Journal of Technology Research (JTR)
Volume 3, Special Issue, (2025), pp 202-209, ISSN 3005-639X
The 7th Conference of Engineering Sciences and Technology
(CEST-2025)

An Experimental Study on the Properties of High-Performance Self-Compacting Concrete Using Polymeric Additives

Aisha G. Jebril [1]*, Nuri M. Elbasha[1] Heba A. Elfandi[1]

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sabratha University, Sabratha, Libya.

*Corresponding author email: aisha.j@engs.sabu.edu.ly

Received: 10-08-2025 | Accepted: 28-11-2025 | Available online: 25-12-2025 | DOI:10.26629/jtr.2025.22

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of incorporating polypropylene fibers (PF) on the fresh and hardened properties of high-performance self-compacting concrete (HP-SCC). Four concrete mixes were prepared with varying fiber volume fractions (0%, 0.2%, 0.35%, and 0.5%) relative to the total concrete volume, in order to determine the optimal dosage that balances workability and compressive strength. Fresh properties were assessed using the Slump Flow, J-Ring, and L-Box tests in accordance with EFNARC (2005) guidelines. Compressive strength tests were conducted at curing ages of 7, 28, and 56 days following the British Standard BS 1881. The results indicated that increasing fiber content led to reduced workability and flowability, while significantly enhancing resistance to segregation and internal homogeneity. The addition of polypropylene fibers improved early-age compressive strength by up to 19% at 7 days, with the highest gain observed at 28 days (11%) for the 0.35% PF mix. At 56 days, mixes containing 0.2% and 0.5% PF maintained higher strength levels (approximately 4–5%) compared to the control mix, whereas the 0.35% PF mix exhibited a noticeable decline due to fiber distribution heterogeneity.The study concludes that a 0.2% dosage of polypropylene fibers represents an optimal choice for enhancing the performance of HP-SCC without adversely affecting workability. This dosage achieved the best balance between flowability and compressive strength and is recommended for structural applications in the Libyan context, particularly in elements prone to cracking.

Keywords: Polypropylene fibers, polymer additives, self-compacting concrete, compressive strength, workability.

دراسة معملية لخواص الخرسانة ذاتية الدمك عالية المقاومة باستخدام إضافات بوليمرية

عائشة جمعة جبريل[1]، نوري محمد الباشا[1]، هبة أحمد الفاندي[1]

[1]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا.

ملخـــــص البحـــــث

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة ألياف البولي بروبلين (Polypropylene Fibers – PF) على الخصائص الطازجة والمتصلدة للخرسانة ذاتية الدمك عالية المقاومة (High–Performance Self–Compacting Concrete – **HP–SCC**). تم إعداد أربع خلطات خرسانية تحتوي على نسب مختلفة من الألياف (0%، 0.2%، 0.35%، و0.5%) من الحجم الكلي للخرسانة، بهدف تحديد النسبة المثلى التي تحقق توازنًا بين التشغيلية ومقاومة الضغط. تم تقييم الخواص الطازجة باستخدام اختبارات الانتشار (Slump Flow)، الحلقة(**J–Ring**) ، وصندوق **L (L–Box)** وفق مواصفة(2005) EFNARC ، بينما أُجريت اختبارات مقاومة الضغط عند أعمار (7، 28، و56 يومًا) وفق المواصفة البريطانية BS 1881. أظهرت النتائج أن زيادة نسبة الألياف تؤدي إلى

"Articles published in *J Technol Res* are licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License."

انخفاض في قابلية التشغيل والانسيابية، مع تحسن واضح في مقاومة الانفصال الحبيبي والتجانس الداخلي. كما بينت النتائج إن إضافة ألياف البولي بروبلين حسّنت مقاومة الضغط في المدى القصير بنسبة تصل إلى (19%عند 7 أيام)، وحققت أعلى زيادة عند 28 يومًا بنسبة **11%** عند نسبة 0.35**PF %**، بينما عند الأعمار الطويلة 56 يومًا حافظت الخلطات (0.2% و0.5%) على مقاومة أعلى بنحو (4– 5) % مقارنة بالخلطة المرجعية، أما النسبة 0.35% من الألياف فقد أظهرت تراجعًا واضحًا عند 56 يومًا بسبب عدم تجانس توزيع الألياف. خلصت الدراسة إلى أن استخدام ألياف البولي بروبلين بنسبة 0.2% يُعد خيارًا أمثل لتحسين أداء الخرسانة ذاتية الدمك عالية المقاومة دون التأثير السلبي على قابلية التشغيل حيث حققت أفضل أداء من حيث التوازن بين الانسيابية ومقاومة الضغط، ويمكن اعتمادها في التطبيقات الإنشائية داخل البيئة الليبية خاصة في العناصر المعرضة للتشققات.

الكلمات الدالة: ألياف بولي بروبلين، خرسانة ذاتية الدمك، مقاومة الضغط.

1. المقدمة

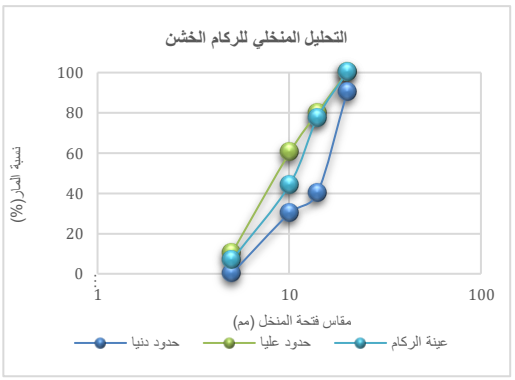
تُعد الخرسانة ذاتية الدمك **(Self–Compacting Concrete – SCC)** من أهم الابتكارات في تكنولوجيا الخرسانة الحديثة، إذ تمتاز بقدرتها على الانسياب الذاتي وملء القوالب دون الحاجة إلى استخدام الهزاز الميكانيكي، مما يجعلها مثالية للعناصر الإنشائية المعقدة أو ذات الكثافة العالية في حديد التسليح [1]. غير أن هذا النوع من الخرسانة قد يواجه تحديات تتعلق بزيادة خطر الانفصال الحبيبي والنزف المائي، إضافةً إلى ضعف مقاومة الشد والتشققات الناتجة عن الانكماش البلاستيكي.

وللتغلب على هذه التحديات، تم تطوير العديد من الحلول التقنية من أبرزها تدعيم الخرسانة بالألياف الصناعية، خصوصًا ألياف البولي بروبلين **(Polypropylene Fibers – PPF)**، لما تمتاز به من مقاومة عالية للتآكل والمواد القلوية، وخفة الوزن، والقدرة على التوزيع المتجانس داخل الخلطة [2–4]. وقد تناولت دراسات عدة هذا الموضوع؛ إذ أشار **Behnood et al. (2015)** إلى أن إضافة نسب صغيرة من ألياف البولي بروبلين تُحسن من مقاومة الشد والانثناء في **SCC**. كما وجد **Alhozaimy et al. (2018)** أن استخدام الألياف بنسبة تتراوح بين 0.1%–0.3% يؤدي إلى تقليل عرض التشققات السطحية دون تأثير كبير على التشغيلية. بينما أوضحت دراسة **Gao et al. (2020)** أن الزيادة المفرطة في نسبة الألياف قد تؤدي إلى ضعف الانسيابية وصعوبة الدمك الذاتي للخرسانة.

ورغم تعدد الدراسات السابقة، فإن تأثير ألياف البولي بروبلين على الخرسانة ذاتية الدمك عالية المقاومة **(HP–SCC)** ما زال بحاجة إلى مزيد من التحليل، خصوصًا ضمن الظروف المناخية وخصائص المواد المحلية في ليبيا، حيث تختلف نوعية الركام ومصادر المواد المضافة عن تلك المستخدمة في البيئات الأخرى. بناءً على ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر إضافة ألياف البولي بروبلين بنسب مختلفة (0%، 0.2%، 0.35%، و0.5%) على الخصائص الطازجة والمتصلدة للخرسانة ذاتية الدمك عالية المقاومة، مع تحليل تأثيرها على التشغيلية **(Workability)** ، والقابلية للمرور **(Passing Ability)** ، ومقاومة الضغط **.(Compressive Strength)** وتأتي هذه الدراسة استجابةً للحاجة المتزايدة في السوق الليبي إلى تطوير خلطات خرسانية حديثة ومتينة، قادرة على تحقيق أداء عالٍ وتقليل الاعتماد على الدمك التقليدي في المشاريع الإنشائية.

2. الجانب العملي والمنهجية:

تم إنتاج الخرسانة ذاتية الدمك (Self-Compacting Concrete – SCC) باستخدام الأسمنت البورتلاندي العادي (Ordinary Portland Cement – OPC)، والرمل الطبيعي الناعم بوزن نوعي (Specific Gravity) مقداره 2.65 ونسبة امتصاص مائي 1%، إضافةً إلى ركام خشن جيد التدرج بمقاس اعتباري أكبر أقصى لمقاسه الاعتباري 20مم ووزن نوعي 2.70.



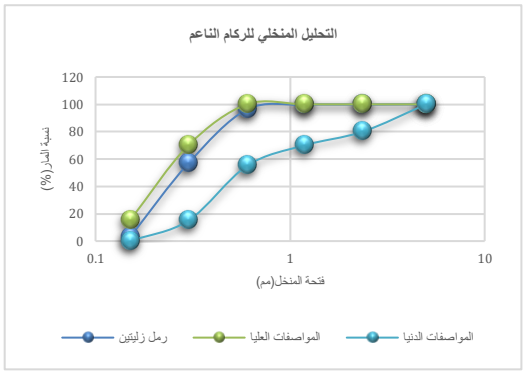
شكل1. منحني تدرج الركام الخشن.

أما بالنسبة للإضافات الكيميائية، فقد استُخدم نوعان من **الملدنات الفائقة (Superplasticizers)**

1. **(TECHNOHYPER N)** وهو ملدن فائق الأداء (**High-Performance Hyper Plasticizer**) خاص بالخرسانة ذاتية الدمك، منتج من شركة **(Agel)** هذه الإضافة السائلة مطابقة للمواصفة الأمريكية **ASTM C494 Type F [5]**
2. **(Plastocrete N)** وهو ملدن فائق مخفّض للمحتوى المائي (**Superplasticizer Water Reducer**)، ويُعد أيضًا إضافة سائلة متوافقة مع المواصفة **ASTM C494 Type A [6]**
3. تم تصميم أربع خلطات بنسب ألياف مختلفة (0%، 0.2%، 0.35%، 0.5%) كما هو موضح في الجدول (1)، بهدف دراسة تأثير ألياف البولي بروبلين **(PF)** على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة.

تم خلط المكونات في خلاط ميكانيكي لمدة **5**دقائق، وصبّ العينات في قوالب مكعبة بأبعاد (150 مم × ارتفاع 150×150 مم)، ثم جُففت لمدة **24**ساعة في درجة حرارة المختبر قبل غمرها في الماء لمدة **7**، 28، و56 يومًا.

أُجري تحليل منخلي **(Sieve Analysis)** شكل1 لتحديد توزيع أحجام الركام الخشن وفق المواصفة البريطانية **BS 882:1992**، وأظهرت النتائج أن الركام يحقق تدرجًا مناسبًا ضمن حدود التوصيات شكل 2، مما يضمن تحسين قابلية التشغيل وتقليل الفراغات داخل الخلطة الخرسانية.



شكل 2. منحني تدرج الركام الناعم.

جدول 1. نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة.

	R.SCC	0.2PF	0.35PF	0.5PF
الاختبار قطر الهبوط (مم) **حدود المواصفة EFNARC** **SF1 550-650 (mm)** **SF2 660-750 (mm)** **SF3 760 – 800 mm**	720	600	500	385
الزمن عند القطر 50 مم **حدود المواصفة 2-5 Sec**	3.03	6.59	5.47	9.15 توقف التدفق عند ثانية
اختبار الحلقة جي(مم) **حدود المواصفة (0-10)مم**	0	3	3.5	انسجاز
اختبار القمع في **حدود المواصفة (6-12) ثانية**	9.37	5.28	5.70	التدفق موجود
اختبار الصندوق L **حدود المواصفة 0.8- 1.0**	1	0.2	0.5	التدفق موجود
ملاحظات			واضح	

جدول 2. نسب الخلط للمتر المكعب

	الاسمنت (كجم/م3)	سيكاكريت (كجم/م3)	الالياف (كجم/م3)	ماء (كجم/م3)	ركام ناعم (كجم/م3)	ركام خشن (كجم/م3)	ملدن فائق Technohyper %	ملدن فائق Plastocrete N %
R.SCC	500	0	0	190	672	728	1.8	0.6
0.2PF	500	0	1	190	672	728	1.8	0.6
0.35PF	500	0	1.75	190	672	728	1.8	0.6
0.5PF	500	0	2.5	190	672	728	1.8	0.6

حيث:

R.SCC: تمثل الخلطة المرجعية.

0.2PF: تمثل الخلطة التي تحتوي على نسبة0.2% من **PF** ونسبة 1.8% ملدن .**TECH** من وزن المواد الاسمنتية ونسبة **0.6%**من الملدن .**PLASTO**

0.35PF : تمثل الخلطة التي تحتوي على نسبة .35% من **PF** ونسبة 1.8% ملدن .**TECH** من جدول رقم (1): نسب الخلط للمتر المكعب وزن المواد الاسمنتية ونسبة **0.6%**من الملدن **PLASTO**.

0.5PF: تمثل الخلطة التي تحتوي على نسبة 0.5% من **PF** ونسبة 1.8% ملدن .**TECH** من وزن المواد الاسمنتية ونسبة **0.6%** من الملدن .**PLASTO**

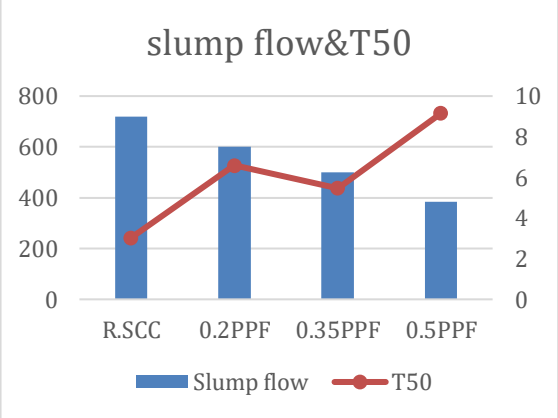
تم خلط المكونات في خلاط ميكانيكي لمدة 5 دقائق، ثم صُبّت العينات في قوالب أسطوانية بأبعاد (قطر 150 مم× ارتفاع 300 مم). بعد الصب، تُركت العينات لمدة 24 ساعة في درجة حرارة المختبر، ثم نُقلت إلى حوض المعالجة بالماء لمدة (7، 28، 56) يومًا حسب موعد الاختبار.

3. النتائج والمناقشة

أولاً: اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة

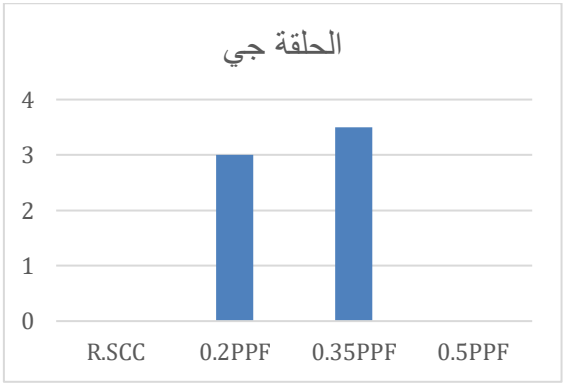
تم اجراء الاختبارات حسب توصيات الجمعية الأوروبية **EFNARC,2005**[7]، بالنسبة لخاصية الانتشار **Slump Flow** فمن خلال الجدول (2) نلاحظ أن

خلطة **R.SCC** اقتربت من الحد الأعلى لتصنيف **SF2** والذي توصي المنظمة الأوروبية **EFNARC** بأن الخرسانة التي تحقق خصائص هذه الفئة هي مناسبة للاستخدام في التطبيقات الشائعة مثل الحوائط والأعمدة، وذلك لأن الخطلة المرجعية تم تصميمها بحيث تلبي احتياجات أغلب القطاعات الخرسانية المسلحة وقد حققت ذلك حيث أظهرت تدفقًا سريعاً أقل من 5 ثوانٍ، إضافة **PF** بنسب 0.2%، 0.35%، 0.5% تؤدي إلى انخفاض ملحوظ في قطر الهبوط، الخلطة ذات 0.2% من **PF** بقطر 600 مم كانت الأقرب إلى الخلطة المرجعية ، مما يشير إلى أن هذه النسبة تؤثر بشكل معتدل على التدفق، عند نسبة 0.5% **PF**، انخفض قطر الهبوط إلى 385 مم، وهو أقل من الحد الأدنى الذي توصي به المنظمة الأوروبية



شكل3. العلاقة بين نسبة الالياف وقطر التدفق وزمن الانسياب عند قطر 50مم.

بالنسبة لقابلية العبور - **Passing Ability PJ**، فإن القيم تراوحت بين 0 ملم **R.SCC** و3.5 ملم لنسبة 0.35%من **PF** وعند نسبة 0.5%من**PF** حدث احتجاز كامل للخلطة كما موضح في الشكل (4)، في حين توصي المواصفة الأوروبية بقيم بين 0–10 ملم، بالتالي نستنتج أن إضافة **PF** إلى الخلطات تزيد من اللزوجة، مما قد يقلل من قدرة الخلطة على المرور بين القضبان بسبب زيادة التماسك بين جزيئات الركام، لكن نظرًا لأن قيمة الاحتجاز لا تزال ضمن الحد المسموح به، لا يشكل ذلك مشكلة كبيرة في تدفق الخرسانة.



شكل 4. اختبار الحلقة لتقييم قابلية العبور.

تراوحت القيم لزمن العبور Tv - V-Funnel Time بين 5.28 ثانية عندما كانت نسبة **PF** 0.2% و9.37 ثانية للعينة R.SCC، وتوصي المواصفة الأوروبية بقيم بين 6–12 ثانية، والخلطات ذات PF بنسبة 0.5% توقفت عن التدفق تمامًا، مما يشير إلى مشكلة خطيرة في التماسك والانسيابية، ورغم أن انخفاض الزمن يعني زيادة 550 مم، مما يعني تدهورًا كبيرًا في قدرة الخرسانة على الانسياب الذاتي.

جميع الخلطات التي تحتوي على **PF** أظهرت زمن انسياب أعلى من الحدود المقبولة 2–5 ثوان، مما يدل على زيادة لزوجة الخلطة وصعوبة تدفقها في القطاعات الأفقية، عند نسبة 0.5% **PF** استغرق الانسياب 9.15 ثانية قبل أن يتوقف، مما يشير إلى تأثير كبير للـ**PF** على زيادة المقاومة الداخلية للحركة.

إضافة الالياف بنسبة (0.2، 0.35، 0.5) كما موضح في الشكل رقم (3) تعمل على زيادة لزوجة الخلطة وهذا واضح من زمن الانسياب حيث أن جميع خلطات التي تحتوي على ألياف كان زمن الانسياب لها أعلى من حدود المواصفة فعند إضافتها بنسب (0.2%،0.35%، 0.5%) توقفت الخرسانة عن الانسياب بعد مدة (6.59، 5.47، 9.15).

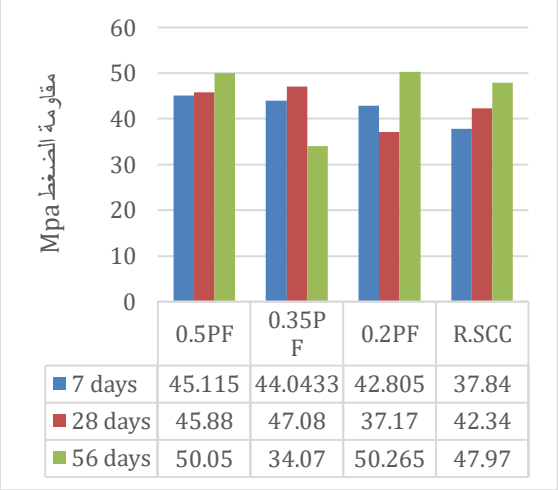
في قابلية الانسياب، ولكن هذا قد يؤدي إلى مشاكل مثل الانفصال الحبيبي أو النضح، حيث أن الزمن أصبح أقل من الحد الأدنى الموصى به 6 ثوانٍ.

هذه النتيجة قد تُشير إلى أن **PF** تساهم في تحسين الانسياب ولكنها تزيد من احتمالية فقدان الاستقرار في الخليط، فقد أكد[8] زيادة نسبة الالياف الحديدية وكذلك زيادة نسبة الالياف الزجاجية [9] أدت إلى زيادة زمن الانسياب مما يشير إلى أن نوع الالياف المستخدمة له تأثير كبير على خصائص الانسياب واتفق كذلك [10] على أن ألياف البولي بروبيلين تحسن الانسيابية إلى حد ما، ولكن النسب الزائدة قد تسبب انخفاضًا في الاستقرار، مما يتطلب تحسين محتوى الألياف لتحقيق توازن بين الانسياب والاستقرار، في هذه الدراسة استخدام **PF** يؤدي إلى تحسين الانسياب.

تراوحت قيم اختبار نسبة **H2/H1 Stability-Box Test**، بين 0.2 و0.7، حيث جميع الخلطات التي تحتوي على ألياف قد فشلت في تحقيق النسبة المطلوبة، مما يشير إلى انخفاض استقرار الخليط، ويعود السبب الى خاصية **PF** على الربط مما يجعل الخرسانة تتكتل عند عبورها من خلال القضبان.

ثانياً: اختبار مقاومة الضغط

تم اجراء الاختبار حسب المواصفات البريطانية [11]، الخلطة **R.SCC** سجلت مقاومة ضغط جيدة في الأعمار المختلفة كما موضح في الشكل رقم (5)، حيث كانت**MPa** 37.84 عند 7 أيام، و**Mpa** 42.34 عند 28 يومًا، و**MPa** 47.971 عند 56 يومًا. هذا يشير إلى أن الخرسانة ذاتية الدمك قادرة على التحسن بشكل كبير مع الزمن.



شكل 5. نتائج مقاومة الضغط بMpa للخلطات الألياف في الأعمار 7 و28و 56 يوم.

ونلاحظ أنه عند إضافة **PF** بنسبة **PF 0.5** سجلت أعلى مقاومة ضغط في الأعمار المختلفة 7 أيام، 28 يومًا، و56 يوماً مقارنة ببقية الخلطات، حيث وصلت مقاومة الضغط إلى **MPa 45.115** عند 7 أيام و **MPa 45.88**عند 28 يومًا. ولكن عند 56 يومًا، كان هناك انخفاض طفيف إلى**Mpa 50.045** ، وخلطة **PF0.35** سجلت مقاومة ضغط أعلى عند 28 يومًا **Mpa 47.08** مقارنة ببقية الخلطات، لكنها انخفضت بشكل ملحوظ عند 56 يومًا إلى **Mpa 34.07** ، وخلطة **PF 0.2** أظهرت مقاومة ضغط عالية عند 56 يوماً**MPa50.265**، لكنها أظهرت تذبذبًا بين الأعمار المختلفة، هذه النتيجة تتفق مع ما تم ملاحظته في دراسة [12]حيث كانت مقاومة الضغط في الخلطات التي تحتوي على **PF0.5** جيدة في البداية ولكن تراجعت في الخلطات ذات النسبة العالية من**PF** ، وكذلك أظهرت نتائج دراسة [8] أن إضافة**PF** ، خصوصًا **PF** الحديدية، كانت تؤدي إلى تحسن ملحوظ في مقاومة الضغط، مقارنة ب **PF**العضوية، ورغم أن الدراسة الحالية تركز على**PF** ، إلا أن التأثير يظل مماثلًا من حيث تحسين الأداء، إلا أنه قد يكون هناك اختلاف في النتائج بسبب نوع **PF** المستخدمة.

نستنتج أن الألياف وخاصة**PF** ، تلعب دورًا مهمًا في زيادة المقاومة للضغط عن طريق تحسين توزيع المقاومة في الخرسانة وتقليل تأثير التشققات، بينما لوحظ بعض التذبذب في أداء بعض الخلطات خاصة **PF 0.35** ويعود السبب إلى تكتل**PF** أثناء الخلط لكن بشكل عام، **PF** تحسن المقاومة.

وأن مقاومة الضغط تزداد بمرور الوقت في جميع الخلطات، ما يعكس التحسن الطبيعي في مقاومة الخرسانة مع التفاعل المستمر بين الأسمنت والماء، بالإضافة إلى التحسين الناتج عن إضافة المكونات مثل **SF** و**PF** .

4. الخاتمة والتوصيات

الخلطة المرجعية **R.SCC** حققت خصائص انسياب ممتازة ضمن تصنيف **SF2** حسب **EFNARC.**

إضافة **PF** بنسبة 0.2% حافظت على خصائص الانسياب المقبولة، بينما النسبة 0.5% أدت إلى انخفاض كبير في قطر الهبوط (385 مم)، وهو أقل من الحد الأدنى الموصى به (550 مم).

زمن الانسياب **(T50)** ارتفع بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة الألياف، مما يدل على زيادة اللزوجة وصعوبة التدفق الذاتي.

عند نسبة 0.5% من**PF** ، حدث احتجاز كامل للخلطة**(No Flow)** ، مما يشير إلى تأثير سلبي على قدرة المرور بين القضبان.

النسب الأقل (0.2% و0.35%) كانت ضمن الحدود المقبولة (0–10 مم)، لكنها أظهرت زيادة في المقاومة الداخلية للحركة.

اختبار **H2/H1** أظهر أن جميع الخلطات المحتوية على **PF** فشلت في تحقيق النسبة المطلوبة (0.8–1.0)، مما يدل على انخفاض الاستقرار.

زمن العبور **(Tv)** كان أقل من الحد الأدنى الموصى به (6 ثوانٍ) في بعض الخلطات، مما يشير إلى احتمالية حدوث انفصال حبيبي أو نضح.

إضافة **PF** حسّنت مقاومة الضغط، خاصة عند النسب 0.2% و0.5**%**، والتذبذب في الأداء عند 0.35% قد يعود إلى تكتل الألياف أثناء الخلط.

نسبة 0.2% من **PF** هي الأكثر توازنًا بين التشغيلية والمقاومة.

النسب العالية **(0.5%)** تُحسن المقاومة لكنها تُضعف الانسياب الذاتي والاستقرار.

يجب ضبط نسب الألياف بعناية لتحقيق توازن بين السيولة، الثبات، والمقاومة.

الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام **OPC** و **PF**تُظهر أداءً جيدًا بشرط التحكم في نسب الإضافات والخلط.

كذلك يوصى بالتالي:

عند استخدام**PF** ، يُوصى بـ:

- **زيادة جرعة الملدنات الفائقة (Superplasticizers)**تدريجيًا حسب نسبة الألياف.
- استخدام ملدنات متوافقة مع المواصفات **ASTM C494 Type F**و **Type A**كما في الدراسة **(Technohyper N** و**Plastocrete N).**
- **التحكم في زمن الخلط** لتجنب تكتل الألياف وضمان توزيعها المتجانس.

للحصول على مقاومة ضغط مستدامة، يُوصى بـ:

- **معالجة العينات بالماء لمدة لا تقل عن 28 يومًا.**
- استخدام ركام خشن جيد التدرج بحد أقصى 20 مم.
- الحفاظ على نسبة ماء/أسمنت **(W/C)** عند 0.38 لتحقيق كثافة ومتانة عالية.

5.المراجـــــع

[1] Jeevetha, T., VijayaShanthy, S., Sivakumar, A., Singh, N.B.: Evaluation on strength parameters of self-compacting concrete incorporated with carbon and glass fibres. Mater Today Proc. 45, 708–712 (2021). https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.743

[2] Jagana, R., Kumar, C.V.: International journal of engineering sciences & research technology an experimental analysis of strength properties of high strength concrete using steel fibers. Int J Eng Sci Res Technol. 6, 308–316 (2017).

[3] Zeyad, A.M., Khan, A.H., Tayeh, B.A.: Durability and strength characteristics of high-strength concrete incorporated with volcanic pumice powder and polypropylene fibers. Journal of Materials Research and Technology. 9, 806–813 (2020). https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.021

[4] Inqiad, W. Bin, Siddique, M.S., Alarifi, S.S., Butt, M.J., Najeh, T., Gamil, Y.: Comparative analysis of various machine learning algorithms to predict 28-day compressive strength of Self-compacting concrete. Heliyon. 9, e22036 (2023). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22036

[5] Sheet, T.D.: Technohyper N. 1–2

[6] Sheet, P.D.: Plastocrete ® -N. 1–2 (2015).

[7] EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC).: The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. (2005).

[8] Saba, A.M., Khan, A.H., Akhtar, M.N., Khan, N.A., Rahimian Koloor, S.S., Petru, M., Radwan, N.: Strength and flexural behavior of steel fiber and silica fume incorporated self-compacting concrete. Journal of Materials Research and Technology. 12, 1380–1390 (2021). https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.066

[9] Kalaimani, R., Subha, C., Reymond, D.J., Kumar, C.V.: Investigation on Strength Characteristics of Self Compacting Concrete incorporated with AR Glass Fibers. E3S Web of Conferences. 387, 1–15 (2023). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338703005

[10] Abed, M.A., Fořt, J., Naoulo, A., Essa, A.: Influence of polypropylene and steel fibers on the performance and crack repair of self-compacting concrete. Materials. 14, (2021). https://doi.org/10.3390/ma14195506.

[11] Testing concrete. British Standards Institution (1983)

[12] Vivek, S.S., Dhinakaran, G.: Fresh and hardened properties of binary blend high strength self-compacting concrete. Engineering Science and Technology, an International Journal. 20, 1173–1179 (2017). https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.05.003.