Using Wood Ash as Superfine Additive and Air Bubble Stabilizer in Foam Concrete

Dr. Ali Kheribek*
Ritta Alhakeem**

(Received 1 / 11 / 2024. Accepted 22 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

Technological development has led to the emergence of many modern construction techniques in recent decades, which achieve the engineering specifications required in construction with the best quality, lowest cost and greatest durability. As a result of the war that Syria witnessed, which led to the destruction of many buildings, facilities and infrastructure, the demand for building materials and the use of cement has increased, which is this necessitated thinking about finding a solution to secure these resources and searching for alternative building materials, At the same time, focusing on the principle sustainability and achieving its standards, therefor it was necessary to introduce new alternatives to the building materials used in the production of concrete, and an attempt to localize this technology in local industries.

One of the common wastes that this research focused on is wood ash which has been used as a cement additive material in the manufacture of foamed concrete with varying mechanical specifications, and a low apparent density that reached to 720Kg/m^3 in some compositions, which is considered an important factor in achieving thermal and sound insulation, and a significant reduction of the mechanical load on the structural elements.

The preliminary results of this research showed the possibility of manufacturing samples of foamed concrete with an apparent density ranging between 728 and 974Kg/m^3, with a homogeneous appearance and mechanical resistance that achieves the values specified by international specifications, with the possibility of increasing them by making modifications to the designs.

Keywords: Foamed concrete, Lightweight concrete, Wood ash, Foam agent.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor- Department Of Management Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria. alikheirbek@tishreen.edu.sy**

****Postgraduate Student (Master) - Department Of Construction Engineering and Management– Tishreen University – Lattakia- Syria. rita.alhakem@tishreen.edu.sy**

استخدام رماد الخشب كإضافة فائقة النعومة ومثبت للفقاعات الهوائية في البيتون الرغوي

د. علي خيربك*

ريتا الحكيم**

(تاريخ الإيداع 1 / 11 / 2024. قُبِل للنشر في 22/ 12 / 2024)

□ ملخّص □

أدى التطور التكنولوجي إلى ظهور العديد من تقنيات البناء الحديث في العقود الأخيرة والتي تحقق المواصفات الهندسية المطلوبة في التشييد بأفضل جودة وأقل كلفة وأكبر ديمومة، ونتيجة للحرب التي شهدتها سوريا والتي أدت إلى تدمير الكثير من الأبنية والمنشآت والبنى التحتية ازداد الطلب على مواد البناء واستخدام الإسمنت وهو ما استدعى التفكير بإيجاد حل لتأمين هذه الموارد والبحث عن مواد بناء بديلة، والتركيز بنفس الوقت على مبدأ الاستدامة وتحقيق معاييرها، لذلك كان لا بد من طرح بدائل جديدة لمواد البناء المستخدمة في إنتاج البيتون ومحاولة توطين هذه التقنية في الصناعات المحلية.

ومن النفايات الشائعة التي ركز عليها هذا البحث رماد الخشب (Wood Ash) والذي تم استخدامه كإضافة إسمنتية في صناعة البيتون الرغوي بمواصفات ميكانيكية متفاوتة وبكثافات ظاهرية منخفضة وصلت في بعض التراكيب إلى $728Kg/m^3$ مما يُعتبر عاملاً مهماً في تحقيق العزل الحراري والصوتي، وتخفيف كبير للحمل الميكانيكي على العناصر الإنشائية.

بينت النتائج الأولية لهذا البحث إمكانية تصنيع عينات من البيتون الرغوي بكثافة ظاهرية منخفضة جداً تراوحت بين 728 و $974Kg/m^3$، وبمظهر متجانس ومقاومة ميكانيكية تحقق القيم التي تحددها المواصفات العالمية مع إمكانية رفعها بإجراء تعديلات على التصاميم.

الكلمات المفتاحية: البيتون الرغوي– البيتون خفيف الوزن –رماد الخشب – المعزز الرغوي– الاستدامة .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

*أستاذ – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية–سورية. alikheirbek@tishreen.edu.sy

**طالبة ماجستير – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية. rita.alhakem@tishreen.edu.sy

مقدمة:

يعتبر البيتون المادة الأكثر استخداماً في العالم منذ أكثر من مئة عام والمادة الأولى المستخدمة في أعمال الهندسة المدنية وأكثرها كفاءة، ونتيجة البحث والتطوير المستمر فقد تطورت وتحسنت طرق إنتاج البيتون وظهرت أنواع مختلفة منه لكل نوع خصائص تبعاً للأغراض المستعملة من أجلها في المجالات المختلفة عن طريق تنوع مكوناتها أو باستخدام الإضافات أو اختلاف طرق الإنتاج، ومن بين أنواع البيتون البيتون الرغوي الذي أصبح أكثر شعبية وانتشاراً بسبب خصائصه الكبيرة[1-2].

ونتيجة للحرب التي شهدتها سوريا والتي أدت إلى تدمير الكثير من الأبنية والمنشآت والبنى التحتية ازداد الطلب على مواد البناء واستخدام كميات كبيرة من الإسمنت مما استدعى التفكير لإيجاد حل لتأمين هذه الموارد والبحث عن مواد بناء بديلة لإعادة إعمار الأبنية وإنشاء المشاريع الجديدة بكلفة اقتصادية منخفضة وكفاءة أكبر في استخدام الطاقة وبنفس الوقت التركيز على مبدأ الاستدامة وتحقيق معاييرها في إنشاء الأبنية من أجل التقليل من التأثيرات السلبية عن طريق استخدام النفايات البيئية[3].

ومن ناحية أخرى يعتبر التلوث البيئي أحد المشاكل الخطيرة التي تواجه العالم اليوم، لذلك تم التركيز في السنوات الأخيرة على مفهوم الاستدامة للحد من الآثار السلبية لنفايات البيئة وفي نفس الوقت محاولة استخدامها للحد من التقليل من تلوث البيئة والحفاظ على الموارد الطبيعية باعتبارها موارد غير متجددة وبالتالي المساهمة في إطالة أمد الموارد الطبيعية إضافة إلى ما يُمكن تحقيقه من وفر في الطاقة وتوليد نفايات أقل والقضاء على التأثير السلبي للمباني على الأبنية وعلى شاغلي المبنى، لذلك كان لا بد من طرح بدائل جديدة لمواد البناء المستخدمة في إنتاج البيتون ومحاولة توطين هذه التقنية في الصناعات المحلية[4].

إذ تشكل النفايات بشكل عام مصدراً لعدة سلبيات ومساوئ اقتصادية وبيئية منها (هدر المصادر الطبيعية، تكاليف اقتصادية كبيرة لنقل النفايات إلى المكبات ،المشاكل البيئية الناتجة عن تشويه الطبيعة وتلوث البيئة) ومن بين النفايات الشائعة رماد الخشب(Wood ach) التي سيتم الاستفادة منها في هذا البحث في إنتاج البيتون الرغوي كمادة رابطة مستدامة وكإضافة جزئية للإسمنت مع الحفاظ على الخواص الفيزيائية والكيميائية للبيتون، وبسبب الحاجة إلى كميات كبيرة من الإسمنت وتضاعف الطلب عليه باعتباره مادة أساسية في صناعة البناء كان لا بد من إيجاد بديل جزئي للإسمنت لتقليل تكلفة البناء والحفاظ على الاحتياطات الطبيعية من الحجر الجيري بالإضافة إلى تقليل التلوث الناتج عن إنتاج الإسمنت وانطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون (co2) باعتبار صناعة الإسمنت واحدة من الصناعات التي تطلق كميات كبيرة من غاز co2 وغازات الاحتباس الحراري، فكان دمج رماد الخشب كإضافة مفيد للبيئة وإنتاج بناء منخفض الكلفة وبالتالي تحقيق الاستدامة[5-6-7].

كما يساعد استخدام نفايات رماد الخشب (wood ach- WA) في البيتون في تحويلها من مصدر قلق بيئي إلى عامل مفيد لإنتاج مادة تدعيم بديلة عالية الفعالية عن طريق التخلص منها وإعادة تدويرها، أي ان استخدام رماد الخشب كبديل للإسمنت بنسب معينة مفيد للبيئة ويؤدي إلى علاقة تكاملية مستدامة[8-9].

1.1 البيتون الرغوي:

البيتون الرغوي إحدى التقنيات والابتكارات الحديثة لتكنولوجيا البيتون في الهندسة المدنية التي تجمع بين ميزات الأداء ووفورات الطاقة التشغيلية والتي تعتبر من المواد الصديقة للبيئة بسبب خصائصها المميزة والكثيرة ولأنها تعتبر كبديل للبيتون العادي التقليدي وفي الوقت نفسه تحقق معايير الاستدامة باعتبار البيتون الرغوي مادة خضراء، فالمبنى

الأخضر عبارة عن مبنى مستدام تم تصميمه وإنشاؤه وتشغيله لتقليل الآثار البيئية أي المبنى المستدام يستخدم كميات أقل من المياه وتحسين الطاقة ويحافظ على الموارد الطبيعية ويولد نفايات أقل ويوفر مساحات صحية للساكنين مقارنة بالمبنى التقليدي[10].

تاريخياً أدرك الرومان لأول مرة إضافة دم الحيوان مع الحصى الصغيرة والرمل الخشن مع الجير الساخن والماء وتحريكه تشكلت فقاعات هوائية صغيرة [10]، وتم تسجيل أول براءة اختراع البيتون الرغوي في السويد لأول مرة عام 1923 من قبل AXEL Erixsson لاستخدامها بشكل أساسي كمواد عازلة وتم تقديم أول مراجعة شاملة للبيتون الرغوي من قبلValore بهدف توسيع مجالات استخدامها [12]، وتم استخدامه بشكل شائع في تطبيقات البناء في بلدان مختلفة مثل ألمانيا والمملكة المتحدة والفلبين وتركيا وتايلاند [13]، وأول ما أُستخدم البيتون الرغوي لملئ الفراغات وأغراض العزل لكن الفائدة تغيرت بشكل تدريجي نحو الخصائص الهيكلية. وأصبح البيتون الرغوي أكثر انتشاراً في السنوات الأخيرة بسبب الميزات التي يقدمها مقارنةً بالبناء التقليدي وبسبب التكنولوجيا الحديثة والتقنيات المتطورة والفهم الأفضل للبيتون، أدى ذلك كله إلى الترويج للبيتون الرغوي واستخدامه كمواد بناء جديدة للحفاظ على الطاقة وحماية البيئة نظراً لخصائصه مثل الوزن الخفيف والعزل الحراري الأفضل والأداء الدائم [14].

وقد جرت محاولات كثيرة لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الرغوي باستخدام نسب مختلفة من المكونات، ولمجال كثافة مختلف وتم تحديد خصائص المقاومة على الضغط البسيط وامتصاص الماء من خلال دراسة أجراها Bhatt وآخرون عام 2023 تم فيها استخدام الرماد المتطاير وتراوح مجال الكثافة من kg/m^3(800−1100) بمقاومة مقابلة لها تراوحت بين Mpa(1.3−5.2) أُستخدم فيها البيتون الرغوي للعزل وصناعة كتل بلوك منه[15]، كما وتم إجراء دراسة من قبل الباحثGopal وآخرون عام 202 حول تأثير استخدام رماد الخشب كبديل جزئي للإسمنت على الخواص الميكانيكية للبيتون العادي بنسب استبدال (2%, 4%, 6%, 8%, 10%,12%) وأظهرت نتائج البحث إمكانية استخدام رماد الخشب بنسبة محددة وباعتبارها كمواد بديلة للإسمنت [16]. وفي دراسة أخرى أجراها الباحث Joseوآخرون عام 2020 تم استخدام إضافة خبث الأفران إلى البيتون الرغوي ودراسة تأثيرها على خصائص البيتون الرغوي ودراسة التوصيل الحراري لثلاث كثافات kg/m^3(1400, 1600, 1800)[17] ،وفي دراسة أخرى قام الباحث Mohsen عام 2020 بتقييم استخدام رماد نفايات الخشب من خلال دراسة تأثير دمج رماد نفايات الخشب في إنتاج البيتون كمواد بديلة للإسمنت البورتلاندي جزئياً من أجل إنتاج البيتون المستدام على خصائص المقاومة على الضغط البسيط والكثافة وقابلية التشغيل وامتصاص الماء بتثبيت نسب جميع المكونات وتغيير فقط نسبة رماد الخشب بنسب استبدال (0%, 15%, 20%, 25%, 30%) والتوصل إلى أن النشبة المثلى للاستبدال التي تأثير كبير على خصائص البيتون هي 15%.[18].

بالنسبة للبحث الحالي لم يتم استخدام رماد الخشب كإضافة جديدة للبيتون الرغوي لم يتم استخدامها مسبقاً في إنتاج البيتون الرغوي كما وأنه جميع الإضافات تُضاف عادة كبديل جزئي للإسمنت وفي هذا البحث تم استخدام رماد الخشب كإضافة وليس كبديل جزئي للإسمنت.

2.1 ميزات البيتون الرغوي:

يتميز البيتون الرغوي بعدد من الخصائص الهامة التي تجعل استخدامه مفيداً في العديد من المنشآت الهندسية. يمكن تلخيص هذه الميزات بما يلي:

1. الجدوى الاقتصادية العالية لاستخدامه وذلك بفضل:

- انخفاض الوزن بسبب الكثافة المنخفضة مما يؤدي الى تقليل الحمل الميت للهيكل.
- انخفاض تكلفة البناء بسبب انخفاض تكلفة فولاذ التسليح والقواعد الناجمة عن انخفاض الحمولة الميتة.
- انخفاض تكلفة النقل وسهولة التحميل بسبب خفة الوزن.
- العازلية الحرارية المرتفعة مما سيوفر في الطاقة المستهلكة في التدفئة والتكييف.
- العازلية الصوتية المرتفعة.
- المقاومة الجيدة للحرائق.
- عدم الحاجة إلى عمليات الرج أثناء الصب.

2. الإنتاجية العالية التي تنجم عن الحاجة القليلة لليد العاملة.
3. سهولة الاستخدام والتشكيل بسبب انسيابية وقابليته للانتشار وملئ الفراغات [15–16].

1. مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في صعوبة تأمين بدائل محلية متوفرة تؤمن العزل الحراري والصوتي الجيد للمنشأة بالإضافة إلى ظهور نفايات رماد الخشب بكميات كبيرة وهو ما يقتضي البحث عن طريقة لاستخدام هذه النفايات في الأعمال المدنية حفاظاً على البيئة. من هذه الأعمال صناعة البيتون الرغوي باستخدام هذه النفايات كإضافة ومواد داعمة للبيتون الرغوي ودراسة تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الرغوي والاعتماد على مواد محلية كالمعززات الرغوية محلية الصنع.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث بشكل أساسي إلى دراسة تأثير إضافة رماد الخشب والمعززات الرغوية محلية الصنع على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الرغوي، ووضع منهجية واضحة لإنتاج عينات من البيتون الخفيف والعازل حرارياً وصوتياً باستخدام مواد محلية (رماد الخشب والمعززات الرغوية).

أما بالنسبة لأهمية البحث فهي تأتي من دوره في:

1- المساهمة في تطوير تكنولوجيا البناء.
2- استخدام بعض النفايات الضارة بالبيئة مثل رماد الخشب (Wood ach) في إنتاج البيتون الرغوي.
3- خفض تكاليف التدفئة والتبريد في الأبنية.
4- اعتبار هذه الدراسة إضافة جديدة في مجال البناء والتشييد.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث المنهج التجريبي والمنهج التحليلي لدراسة تأثير استخدام رماد الخشب على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للبيتون الرغوي وقد تم العمل وفق المراحل التالية:

1- الحصول على رماد الخشب وتجهيزها وتوصيفها بالشكل المناسب للاستخدام.
2-توصيف المواد اللازمة لصناعة البيتون الرغوي.
3-صناعة النماذج المخبرية من البيتون الرغوي ودراسة خصائصه الفيزيائية والكيميائية.
4- تحليل ومناقشة النتائج.

1- الإحضارات:

تم إحضار كمية كافية من نفايات رماد الخشب الناتجة عن حرق بقايا نفايات الخشب، والأوزان اللازمة لإنتاج كل خلطة موضحة في الجداول أدناه ولكل خلطة لازمة لصناعة $1m^3$ من البيتون الرغوي يلزم كمية معينة من رماد الخشب تكون بحسب الخلطة المعتمدة.

2- توصيف المواد:

المعزز الرغوي: هو العامل المسبب لظهور الفقاعات الهوائية في البيتون الرغوي، يتكون من 5 مركبات عضوية وغير وعضوية مشتقة من زيت جوز الهند أي جميع هذه المركبات لا تحوي على مواد تضر بالبيتون، ويجب أن تبقى العبوات المحتوية على عامل الرغوة محكمة الاغلاق وتحت درجات حرارة لا تزيد عن 25 درجة مئوية.

رماد الخشب: هو بقايا حرق الأخشاب المتوفر محلياً لونه رمادي ونعومته قريبة من نعومة الإسمنت ووزنه الحجمي ($1100Kg/m^3$)، وتم نخله على المنخل 0.15mm لإزالة الجزيئات الخشنة والتي هي كربون غير محترق والتي ستؤثر بشكل مباشر على خصائص وقوة المادة.

تم إجراء بعض التجارب لتوصيف كل من المعزز الرغوي ورماد الخشب المستخدمة في صناعة البيتون الرغوي من خلال قياس الوزن الحجمي الصلب لكل منهما.

الجدول (1): الكتلة الحجمية الصلبة

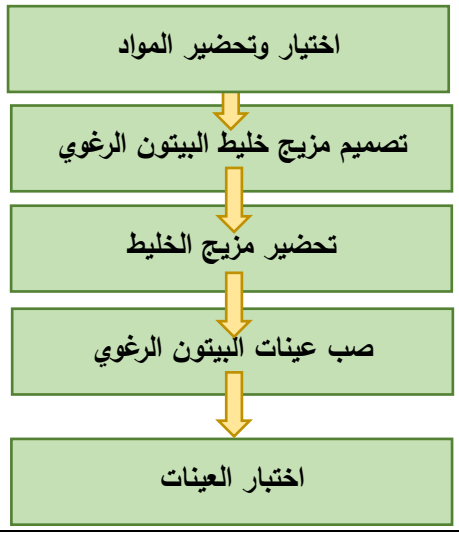
العينة	الكتلة الحجمية الصلبة gr/cm^3
المعزز الرغوي	1.08
رماد الخشب	1.1

3- تحديد نسب مكونات البيتون الرغوي:

تم ذلك بعد إجراء سلسلة من الأعمال المخبرية على عدد من تراكيب البيتون الرغوي تغيرت فيها بشكل منفصل كل من البارامترات التالية:

- دراسة تأثير محتوى المعزز الرغوي.
- دراسة تأثير محتوى الماء.
- دراسة تأثير محتوى رماد الخشب.

يمكن تلخيص الخطوات بالشكل التالي:



تم القيام بدراسة تأثير كل من محتوى المعزز الرغوي ومحتوى الماء ومحتوى رماد الخشب من أجل معرفة تأثير كل منها على المقاومة على الضغط البسيط والكثافة وتحديد القيمة المثالية.

من الناحية العلمية لا توجد طرق ثابتة ومحددة لتصميم خلطات البيتون الرغوي، وللحصول على الخصائص المستهدفة في البيتون يتم استخدام بعض طرق التجربة والخطأ لتصميم المزيج المناسب، فبعد تجارب عديدة تم الوصول إلى خلطة انطلق منها البحث لدراسة تأثير المواد الداخلة في تركيب البيتون الرغوي على خصائص على الضغط البسيط والكثافة.

1-تراكيب عينات البيتون الرغوي بمحتوى متغير من المعزز الرغوي Foam Agent (FA/C):

لدراسة هذا التأثير، تم صب ثمان خلطات من البيتون الرغوي تم فيها تثبيت نسب جميع المكونات وتغيير نسبة المعزز الرغوي فقط للوصول إلى النسبة المثالية لاستخدامه بهدف التصميم الدقيق لتراكيب البيتون الرغوي، ودراسة تأثير باقي المكونات.

يظهر في الجدول التالي التراكيب الخاصة بهذه الخلطات والتي تتغير فيها فقط النسبة FA/C:

الجدول (2): التركيب المعتمد لخلطة البيتون الرغوي بتغير محتوى المعزز الرغوي

تفصيل التراكيب الثمان للبيتون الرغوي									
رمز الخلطة	الإسمنت gr (C)	الماء		رماد الخشب		الفيلر		المعزز الرغوي	
		W(gr)	W/C	WA(gr)	WA/C	F(gr)	F/C	FA(gr)	FA/C(%)
FC-FA:0.1	1000	550	0.55	100	10	200	20	1	0.1
FC-FA:0.08	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.8	0.08
FC-FA:0.07	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.7	0.07
FC-FA:0.06	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.6	0.06
FC-FA:0.05	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.5	0.05
FC-FA:0.04	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.4	0.04
FC-FA:0.03	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.3	0.03
FC-FA:0.02	1000	550	0.55	100	10	200	20	0.2	0.02

النسبة المثالية للمعزز الرغوي هي 0.08% وهذا ما بينته نتائج المقاومة على الضغط البسيط والكثافة التي أعطت أفضل النتائج كما هو موضح لاحقاً في النتائج.

2-تراكيب عينات البيتون الرغوي بمحتوى متغير من الماء(W/C):

لدراسة هذا التأثير، تم صب ثلاث خلطات من البيتون الرغوي تم فيها تثبيت نسب جميع المكونات مع تغيير كمية الفيلر إلى 150gr (بعد دراسة تأثير الفيلر واستنتاج بأن النسبة المثالية هي 150 gr أي ما يعادل 15%) وتغيير نسبة الماء.

يظهر في الجدول التالي التراكيب الخاصة بهذه الخلطات والتي تتغير فيها فقط النسبة W/C:

الجدول (3): التركيب المعتمد لخلطة البيتون الرغوي بتغير محتوى الماء

تفصيل التراكيب الثلاث للبيتون الرغوي									
رمز الخلطة	الإسمنت(C) gr	الماء		رماد الخشب		الفيلر		المعزز الرغوي	
		W(gr)	W/C	WA(gr)	WA/C	F(gr)	F/C	FA(gr)	FA/C(%)
FC-W:0.45	1000	450	0.45	100	10	150	15	0.8	0.08
FC-W:0.5	1000	500	0.5	100	10	150	15	0.8	0.08
FC-W:0.55	1000	550	0.55	100	10	150	15	0.8	0.08

3-تراكيب عينات البيتون الرغوي بمحتوى متغير من رماد الخشب Wood Ash (WA/C) :

لدراسة هذا التأثير، تم صب أربع خلطات من البيتون الرغوي تم فيها تثبيت نسب جميع المكونات مع تغيير نسبة رماد الخشب.

يظهر في الجدول التالي التراكيب الخاصة بهذه الخلطات والتي تتغير فيها فقط النسبة WA/C:

الجدول (4): التركيب المعتمد لخلطة البيتون الرغوي بتغير محتوى رماد الخشب

تفصيل التراكيب الأربعة للبيتون الرغوي									
رمز الخلطة	الإسمنت(C) gr	الماء		رماد الخشب		الفيلر		المعزز الرغوي	
		W(gr)	W/C	WA(gr)	WA/C	F(gr)	F/C	FA(gr)	FA/C(%)
FC-WA:5	1000	500	0.5	50	5	150	15	0.8	0.08
FC-WA:7.5	1000	500	0.5	75	7.5	150	15	0.8	0.08
FC-WA:10	1000	500	0.5	100	10	150	15	0.8	0.08
FC-WA:12.5	1000	500	0.5	125	12.5	150	15	0.8	0.08

إن اختيار النسبة W/C=0.5 هو نتيجة نتائج المقاومة على الضغط البسيط والكثافة التي تحدد النسبة المثالية لاستخدامها في دراسة تأثير المكون الآخر (رماد الخشب).

4 -الدراسة التجريبية:

لصناعة عينات البيتون الرغوي مختلفة التراكيب تم استخدام خلاط كهربائي خاص توضع فيه أولاً كمية من الماء والمعزز الرغوي بالنسب المحددة لتحضير الرغوة بشكل مسبق والخلط لمدة 2 دقيقة بدوران سريع بسرعة 5، يتم بعدها إضافة المواد الجافة تدريجياً بعد خلطها مع بعض بشكل متجانس لضمان التوزيع المتساوي لها وهي الإسمنت ورماد الخشب والفيلر بالنسب المحددة ليتم خلطها مع الرغوة المشكلة مسبقاً لمدة 4 دقائق لضمان انتشار الفقاعات الهوائية بشكل متجانس ضمن بنية البيتون مع مراعاة تخفيض سرعة الخلاط إلى 2 للحفاظ ما أمكن على الفقاعات الهوائية، ثم صب المنتج في قوالب مكعبية بأبعاد 5*5*5cm بعد تزييتها بشكل جيد لمنع التصاق البيتون بالقالب.

يتم فك القوالب بعد 24 ساعة من الصب، وحساب الكثافة الظاهرية للعينات بعد الفك مباشرةً وتم اختبار العينات على المقاومة على الضغط البسيط باستخدام جهاز اختبار عينات المونة الإسمنتية في مخبر تجريب المواد بكلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين وذلك لدراسة تغير المقاومة مع تغيير نسب التركيب المختلفة.

يظهر في الشكل (1) جانب من العمل المخبري في مخبر تجريب المواد.

الشكل(1-a) توليد الرغوة (Foam)

الشكل(1-b) تشكيل خلطة البيتون الرغوي

الشكل(1-c) القوالب المستخدمة

الشكل(1-d) العينات بعد الصب في القوالب

الشكل (1): جانب من العمل المخبري

الشكل (2) : نموذج عن عينات البيتون الرغوي بعد الفك

النتائج والمناقشة:

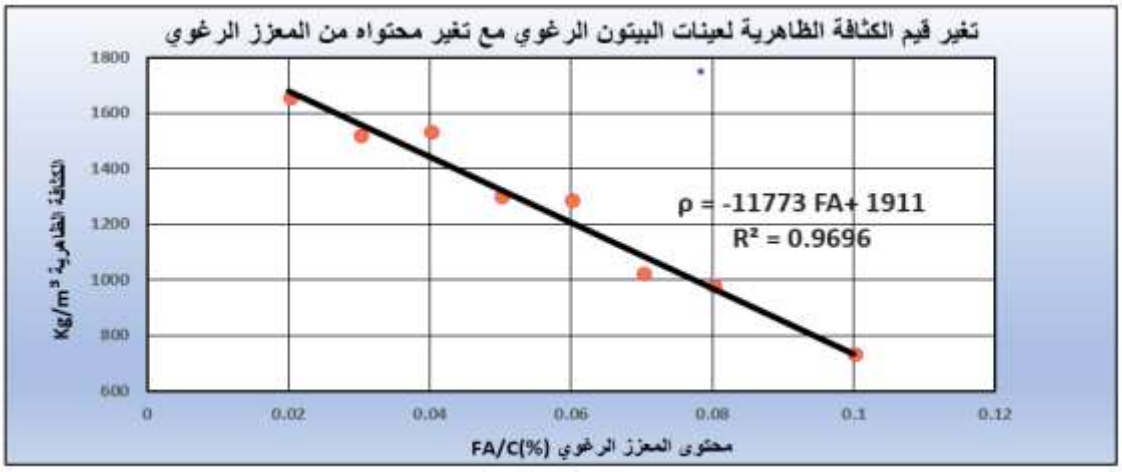
نستعرض فيما يلي أهم النتائج التي توصل إليها البحث بعد إجراء الاختبارات المختلفة على العينات المكعبية 5*5*5cm من البيتون الرغوي، تبين الجداول أدناه قيم الكثافة الظاهرية والمقاومة على الضغط البسيط لعينات التراكيب المختلفة للبيتون الرغوي:

1-تأثر خصائص البيتون الرغوي بمحتوى المعزز الرغوي:

الجدول (5): تغير قيم الكثافة الظاهرية والمقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي بتغير محتوى المعزز الرغوي

العينة	FA/C(%)	الكثافة الظاهرية (Kg/m^3)	المقاومة على الضغط البسيط (Mpa)
FC-FA:0.1	0.1	728	0.84
FC-FA:0.08	0.08	974	2.18
FC-FA:0.07	0.07	1020	2.21
FC-FA:0.06	0.06	1280	4.8
FC-FA:0.05	0.05	1293	6
FC-FA:0.04	0.04	1530	8.28
FC-FA:0.03	0.03	1515	10.24
FC-FA:0.02	0.02	1650	14

يظهر في الشكل (3) منحني تغير الكثافة الظاهرية لعينات البيتون الرغوي مع تغير محتوى المعزز الرغوي:



الشكل (3): تغير الكثافة الظاهرية لعينات البيتون الرغوي مع محتوى المعزز الرغوي

يظهر من المنحني السابق التأثير الواضح لمحتوى البيتون من المعزز الرغوي على قيم الكثافة الظاهرية، إذ تنخفض هذه القيم بشكل قريب من الخطي عند زيادة نسبة المعزز الرغوي في البيتون.

يعود ذلك لزيادة عدد وحجم الفقاعات (الفراغات) الهوائية المتولدة من انحلال المعزز الرغوي في الماء مما سيعمل على زيادة مسامية العينة وانخفاض كثافته.

ملاحظة:إن اختيار مجال المعزز الرغوي تبينه الخلطة أثناء الخلط.

كما يظهر في الشكل (4) منحني تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع تغير محتوى المعزز الرغوي:

الشكل (4): تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع محتوى المعزز الرغوي

يظهر من المنحني السابق التأثير الواضح لمحتوى البيتون من الماء على قيم المقاومة على الضغط البسيط، إذ تنخفض قيمة هذه المقاومة عند زيادة محتوى البيتون من المعزز الرغوي وذلك حتى نسبة قصوى قدرها 0.1%.

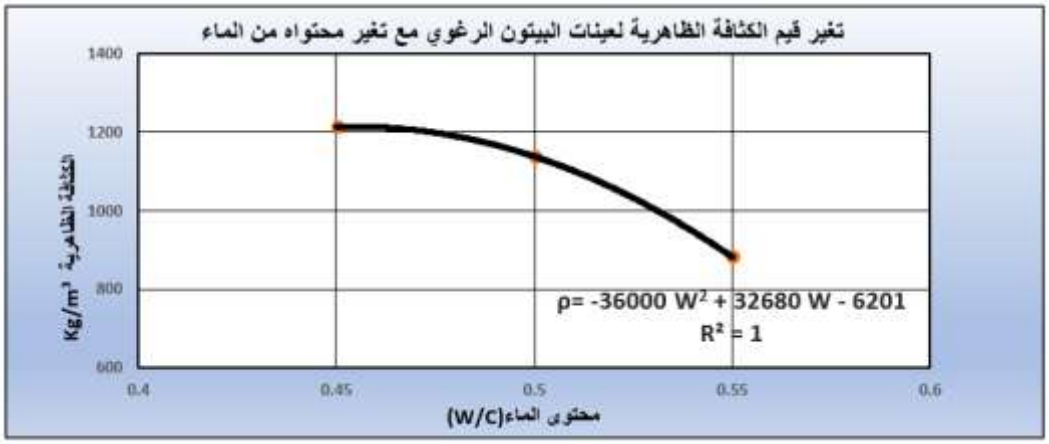
ينسجم هذا المنحني مع المنحني الخاص لتغير قيم الكثافة مع محتوى المعزز الرغوي إذ ترتبط الكثافة ارتباطاً مباشراً مع المقاومة على الضغط البسيط.

2- تأثر خصائص البيتون الرغوي بمحتوى الماء:

الجدول (6) : تغير قيم الكثافة الظاهرية والمقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي بتغير محتوى الماء

العينة	W/C	الكثافة الظاهرية (Kg/m^3)	المقاومة على الضغط البسيط (Mpa)
FC-W:0.45	0.45	1215	3
FC-W:0.5	0.5	1139	2.6
FC-W:0.55	0.55	883	0.5

يظهر في الشكل (5) منحني تغير الكثافة الظاهرية لعينات البيتون الرغوي مع تغير محتوى الماء:



الشكل (5): تغير الكثافة الظاهرية لعينات البيتون الرغوي مع محتوى الماء

يظهر من المنحني السابق التأثير الواضح لمحتوى البيتون من الماء على قيم الكثافة الظاهرية، حيث تنخفض الكثافة مع زيادة محتوى الماء نتيجة زيادة حجم الفراغات الهوائية بوجود كمية كافية من المعزز الرغوي.

يظهر في الشكل (6) منحني تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع تغير محتوى الماء:

الشكل (6): تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع محتوى الماء

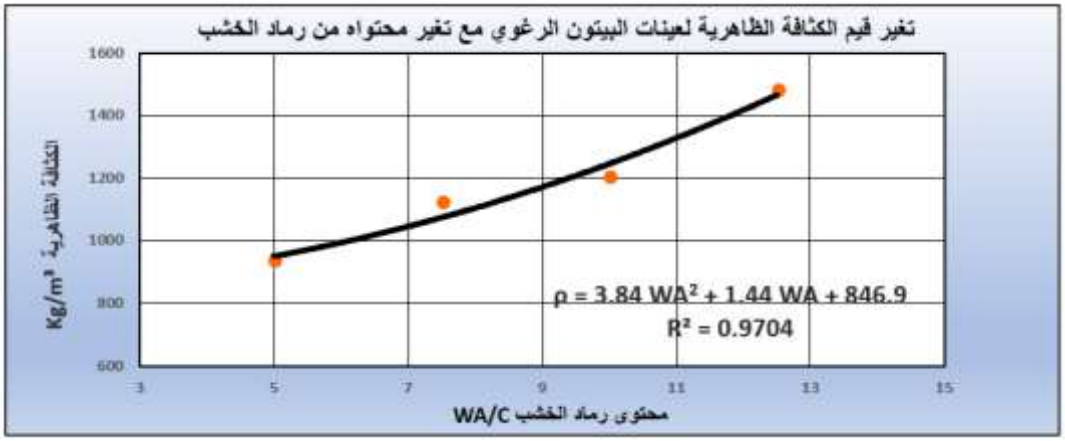
يبين المنحني انخفاض المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع زيادة كمية الماء بسبب انخفاض الكثافة وهو ما يتوافق مع البيتون التقليدي عند زيادة نسبة W/C .

3- تأثر خصائص البيتون الرغوي بمحتوى رماد الخشب:

الجدول (7): تغير قيم الكثافة الظاهرية والمقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي بتغير محتوى رماد الخشب

العينة	WA/C	الكثافة الظاهرية (Kg/m^3)	المقاومة على الضغط البسيط (Mpa)
FC-WA:5	5	953	0.8
FC-WA:7.5	7.5	1119	1.7
FC-WA:10	10	1200	3
FC-WA:12.5	12.5	1480	7

يظهر في الشكل (7) منحني تغير الكثافة الظاهرية لعينات البيتون الرغوي مع تغير محتوى رماد الخشب:



الشكل (7): تغير الكثافة الظاهرية لعينات البيتون الرغوي مع محتوى رماد الخشب

يظهر من المنحني السابق التأثير الواضح لمحتوى البيتون من رماد الخشب على قيم الكثافة الظاهرية، حيث تزداد الكثافة مع زيادة محتوى رماد الخشب نتيجة الطلب على الماء فتقل الفقاعات الهوائية في الخلطة وباعتبار رماد الخشب إضافة فائقة النعومة تسد الفراغات الهوائية وتزيد الاكتناز فتزداد الكثافة.

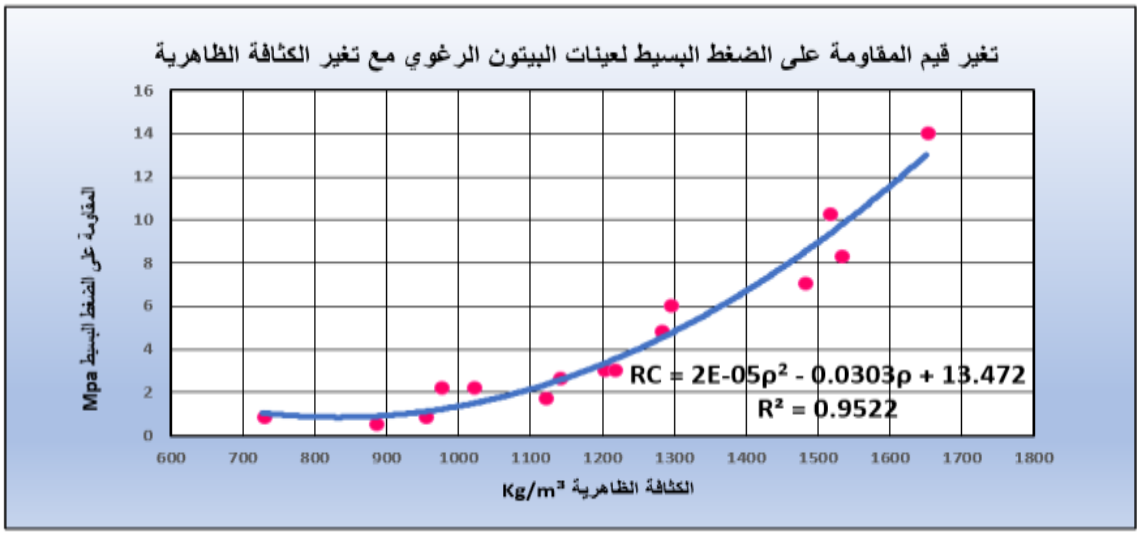
يظهر في الشكل (8) منحني تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع تغير محتوى رماد الخشب:

الشكل (8): تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي مع محتوى رماد الخشب

من المنحني السابق نستنتج أن رماد الخشب يؤثر بشكل واضح على المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي، مع زيادة كمية رماد الخشب تزداد المقاومة نتيجة زيادة الكثافة(وجود جزيئات أكثر نعومة وبالتالي سطح أكبر يجعل رماد الخشب مادة بوزولانية بالإضافة لاحتوائه على السيليكا الغير المتبلورة فبالتالي يرتفع النشاط البوزولاني الذي يؤدي بدوره إلى زيادة المقاومة على الضغط البسيط) ويتم التفاعل وفق المعادلات التالية:

$$CaO + H2O \rightarrow Ca(OH)2$$ (البورتلانديت)

$$Ca(OH)2 + SiO2 \rightarrow C - S - H$$ (الهيدرات)



الشكل (9): تغير المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون الرغوي بتغير الكثافة

يوضح المنحني في الشكل (9) العلاقة بين مقاومة البيتون الرغوي على الضغط البسيط والكثافة الظاهرية وارتباطهما ببعض فمع زيادة الكثافة ستزداد المقاومة على الضغط البسيط كما يوضح الشكل مجال الكثافة تتراوح من(728–1650) Kg/m^3 يتم التحكم فيها عن طريق نسبة المعزز الرغوي.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

بعد استعراض النتائج وقراءتها بشكل دقيق يمكن تسجيل الاستنتاجات التالية الخاصة بإضافة رماد الخشب كإضافة جديدة للبيتون الرغوي ودراسة تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الرغوي:

1) تم التوصل خلال هذا البحث إلى إمكانية إنتاج عينات من البيتون الرغوي بمقاومة على الضغط البسيط بقيم متفاوتة مقبولة ضمن المجال Mpa(0.8–15) وكثافات متباينة واستنتاج النموذج ذو المقاومة المقبولة والكثافة المنخفضة وبمواد محلية (المعزز الرغوي ورماد الخشب) تم تجريبها لأول مرة في صناعة هذا النوع من البيتون في سورية.

2) تعتبر آلية تثبيت الفقاعات الهوائية المتولدة من المعزز الرغوي واحدة من أهم الميزات لضمان نجاح الوصول إلى تراكيب مثالية من البيتون الرغوي (ثبات الفقاعات الهوائية يؤثر على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الرغوي).

3) لا توجد طريقة قياسية لتحديد تصميم نسبة مزيج المواد بدقة في البيتون الرغوي لكن يجب الانتباه إلى عدة عوامل منها طريقة تحضير المعزز الرغوي لضمان توزيع موحد ومتجانس للفقاعات الهوائية، طريقة الخلط، زمن الخلط، نوع المعزز الرغوي، نسب المزج، المواد الداخلة في تركيب خلطات البيتون الرغوي.

4) بينت النتائج التي توصل إليها البحث ملائمة رماد الخشب للاستخدام في البيتون الرغوي كإضافة جديدة فائقة النعومة للإسمنت وكمادة رابطة من خلال قدرته على زيادة تماسك الخلطة وقدرته على الحفاظ على الفقاعات الهوائية (مثبت مناسب للفقاعات الهوائية المتولدة من المعزز الرغوي ومنعها من التلاشي لإعطاء الوزن الخفيف للبيتون الرغوي).

التوصيات:

- نوصي في نهاية البحث بالاهتمام الكبير لهذه النفاية (رماد الخشب) لما لها من تأثير إيجابي بينته نتائج البحث وذلك بعد نخلها للتخلص من بقايا الاحتراق الخشنة ومن ناحية ثانية لما لها من تأثير مفيد على البيئة وبالتالي تحويلها من مصدر قلق للبيئة إلى مادة مفيدة لإنتاج مادة تدعيم بديلة عالية الفعالية عن طريق التخلص منها وإعادة استخدامها لإنتاج بناء منخفض الكلفة وبالتالي تحقيق استدامة بيئية أفضل.
- الاعتماد على المواد محلية الصنع (المعزز الرغوي) لما لها من تأثير إيجابي على صناعة البيتون الرغوي لأغراض العزل وإمكانية إنشاء قواطع داخلية وخارجية لتخفيف الحمل على الأبنية المشيدة في سوريا.
- التوصل إلى معادلة رياضية للتمكن من تحضير الخلطات بسهولة وإنتاج بيتون رغوي بالكثافة المطلوبة.

References:

1. GÖKÇE M, ŞEKER B Ş. Foam concrete. Journal of New Results in Science.2020;9(1):9-18.
2. Kurweti A, Chandrakar R. Specification and quality control of light weight foam concrete. International Journal of Engineering Development and Research.2017;5(2):1932-8--8.
3. Hashmi AF, Khan M, Bilal M, Shariq M, Baqi A. Green concrete: an eco-friendly alternative to the OPC concrete. Construction. 2022;2(2):93-103.
4. Michelini E, Ferretti D, Sirico A, Cerioni R. Experimental investigation on the mechanical behaviour of AAC blocks for sustainable concrete masonry. Acta Polytechnica CTU Proceedings.6-33:370؛2022 .
5. Bostancı SC. Alternative sustainable binder for concrete construction: wood ash as a cement replacement. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2021(31):594-608.
6. Saladi N. Potential Value-Added Utilization of Wood Ash in Construction Materials: The University of Maine; 2019.
7. Raza MS, Kunal R, Kumar D, Mutahar A. Experimental study of physical, fresh-state and strength parameters of concrete incorporating wood waste ash as a cementitious material. Journal of Materials and Engineering Structures «JMES». 2020;7(2):267-76.
8. Khaire R, Rahile R, Balki R, Vairagade R, Ankatwar R, Ingle H. Partial Replacement of Cement in Concrete to Wood ash; 2022.
9. Sahu M, Singh L. Critical review on types of bricks type 13: wood ash bricks. International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2017;5(11):80-3.
10. Moon AS, Varghese V, Waghmare S. Foam concrete as a green building material. International Journal for Research in Emerging Science and Technology. 2015;2(9):25-32.
11. Amran YM, Farzadnia N, Ali AA. Properties and applications of foamed concrete; a review. Construction and Building Materials. 2015;101:990-1005.
12. Oginni FA, John SN. Some Engineering Properties of Foamed Concrete for Sustainable Technological Development. European Journal of Engineering and Technology Research. 2021;6(3):58-62.
13. Kallunkal G, John E. Optimization of foam concrete masonry blocks. Int J Eng Res Gen Sci. 2016;4(5):85-106.
14. Mydin(1) MAO. Strength Properties of Lightweight Foamed Concrete with the Presence of Additives. International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development. 2022;11(1).

15.Bhatt V, Bhatia N. Study on Characteristic Strength of Cellular Light Weight Concrete For Different Proportion Of Composite Material. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT). 2023;11(4): 100-103.
16.Gopal KM, Sreenivasulu G, Sashidhar C. Study the strength development of concrete with wood ash blended cement. Journal of Mechanics of Mathematical Sciences. 2020;(1)379-385.
17.Jose S, Soman M, Evangeline S. Experiments on Foamed Concrete for the Development of building blocks. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). 2020;8(5): 2824-2829.
18.Alghurair M. Evalution of using wood waste ash in concrete. Arab Journal for Scientific Publishing (AJSP). 2020;2(6): 77-90.