

## استخدام مسحوق الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويرها كبديل للأسمنت في إنتاج الملاط

محمد سليمان<sup>1</sup>، شروق الحميري<sup>2</sup>، أسامة القهواجي<sup>3</sup>، عبد الناصر علي<sup>3</sup>، محمد الشارف<sup>3</sup>، سالم

ابوزريبة<sup>4</sup>، عبد المنعم جروود<sup>5</sup>

1: قسم هندسة علوم البيئة، الأكاديمية الليبية فرع مصراته- ليبيا

2: قسم الهندسة الكيميائية، جامعة التكنولوجيا، بغداد- العراق

3: قسم التقنيات الكيميائية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زيتن- ليبيا

4: قسم الكيمياء، الأكاديمية الليبية، طرابلس- ليبيا

5: مصنع ليدة للأسمنت، الخمس - ليبيا

عنوان المراسلة: [mohsuly.2020@gmail.com](mailto:mohsuly.2020@gmail.com)

### المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلي تقييم تأثير استخدام مسحوق الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها نتيجة الصيانة العامة للطريق الساحلي كمادة مضافة وبديلة للأسمنت الناعم في إنتاج ملاط إسمنتي صديق للبيئة وقليل التكلفة. تم استبدال نسبة 5، 7، 10، و13% بالوزن في كمية الاسمنت في الخلطة الإسمننتية لإنتاج الملاط. تم استخدام مجموعة من الاختبارات علي الملاط المصنع بعد وقبل الإضافة، من أهم هذه الاختبارات كانت اختبار تحمل الضغط، اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي، اختبار النعومة، واختبار التمدد. كما تم أيضا إجراء تحليل مكونات العينة عند كل نسبة مضافة من مخلفات الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها ومقارنتها مع الأصلية قبل الإضافة باستخدام تقنية مضاف أشعة سين المفلورة (x-ray). أشارت النتائج المتحصل عليها نتيجة الاختبارات المذكورة بأنها جيدة و خاصة اختبارات تحمل الضغط والتمدد وزمن الشك الابتدائي والنهائي للخلطة الإسمننتية باعتبارها أهم الاختبارات في إنتاج الخرسانة الإسمننتية والملاط. حيث كانت متوسط مقاومة الضغط بعد يومين تتراوح في المدى من 20.5 الي 17.67 نيوتن/ملم<sup>2</sup> عند نسبة إضافة من 5 الي 13% بالوزن. في حين كانت في المدى (59.90 - 53.0) بعد 28 يوم عند النسبة (5 - 13%). في حين ان مقدار التمدد لم يتجاوز 1.5 ملم حتي النسبة 10% وسجل 2.0 في حالة إضافة نسبة 13% كبديل عن الاسمنت في العينة. يمكن اعتماد النسبة 7% من المخلفات الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها من صيانة الطرق في ليبيا هي النسبة المثلي لإنتاج ملاط صديق للبيئة، والتي سوف تساهم في التقليل من انبعاث CO<sub>2</sub> الناتج من صناعة الاسمنت والذي يتولد عند حرق المواد الخام (الحجر الجيري الحاوي علي كربونات الكالسيوم) وتحويله الي أكسيد كالسيوم عند درجات حرارة عالية.

**الكلمات المفتاحية:** الاسمنت، اختبار الشك الابتدائي، اختبار الشك النهائي، الملاط، مقاومة الضغط، التمدد، الإسفلت

### 1. المقدمة

يعتبر مسحوق الاسمنت البورتلانتي واحدة من أهم المواد الهندسية التي تدخل بشكل مباشر في البنية التحتية (الخرسانة) كالإنشاءات المتمثلة في الوحدات السكنية البسيطة إلى الهياكل الكبيرة المعقدة وكذلك بناء للسدود والكباري، والبلاط وغيرها. يمتلك الأسمنت خواص تماسكية وتلاصقية بوجود الماء، مما يجعله قادر على ربط مكونات الخرسانة بعضها البعض، وكذلك الطوب الخاص بالبناء، وتتماسك مع الرمل وحديد التسليح وأن تقاوم التأثيرات البيئية القاسية [1،2].

يتم صناعة الأسمنت من مصدر الكلس (Lime) كالحجر الجيري (Limestone) والحجر الطباشيري (Chalk)، وأحجار طينية رخوة يطلق عليها الطفل (Shale) فهي المصدر الأساسي للسيليكا (Silica) والألومينا (Alumina) والحديد (Iron). حيث تعتمد جودة وخواص الإسمنت على طبيعة ذلك الخليط الأساسي (المواد الأولية الخام من الحجر الجيري والطفل) الداخل في صناعته ونسبة مكوناته، وكذلك طبيعة

تصنيعه كدرجات حرقة وتنعيمه ودرجات تعرضه للهواء. حيث يؤثر ذلك علي خواصه نظراً لاختلاف نسب الأوكسيد فيه طبقاً للتركيب وظروف البيئة المحيطة به ، فقد يعاني نقصاً أو زيادة في واحد أو أكثر من المركبات الرئيسية (سيليكات ثلاثي الكالسيوم ، سيليكات ثنائي الكالسيوم ، ألومينات ثلاثي الكالسيوم ، وألومينات حديد رباعي الكالسيوم) [2]. بشكل عام، تتم صناعة الاسمنت بعدة مراحل تبدأ أولاً باستخراج وجلب المواد الأولية من مصدرها ومعالجتها والتخلص من بعض المواد الغير مرغوب فيها والتي تقلل من جودة المنتج مثل المغنيسيا والفوسفات والقلويات. بعد ذلك، يتم طحن وخلط المواد الأولية بأحد الطرق المعروفة وهي الطريقة الرطبة او الطريقة جافة، ومن ثم تمرر بأفران دوارة كبيرة لأجل حرق ما ينقل إليها من تلك المواد برفع درجات الحرارة تدريجياً لثحل بفعل ذلك الكربونات وتذوب الأكاسيد ، وينتج عنها تكوين مركبات رئيسية جديدة مثل سيليكات ثلاثي الكالسيوم ، سيليكات ثنائي الكالسيوم ، ألومينات ثلاثي الكالسيوم، وألومينات حديد رباعي الكالسيوم. ثم تتكثل تلك المواد الناتجة إلى كرات صغيرة قطرها 3-25 ملم يطلق عليها مصطلح "الكلنكر". الخطوة التالية تتطلب تبريد الكلنكر بشكل سريع للحصول على مواد غير متبلورة (Amorphous materials) أو ما يعرف بالزجاج. تأتي فيما بعد مرحلة طحن الكلنكر مع الجبس (المكونة من كبريتات الكالسيوم المائية  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) لمنع حدوث التصلب الفجائي للاسمنت عند استعماله وإضافة الماء إليه. أخيراً، تتم عملية التعبئة في أكياس خاصة مقاومة للرطوبة [3]. من ناحية أخرى، هناك مادة الإسفلت أيضاً والتي لا تقل أهمية عن الاسمنت كمادة هندسية حيث تدخل في رصف وتعبيد الطرق والمطارات بعد خلطها بالركام. وكذلك تستخدم كعوازل للحرارة والرطوبة في الأسقف عند إنشاء المباني الخرسانية. حيث يتم استغلال كميات كبيرة من هذه المادة الإسفلتية. ولكن نتيجة تعرض هذه الطرق المعبدة الي ظروف بيئية قاسية واختلاف في درجات الحرارة بالنهار والليل وأيضاً خلال فصول السنة بالإضافة الي الأحمال الكبيرة من الشاحنات وغيرها، تتأثر الطرق وتتدهور وتصبح غير صالحة [4]. الأمر الذي يتطلب إجراء الصيانة كإزالة الطبقة العلوية بواسطة آلة الطحن (mill machine) واستبدالها بطبقة جديدة. ان عمليات الصيانة هذه وإزالة الطبقة الإسفلتية الحاوية علي الركام يتولد عنها كميات هائلة تصل إلي آلاف الأطنان، حيث خلال أمتار قليلة من الطريق يمكن ملي شاحنة كبيرة من هذه المخلفات المطحونة والمستمدة من الخلطة الإسفلتية. في الآونة الأخيرة، تشهد ليبيا تطوير في الطرق المعبدة بالإسفلت وخاصة الطريق الساحلي حيث تتولد كميات كبيرة من المخلفات الكتلة الإسفلتية. الأمر الذي أدى الي التفكير في إعادة تدوير هذه المخلفات بعد طحنها كمادة مضافة في الخلطة الإسمننتية لإنتاج الملاط الأسمنتي والذي يعتبر الهدف الرئيسي من هذه الدراسة.



الشكل 1: يوضح عملية صيانة الطريق بواسطة آلة الطحن (a) و الطريق بعد القشط (b).

## 2. الجانب العملي

### 1.2 الأجهزة والأدوات المستخدمة في الدراسة.

تم استخدام عدد من الأدوات والأجهزة في هذه الدراسة أهمها: ميزان لوزن العينة، مؤقت زمني لقياس زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي، مطحنة ، جهاز فيكات ، خلاط كهربائي ، قالب الإختبار مجهز بطول ضلع 65 سم لتكون مسافة كل وجه 50 سم ، قالب لوشاتليه ، حمام مائي ، مخبر مدرج ، خلاط تجانس العينة، آلة الخلط او ما يعرف بالعجانة، آلة الاهتزاز ، جهاز اختبار الضغط ، وأخيراً غرفة ترطيب.

### 2.2 المواد الأولية

تم الحصول على كميات من المواد المعنية بالدراسة كالتالي:

- مادة الاسمنت: مسحوق الاسمنت البورتلاندي رمادي اللون فائق النعومة محلياً من مصنع زليتن.
- مادة الجبس: تم أخذ كمية منه ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) من موقع تخزينه بداخل المصنع وهو على هيئة كرات بلورية بأحجام متفاوتة.
- مخلفات الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويرها: تم تجميع كمية منه من مواقع صيانة الطريق الساحلي من بمدينة الخمس.

### 3.2 طريقة تحضير عينات مسحوق الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويرها

في البداية، تم أخذ كمية حوالي 10 كيلوجرام من الطبقة الإسفلتية المعاد تدويرها من الحقل (الطريق الساحلي بمدينة الخمس) عند إجراء عمليات الصيانة الإنشائية للطريق. وضعت الكمية في خافضة بلاستيكية ونقلت الي مكان العمل بمصنع الاسمنت بزليتن. تم تجفيف العينة في فرن التجفيف ومن ثم طحنت وغربلت. يليه تم إعداد مجموعة من النسب الوزنيه لمسحوق العينات الإسفلتية المعاد تدويرها (5، 7، 10، و 13%) من وزن الاسمنت البورتلاندي العادي وذلك باستخدام الميزان. ويتم وضع كمية العينات المطحونة من الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها مرة أخرى عند درجة حرارة 120 درجة مئوية لمدة 24 ساعة.

#### 1.3.2. الاختبارات المعملية

تم إجراء الاختبارات الآتية علي قوالب الاسمنت المعدل بإضافة النسب الوزنيه (5، 7، 10، و 13%) من الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها من نتيجة صيانة الطريق الساحلي . حيث أجريت الاختبارات عدة مرات لكل عينة ومن ثم اعتماد نتيجة المتوسط لنتائج كل اختبار.

### 2.3.2. اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي

لتعيين زمن الشك الابتدائي، يتم إضافة وخلط كمية من 500 جرام من العينة ومن ثم تضاف اليه 137 جرام من الماء المقطر وتخلط بالعجانة المعملية ومن ثم يملي لقالب بعينة الاسمنت ويسوي سطحها. يلي ذلك وضع القلب في جهاز فيكات وتدلي الإبرة ببطء حتى تلامس سطح العينة وتترك لتتغرس راسيا في العينة حتي تقف ويقرءا التدريج ويسجل الزمن من بداية الخلط. حيث يتكرر القياس لنفس العينة في مواضع متباعدة بحيث لا نقل المسافة بينهما عن حوالي 10ملم تقريبا، وكذلك من حافة القالب وفي فترات زمنية متباعدة بحوالي 10 دقائق. يسجل الوقت من بداية عملية الخلط حتى نفاذ الإبرة لمسافة 25 ملم كزمن شك ابتدائي.

لقياس زمن الشك النهائي، يتم استبدال الابرة في جهاز فيكات ومن ثم تدلي الابرة بببطء حتي تلامس سطح العينة ويترك لتتخذ بالعينة. يتم تكرار القياس للعينة علي ان تزيد الفترة الزمنية بين اختبارات الغرز الي 30 دقيقة ويسجل الزمن الي اقرب 5 دقائق من بدء القياس حتي يبلغ نفاذ الابرة داخل العينة مسافة 0.5 ملم كزمن شك نهائي [5, 2].

### 3.3.2. اختبار النعومة بواسطة المنخل

يتم إجراء هذا الاختبار باستخدام منخل بمقياس 90 ميكرون و 45 ميكرون، حيث يوضع حوالي 10 جام من العينة المراد قياس درجة نعومتها علي المنخل ومن ثم يوضع المنخل علي شفتط الي ويشغل ما تبقي علي المنخل كنسبة مئوية من الحجم الكلي.

### 4.3.2. اختبار تحمل الضغط

في هذا الاختبار، تم أخذ عدة نسب وزنيه من مسحوق الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويرها (5، 7، 10، 13%) من وزن الاسمنت البورتلاندي العادي وذلك باستخدام الميزان. يتم وضع كمية العينات المطحونة من الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها عند درجة حرارة 120 درجة مئوية لمدة 24 ساعة. يتم بعد ذلك وضع 450 جرام من الاسمنت و225 مل من الماء في آلة الخلط حيث يتم الخلط لمدة زمنية قدرها 3 دقائق وبسرعة بطيئة لغرض تجانس الخليط. يلي ذلك إضافة كمية من الرمل القياسي قدرها 1350 جرام مع الزيادة في سرعة الخلط إلي وقت إجمالي 4 دقائق. ومن ثم تنقل العينة للصب في قوالب الاختبار بعد طلاء القالب بقليل من الزيت لمنع حدوث التصق او تماسك بين جدار القالب وخليط العينة وأيضا حتي يتم أخذ العينة من القالب بسهولة. يتم إزالة الخليط الزائد علي سطح القالب. يتم وضع القالب في آلة الهز ما بين (400 - 1200) لفة في الدقيقة لمدة دقيقتين لكي يتماسك الخليط جيدا. ومن ثم يوضع القالب في جهاز الرطوبة ما بين 90 - 94% عند درجة حرارة 20 درجة مئوية لمدة 24 ساعة. يتم إخراج المكعبات الإسمنتية من القوالب وترقم وتوضع في الحمام المائي لحين موعد الاختبارات. مع ملاحظة استخدام النسب الوزنية المذكورة سلفا من مسحوق الخرسانة الإسفلتية كبديل في كمية الاسمنت (450 جرام) المستخدمة في الخليط علي ان يتم أخذ كل نسبة على حده بعد أن يتم إضافة كرات من مادة السيليلوز التي تساعد على تماسك العينة. تم إجراء التجارب المعملية حسب المواصفات القياسية للبيبية رقم 1997/340.

### 5.3.2. اختبار التمدد (ثبات الحجم)

في هذا الاختبار يتم دهن الجدار الداخلي ولوحا الزجاج بزيت مناسب ، يوضع القالب الفولاذي فوق أحد اللوحين الزجاجيين ثم يملأ القالب بالعجينة الأسمنتية بلطف كي يحافظ على الشق في وضعه الطبيعي. يلي ذلك ، يغطى القالب بلوح الزجاج الأخر ويوضع فوقه الثقل المناسب. يوضع القالب في جهاز خاص للرطوبة لمدة يوم كامل (24 ساعة) تحت ظروف حرارية ما بين (20) م° و 90% رطوبة. يوضع القالب في ماء بدرجة حرارة 36 م° لمدة 30 دقيقة. يرفع القالب من الماء وتقاس المسافة بين طرفي المؤشرين (ف 1) إلى أقرب 0.5 ملم. يغمر القالب في الماء الساخن لمدة 25-30 دقيقة ثم ترفع حتى درجة الغليان ويترك القالب هناك لمدة ساعة واحدة على الأقل. يرفع القالب من الماء ويترك ليبرد حتى درجة حرارة الغرفة. تقاس المسافة بين طرفي المؤشرين (ف2) إلى أقرب 0.5 ملم. يتم الاختبار ثلاثة مرات على أقل تقدير ويتم حساب المتوسط للنتائج عند القياس.

### 6.3.2. اختبار الفاقد بالوزن نتيجة الحرق

يتم إجراء هذا الاختبار بوضع حوالي 10 جرام من العينة في بوتقة حرارية في الفرن عند درجة حرارة 900 درجة مئوية لمدة 60 دقيقة ومن ثم يتم حساب الفرق بالوزن كنسبة مئوية.

### 7.3.2. اختبار المواد الغير قابلة للذوبان

يتم إجراء هذا الاختبار لمعرفة محتوى العينة من أكسيد الكالسيوم الحر حيث يتم الكشف عليه بواسطة استخلاصه من الاسمنت عن طريق، وضع حوالي 1 جرام من العينة في دورق قياسي سعة 250 مل ويضاف إليه 50 مل من محلول ايثلين جلايكول ويحرك جيدا. ومن ثم يوضع الدورق وبه المحلول في حمام مائي عند 70 درجة مئوية لمدة نصف ساعة. بعد ذلك يرشح المحلول من الدورق بواسطة ورق ترشيح ويعاير بواسطة 1.0 عياري من حامض الهيدروكلوريك باستخدام دليل مناسب وأخيرا تحسب النسبة المئوية للكلس الحر.

### 8.3.2. تحليل المكونات للعينة

يتم إجراء هذا الاختبار لمعرفة نسبة المكونات الموجودة بالاسمنت قبل وبعد إضافة مخلوط الإسفلت المعاد تدويره ومدى مطابقتها للمواصفة القياسية الليبية. حيث يتم بوزن حوالي 10 جرام من العينة ووضعها بجهاز التحليل بمضيايف أشعة سين المفلورة fluorescence spectroscopy (x-ray) لدقائق معدودة.

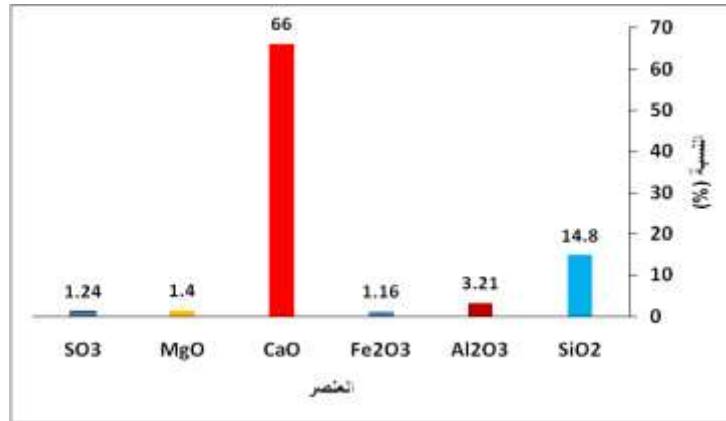
## 2. النتائج والمناقشة

جدول رقم 1: نتائج المقارنة الشاملة لجميع الاختبارات للعينات مقارنة مع عينة الاسمنت والعينة القياسية.

المواد الغير قابلة للذوبان (%)	الفاقد بالحرق (%)	اختبار النعومة بواسطة المنخل (%)		اختبار زمن الشك (دقيقة)		اختبار التمدد (ملم)	اختبار تحمل الضغط (نيوتن/ملم <sup>2</sup> )			العينة
		90 μ	45 μ	الابتدائي	النهائي		بعد 3 أيام	7 أيام	28 يوم	
> 5	< 5	<10	---	---	> 60	<10	>42	>16	>10	القياسية
< 1.5	< 1.5	<3.9	14>	255 - 240	230-220	1.5 - 0.8	61-57	43-38	21-18	الاسمنت
1.38	3.44	4.2	14.6	250	224	1.0	59.90	41.85	20.25	نسبة 5%
1.39	4.0	4.5	14.8	245	210	1.5	57.90	40.20	18.72	مسحوق 7%
1.35	5.32	5.30	16.80	245	215	1.5	56.60	38.75	17.80	الخرسانة 10%
1.23	6.46	6.4	17.8	275	245	2.0	53.70	37.80	17.65	الإسفلتية 13%

جدول رقم 2: التحليل لمكونات المساحيق (الخطاط) باستخدام مطياف أشعة سين المفلورة X-ray

العنصر	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
اسمنت المصنع	21.09	4.97	3.86	62.16	1.62	0.36	0.76	2.02	0.003
5%	21.48	5.06	3.62	62.67	2.01	0.37	0.77	2.25	0.0284
7%	21.29	4.97	3.56	62.44	2.19	0.37	0.76	2.23	0.027
10%	20.85	4.81	3.53	62.31	2.35	0.34	0.74	2.20	0.003
13%	20.24	4.59	3.50	62.015	2.68	0.32	0.72	2.29	0.003



الشكل 2: يمثل نتائج تحليل مكونات مسحوق الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويرها.

من خلال نتائج الاختبارات المتحصل عليها في هذه الدراسة يتبين هناك انخفاض طفيف في اختبار قياس نسبة النعومة بواسطة المنخل كلما زادت نسبة مسحوق الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها في الخلطة الإسمنتية. الأمر الذي بدوره لايرى أدي إلي انخفاض بسيط في قوة تحمل الضغط في العينات المعدلة خاصة عند نسبة 10% و 13%. كذلك الاختلاف في مواصفات آلة الطحن يمكن أن يقلل من كفاءة الطحن وبالتالي يقل مستوى او درجة النعومة للعيينة. في حين نتائج اختبارات كل من زمن الشك الابتدائي والنهائي واختبار التمدد بالإضافة إلي اختبار قياس نسبة المواد الغير قابلة للذوبان كانت جميعها جيدة وفي مدي المواصفة القياسية الليبية المعمول بها داخل مصنع الاسمنت. في حالة اختبار التمدد (ثبات الحجم)، كانت النتائج ايضا جيدة ووفق المواصفة ويعزى زيادة نسبة التمدد في الخلطة عند نسبة 13% من المادة المضافة الي الزيادة الطفيفة في نسبة أكسيد المغنيسيوم حيث كانت نسبة أكسيد المغنيسيوم 2.68 عند إضافة 13% من المادة المضافة الي العينة الإسمنتية، حيث سجل مقدار التمدد 2 ملم مقارنة بعينة اسمنت المصنع (0.8 – 1.5) ملم والتي كانت جيدة عند النسب الوزنيه (5، 7، 10%) حيث لم تتراوح الحد القياسي للعيينة الأسمنتية للمصنع. أظهرت نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي توافق مع معايير وحدود المواصفات الليبية (97 : 340) التي تعيد بأن زمن الشك الابتدائي فيها لا يقل عن 45 دقيقة في حين لا يزيد زمن الشك النهائي عن 10 ساعات، وهذا سوف يساعد في نقل وصب ومناولة الخلطة الإسمنتية في ظروف أمانة [3, 5, 2].

كما بينت النتائج المتحصل عليها من تحليل مكونات العينة قبل وبعد إضافة نسب مختلفة من خلطة المادة الإسفلتية المعاد تدويرها، والموضحة بالجدول رقم (2) بانخفاض ملحوظ في نسبة المواد الغير قابلة للذوبان والتي سوف يقلل من عملية تمدد الخرسانة الإسمنتية. أيضا احتواء المادة المضافة (الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها) علي نسبة جيدة من أكسيد الكالسيوم (CaO) وأكسيد الالومنيوم ( $Al_2O_3$ )، الشكل (2) لقد حافظ علي معدل قياسي لهذين المكونين في العينة وبالتالي يحدث الانسجام والتداخل الجيد في الخرسانة الإسمنتية المعدلة والذي أعطي تجانس وقوة تحمل جيدة في الملاط الأسمنتي المصنع. نتائج مقارنة تحصل عليها الباحثين عند إضافة بعض المخلفات الصناعية للاسمنت في إنتاج الخرسانة الإسمنتية [6-11]. علي سبيل المثال، تم استخدام غبار الاسمنت بنسبة 2، 4، 6، 8% بالوزن كبديل للاسمنت لإنتاج الملاط. حيث كان زمن الشك النهائي 235 دقيقة، مقاومة الضغط 50 نيوتن/ملم<sup>2</sup> بعد 28 يوم، ومقدار التمدد 0.75 ملم [2]. أيضا أشارت دراسة أخرى، تم فيها استخدام مخلفات الرخام كبديل للركام الناعم (الرمل) لإنتاج الخرسانة بنسبة (10، 30، و 50%) بالحجم. لوحظ من النتائج المتحصل عليها بان إضافة نسبة 30% من الرخام

الناعم كبديل للركام الناعم في الخلطة أدى إلي الزيادة في تحمل الخرسانة لاختبار الضغط مقارنة بالخلطة العادية [11].

من ناحية أخرى، فإن انخفاض نسبة أكسيد الحديد في الخلطة الملاط الأسمنتي المعدل مقارنة بالخلطة غير المعدلة سوف يساهم في الوصول الي زمن شك قياسي وبالتالي الحصول علي الصلابة المبكرة، في حين ارتفاع هذه النسبة سوف يعمل غلي تبطئ من زمن الشك وعليه تنخفض الصلابة المبكرة. إن الارتفاع في نسبة الفاقد بالوزن نتيجة الحرق كان ملحوظا في العينات المعدلة حيث سجلت 5.30 و 6.46% عند إضافة النسبة 10% و 13% علي التوالي، مقارنة مع الملاط العادي وهذا يرجع إلي أن مكونات الإسفلت هي عبارة عن مركبات عضوية والتي إذا تعرضت الي درجات الحرارة العالية (900 م°) سوف تتكسر ويصبح هناك فقد في الوزن. من خلال النتائج المتحصل عليها ومقارنة تأثير إضافة مسحوق الخلطة الإسفلتية المعاد تدويرها من صيانة الطريق الساحلي بمدينة الخمس يمكن اعتماد النسبة 7% بالوزن كأفضل نسبة إضافة في الخلطة الأسمنتية المعدلة لإنتاج الملاط.

#### 4. الاستنتاجات

من خلال النتائج المتحصل عليها نتيجة إجراء عدد من الاختبارات علي الخلطة الإسمنتية المعدلة بإضافة نسب وزنيه مختلفة من خليط الإسفلت المعاد تدويرها يمكن استنتاج النقاط الآتية:

- 1- إمكانية استخدام مسحوق الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويره نتيجة صيانة الطرق المعبدة كبديل للإسمنت البورتلاندي في صناعة الملاط عند تعويض ما نسبته حتى 7%. حيث كانت نتائج الاختبارات مطابقة للمواصفات الليبية.
- 2- أن إعادة تدوير الخرسانة الإسفلتية المستهلكة بعد طحنها في إنتاج الخرسانة الإسمنتية يمكن أيضا أن تلعب دورا بيئيا واقتصاديا.
- 3- جميع الاختبارات لعينات الملاط الأسمنتي كانت جيدة وتطابق المواصفات الليبية في مجال البناء، عند إضافة نسبة وزنيه من المادة المضافة (5، 7، 10%).
- 4- وفق الاختبارات علي قوالب العينات تم اختار نسبة 7% بالوزن من مسحوق الخرسانة الإسفلتية المعاد تدويرها كنسبة مثلي في عمليات الإضافة.
- 5- أن متوسط قيم مقاومة الضغط للقوالب المحضرة أيضاً يتوافق مع حدود المواصفة الليبية ، وأن ذلك يمكن أن يعطي مؤشرا عن نوعية وجودة الخرسانة المعدة للإنشاء ودليل جيد لمعظم خواصها الأخرى.

#### المراجع

- [1] سلطان م. س.، دعباج ع. م.، الفاندي م. ا.، البلعزي ح. ع. (2022) تأثير اختلاف مصادر الإسمنت والركام الخشن علي مقاومة الضغط للخرسانة المصنعة من مواد محلية، المؤتمر الهندسي الثالث لنقابة المهن الهندسية بالزواوية.
- [2] الفهواجي أ.، هرام إ.، شنيبة ع. ا. & د. د. خيل أ. (2022). تقييم تأثير إضافة غبار الإسمنت على بعض خصائص الإسمنت البورتلاندي. مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية (1) 8 ,

[3] لقهواجي أ.، الفطيسي ر.، مشيري أ.، العباني ع. ا. & ،ابوزربية س. (2023). تأثير إضافة غبار الطوب الأحمر الحراري (الياجور) على مواصفات مادة الكلنكر للإسمنت البورتلاندي. *مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية*، المجلد 9 العدد 1.

[4] Sulyman M. O., Sienkiewicz M. and Haponiuk J. (2013) New Study on Improved Performance of Paving Asphalts by Crumb Rubber and Polyethylene Modification, *J Material Sci Eng* 2:4.

[5] المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997 الخاصة بالإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية- طرابلس.

[6] Abdulabbas Z. H. (2013) Utilization of Cement Kiln Dust in Concrete Manufacturing, *Jordan Journal of Civil Engineering*, Volume 7, No. 1.

[7] Al-Mabrook, F.A. (2010) Utilization of Dust Profile Path of Cement Factory in Producing Low-cost Building Materials.. *The 11<sup>th</sup> Arabic Conference of Mineral Wealth*.

[8] Bhatti MSY. (1984) Use of Cement Kiln Dust in Blended Cements. *World Cem*;15(4).

[9] Bhatti MSY. (1986) Properties of Blended Cements Made with Portland Cement, Cement Kiln Dust, Fly Ash, and Slag. *In: Proceedings of the International Congress on the Chemistry of Cement, Communications Theme 3*, vol. 1.04, Brazil:. 118–127.

[10] أيمن س. القطوس ، فيصل ص. ورغ ، أمحمد ر. بلغو (2020). تأثير إضافة مخلفات مصانع الرخام كبديل للركام الخشن للخرسانة المستخدمة في البناء على مقاومة الضغط والموصلية الحرارية " ، مجلة شروس ، العدد الأول، جامعة نالوت - دولة ليبيا.

[11] ناصف ح. م.، صافي م. ع.، مامي م. أ. (2020) استخدام مخلفات ورش الرخام كبديل للركام الناعم والخشن لإنتاج الخرسانة، مشروع تخرج مقدم كجزء من متطلبات الحصول علي شهادة البكالوريوس في الهندسة المدنية، كلية الهندسة، الجامعة الأسمرية الإسلامية.