مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية
المجلد (8)، العدد (1) (يونيو-2022)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

تقييم تأثير إضافة غبار الإسمنت على بعض خصائص الإسمنت البورتلاندي

أسامة القهواجي*، إبراهيم هرام، عبد الباسط شنينة، أحمد دخيل

قسم الهندسة الكيميائية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زليتن، ليبيا.

*البريد الإلكتروني: osamah2022ghwaji@gmail.com

Evaluation of the Effect of Cement Dust Addition on Some Characteristics of Portland Cement

Osamah A. Algahwaji *, Ibrahim M. Haram, Abdullbasit H. Salim, and Ahmed A. Dakheel

Department of Chemical Engineering, Higher Institute of Engineering Technology, Zliten, Libya.

Received: 21 April 2022; Revised: 15 June 2022; Accepted: 28 June 2022.

الملخص

تعتبر صناعة الإسمنت إحدى الصناعات الكبرى والاستراتيجية في ليبيا وكذلك الحال في عديد من دول العالم وتتجه الدول إلى الاهتمام بهذه الصناعة نظراً لتوجهها لإنشاء وتوفير مزيد من فرص العمل والاستثمار وإنعاش حركة الاقتصاد، ولكنها كأي صناعة أخرى لها من الجوانب ما هو سلبي خاصة على الصعيد البيئي عندما يكون هناك غازات وجُسيمات دقيقة (غبار) تطرح كنواتج عرضية من عملية التصنيع أهمها ما يطلق عليه غبار الإسمنت (Cement Dust, CD). ولغرض الاستفادة من هذه المخلفات والنواتج العرضية وتحقيق مردود بيئي واقتصادي، تناولت هذه الدراسة تقييم إمكانية الاستفادة من غبار الإسمنت (CD) من خلال إعادة تدويره وإضافته بنسب مئوية عدة (2، 4، 6، 8) % وزناً مع مادة الإسمنت البورتلاندي المنتج، وإجراء بعض الاختبارات على المكون النهائي مثل (اختبار الشك الابتدائي والشك النهائي، اختبار الضغط، وأخيراً اختبار التمدد). حيث آلت النتائج النهائية إلى أن إضافة نسبة وقدرها 6% من غبار الإسمنت (CD) إلى الإسمنت تؤدي إلى إنتاج منتج نهائي جيد يطابق المواصفات القياسية الليبية.

الكلمات الدالة: إسمنت بورتلاندي، غبار الإسمنت، زمن الشك الابتدائي، زمن الشك النهائي، مقاومة الضغط، معدل التمدد.

Abstract

The cement industry is one of the biggest and most strategic industries in Libya and so as in many other countries around the world. Many of those countries pay great attention to national prosperity and economic growth, yet make jobs available to people. However, such industries and so as many others have negative sides, particularly in regard to the environment. These industries generate emissions such as gases and particles as extraneous products of the cement production process of which the so-called cement dust (CD) is most important. To take advantage of this extraneous product and to achieve environmental and economic benefit, this study investigates the possibility of CD recycling and blending at (2, 4, 6, & 8) wt.% with Portland Cement, and investigates some tests such as initial and final setting times tests, compressive strength test, expansion test. The final results proved that blending (6 wt.%) was most appreciable as fitted with the Libyan standard specifications.

Keywords: *Portland Cement, Cement dust, Initial setting time, Final setting time, Compressive strength, Expansion test.*

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

1. المقدمة

في ليبيا كما في غيرها في عديد من دول العالم، تعتبر صناعة الإسمنت من الصناعات المهمة والاستراتيجية التي تساعد الدولة في الدفع بعجلة اقتصادها نحو التنمية وإنعاش خزينتها، ناهيك عن توفير فرص عمل للكثير من مواطنيها سواء داخل مصانع الإنتاج أو فيما بعد تصنيعها في عمليات الإنشاء والأعمار. الجدير بالذكر أن تاريخ بداية صناعة الإسمنت في العالم كان في منتصف القرن الثامن عشر وأشتق اسمه من حجر بورتلاند، الذي يعد نوع من أحجار البناء المحفور في جزيرة بورتلاند في مدينة دورست بإنجلترا. تم تسميته بالإسمنت البورتلاندي العادي في عام 1756م على يد المكتشف جوزيف أسبدين الذي حصل على براءة اختراع لها في عام 1824م، ومن بعده تم تطويره على يد ابنه ويليام أسبدين الذي اخترع الإسمنت البورتلاندي المتعارف عليه حديثاً (Blezard, 1998). ويعد هذا النوع من الإسمنت الأكثر شيوعاً بعد أن توالت ظهور أنواع أخرى من الإسمنت مع تطور هذه الصناعة. يعتبر الإسمنت البورتلاندي أحد أهم المواد المستخدمة في البناء والأعمال الإنشائية، حيث إنه المكون الأساسي لتصنيع الخرسانة وتثبيت البلاط. يتصف الإسمنت بأنه مادة دقيقة لينة على شكل مسحوق رمادي اللون، يستخدم كمادة رابطة ناعمة تمتلك خواص تماسكيه وتلاصقيه عند إضافة الماء إليها لتتصلب وتقسى وتشكل مواد بناء قوية تقاوم التأثيرات البيئية المحيطة وتربط مكونات الخرسانة مع بعضها البعض كما ذكر كل من الترهوني وشقلابو (2019) وكذلك (Bye, 1999).

من ناحية أخرى، فإنه أثناء مراحل عملية التصنيع للإسمنت البورتلاندي، يتم إنتاج ما يسمى بغبار الإسمنت (CD) الذي يعتبر من المخلفات وناتج عرضي عن صناعة مادة الإسمنت، والمقدر له على نحو تقليدي أن يقذف به في الفضاءات الخارجية (Devi *et al.*, 2017). ففي جمهورية مصر العربية، قدر الخبراء إنتاج هذا النوع من الغبار أثناء عملية التصنيع للإسمنت بكمية تقدر بحوالي ما بين (2.5–3.0) مليون طن سنوياً (Saraya & Aboul-Fetouh, 2012). وتتشابه تلك المخلفات المسماة بغبار مواد خام الإسمنت من حيث المظهر مع الإسمنت البورتلاندي. ومن ضمن المكونات الأساسية لغبار مواد خام الإسمنت أهمها أكسيد الكالسيوم (CaO) المشتقة من الحجر الجيري والسيليكات المشتقة أساساً من الرمل أو الطين وهي تماثل محتوى المادة الخام المستخدمة لإنتاج الإسمنت البورتلاندي. بالإضافة إلى مكونات أخرى كالألومينا والمغنيزيا (أكسيد الماغنسيوم) وأكاسيد فلزية قلوية والكلوريد والكبريتات بنسب ضئيلة ولكن بنسب أكثر مما هو متوفر في المادة الخام إلى حد ما كما بينه (Adaska & Taubert, 2008).

ووفقاً للجوانب الاقتصادية، يكلف التخلص الآمن من غبار مواد خام الإسمنت شركات صناعة الإسمنت مبالغ ضخمة، بالرغم من ذلك له من المزايا ما يسمح باستغلاله في عدة مجالات أخرى، إما كمادة أولية كما هي أو من خلال خلطه كمادة مضافة مع مواد أخرى بهدف تحسين خصائصها. إن الطريقة والمنهج المتبع في تعيين خواص غبار المادة الخام الملائمة للاستخدامات المتعددة يمكن الحصول عليها من خلال إتباع المرشد أو الدليل القياسي (ASTM D5050) الخاص بالاستخدام التجاري لغبار المادة الخام (ASTM, 2015). حيث تشير الدراسات السابقة بأن ما يقارب 533,365 طن متري من الغبار يتم استخدامه كمثبتات لأنواع عدة من الترب وتماسكها (Soil/Clay stabilization and consolidation) (Adaska & Taubert, 2008) وذلك نظراً لمحتواها العالي من (CaO) والذي يتمتع بقدره عالية في تعزيز فاعلية مثبتات أخرى مثل الرماد المتطاير (Fly ash)، ويتم استخدام غبار الإسمنت بشكل مكثف وبفاعلية كمادة ربط لتثبيت الترب خاصةً الترب الطينية المُمدة وفق ما ذكره كل من (Sayah, 1993; and Zaman *et al.*, 1992)، حيث أشارت نتائج كلا

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

الدراستين بمدى تطابقهما مع تلك النتائج الخاصة بالإسمنت البورتلاندي والرماد المتطاير وكذلك الحجر الجيري فيما يتعلق بتثبيت الترب المُـــمدة. في حين تم استخدام غبار مواد خام الإسمنت في تثبيت الحصى عند إنشاء الطرقات العامة على هيئة خرسانة مسلحة غير إسمنتية مع الحجر الجيري كمادة تكتليه (Miller *et al.*, 1980). إضافةً إلى ذلك، يمكن أن يستغل غبار خام الإسمنت كمادة تحتية عند رصف وتعبيد الطرقات العامة بالأسفلت وفق ما أشار إليه (Zaman *et al.*, 1992; and Miller *et al.*, 1980). كما يستخدم غبار خام الإسمنت كمادة مضافة للأسفلت وذلك لغرض تحسين مواصفات الأسفلت الفيزيائية مثل قيم الاختراق (Penetration values) وفق ما ذكره (Sulyman *et al.*, 2021).

إضـــافة إلى ما تم ذكره أعلاه، يتم أيضـــا اســـتخدام مواد خام الإسمنت بكميات كبيرة في مجال معالجة المياه العادمة (Wastewater Treatment) وذلك عبر استخدامه في تثبيت أوحال مياه المجاري الضحلة (Sewage sludge)، حيث تم استخدام كمية وقدرها 213,675 طن متري من هذه المادة في معالجة المياه العادمة وتثبيت أوحالها في الولايات المتحدة الأمريكية وفق ما ذكره (Elbaz *et al.*, 2019) حيث أشارت الدراسة أيضاً إلى أن غبار مواد خام الإسمنت أكثر رخصاً من حيث التكلفة من الحجر الجيري المتداول بشكل مكثف في معالجة الأوحال وتثبيتها، وكنتيجة لذلك فهو يعمل أيضا على إزالة الأضرار الصحية وكذلك الروائح المزعجة للمياه العادمة وأوحالها. والجدير بالذكر، أن العجينة الخاصة بالوحل المرشح والمعالج بغبار خام الإسمنت يمكن أن يستخدم كمخصبات زراعية تربة (Burnham, 1992).

ينبعث الغبار بشكل رئيسي من أجزاء عدة داخل مصنع الاسمنت مثل آلة طحن المادة الخام (Raw mills)، منظومة الحرق (Kiln System)، مبردات الكلنكر (Clinker Coolers)، وآلة طحن الإسمنت (Cement mills) .بشكل عام فإن الخطوات العملية الخاصـــة بصـــناعة الإسمنت تكمن في حقيقة أن غازات العوادم المنبعثة (أو هواء العوادم) يتم مرورها عبر المادة المطحونة ناتجاً عنها بشكل أساسي خليط منتشر من الغازات والجُسيمات الدقيقة، غالباً ما تكون طبيعة الجسيمات الناشئة مرتبط بالمصدر –المادة الخام نفسها (جزء منها متكلس)، خبث المعادن، أو الإسمنت (Devi *et al.*, 2017). يتم تصنيف صناعة الإسمنت ونواتج التصنيع من قبل خبراء البيئة من بين الصناعات الملوثة للبيئة والصحة العامة بشكل مباشر؛ إذ تتسبب في تلويث التربة وتشويه المظهر العامة للمناطق المجاورة ناهيك عن الأضرار والمشاكل الصحية للعاملين فيها وللسكان المجاورين للمصنع، جراء غبار مواد خام الاسمنت (Daous, 2004). بالإضافة إلى ذلك، يشار إلى أن الانبعاثات لا ينحصر ضررها في تلويث جودة الهواء ومن ثم الإضرار بصحة الإنسان فقط؛ ولكن لهذه الانبعاثات تأثيرات سلبية أيضاً على المستوى العالمي ناتجاً عنها على سبيل المثال زيادة في درجات الحرارة العالمية أو الزيادة في ظاهرة الإحماء العالمية (Global warming)، دمار طبقة الأوزون، نشـــوء أمطار حمضية، فقدان واندثار التنوع الحيوي في كثير من مناطق العالم، وخفض في الإنتاج الخاص بالمحاصيل ... إلخ (Devi *et al.*, 2017). من هذا المنطلق، وما تم ذكره سلفاً يتم في هذه الدراسة استعراض أهم نتائج إعادة تدوير غبار خام الإسمنت مع الإسمنت البورتلاندي ودراسة مدى مطابقة خصائص المنتج النهائي مع المعايير القياسية الليبية.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

2. المواد وطرق العمل

1.2. المواد الأولية

تم الحصول على كميات من الإسمنت البورتلاندي المصنع محلياً (رمادي اللون فائق النعومة) من إحدى مخازن مصنع إسمنت زليتن التابع للشركة الأهلية لصناعة الإسمنت بمدينة زليتن، ليبيا، والذي مواصفاته مطابقة للمواصفات القياسية الليبية (97:340). بينما تم الحصول على كميات من غبار مواد خام الإسمنت (CD) من مرشحات كهربائية مزودة بالمصنع وهو مسحوق بني مائل للاصفرار. كمية من الرمل القياسي (رمل ناعم طبيعي) وقدرها 1,350 جم ومصدرها رمل مدينة زليتن. المياه المستخدمة في جميع عمليات تحضير العينات كانت من نوع ماء ثنائي التقطير (Bi-distilled water).

2.2. الأجهزة والأدوات المعملية

تم استخدام العديد من الأدوات والأجهزة لإعداد المزيج وإجراء الاختبارات وفق الجدول (1).

جدول 1. الأجهزة والأدوات المعملية

الجهاز/الأداة	استخدامها
ميزان حساس (0.1 مجم-220 جم) (من نوع Sartorius competence (CP224S, Germany	لوزن المواد والعينات
مطحنة	لطحن الخليط بمحتوى سليلوز
جهاز فيكات (له طرف اسطواني مثبت بالأجزاء المتحركة ومصنوع من المعدن غير قابل للصداء طوله حوالي 50 مم وقطره 10 مم)	لاختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي
خلاط كهربائي	لخلط المزيج
قالب الاختبار (طول الضلع 65 سم)	لإعداد القوالب مسافة كل وجه 50 سم
قالب لوتشيه (مصنوع من سبيكة نحاسية خاصة بها شق طولي عير قابل للتآكل أو التفاعل مع مكونات الإسمنت أو الماء، كما للجهاز ذراعان)	لاختبارات تمدد عجينة الإسمنت
حمام مائي	للتسخين لدرجة الحرارة المطلوبة
جهاز اهتزاز	لهز القوالب المعدة لاختبار الضغط
ألة ضغط كهربائية (مزودة بمعدل ضغط أو حمل منتظم قدره 35 نيوتن/مم^2 في الدقيقة)	لضغط القوالب
مؤقت زمني	لقياس زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

3.2. طريقة التحضير

تمهيداً للدراسة، تم أخذ عدة نسب وزنية من غبار مواد خام الإسمنت (2، 4، 6، 8) % من وزن الإسمنت البورتلاندي العادي الذي كان مقدر بحوالي 10 جم (الجدول 2 يبين النسب الوزنية للعينات) وذلك باستخدام الميزان الحساس وخلطها معاً خلطاً جيداً باستخدام جهاز الخلط الكهربائي. يتم نقلها إلى المطحنة وإضافة نسبة قياسية من حبيبات السيليلوز (مادة تساعد على تماسك وعدم انكسار العينات)، ليتم طحن العينة لمدة 125 ثانية ومن ثم تنقل للصب في قوالب الاختبار حيث تتعرض لضغط يقارب 200 كيلو نيوتن. أخيراً، تم إفراغ قوالب الاختبار من قوالبها ومسحها من الخارج بنوع رطب من الشاش مع مراعاة عدم إحداث خدوش للقوالب، بهذا يكون القالب جاهز لإجراء بعض الاختبارات المعملية عليه.

جدول 2. يبين النسب الوزنية للعينات

غبار الإسمنت (%) وزناً	الإسمنت البورتلاندي (%) وزناً
2	9.8
4	9.6
6	9.4
8	9.2

4.2. الاختبارات المعملية

أ) اختبار الشك الابتدائي والنهائي:

من الناحية النظرية، إن زمن الإعداد الأولي للخرسانة هو الفترة الزمنية بين إضافة الماء إلى الإسمنت حتى تفشل إبرة المقطع المربع 1 مم في اختراق عجينة الإسمنت الموضوعة في قالب فيكات على بعد 5-7 مم من قاع القالب. في حين أن زمن الإعداد النهائي هو تلك الفترة الزمنية بين وقت إضافة الماء إلى الإسمنت والوقت الذي تترك فيه الإبرة 1 مم أثراً على العجينة في القالب ولكن المرفق 5 مم لا يترك أي أثر. في حين من الناحية التطبيقية، فإن الاختبار لتحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي لعجينة ذات قوام قياسي، يعمل على تحديد مدى صلاحية الإسمنت للاستخدام، حيث يساعد تعيين زمن الشك الابتدائي على معرفة الزمن الذي تبدأ الخرسانة بعده في الشك ولا يمكن صبها أو تشكيلها، بينما يساعد تعيين زمن الشك النهائي على معرفة الزمن الذي تبدأ عنده الخرسانة في التصلد. تتضمن المواصفة القياسية الليبية (م.ق.ل.، 1997) زمن شك ابتدائي على أقل تقدير 45 دقيقة وألا يزيد زمن الشك النهائي عن 10 ساعات وذلك للإسمنت البورتلاندي (م.ق.ل.، 1997).

تم تعيين زمن الشك الابتدائي عن طريق إضافة وخلط كمية 140 مليلتر من الماء مع كمية من خليط العينة المعنية بالاختبار وقدرها 500 جم وتخلط جيداً لمدة 3 دقائق، يلي ذلك ملئ القالب (قالب فيكات) بتلك العينة وتسوية سطحها جيداً، ثم ينقل قالب فيكات لغرفة الترطيب لمدة 3 ساعات ويوضع قالب فيكات في مكانه بجهاز فيكات وتدلى الإبرة ببطء وحرص شديد حتى تمس سطح العجينة وتترك لتنفذ الإبرة راسياً في العجينة ويقرأ التدرج الذي يدل على المسافة بين قاعدة القالب ونهاية الإبرة ويسجل الزمن من بداية الخلط (صفر القياس) حتى تصل الإبرة إلى بعد 1.5 ملم من قاعدة القالب كزمن الشك الابتدائي لأقرب 5 دقائق. بينما يتم تحديد زمن الشك النهائي وذلك باستبدال الإبرة بإبرة جهاز فيكات المثبت بنهايتها الجزء الدائري ثم تدلى الإبرة ببطء حتى تمس سطح العجينة وتترك حرة لتنفذ في العجينة وتكرر الخطوات السابقة على أن يتم زيادة الفترة بين اختبارات

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

الغرز إلى 30 دقيقة. يلي ذلك، يتم تسجيل الزمن لأقرب خمس دقائق من بدء القياس حتى نفاذ الإبرة لمسافة 0.5 مم كزمن شك نهائي وهو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء للإسمنت الجاف إلى لحظة التي تترك فيها إبرة جهاز فيكات أثراً لها ولا يظهر أي تأثير للجزء الدائري المثبت في الجهاز.

ب) اختبار مقاومة الضغط:

مقاومة الضغط هي قدرة المادة الإسمنتية على حمل الأحمال على سطحه دون أي تشقق أو انحراف نتيجة الضغط المطبق عليه، حيث تميل المواد تحت الضغط إلى تقليل الحجم بينما في حالة التوتر يطول الحجم، وتعتمد قوة ضغط المادة الإسمنتية على عدد من العوامل مثل نسبة الماء إلى الإسمنت وقوة الإسمنت وجودة المواد المكونة للقالب.

وتتم خطوات الاختبار بإضافة الماء المقطر (225 مليلتر) لكمية وقدرها 450 جم من خليط العينة وخلطهما جيداً (حتى التجانس في المظهر) بواسطة الخلاط الكهربي لمدة 30 ثانية. يلي ذلك، يتم إضافة الرمل القياسي عبر فتحة أعلى الخلاط ليتم تشغيل الخلاط مرة أخرى لمدة ما بين (1–2) دقيقة. الخطوة التالية تتطلب إفراغ الخلطة في القوالب (بعد طلاء الأوجه الداخلية للقالب بالزيت لمنع حدوث أي التصاق بين العينة وجدار القالب) بالتساوي بكمية قدرها (300) جم وتسوية أسطح القوالب بواسطة مسطرة وذلك لإزالة العجينة الزائدة. تنقل القوالب إلى جهاز الاهتزاز وتثبت بإحكام وتشغيله لمدة ما بين (400 – 1200) لفة في الدقيقة.

ج) اختبار التمدد:

يعرف على أنه مقدار تمدد عجينة الإسمنت في الظروف العادية ومقدار تمدد عجينة الإسمنت تحت ظروف درجات الحرارة العالية (حوالي 100°م). ويتم اجراء هذا الاختبار باستخدام جهاز لوتشيه في حساب معامل التمدد، حيث تخلط كمية وقدرها 100 جم من عينة الاختبار الإسمنتية مع كمية من الماء المناسبة أو أخذ كمية مناسبة لتعبئة قالب جهاز لوتشيه من نفس العينة المستخدمة في اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي.

4. النتائج والمناقشة

من خلال نتائج الاختبارات التمهيدية المعتمدة على تحديد نسبة المعادن المكونة للخلطة باستخدام جهاز تحديد نسبة المكونات في العينة. اتضح بأن النسبة الوزنية 6% من غبار الإسمنت المضاف إلى الخلطة الإسمنتية كانت الأفضل مقارنة مع النسب الأخرى وذلك وفقاً للمواصفات الليبية (الجدول 3) وبالتالي تم اعتمادها في هذه الدراسة.

جدول 3. التحليل الكيميائي للعينة عند النسبة المفضلة من غبار الإسمنت المضاف

النسبة المضافة	التحليل الكيميائي للعينة			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
6.0 wt%	3CaO.SiO2	2CaO.SiO2	$3CaO.Al_2O_3$	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$
	43.51	28.77	7.5	10.52

يبين الجدول (4) نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي ووفقاً لذلك يتضح جلياً أن متوسط قيم زمن الشك الابتدائي لتلك النسبة المئوية (6% وزناً) المضافة للإسمنت الخام البورتلاندي مقدرة بحوالي 200 دقيقة، بينما متوسط زمن الشك

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

النهائي للنسبة المماثلة كانت تقدر بحوالي 235 دقيقة. وعليه فإن ذلك يكون مطابق لحدود المواصفات الليبية (340:97) التي تنص على ألا يقل زمن الشك الابتدائي عن 45 دقيقة وألا يزيد زمن الشك النهائي عن 10 ساعات، الأمر الذي يساعد الإسمنت في عملية التنقل والصب والمناولة (م.ق.ل.، 1997). في حين أن اختبار خاصية الضغط الذي يعد أهم خاصية لكونها تعطي صورة شاملة عن نوعية الخرسانة المعدة للإنشاء ودليل جيد لمعظم خواصها الأخرى لأن لها التأثير المباشر على تصميم المنشآت. بالتالي غالباً ما يكون اختبار كافي يكتفي به خبراء الإنشاءات لتقدير جودة الخرسانة (Sayah, 1993). كما بينت النتائج بأن متوسط قيم مقاومة العينة للضغط المتحصل عليها قد حققت النسبة المطلوبة وهي22 نيوتن/ملم^2 (75% من المقاومة التصميمية المطلوبة بعد 7 أيام) (م.ق.ل.، 1997).

جدول 4. نتائج الاختبارات المعنية بالدراسة*

نوع الاختبار	زمن الشك الابتدائي (دقيقة)	زمن الشك النهائي (دقيقة)	مقاومة الضغط (نيوتن/ملم^2)			مقدار التمدد (مم)
			3 (أيام)	7 (أيام)	28 (يوم)	
متوسط القيم	200	235	19.55	35.75	50.00	0.75

* هذه القيم بالجدول أعلاه تمثل متوسط 3 قيم اختبارات معملية.

5. الاستنتاجات

وفق ما تم الحصول عليه من نتائج معملية بخصوص مجموعة من الاختبارات مثل اختبار الشك الابتدائي والنهائي، اختبار الضغط، واختبار التمدد لعدد من خلطات التعويض الجزئي للأسمنت البورتلاندي بغبار مواد خام الأسمنت (CD) ، نستنتج أن هنالك إمكانية مطابقة للمواصفات الليبية فيما يخص صناعة الأسمنت عند تعويض ما نسبته 6% وزناً من غبار مواد خام الإسمنت (CD) مع الإسمنت البورتلاندي الخام. حيث كان متوسط قيم زمن الشك الابتدائي والنهائي لتلك النسبة المئوية المضافة للإسمنت الخام البورتلاندي مطابقة لحدود المواصفات الليبية (340:97) ولا ضرر في عملية التنقل والصب والمناولة بالنسبة للأسمنت المعوض جزئياً. كما أن متوسط قيم مقاومة العينة للضغط المتحصل عليها قد حققت النسبة المطلوبة (75 % من المقاومة التصميمية المطلوبة بعد 7 أيام). لذلك وحفاظاً على البيئة ورفع المردود الاقتصادي للمصانع الخاصة بصناعة الاسمنت، توصي الدراسة بضرورة الاهتمام بإعادة تدوير مادة غبار مواد خام الاسمنت من خلال إعادة خلطها مع المنتج النهائي للأسمنت البورتلاندي.

المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

الترهوني، إيمان؛ شقلابو، نور الدين م. (2019). تأثير اختلاف مصدر الإسمنت على مقاومة الضغط للخرسانة. *المؤتمر الثاني للعلوم الهندسية والتقنية*، 29-31 أكتوبر، صبراتة، ليبيا.

م.ق.ل. (المواصفات القياسية الليبية) (1997). *المواصفات القياسية الليبية رقم (340:97)، الاسمنت البورتلاندي*. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، ليبيا.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

Adaska W.S. & Taubert D.H. (2008). Beneficial uses of cement kiln dust. In: *2008 IEEE Cement Industry Technical Conference Record*, May 19-22, Miami, Florida, 210-228.

ASTM (American Society of Testing and Materials) (2015). *Standard Guide for Commercial Use of Lime Kiln Dusts and Portland Cement Kiln Dusts*. D5050-02, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Blezard R.G. (1998). The history of calcareous cements. *Lea's chemistry of cement and concrete*, 4: 1-23.

Burnham J.C. (1992). Reduction of Odors in Cement Kiln Dust Stabilized/Pasteurized Municipal Wastewater Sludge Cake. *Dept. of Microbiology, MCO, Toledo*, 7-13.

Bye G.C. (1999). *Portland cement: composition, production and properties*. Thomas Telford, UK.

Daous M.A. (2004). Utilization of cement kiln dust and fly ash in cement blends in Saudi Arabia. *Engineering Sciences*, 15(1).

Devi K.S., Lakshmi V.V., & Alakanandana A. (2017). Impacts of cement industry on environment-an overview. *Asia Pac. J. Res*, 1: 156-161.

Elbaz A.A., Aboulfotoh A.M., Dohdoh A.M., & Wahba A.M. (2019). Review of beneficial uses of cement kiln dust (CKD), fly ash (FA) and their mixture. *J. Mater. Environ. Sci*, 10(11): 1062-1073.

Miller C.T., Bensch D.G., Colony D.C. (1980). Use of Cement-Kiln Dust and Fly Ash in Pozzolanic Concrete Base Courses, in Emulsion Mix Design, Stabilization, and Compaction. *Transportation Research Record*, 36-41.

Saraya M.E. & Aboul-Fetouh M.E. (2012). Utilization from cement kiln dust in removal of acid dyes. *American Journal of Environmental Sciences*, 8(1): 16-24.

Sayah A.I. (1993). *Stabilization of Expansive Clay Using Cement Kiln Dust*. M.Sc. Thesis, Graduate School, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, USA.

Sulyman M., Sienkiewicz M., Haponiuk J., Kucinska-Lipka J. (2021). Verification of the Influence of Cement Kiln Dust on Asphalt Modification: A Preliminary Study. *Environmental Pollution Impact Conference*, 5-6 Dec., Tripoli, Libya.

Zaman M., Laguros J.G., Sayah A., (1992). Soil Stabilization Using Cement Kiln Dust. In: *Proc. 7th International Conference on Expansive Soils*, Dallas, 1: 347.