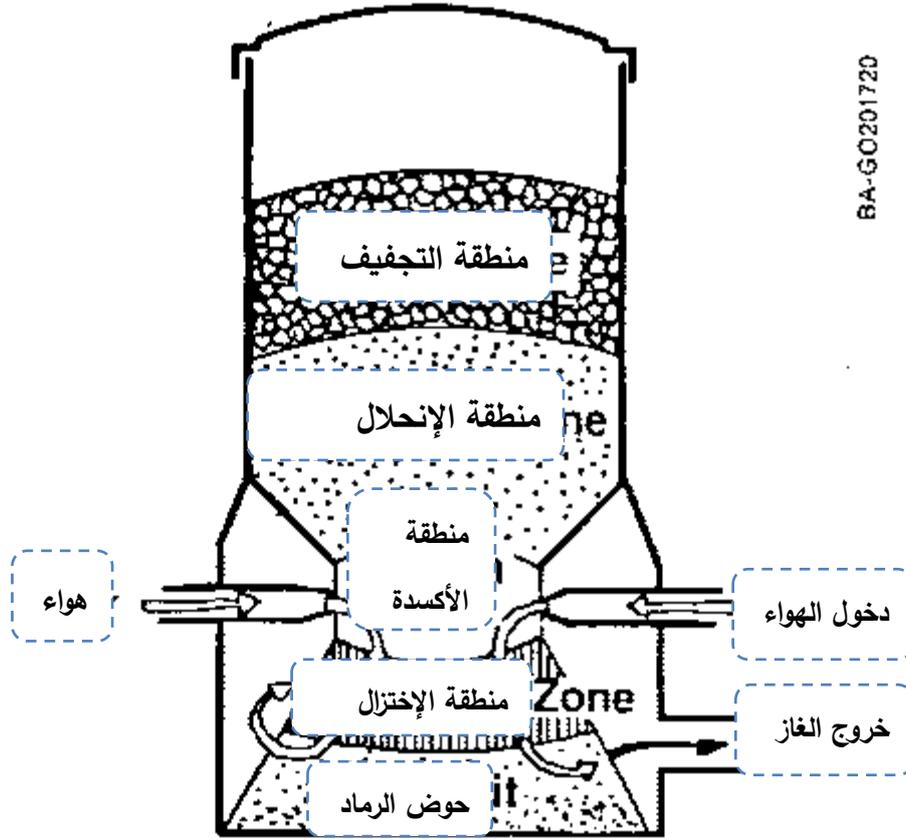
كلمات مفتاحية: احتراق ناقص، الكتلة الحيوية، مغوز، غاز المولدات، تغويز.

1. مقدمة

تعتبر الكتلة الحيوية -أحد مصادر الطاقة المتجددة- اختيار للعديد من البلدان بسبب قلة تأثيراتها البيئية، واستمراريتها، وتنوع مصادرها؛ فالكتلة الحيوية مصدر طاقة متجددة لا يزيد مستوى ثاني أكسيد الكربون في الجو؛ وأيضاً فإن الإنتاج المحلي للطاقة من الكتلة الحيوية يساهم في تقليل

كلفة نقل وتوزيع الوقود، لذلك فإن العديد من الدول بدأت في استغلال وتطوير هذا المورد خصوصاً في المناطق النائية والأرياف [1]. على الصعيد المحلي - أوضحت بعض الدراسات في هذا المجال (sayah 2017) أن ليبيا لها امكانية لإنتاج حوالي 1.72% من طاقتها باستخدام تقنيات طاقة الكتلة الحيوية، التي تتضمن 0.2% من نفاية الخشب، و1.52% من النفايات البلدية [2]. أحد أنظمة طاقة الكتلة الحيوية والتي استخدمت على نطاق واسع أثناء الحرب العالمية الثانية هو ما يعرف بنظام تغويز الخشب أو الكتلة الحيوية (biomass gasification). والتغويز يعني احتراق ناقص للكتلة الحيوية يُؤدّي إلى إنتاج غازات قابلة للاحتراق، تشمل أول أكسيد الكربون (CO) ، وهيدروجين (H₂) ومقدار ضئيل من الميثان (CH₄)، هذا الخليط من الغازات يدعى غاز المولدات (producer gas). المفاعل الذي بواسطته تتم عملية التغويز يدعى المغوز (gasifier) . وتصنف المغوزات أو مولدات الغاز وفقاً لطريقة امداد الهواء أو الأكسجين للمغوز، وعلى ذلك تصنف المغوزات الى ثلاثة أنواع رئيسية: مغوز السحب الصاعد (Updraft) ، ومغوز السحب الهابط (Downdraft) ، ومغوز السحب المستعرض (Crossdraft) [1،3]. ومن أكثر انواع المغوزات شيوعاً والمستخدم لتغذية محركات الاحتراق الداخلي، مغوز السحب الهابط نوع امبيرت (Imbert Downdraft gasifier) وهو عبارة عن جسم أنبوبي يدخل إليه وقود التغذية من القمة ويتجه نحو الأسفل مروراً بمختق أو حلق المغوز - حيث تتم عملية الاحتراق - بينما يسحب الرماد والغاز من أسفل المغوز. ويوضح الشكل (1) رسماً تخطيطياً لمغوز سحب هابط نوع امبيرت.

تهدف هذه الورقة إلى دراسة تصميم وتصنيع مغوز سحب هابط (downdraft gasifier)، وذلك لغرض تغويز خشب شجر الأثل (Tamarix spp.). الغاز الناتج يمكن أن يستخدم لتشغيل محرك احتراق داخلي. وتم اختيار خشب الأثل كوقود للمغوز نظراً لانتشاره وتوفره محلياً، حيث أن نبات الأثل ينتشر انتشاراً واسعاً في مناطق شمال أفريقيا وحوض البحر المتوسط، علاوة على أن الأثل سريع النمو ومقاوم للجفاف، وكذلك ينمو في مختلف انواع التربة [4].



شكل 1 مخطط لمغوز السحب الهابط [1]

2. الدراسات السابقة:

يعتبر مجال تصميم وتصنيع المغوزات أحد أبرز المجالات التي لقيت اهتماماً واسعاً من قبل الباحثين والدارسين في مجال إنتاج الطاقة من الكتلة الحيوية في مختلف بلدان العالم، حيث صمم فجري فيديان (2017) وآخرون *Fajri Vidian et al.* مغوز سحب هابط بسعة استهلاك وقود قصوى 42 kg/h ، ارتفاع جسم المغوز 90 سنتيمتر، القطر الرئيسي 26.8 سنتيمتر و 12 سنتيمتر هو قطر الحلق. تم بناء المفاعل من الصلب المقاوم للصدأ SUS 304. أستعمل الفحم منخفض الكربون والكتلة العضوية من جنوب سومطرة- أندونيسيا كوقود للمفاعل. أظهرت نتائج التجربة أن إنتاج الغاز القابل للاشتعال بدأ بعد حوالي 15 دقيقة من التشغيل. نسبة الهواء الى الوقود للفحم منخفض الكربون كانت 1.7 والتي هي أعلى من الكتلة العضوية (1.1) [5]. كما أجريت دراسة تجريبية أخرى على مغوز سحب هابط من قبل سمير كومار وآخرين (2018) *Samirkumar et.al*، حيث ركزت الدراسة على إنتاج الغاز المصنع وتأثير البارامترات

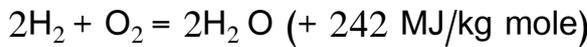
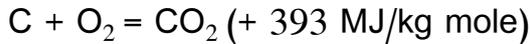
المختلفة مثل النسبة المكافئة ومحتوى الرطوبة في الخشب المستعمل على تركيب الغاز المصنع. وقد تم تصميم نموذج المغوز بمقاس معلمي لغرض التجارب، وصممت جميع أجزاء المغوز استناداً على معدل التغويز النوعي (SGR) يساوي $2000 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$. كانت نسبة مكافئة 0.4 إلى 0.5 [6].

3. العمليات والتفاعلات الكيميائية داخل مغوز السحب الهابط:

يمر الوقود أثناء تحوله إلى غاز بأربع مناطق داخل المغوز تحدث بها عدة عمليات وتفاعلات مختلفة، وهذه المناطق على الترتيب هي: منطقة تجفيف الوقود، ومنطقة عملية التفسخ أو الانحلال الحراري، ومنطقة عملية الأكسدة أو الاحتراق، ومنطقة عملية الاختزال. وتحدث التفاعلات الرئيسية في منطقتي الأكسدة (الاحتراق) والاختزال.

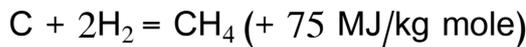
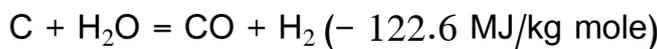
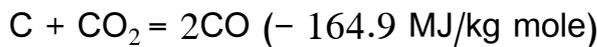
أ - تفاعلات منطقة الاحتراق **Combustion zone**:

يعد تفاعل الاحتراق طارداً للحرارة وينتج عنه نظرياً درجة حرارة أكسدة في حدود 1450 درجة مئوية، بينما تتمثل نواتج الاحتراق الكامل في بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون، وعليه فإن التفاعلات الرئيسية هي كالتالي: [7,3]



ب - تفاعلات منطقة الاختزال **reduction zone**:

ان نواتج الاحتراق الجزئي (الماء، وثنائي أكسيد الكربون، ونواتج الانحلال الحراري) سوف تعبر خلال فرش فحم متوهج حيث تحدث تفاعلات الاختزال التالية: [7,3]



درجات الحرارة في منطقة الاختزال عادة (800 إلى 1000) درجة مئوية.

4. المتغيرات والمصطلحات المرتبطة بعملية تصميم المغوزات:

أ. النسبة المكافئة: *Equivalence Ratio (ER)* وتعرف بأنها نسبة كمية الهواء الحقيقية اللازمة لكل كيلوجرام من الوقود الصلب الى نسبة كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق الكامل للوقود.

وتمثل القيمة 0.4 القيمة المثالية للنسبة المكافئة في عمليات تغويز الخشب ويعبر عنها رياضياً كما يلي: [6].

$$ER = \frac{(A/F)_{actual}}{(A/F)_{stoichiometric}} \quad (1)$$

ب. معدل التغويز النوعي (SGR) *Specific Gasification Rate*: وهو معدل التدفق الحجمي للغاز المنتج نسبة إلى مساحة المقطع العرضي لحلق المغوز. وتتراوح قيمته ما بين (0.1 إلى 0.9 $Nm^3/cm^2.hr$)، ويعبر عنه رياضياً بالمعادلة: [8,9]

$$SGR = \frac{Q_g}{A_t} \quad (2)$$

حيث: Q_g = معدل تدفق الغاز المنتج، A_t = مساحة مقطع حلق المغوز.

ج. معدل تدفق الوقود الصلب النوعي (SSR) *Specific Solid Flow Rate*: وهو معدل تدفق الكتلة الحيوية عبر حلق المغوز، وهو تعبير مشتق وبديل عن معدل التغويز النوعي (SGR)، ووحداته هي ($kg/cm^2.hr$) وحيث أن عملية تغويز واحد كيلوجرام من الخشب تعطي تقريباً 2.4 متر مكعب من الغاز فإنه يمكن كتابة العلاقة التالية: [6,7]

$$SSR = SGR/2.4 \quad (3)$$

5. حسابات تصميم المغوز:

في هذا البند سوف نقوم بإجراء الحسابات لإيجاد أبعاد المغوز المقترح في هذه الدراسة، وهو عبارة عن مغوز سحب هابط نوع إمبيرت (Imbert)، وذلك بناءً على معدل تدفق غاز المولدات المطلوب لتشغيل محرك احتراق داخلي إفتراضي - رباعي الأشواط إشعال بالشرارة. المواصفات الفنية للمحرك المقترح موضحة في الجدول (1)، بينما يوضح الجدول (2) فرضيات وشروط التصميم الابتدائية.

جدول (1) المواصفات الفنية للمحرك المقترح في الدراسة

الموديل HSO3500CE	
210	المحرك
3.6 كيلو وات	الخرج

3000 دورة/دقيقة	السرعة المقننة
0.208 لتر	إزاحة المكبس
1	الاسطوانات

جدول (2) فرضيات وشروط التصميم

Downdraft (Impert Type)	نوع المغوز
خشب الأثل	نوع الوقود
0.25 (m ³ /cm ² .hr)	معدل التغويز النوعي
0.4	النسبة المكافئة
%60	كفاءة التغويز

5-1. حساب أبعاد المغوز:

يتم أولاً حساب معدل التدفق الحجمي الأقصى (النظري) لخليط الهواء - والغاز، ويساوي معدل الحجم المزاح (V_s) لأسطوانة المحرك، وحيث أن نسبة الهواء إلى الوقود (الغاز) النظرية هي 1.1 إلى 1 متر مكعب من الغاز، وبمعلومية عدد دورات المحرك في الدقيقة n ، والإزاحة الكلية للمحرك بالتر D_s ، فإن تدفق الغاز يتم حسابه كما يلي: [9]

- معدل الإزاحة الحجمية الكلية للمحرك (V_s):

$$V_s = \frac{\frac{1}{2} \times n \times D_s}{60 \times 1000} = 0.0052 \text{ m}^3/s$$

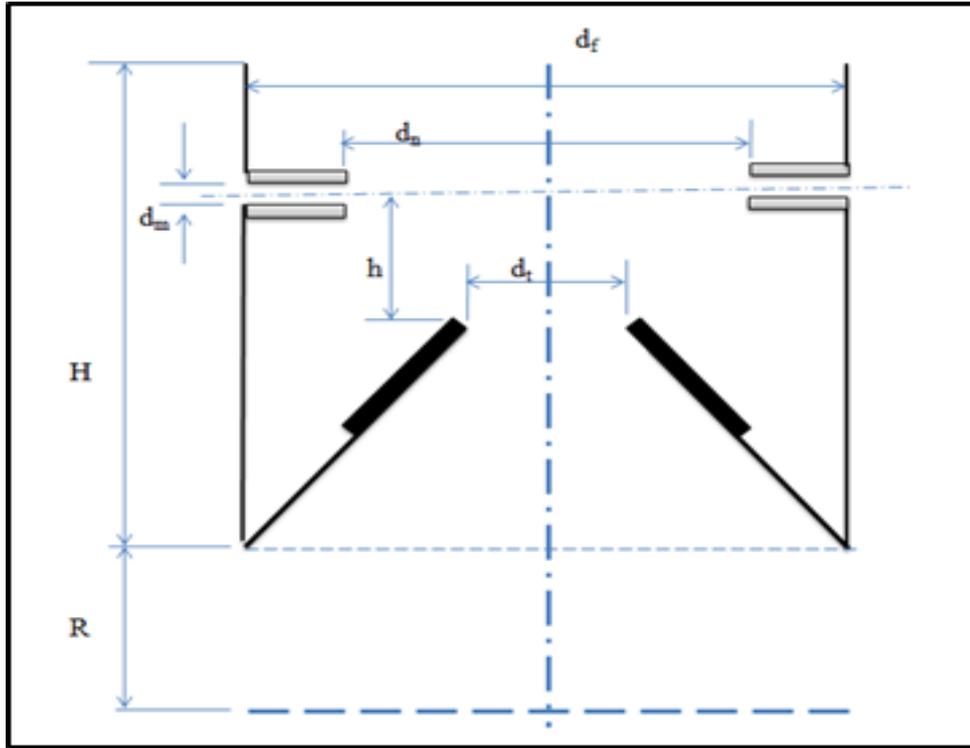
- معدل التدفق الحجمي للغاز (Q_g):

$$Q_g = \frac{V_s}{2.1 \times 3600} \times \eta_v = 7.1314 \text{ m}^3/hr$$

ومن معادلة معدل التغويز النوعي، يتم حساب مساحة مقطع حلق المغوز (A_t) ومن ثم حساب طول القطر الأصغر للمغوز: [9]

$$A_t = \frac{Q_g}{SGR} = 28.5256 \text{ cm}^2 \Rightarrow d_t = \sqrt{\frac{4 \times A_t}{\pi}} = 6.026 \text{ cm} \approx 6 \text{ cm}$$

وبمعلومية (d_t) يتم تحديد الأبعاد والمتغيرات الرئيسية لمغوز السحب الهابط الموضحة في الشكل (2)، وذلك بحسب الكتيب الصادر من قبل معهد أبحاث الطاقة الشمسية الأمريكي (SERI) والمعد بواسطة (reed & Das 1988) [1]، كما في الجدول المبين في الملحق (أ). ويوضح الجدول (4) أبعاد المغوز المستخدم في هذه الدراسة.



شكل 2 الأبعاد الرئيسية لمغوزات السحب الهابط

2-5. حساب معدل استهلاك الوقود الصلب (الخشب):

يمكن التنبؤ بمعدل استهلاك الوقود الصلب (M_s) على أساس معدل إنتاج الغاز، حيث أن تغويز 1 كيلوجرام من الخشب ينتج حوالي 2.4 متر مكعب من غاز المولدات [6,7].

$$\frac{Q_g}{2.4} = 2.97 \text{ kg/hr}$$

3-5. حساب معدل تدفق الهواء للمغوز:

ولحساب معدل تدفق الهواء للمغوز يتطلب منا الحصول على التحليل النهائي للوقود الصلب (الخشب) لمعرفة النسب الوزنية لمكونات الوقود، حيث يبين الجدول (3) التحليل النهائي لخشب الأثل المعتمد كوقود للمغوز [10].

جدول (3) التحليل النهائي لخشب الأثل [10]

النسبة الوزنية %	المكون	م
49.46	الكربون	1
5.39	الهيدروجين	2
40.65	الأكسجين	3
0.72	الكبريت	5
3.55	نسبة الرماد	6

وبالنظر إلى معادلات احتراق هذه العناصر يمكننا حساب نسبة الهواء إلى الوقود النظرية

$(A/F)_{stoichiometric}$ حسب المعادلة التالية: [5]

$$(A/F)_{stoichiometric} = \frac{1}{0.232} \left[\frac{8}{3} C + 8H_2 + S - O_2 \right]$$

حيث أن: O_2, S, H_2, C هي كسر الكتلة في الوقود الصلب لكل من الكربون، والهيدروجين، والكبريت، والأكسجين على التوالي.

$$(A/F)_{stoichiometric} = 5.87 \text{ kg}_{air}/\text{kg}_{wood}$$

وتحسب نسبة الهواء إلى الوقود الحقيقية اللازمة للتغويز $((A/F)_{actual})$ من علاقة تعريف

النسبة المكافئة (ER) حسب المعادلة (1): [7,6]

$$(A/F)_{actual} = ER \times (A/F)_{stoichiometric} = \frac{(m_a)_{actual}}{M_s}$$

$$= 2.35 \text{ kg}_{air}/\text{kg}_{wood}$$

وبالتالي فإن معدل تدفق الهواء الكتلتي الحقيقي $((m_a)_{actual})$ هو:

$$(m_a)_{actual} = [(A/F)_{actual}] \times M_s = 6.7 \text{ kg/hr}$$

يبين الجدول (4) أبعاد ومتغيرات المغوز المستخدم في هذه الدراسة.

جدول (4) ابعاد ومتغيرات المغوز المستخدم في الدراسة

ر.	الوصف	الرمز	القيمة	الوحدة
1	قطر حلق المغوز	d_t	60	مليمتر
2	قطر الفرن الرئيسي	d_f	268	مليمتر
3	قطر دائرة منافث الهواء	d_n	150	مليمتر
4	ارتفاع مستوى المنافث فوق الحلق	H	80	مليمتر
5	ارتفاع منطقة الفرن	H	256	مليمتر
6	ارتفاع منطقة الأكسدة	R	100	مليمتر

7	قطر منفث الهواء	d_m	7.5	مليمتر
8	سرعة نفث الهواء	u_m	22.4	م/ث
9	عدد منافث الهواء	N	5	...
10	السعة القصوى لإنتاج الغاز	Qg (max.)	30	متر ³ /ساعة
11	السعة القصوى لاستهلاك الخشب	Ms (max.)	14	كجم/ساعة
12	معدل تدفق الهواء الكتلي	$(m_a)_{actual}$	6.7	كجم/ساعة
13	معدل تدفق وقود الخشب	M_s	2.97	كجم/ساعة

6. تصنيع المغوز:

تم تصنيع المغوز من الفولاذ الطري حسب الأبعاد الرئيسية المبينة في الجدول (4)، تميزت عملية تصنيع وتجميع أجزاء المغوز والفواصل الدوامي بالبساطة وعدم التعقيد، باستثناء بعض الأجزاء التي تتطلب الدقة في الأبعاد مما استلزم استخدام آلات الخراطة وتشكيل المعادن. حيث يتكون جهاز التغويز من المكونات الرئيسية التالية:

أ. **خزان الوقود:** وهو عبارة عن جسم اسطواني يحتل الجزء العلوي للمغوز، وقد تمت صناعته من الفولاذ الطري بسماكة 3 مليمترات.

ب. **منطقة الحلق:** وهي عبارة عن بوق متقارب متباعد، وبزاوية ميلان 60 درجة، ومصنوع من الفولاذ الطري بسبك 4 مليمترات، وقطر أكبر وقطر أصغر 150 و60 مليمترًا على التوالي. تنتزع خمس فوهات للهواء بشكل شعاعي على محيط حلقة دائرية قطرها 150 مليمترًا على ارتفاع 80 مليمترًا فوق القطر الأصغر، وقطر الفوهة 7.5 مليمتر.

ج. **المشبك:** وهو السطح الذي يستقر عليه فحم الوقود (الخشب) المتوهج في أسفل المغوز. وهو عبارة عن قرص معدني دائري يركب أسفل بوق منطقة التغويز بمسافة 100 مليمتر، مصنوع من الفولاذ الطري بسماكة 4 مليمترات، يحتوي على فتحات تسمح بمرور الرماد دون الوقود.

د. **خزان الرماد:** وهو عبارة عن حوض أسطواني معدني يقع أسفل المشبك مباشرة حيث يتم تجميع الرماد الناتج. وللحوض فتحة لكسح الرماد وتنظيف الحوض.

هـ. **الأجهزة الملحقة:** وهي الأجهزة والمعدات المستخدمة لنقل وتنقية وتجهيز الغاز، وتشمل جهاز الفصل الاعصاري (cyclone separator) ، والمبرد، ومصفى الغاز، ونافخ الهواء، وأنابيب التوصيل.

ويبين الشكل (3) المغوز مع ملحقاته المختلفة.



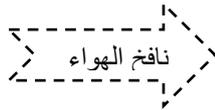
شكل (3) المغوز مع ملحقاته

7. إجراء التجربة:

في هذا البند سوف نستعرض خطوات إجراء تجربة تشغيل جهاز تغويز سحب هابط يستخدم خشب الأثل كوقود، حيث تم تجميع وتركيب المغوز محلياً وباستخدام مواد خام متوفرة محلياً.

7-1. وصف الوقود:

تم في هذه الدراسة استخدام نوعين من وقود خشب الأثل: أحدهما عبارة عن سيقان شجر الأثل متوسط قطرها (7 ± 2 مم)، وطولها (40 - 50 مم)، والنوع الثاني هو كتل خشبية متوسط حجمها



50×40×25 مم، كما هو موضح في خزان الرماد



شكل (4): وقود خشب الأثل: (أ) سيقان شجر الأثل (ب) كتل خشب الأثل

2-7. خطوات تشغيل المغوز:

1. قبل البدء في إجراء تشغيل المغوز يجب اختيار مكان مفتوح وجيد التهوية لإجراء التجربة، كذلك يجب تنظيف خزان الرماد، ومجمع الفاصل الإعصاري، والتأكد من نظافة منافث ومسالك الهواء والغاز وفتحات تصريف المتكاثف، بالإضافة إلى اتخاذ إجراءات السلامة.
2. يتم ملء خزان الوقود بقطع الخشب، مع مراعاة أن يكون مستوى الوقود أعلى من مستوى منافث الهواء، ثم إحكام غلق غطاء الخزان لمنع تسرب الهواء والغازات.
3. تتم عملية اشعال الوقود باستخدام نافخ اللهب أو بوضع بعض قطع الفحم المشتعل عند منطقة الاحتراق قريباً من منطقة الحلق بالتزامن مع إمداد الهواء للمغوز وذلك بنفخ الهواء عبر طريق منافث.
4. بعد حوالي العشر دقائق (المدة حسب نوع الوقود) يتم اختبار اشتعال الغاز الخارج، وإذا نجحت عملية الإشتعال يتم إيقاف نافخ الهواء بالتزامن مع تشغيل المحرك ليقوم بدور سحب الهواء إلى المغوز، مع ملاحظة نسبة خلط الهواء و الغاز الداخل للمحرك وهي عادة في حدود 1:1.1 حتى يستقر تشغيل المحرك. ويوضح الشكل (5) عملية اختبار اشتعال الغاز.

5. لإيقاف تشغيل المغوز عند أي لحظة يتم إغلاق فتحتي دخول الهواء وخروج الغاز.



شكل (5) تشغيل المغوز واختبار اشتعال الغاز

8. مناقشة النتائج والاستنتاجات:

تمت عملية تشغيل واختبار جهاز التغويز باستخدام نوعين مختلفين من وقود خشب الأثل وهما: الأول يتكون من قطع سيقان الأثل بقطر 2 ± 7 مم وطول متوسط 40 مم، بينما النوع الثاني عبارة عن كتل خشبية بأبعاد $50 \times 40 \times 25$ مم تقريباً. عند استخدام نوع الوقود الأول، بدأت عملية إنتاج الغاز القابل للاشتعال بعد حوالي (15) دقيقة من بدء التشغيل، حيث كان اشتعال الغاز بلهب أصفر برتقالي مما يشير إلى وجود نسبة من المواد الطيارة في الغاز [5]، وكان معدل استهلاك الخشب حوالي 2.8 كيلوجرام/ساعة، وهو معدل قريب جداً من المعدل التصميمي للمغوز. بينما تأخرت عملية إنتاج الغاز قليلاً عند استخدام النوع الثاني من الوقود، وكان اشتعال الغاز بلهب يميل إلى اللون الأحمر مما يعني وجود فائض من أول أكسيد الكربون [11].

ومن خلال هذه الدراسة يمكن تلخيص الاستنتاجات على النحو التالي:

1- من خلال التجربة تبين لنا أن وقود النوع الأول المتمثل في سيقان شجر الأثل المبين في الشكل (4) يعتبر هو الأنسب لتشغيل المغوز، حيث كان اشتعال الغاز مستقرًا، إلا أنه لزمنا تقلبيه بين الفينة والأخرى لضمان تدفقه عبر الحلق.

2- من الممكن استخدام خشب الأثل كمصدر لوقود حيوي محلي يصلح لتغذية مغوزات السحب الهابط والمستخدم لتشغيل محركات الاحتراق الداخلي.

3- إن استخدام خشب الأثل كوقود لمغوز السحب الهابط قيد الدراسة يواجه عدة صعوبات منها:

- اختيار شجر الأثل كمصدر لوقود المغوزات يجعله مستهدفاً بالإزالة مما يؤثر سلباً على البيئة، إلا أن سرعة نموه وقلة تكاليف زراعته قد تجعل منه مرشحاً قوياً لاستخدامه كوقود حيوي.
- صعوبة الحصول على أحجام منتظمة لقطع الوقود وملائمة لتغذية المغوز.

9. الخلاصة:

مما سبق تبين لنا إمكانية استخدام خشب الأثل كوقود حيوي لتغذية مغوزات السحب الهابط مع بعض الصعوبات الممكن التغلب عليها.

10. شكر وتقدير:

نتقدم بجزيل الشكر إلى كل من: قسم الهندسة الميكانيكية جامعة مصراتة، وورشة الخاني للخرطة العامة بمصراتة، ومصنع الشلتات للحدادة بالليزر بمصراتة، لحسن تعاونهم معنا في سبيل إنجاز هذا العمل.

11. المراجع:

1. T. B. Reed, and A. Das, "Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems," st Ed, SERI, U.S.A, 1988.
2. Giuma A. Sayah, "The Use of Renewable Energy Technologies in the Libyan Energy System ", Berlin university 2017, p. 26.
3. D. Yogi Goswami, "Alternative Energy in Agriculture", CRC Press, 1986, pgs. 83-102.).
4. Abasali N. Sadegh, et al., " Experimental characterization of shrinkage and density of tamarix aphylla wood", Cellulose Chem. Technol., 46 (5-6), 369-373 (2012),Iran.
5. Fajri Vidian et al., " Design, Construction and Experiment on Imbert Downdraft Gasifier Using South Sumatera Biomass and Low Rank Coal as Fuel " Int. Journal of

Engineering Research and Application ISSN : 2248-9622, Vol. 7, Issue 3, (Part -6)
March 2017, pp.39-44.

6. N. S. Samirkumar et al; " Design, development and experimental studies of downdraft gasifier" *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology* 2018.
7. FAO 1986, FAO Forestry Paper 72, "wood gas as engine fuel", Rom 1986.
8. J. Venselaar, "Design Rules for Down Draft Wood Gasifiers: a Short Review," pp. 1–24, 1986.
9. V. V. N. Kishore, "Renewable energy engineering and technology", TERI press, 2007.
10. Jamie Nielsen et al., "Converting Riparian Restoration Waste to Energy: Testing Tamarisk (*Tamarix spp.*) Woody Biomass as Fuel for Downdraft Gasification", *Ecological Restoration*, September 2011, University of Wisconsin Press.
11. www.Engineer.decorexpro.com

الملحق:

[1] (Imbert) الأبعاد والمتغيرات الرئيسية لمغوزات السحب الهابط نوع

d_i/d_h	d_h mm	d_r mm	d_r' mm	h mm	H mm	R mm	A No.	d_m mm	$A_m \times 100$ A_h	d_r d_h	h d_h	Range of Gas Output		Maximum Wood Consumption kg/h	Air Blast Velocity Vm m/s
												max. Nm ³ /h	min. Nm ³ /h		
268/60	60	268	150	80	256	100	5	7.5	7.8	4.5	1.33	30	4	14	22.4
268/80	80	268	176	95	256	100	5	9.0	6.4	3.3	1.19	44	5	21	23.0
268/100	100	268	202	100	256	100	5	10.5	5.5	2.7	1.00	63	8	30	24.2
268/120	120	268	216	110	256	100	5	12.0	5.0	2.2	0.92	90	12	42	26.0
300/100	100	300	208	100	275	115	5	10.5	5.5	3.0	1.00	77	10	36	29.4
300/115	115	300	228	105	275	115	5	11.5	5.0	2.6	0.92	95	12	45	30.3
300/130	130	300	248	110	275	115	5	12.5	4.6	2.3	0.85	115	15	55	31.5
300/150	150	300	258	120	275	115	5	14.0	4.4	2.0	0.80	140	18	67	30.0
400/130	130	400	258	110	370	155	7	10.5	4.6	3.1	0.85	120	17	57	32.6
400/150	135	400	258	120	370	155	7	12.0	4.5	2.7	0.80	150	21	71	32.6
400/175	175	400	308	130	370	155	7	13.5	4.2	2.3	0.74	190	26	90	31.4
400/200	200	400	318	145	370	153	7	16.0	3.9	2.0	0.73	230	33	110	31.2

Variables not given in figure are defined as follows:
 d_m = inner diameter of the tuyere.
 A_m = sum of cross sectional areas of the air jet openings in the tuyeres.
 A_h = cross sectional area of the throat.
 A = number of tuyeres.
 Source: Kaupp 1984a, Table 5; Fig. 75.