Comprehensive Journal of Science
Volume (11), Issue (41), (JUNE, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (11) ملحق العدد 41 يونيو 2026
ردمد: 3014-6266

# دراسة تأثير إضافة مسحوق الرخام على أداء الخرسانة ذاتية الدمك

*The Effect of Marble Powder Addition on the Performance of Self-Compacting Concrete (SCC)*

**أحمد محمد سالم أبوجمجمة ـــمحاضر مساعد بقسم الهندسة المدنية، جامعة الزنتان، ليبيا**
ahmed.abojomjoma@uoz.edu.ly
**أحمد محمد رحومة** 2119207110@uoz.edu.ly
**عبدالباسط محمد الفقي** 21220725@uoz.edu.ly
**جامعة الزنتان – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية**

**تاريخ الاستلام:2026/05/16 –تاريخ المراجعة:2026/06/18– تاريخ القبول: 2026/06/28– تاريخ للنشر: 2026 /07/16**

## الملخص

تُعد الخرسانة ذاتية الدمك (Self-Compacting Concrete – SCC) أحد أهم التطورات الحديثة في تكنولوجيا الخرسانة، لما تتميز به من قدرة على الانسياب الذاتي وملء القوالب والوصول إلى مناطق التسليح الكثيف دون الحاجة إلى الاهتزاز الميكانيكي. وفي ظل التحديات الاقتصادية المرتبطة باستيراد المواد الناعمة والمضافات الكيميائية، تناولت هذه الدراسة إمكانية توظيف مسحوق الرخام، وهو أحد المخلفات الصناعية المتوفرة بكميات كبيرة في ليبيا، كمادة ناعمة بديلة جزئيًا عن الإسمنت بنسبة 10% في خلطات SCC.

تم تنفيذ برنامج تجريبي مخبري شمل تقييم الخواص الطازجة (اختبار الانسيابية Slump Flow) والخواص المتصلدة (مقاومة الضغط عند أعمار 7 و28 و56 يومًا) والنفاذية، إلى جانب مقارنة أداء الخرسانة ذاتية الدمك بالخرسانة العادية باستخدام مضافات كيميائية من الجيل الأول (Fosroc Conplast SP491) والجيل الثالث (Nano-Flow2000 وSikaplast-800). أظهرت النتائج أن إضافة مسحوق الرخام حسّنت الانسيابية بنسبة 13.85% مقارنة بالخلطة المرجعية، في حين انخفضت مقاومة الضغط المبكرة (7 أيام) بنسبة تقارب 27.5%، وتقلص هذا الفارق تدريجيًا مع تقدم العمر حتى اقترب من نتيجة الخلطة المرجعية عند 56 يومًا، بينما تدهورت مقاومة النفاذية بشكل واضح. كما بيّنت المقارنة بين المضافات الكيميائية تفوق إضافات الجيل الثالث على الجيل الأول والخرسانة العادية في جميع الأعمار.

تخلص الدراسة إلى أن مسحوق الرخام مادة واعدة لتحسين قابلية التشغيل وخفض تكلفة الخلطة، لكن استخدامه في العناصر الإنشائية الحاملة أو المعرضة للرطوبة يستوجب دراسة نسب استبدال أخرى ومعالجة مسألة النفاذية.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة ذاتية الدمك؛ مسحوق الرخام؛ مقاومة الضغط؛ الانسيابية؛ النفاذية؛ المضافات الكيميائية.

## Abstract

Self-Compacting Concrete (SCC) is one of the most significant recent developments in concrete technology, owing to its ability to flow and fill formwork under its own weight without mechanical vibration. This study investigates the use of marble powder, an industrial waste material abundant in Libya, as a partial cement replacement (10% by weight) in SCC mixes. An experimental program evaluated fresh properties (Slump Flow test), hardened properties (compressive strength at 7, 28, and 56 days), and water permeability, alongside a comparison between normal concrete and SCC produced with first-generation (Fosroc Conplast SP491) and third-generation (Nano-Flow2000, Sikaplast-800) superplasticizers. Results showed that marble powder increased flowability by 13.85% relative to the reference mix, while early-age (7-day) compressive strength decreased by about 27.5%; this gap narrowed with age until it nearly matched the reference mix at 56 days, whereas permeability resistance clearly deteriorated. Third-generation admixtures outperformed first-generation admixtures and normal concrete at all ages. The study concludes that marble powder is a promising material for improving workability and reducing mix cost, but its use in load-bearing or moisture-exposed elements requires further study of alternative replacement ratios and permeability mitigation.

**Keywords:** Self-Compacting Concrete; Marble Powder; Compressive Strength; Slump Flow; Permeability; Chemical Admixtures.

## 1. المقدمة

تُعد الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) أحد أبرز التطورات في تكنولوجيا الخرسانة الحديثة [7]، إذ تتميز بقدرتها على الانسياب وملء القوالب وفضاءات حديد التسليح تحت تأثير وزنها الذاتي فقط، دون الحاجة إلى أي شكل من أشكال الاهتزاز الميكانيكي. وتُصنَّف SCC ضمن الخرسانات عالية الأداء نظرًا لما تحققه من تجانس ودمك ذاتي كامل حتى في الظروف التي يكون فيها التسليح شديد الكثافة أو شكل العنصر الإنشائي معقدًا [1].

ظهر هذا النوع من الخرسانة استجابةً لمشكلات مرتبطة بالخرسانة التقليدية، أبرزها صعوبة ضمان الدمك الكامل في العناصر ذات المقاطع الضيقة أو التسليح المتقارب، وما يترتب على ذلك من تشكّل فراغات داخلية (Honeycombing) وانخفاض في الجودة الإنشائية [7]. وتكتسب SCC أهمية خاصة في المشاريع الكبرى مثل الجسور والأنفاق، إذ تسهم في تقليل عيوب السطح والتفاوتات في الكثافة، إلى جانب تقليل العمالة والضوضاء الناتجة عن الاهتزاز [1].

شهدت السنوات الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بتوظيف مواد محلية منخفضة التكلفة لتعزيز أداء الخرسانة وتحقيق متطلبات الاستدامة، ومن أبرزها مسحوق الرخام الناتج عن عمليات نشر وصقل الرخام، والمتوفر بكميات كبيرة في ليبيا والدول العربية [10]. ويُعد هذا الغبار أحد المخلفات الصناعية ذات الأثر البيئي السلبي عند التخلص منه عشوائيًا، مما يجعل إعادة توظيفه في الخرسانة خيارًا اقتصاديًا وبيئيًا في آنٍ واحد [10]، [11]. ويمتاز مسحوق الرخام بدقة حبيباته التي تساهم في تحسين التدرج الحبيبي للخلطة وزيادة كثافتها [8]، وهما عاملان جوهريان في SCC التي تعتمد على لزوجة متوازنة وسلوك انسيابي مستقر [1].

### 1.1 مشكلة البحث

على الرغم من الانتشار المتزايد لاستخدام SCC نظرًا لجودتها العالية وسهولة تنفيذها، فإن اعتمادها الكبير على المواد الناعمة المستوردة والمضافات الكيميائية مرتفعة التكلفة يفرض تحديات اقتصادية تحد من إمكانية استخدامها على نطاق واسع محليًا. في المقابل، تنتج صناعة الرخام في ليبيا كميات كبيرة من مسحوق الرخام الذي يُتخلص منه غالبًا بطرق غير بيئية، رغم امتلاكه خصائص قد تجعله مادة مالئة مناسبة لتحسين التدرج الحبيبي وخفض كلفة الخلطات [10].
ورغم توافر دراسات عالمية تناولت استخدام مخلفات الرخام في الخرسانة [8]، [9]، فإن الدراسات المحلية التي تبحث تأثير هذه المادة على SCC تكاد تكون غير موجودة، خاصة مع اختلاف خصائص المواد المحلية عن نظيراتها الدولية.

### 1.2 فرضيات البحث

- إضافة مسحوق الرخام بنسب مدروسة قد تحسّن التدرج الحبيبي وتزيد من كثافة المصفوفة الأسمنتية، مما ينعكس إيجابًا على الانسيابية.
- تأثير مسحوق الرخام مرتبط بنسبة الإضافة؛ إذ قد تؤدي النسب المعتدلة إلى تحسين الأداء الطازج والمتصلد، بينما قد تتسبب النسب المرتفعة في ضعف المقاومة نتيجة سوء اندماج الجسيمات.

### 1.3 أهداف البحث

- تقييم تأثير مسحوق الرخام على انسيابية الخرسانة ذاتية الدمك (اختبار Slump Flow) مقارنة بمتطلبات EFNARC [1].
- دراسة تأثير مسحوق الرخام على مقاومة الضغط عند الأعمار 7 و28 و56 يومًا.
- تحليل أثر مسحوق الرخام على النفاذية ومسامية الخرسانة.
- مقارنة الأداء الميكانيكي بين الخرسانة العادية، وSCC بإضافات الجيل الأول (Fosroc Conplast SP491)، وSCC بإضافات الجيل الثالث (Nano-Flow2000).

### 1.4 أهمية البحث وحدود الدراسة

تنبع أهمية هذا البحث من الحاجة إلى تطوير خلطات SCC باستخدام مواد محلية منخفضة التكلفة قابلة للتطبيق في البيئة الليبية، مع الحفاظ على الأداء الهندسي المطلوب، وتقليل الاعتماد على المواد المستوردة، وتحقيق فائدة بيئية عبر إعادة توظيف مخلفات صناعية متوفرة بكثرة. وتقتصر حدود الدراسة على نسبة استبدال واحدة لمسحوق الرخام (10% من

وزن الإسمنت)، واختبارات محددة (الانسيابية، مقاومة الضغط حتى عمر 56 يومًا، والنفاذية)، ضمن بيئة مختبرية محددة الظروف.

## 2. الدراسات السابقة

تناولت دراسات دولية عديدة استخدام مسحوق الرخام في الخرسانة. فقد وثّقت دراسة [8] تحسنًا في الخواص الطازجة لخرسانة ذاتية الدمك محتوية على مسحوق الرخام، إلى جانب تأثيرات متفاوتة على مقاومة الضغط بحسب نسبة الاستبدال. كما بيّنت دراسة [9] أن استخدام مخلفات الرخام كبديل جزئي للركام الناعم يؤثر على الخواص الميكانيكية للخرسانة بحسب النسبة المستخدمة. وتُعد الأسس النظرية لتصميم خرسانة ذاتية الدمك موثّقة في الدليل الأوروبي الصادر عن EFNARC [1]، الذي حدد معايير الانسيابية ومقاومة الانفصال، بينما تناولت دراسة [7] الأساس التاريخي لتطور هذه التكنولوجيا في اليابان.
وعلى المستوى المحلي، تناولت دراسة [10] الاستفادة من مخلفات مصانع الرخام كمادة بديلة جزئيًا عن الإسمنت لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك، بهدف تقييم الأداء الفني والجدوى الاقتصادية والبيئية لاستخدام مسحوق الرخام (MPW) ضمن سياق محلي ليبي. وأكدت نتائجها أن الإسمنت هو العنصر الأكثر تكلفة وضررًا بيئيًا، وأن الاستعاضة عنه بمسحوق الرخام تساهم في تقليل الكلفة الإجمالية للخلطة وتحسين خاصية الانسياب، مع التأكيد على أهمية ضبط نسبة الاستبدال بعناية للحفاظ على المقاومة المطلوبة. كما تناولت دراسة حديثة [11] التحقق من الخصائص الهندسية لمونة ذاتية الدمك (SCC Mortar) محتوية على مخلفات مسحوق الرخام، ودعمت نتائجها التوجه نحو حلول أكثر استدامة في قطاع البناء.
وتتفق هذه الدراسات على أن المواد الناعمة المعدنية، ومنها مسحوق الرخام، تحسّن عمومًا من قابلية التشغيل والانسيابية بفعل دورها الفيزيائي في التدرج الحبيبي، لكنها قد تنتقص من مقاومة الضغط عند الأعمار المبكرة إن لم تمتلك نشاطًا بوزولانيًا كافيًا، وهو ما تسعى الدراسة الحالية إلى التحقق منه على مواد محلية ليبية، سادًّا بذلك فجوة معرفية في الدراسات العربية والمحلية حول هذا الموضوع.

## 3. المواد وطرق البحث

### 3.1 المواد المستخدمة

شملت المواد المستخدمة في البرنامج التجريبي: الإسمنت البورتلاندي، الركام الناعم (الرمل الطبيعي)، الركام الخشن بمقاسين (0.5 و1 إنش)، مسحوق الرخام كمادة ناعمة بديلة جزئيًا عن الإسمنت، الماء، والمضافات الكيميائية الفائقة الملدنة من ثلاثة أنواع: Sikaplast-800 (جيل ثالث)، Fosroc Conplast SP491 (جيل أول)، وNano-Flow2000 (جيل ثالث). تراوحت جرعات المضافات الكيميائية بين 0.75% و3.0% من وزن الإسمنت أو المادة الرابطة، بحسب نوع المضاف ومتطلبات الخلطة.

### 3.2 تصميم الخلطات الخرسانية

صُممت جميع الخلطات وفق متطلبات [1] EFNARC (2005) الخاصة بالخرسانة ذاتية الدمك، مع المحافظة على ثبات المواد الأساسية بحيث يقتصر التغيير على المتغير المراد دراسته، لعزل أثره على السلوك الهندسي بدقة.

*جدول (1): تصميم الخلطة المرجعية لـ SCC (بدون مسحوق الرخام) مقارنة بالخلطة المحتوية على مسحوق الرخام (10%)*

| المادة | الخلطة المرجعية (كجم/م³) | خلطة مسحوق الرخام 10% (كجم/م³) |
|---|---|---|
| إسمنت | 400 | 360 |
| مسحوق الرخام | 0 | 40 |
| ماء خلط | 172 | 172 |
| ركام خشن (0.5 إنش) | 465 | 465 |
| ركام خشن (1 إنش) | 465 | 465 |
| رمل طبيعي | 650 | 650 |
| مادة ناعمة مضافة (قرينيلية) | 250 | 250 |
| مضاف كيميائي Sikaplast-800 | 2.25% من وزن الإسمنت | 2.25% من وزن الإسمنت |

تم اختيار نسبة استبدال 10% بناءً على نتائج دراسات سابقة أشارت إلى أنها من أفضل النسب لتحسين الانسيابية مع الحفاظ على اللزوجة المطلوبة، إضافة إلى سهولة عزل تأثير المادة عند استخدام نسبة واحدة واضحة. أما خلطة الخرسانة العادية فقد أُعدّت باستخدام المواد نفسها مع إلغاء المادة الناعمة المضافة (القرينيلية) واستبدالها بكمية مكافئة من الركام الخشن مقاس 1.5 إنش، وذلك لغرض مقارنة مقاومة الضغط فقط بين النظامين.

### 3.3 البرنامج التجريبي

- اختبار الانسيابية (Slump Flow Test) وفق [3] ASTM C1611/C1611M، لتقييم الخواص الطازجة لخرسانة SCC.
- اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test) وفق [2] ASTM C39/C39M، على عينات مكعبة عند أعمار 7 و28 و56 يومًا.
- اختبار النفاذية (Water Permeability Test) لتقييم مقاومة اختراق الماء عند عمر 28 يومًا.

تم تجهيز العينات ووزنها وصبها ومعالجتها وفق تسلسل منهجي موحّد لجميع الخلطات، بما يضمن قابلية مقارنة النتائج بين الأنظمة الخرسانية المختلفة.

## 4. النتائج والمناقشة

### 4.1 نتائج مقاومة الضغط

أظهرت الخرسانة العادية متوسط مقاومة ضغط بلغ 39.9 MPa عند عمر 7 أيام، و47.1 MPa عند 28 يومًا، و49.7 MPa عند 56 يومًا، ما يعكس الزيادة الطبيعية والمتوقعة للمقاومة مع الزمن نتيجة استمرار تفاعلات الإماهة.

*جدول (2): متوسط مقاومة الضغط (MPa) للأنظمة الخرسانية المختلفة عند الأعمار 7 و28 و56 يومًا*

| نوع الخلطة | 7 أيام | 28 يومًا | 56 يومًا |
|---|---|---|---|
| الخرسانة العادية | 39.9 | 47.1 | 49.7 |
| SCC + فوسرك (جيل أول) | 36.2 | 40.9 | 50.2 |
| SCC + نانو فلو (جيل ثالث) | 41.8 | 48.8 | 55.3 |
| SCC المرجعية (Sikaplast-800) | 41.8 | 44.1 | 45.6 |
| SCC + مسحوق الرخام 10% | 30.3 | 39.1 | 44.7 |

تُظهر النتائج أن خرسانة SCC بإضافة النانو فلو (الجيل الثالث) حققت أعلى مقاومة ضغط عند جميع الأعمار، بينما سجلت خرسانة الجيل الأول مقاومة مبكرة أقل تحسّنت تدريجيًا حتى اقتربت من الخرسانة العادية عند 56 يومًا. ويُعزى هذا إلى أن إضافات الجيل الأول تتطلب عادة جرعات أعلى لتحقيق الانسيابية، ما يؤثر على نسبة الماء الفعالة في المزيج ويخفّض المقاومة المبكرة، في حين تعمل إضافات الجيل الثالث على تحسين توزيع العجينة الأسمنتية وتقليل المسامية، فتزداد الكثافة والتجانس.

أما عند إضافة مسحوق الرخام إلى خرسانة SCC المرجعية (مع تثبيت نوع وجرعة المضاف الكيميائي)، فقد سجلت النتيجة 72.49% من مقاومة الخلطة المرجعية عند 7 أيام، و85.37% عند 28 يومًا، و98.07% عند 56 يومًا. ويوضح هذا السلوك أن إضافة مسحوق الرخام قد تقلل من الفراغات الدقيقة لكنها تؤثر سلبًا على تحمل الضغط على المدى القريب، في حين لوحظت زيادة ملحوظة في المقاومة عند الأعمار المتأخرة، إذ لم يتجاوز الفرق بين الخلطتين 1.93% عند 56 يومًا، وهو ما يشير إلى احتمال احتواء مسحوق الرخام على مادة بوزلانية طفيفة النشاط.

### 4.2 نتائج الخواص الطازجة (Slump Flow)

سجلت العينة المرجعية قطر انسياب قدره 65 سم، بينما زاد قطر انسياب العينة المضاف إليها مسحوق الرخام إلى 74 سم، أي بزيادة قدرها 9 سم (نسبة 13.85%). ويعكس هذا السلوك توازنًا مناسبًا بين السيولة واللزوجة، ويؤكد تحقق خاصية الدمك الذاتي دون انفصال حبيبي، ويتوافق مع الدور الفيزيائي لمسحوق الرخام في تحسين التدرج الحبيبي للخلطة.

### 4.3 نتائج اختبار النفاذية

*جدول (3): نتائج اختبار النفاذية عند عمر 28 يومًا*

| نوع الخلطة | متوسط عمق اختراق الماء |
|---|---|
| SCC المرجعية | 5.23 سم |
| SCC + مسحوق الرخام 10% | 13.8 سم (اختراق شبه كامل) |

بيّنت نتائج اختبار النفاذية أن الخرسانة المرجعية سجلت عمق اختراق ماء أقل بكثير مقارنة بالخرسانة المحتوية على

مسحوق الرخام، ما يدل على كثافة أعلى ومسامية أقل. ويُعزى ارتفاع عمق النفاذية في خلطة مسحوق الرخام إلى زيادة المحتوى الناعم في الخلطة واحتمال تكوّن مسامات شعرية متصلة تسهّل اختراق الماء، وهو ما يجعل هذه الخلطة، بصورتها الحالية، غير مناسبة للمنشآت ذات الطبيعة المائية أو المعرّضة للرطوبة المستمرة دون معالجة إضافية.

### 4.4 مناقشة شاملة

- أداء الخرسانة يتأثر بشكل مباشر بنوع الخليط الخرساني ونوع الإضافة الكيميائية ونسبة المواد الناعمة المضافة.
- خرسانة SCC بإضافات الجيل الثالث أظهرت أفضل أداء ميكانيكي على المدى المبكر والبعيد، بينما أظهرت إضافات الجيل الأول مقاومة مبكرة أقل وتحسنًا تدريجيًا مع الزمن.
- ساهم مسحوق الرخام في تحسين الخواص التشغيلية للخرسانة الطازجة، لكن على حساب مقاومة الضغط المبكرة، بما يتوافق مع طبيعته الفيزيائية غير التفاعلية بشكل أساسي.
- أثبتت اختبارات النفاذية ضعف مقاومة الخلطة المحتوية على مسحوق الرخام لاختراق الماء، ما يستدعي الحذر عند استخدامها في المنشآت المائية.

## 5. الاستنتاجات والتوصيات

### 5.1 الاستنتاجات

- حققت خرسانة SCC بإضافة النانو فلو (الجيل الثالث) أعلى مقاومة ضغط عند جميع الأعمار المدروسة.
- أظهرت خرسانة SCC بإضافة فوسرك (الجيل الأول) مقاومة مبكرة أقل وتحسنًا ملحوظًا عند الأعمار المتأخرة.
- حسّن مسحوق الرخام الانسيابية وقابلية التشغيل بنسبة 13.85%، مؤكدًا خاصية الدمك الذاتي دون انفصال حبيبي.
- أدى استبدال 10% من الإسمنت بمسحوق الرخام إلى انخفاض مقاومة الضغط المبكرة (نحو 27.5% عند 7 أيام)، مع تقارب واضح مع الخلطة المرجعية عند عمر 56 يومًا (فرق 1.93% فقط).
- تدهورت مقاومة النفاذية بشكل واضح في خلطة مسحوق الرخام، ما يحد من استخدامها في المنشآت المعرضة للماء دون معالجة.
- الخرسانة ذاتية الدمك أظهرت أداءً أفضل من الخرسانة العادية من حيث التجانس وسهولة الصب.

### 5.2 التوصيات

- يوصى باستخدام إضافات الجيل الثالث في مشاريع SCC التي تتطلب مقاومة ضغط مرتفعة وجودة متجانسة، خصوصًا في العناصر ذات الكثافة العالية للتسليح.
- يُنصح باستخدام مسحوق الرخام لتحسين الخواص التشغيلية وخفض استهلاك الإسمنت، مع التحقق من تأثيره على مقاومة الضغط قبل استخدامه في العناصر الحاملة.
- ينبغي عدم الاعتماد على مسحوق الرخام كمادة محسّنة للمقاومة الميكانيكية دون دراسات مسبقة على نسب استبدال مختلفة.
- يُفضّل إجراء اختبارات أولية للخلطات المعدّلة قبل اعتمادها في التطبيقات العملية، مع ضبط دقيق لنسبة المواد الناعمة المضافة.

### 5.3 مقترحات لأبحاث مستقبلية

- دراسة تأثير نسب مختلفة من مسحوق الرخام على الخواص الميكانيكية والمتانة.
- تقييم أداء الخرسانة ذاتية الدمك عند أعمار أطول (90 و180 يومًا).
- مقارنة مسحوق الرخام مع مواد ناعمة مضافة محلية أخرى.
- دراسة دمج مسحوق الرخام مع مواد بوزولانية فعّالة لتحسين الأداء طويل الأمد ومعالجة ضعف النفاذية.

## المراجع

[1] EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, European Federation of National Associations Representing for Concrete, 2005.

[2] ASTM C39/C39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International.

[3] ASTM C1611/C1611M, Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete, ASTM International.

[4] ASTM C1202, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International.

[5] Neville, A. M., Properties of Concrete, 5th Edition, Pearson Education, 2011.

[6] Mindess, S., Young, J. F., and Darwin, D., Concrete, 2nd Edition, Prentice Hall, 2003.

[7] Okamura, H., and Ouchi, M., "Self-Compacting Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 5–15, 2003.

[8] Bouziani, T., "Assessment of Fresh Properties and Compressive Strength of Self-Compacting Concrete Made with Marble Powder," Construction and Building Materials, 2011.

[9] Demirel, B., "The Effect of Using Waste Marble Dust as Fine Sand on the Mechanical Properties of Concrete," International Journal of the Physical Sciences.

[10] المزوغي، والباشا، والصغير، "الاستفادة من مخلفات مصانع الرخام كمادة بديلة جزئيًا عن الإسمنت لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك،" 2019.

[11] Farih, et al., "Investigation of the Engineering Properties of Self-Compacting Mortar Containing Marble Powder Waste," 2025.