دراسة تأثير الألياف المعدنية على الخصائص المرنة و الميكانيكية للخرسانة ذات مسحوق متفاعل

1شادلي منيرة

1Laboratory of Civil Engineering, Department of Civil Engineering and Hydrology, University of Biskra BP 145 RP BISKRA 07000 Algeria, mounira.chadli@univ-biskra.d*z*

الملخص

الاتجاه الحالي في العالم هو العثور على مواد جديدة بتكلفة أقل والتي يمكن أن تضمن أداء أفضل أثناء دمجها في الخرسانة. الدراسة الحالية جزء من تثمين مثل هذه المواد المحلية. أصبحت الخرسانة عالية الأداء مؤخرًا الهدف الرئيسي للعديد من أعمال الباحثين. وقد شجع ذلك على التحقيق في تأثير الألياف المعدنية على الخصائص الميكانيكية والمرنة للخرسانة البودرة التفاعلية (RPC) واستخدام المواد الموجودة في السوق الجزائرية مثل ثلاثة معادن مثل الخبث المسحوق والكوارتز المسحوق ودخان السيليكات ليتم دمجها في أسمنت بمحتويات مختلفة (15٪ ، 5٪ ، 17٪).

**الكلمات المفتاحية**: مسحوق الخرسانة التفاعلية (RPC) ، التركيبة ، الخواص الميكانيكية ، الألياف ، الخواص المرنة.

1. **المقدمة**

الخرسانة فائقة الأداء المقواة بالألياف عبارة عن مواد ذات انضغاط عالي جدًا ومقاومة عالية. إنه من أجل أكثر من 100 ميجا باسكال للخرسانة عالية الأداء ، أو حتى أكثر150 إلى 200 ميجا باسكال للخرسانة فائقة الأداء المقواة بالألياف . الأداء العالي يعني أيضًا سهولة التنفيذ ومرونة قيود البناء التكيفي وفقًا لـ **Toutlemonde** وزملاؤه ، فإن الخرسانة عالية الأداء قد قللت بشكل كبير من المسامية ، وهي أكثر مقاومة للعوامل العدوانية ، وبوجه عام ، زادت المتانة [1]. يمكننا أن نرى أن غالبية الدراسات قد تم إجراؤها بنسب حجميه من الألياف بنسبة 2 أو 2.5٪ ، مع قوة ضغط متفاوتة بين 119 ميجا باسكال و 261 ميجا باسكال. تعتبر هذه النسب بمثابة حل وسط جيد بين الأداء الميكانيكي المطلوب والسعر. أظهرت الدراسات الحديثة [2،3،4] أنه من الممكن الحصول على مقاومة ضغط تبلغ 180 ميجا باسكال دون إضافة ألياف عن طريق تحسين تماسك الخليط.

تعتبر المقاومة الميكانيكية والتشوه من الخصائص المهمة للخرسانة ، لأنها تلعب دورًا كبيرًا ليس فقط في الاستقرار ، ولكن أيضًا في متانة الهياكل. الخرسانة مادة متطورة: تتغير خصائصها باستمرار أثناء وجودها ، ويستمر ترطيب الأسمنت لفترة طويلة ، مما يزيد من القوة الميكانيكية ومعاملات التشوه. تتعرض الخرسانة المعرضة لعمل حمولة منخفضة نسبيًا لتشوه مرن فوري تقريبًا ، قابل للانعكاس [5]. تم استخدام ثلاثة أطوال من الألياف الفولاذية (6 ، 12 ، 20) مم ونسبة أبعاد (37.5 ، 75 ، 125) على التوالي لدراسة تأثير أطوال الألياف على مقاومة الانضغاط وصلابة مسحوق الخرسانة المتفاعلة. أظهرت نتائج الاختبار أن RPC بـ 150 ميجا باسكال ومُقوى بألياف فولاذية طويلة ، كان يتمتع بأعلى مقاومة للضغط وأقصى قوة وصلابة نظرًا لارتباط أعلى بين الألياف ومصفوفة RPC عالية القوة جدًا. بينما بالنسبة لـ RPC بقوة ضغط تبلغ 270 ميجا باسكال ، فإن التعزيز باستخدام ألياف فولاذية قصيرة يكون أكثر فعالية. ومع ذلك ، لقوة الضغط

(RPC) كان أقل تأثرًا بطول ألياف الصلب [6]. تم تحسين نتائج مقاومة الشد والتشوه الأقصى بعد التكسير بشكل كبير باستخدام ألياف فولاذية مشوهة بدلاً من الألياف الملساء. بالإضافة إلى ذلك ، فإن مسار منحنى إجهاد UHPFRC المقوى بألياف فولاذية معقوفة و UHPFRC المقوى بألياف فولاذية ملتوية يشبه الحمل الأقصى لـ UHPFRC المقوى بألياف فولاذية معقوفة. بينما يبدأ UHPFRC المقوى بألياف فولاذية معقوفة في التليين عند إجهاد ما بعد التكسير εtp = 0.46٪ ، يستمر UHPFRC المقوى بألياف فولاذية ملتوية في زيادة إجهاد الشد حتى 'إجهاد ما بعد التكسير εtp 0.6٪ [7]. اختبار مقاومة الانضغاط ، تم استخدام عينات أسطوانية بارتفاع 200 مم وقطر 100 مم. أثناء إجراء اختبارات الانحناء ، تم تصنيع عوارض موشورية ذات مقطع عرضي 100 × 100 مم 2

تأثير طول الألياف وشكلها ونسبة العرض إلى الارتفاع على سلوك الانحناء لمركبات الأسمنت المقوى بالألياف فائقة الأداء باستخدام ألياف فولاذية مستقيمة ، معقوفة وملتوية. أظهرت النتائج أنه عند وجود جزء من حجم الألياف أكبر من 1٪ ، فإن الألياف الطرفية المعقوفة توفر قوة انحناء أقل وصلابة من الألياف المستقيمة. بالنسبة للألياف المستقيمة، في معظم الحالات، توفر الألياف قصيرة الطول نتائج ثني أفضل فيما يتعلق بقوة الانحناء العالية، وقدرة الانحراف والتماسك مقارنة بالألياف قصيرة الطول بسبب نسبة شكلها الأكبر [9 .[

الهدف الرئيسي من هذه المقالة هو دراسة تأثير الألياف المعدنية على الخواص الميكانيكية والمرنة مثل مقاومة الانضغاط والتشوه ومعامل المرونة. تم عمل مكعبات خراسانية بحجم (100 × 100 × 100) مم 3 و (100 × 100 × 400) مم 3 لإجراء هذه الدراسة ، كان وقت الغمر في الماء 28 يومًا. تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها للخصائص الميكانيكية والمرنة مع نفس الخصائص التي تم الحصول عليها من المقالات المنشورة.

1. **المواد والطرق**

**الاسمنت (C):** الاسمنت المستخدم هو CPA-CEM I / 42.5 ، جزائري

**الركام (S) :** عبارة عن رمل من غربال 0.6 مم من منطقة جامعة بولاية الوادي بالجزائر.

**المادة المضافة (SP) :** المادة المضافة المستخدمة هي مادة الملدنات الفائقة SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 بكثافة 1.06

**المعادن:** تم استخدام ثلاث إضافات: **خبث الحبيبات** من الفرن العالي (GS) : يأتي من المجمع المعدني (الحجار) بعنابة ، تبلغ مساحته 7277 سم 2 / جم وبكثافة (2.60

**الكوارتز المطحون (CQ)** : هو عبارة عن مسحوق يبلغ متوسط ​​قطره بين 10 و 15 ميكرومتر ناتج عن طحن رمل غني جدًا بالسيليكات. تبلغ مساحة سطحها المحددة 5714 سم 2 / جم وكثافة 2.63.

**دخان السيليكات**: (SF) (Condensil S95 DP) شركة سيكا بكثافة تساوي 1.56.

**الألياف المعدنية (MF) :** تم استخدام ألياف معدنية مجعد طولها 50 مم بقطر 1.05 مم ، وعدد الألياف 2800 ألياف / كجم وقوة الشد 1000 ميجا باسكال / خط من الألياف خلال البرنامج التجريبي.

**الماء (W) :** يجب أن يكون الماء المستخدم في الخلط والمعالجة خاليًا من الكميات الضارة من المواد الضارة. في العمل الحالي ، تم خلط مياه الصنبور الصالحة للشرب مباشرة مع الخرسانة.

1. **خلطة الخرسانة**

أولاً، كانت جميع المكونات الأساسية لـ RPC ممزوجة جافة. في الخطوة الثانية ، تمت إضافة نصف كمية الماء مع نصف كمية الملدنات إلى الخليط الجاف. تمت إضافة الألياف في الخطوة الثالثة (في حالة RPCs المقواة بالألياف) بنصف الماء والملدنات. استغرقت مرحلة الخلط الأولى 4 دقائق بسرعة الخلط واستغرقت المرحلتان الثانية والثالثة 8 دقائق لكل منهما. تمت زيادة سرعة الخلط في الخطوة الثالثة. كان إجمالي وقت الخلط 20 دقيقة.

يتم إعطاء الصيغ المختلفة للخرسانة التي تمت دراستها في الجدول 1

: RPCC الخرسانة بدون ألياف ؛ : RPCF الخرسانة مع الألياف المعدنية. تم حساب النسب المئوية للألياف من أجل الحصول على قابلية تشغيل جيدة. لأنه وفقًا لـ [10] بزيادة حجم وطول الألياف، قد تكون هناك مشاكل في قابلية التشغيل.

**الجدول 1: التركيبات النهائية للخرسانة المستخدمة كجم / م 3**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **C** | **S/C** | **SF/C** | **CQ/C** | **GS/C** | **SP/C** | **W/C** | **MF**  **(%)** |
| **RPCC** | 945 | 1,1 | 0,17 | 0,05 | 0,15 | 0,018 | 0,16 | 0 |
| **RPCF** | 945 | 1,1 | 0,17 | 0,05 | 0,15 | 0,018 | 0,16 | 2,5 |

تم إنتاج العينات وفقًا للمعايير المعمول بها (الخلط، التثبيت)، وهي ذات أشكال هندسية مختلفة اعتمادًا على الاختبار الذي تم إجراؤه (l00 xl00 × 100) mm3 و x100x400) mm3 (100، يتم الاحتفاظ بها بعد ترك القالب في الماء عند 20 درجة مئوية.

1. **النتائج والمناقشة**

**1.4 المقاومة الميكانيكية للضغط تأثير الألياف المعدنية على المقاومة الميكانيكية للضغط** يعطي الشكل 1 مثالاً على النتائج التي تم الحصول عليها في درجة حرارة الغرفة في عمر 28 يومًا. يمكن قراءة أنه بالنسبة لنسبة W / C تساوي 0.16 ، فإن الخرسانة القائمة على أسمنت CPA42.5 الذي يغلق عند 17٪ من دخان السيليكا ، و 15٪ من الخبث الحبيبي و 5٪ من الكوارتيز المسحوق له خصائص قوية. . أظهر فحص مقاومة الانضغاط في 28 يومًا أن إضافة 2.5٪ من الألياف المعدنية تسبب زيادة في مقاومة الانضغاط بنسبة 18.12٪ مقارنة بالقوة غير الليفية. حسب النتائج التي تم الحصول عليها من [11]. ستكون العوامل الأكثر مسؤولية عن هذه الزيادة بالطبع هي اختيار أنواع المواد المضافة ، ودقة الإضافات المستخدمة ، وعامل آخر مهم للغاية هو تقليل نسبة W / C ، ويفضل هذا المعامل من خلال تشكيل داخلي منتجات الترطيب التي تتميز بقوام ناعم جدًا وتشبه الطور المضغوط مع مظهر غير متبلور.[12]



**شكل. 1.** مقاومة الانضغاط عند 28 يوم

**2.4 التشوه**  لدراسة تأثير الألياف على تشوه خرسانة المساحيق التفاعلية ، قمنا بتطوير صيغتين من مسحوق الخرسانة التفاعلي ، أحدهما مقوى بالألياف والآخر غير ليفي RPCC ، RPCF البعد (100 × 100 × 400) مم 3. يتم إجراء اختبارات الضغط بعد 28 يومًا من التصلب الطبيعي (يتم تخزين هذه العينات في الماء) باستخدام مكبس. تخضع الخرسانة المعرضة لحمل ضعيف نسبيًا لتشوه مرن فوري تقريبًا ، قابل للانعكاس. يتبع قانون هوك المشهور: **σc = εc × Ec**. تم قياس التشوه عن طريق مؤشرات ذات قرص لها قيمة تقسيم 0.01 والتي يتم تثبيتها باستخدام إطارات مناسبة على مساحة 200 مم 2 و 100 مم في الاتجاهين العرضي والطولي ، والتي تشتمل على منصات قياس يفصل بينها 20 سم. التطور الكلي لمرونة الانحراف - العرض الكلي الطولي واللحظي للخرسانة، معامل التشوه ومعامل مرونة الخرسانة كدالة للضغوط النسبية لسلسلة المناشير: سيتم تقديم RPCC ، RPCF في الأشكال ( 2 و 3 و 4 و (5.

* **منحنى إجهاد طولي**



**شكل . 2**. التشوه اللحظي المرن الطولي للخرسانة ɛ1el بدلالة للضغوط النسبية η لسلسلة العينات RPCC و RPCF.



**شكل. 3.** إجمالي التشوه اللحظي المرن الطولي للخرسانة ɛ1el وفقًا للضغوط النسبية η لسلسلة العينات RPCC و RPCF

في الأشكال أعلاه نلاحظ أن: - العلاقة بين القيمة النسبية والتشوهات الطولية المرنة اللحظية لخرسانة المسحوق التفاعلي لها طابع خطي في جميع نطاقات الإجهاد النسبي (η = 0.1−0.9) مهما كانت صيغة الألياف أم لا. - التشوهات الطولية اللحظية المرنة المطورة في تركيبة الخرسانة ذات المسحوق التفاعلي غير الليفي أقل من تلك الخاصة بتركيبة الألياف ولنفس الضغوط النسبية η. وبالتالي بالنسبة للتشوهات الطولية الكلية المطاطية اللحظية. حسب النتائج التي تم الحصول عليها من [13].

* **إجهاد المنحنى- إجهاد عرضي**

****

**شكل. 4.** التشوه العرضي اللحظي المرن للخرسانة ɛ2el وفقًا للضغوط النسبية η لسلسلة العينات RPCC و RPCF

****

**شكل 5.** .إجمالي التشوه اللحظي المرن المستعرض للخرسانة ɛ2Tel بدلالة للضغوط النسبية η لسلسلة العينات RPCC و RPCF.

على عكس ما تم العثور عليه بالنسبة للتشوهات الطولية اللحظية والتشوهات الكلية ، فإن التشوهات الكلية المستعرضة والعرضية المرنة اللحظية للخرسانة التفاعلية غير المقواة بالألياف أكبر من تلك الخاصة بالخرسانة المقواة بالألياف وهذا ضمن نطاق نسبي الضغوط η = 0.1 إلى 0.4 علاوة على ذلك بالنسبة لقيم الإجهاد النسبي العالية (أكبر من 0.4) ، فإن التشوهات العرضية المرنة اللحظية والتشوهات العرضية الكلية لـ RPCC تتجاوز تلك الخاصة بـ RPCF. وفقا للنتائج التي تم الحصول عليها من [13, 14].

**3.4 معامل التشوه**

****

**شكل. 6**. معامل التشوه E للخرسانة بدلالة للضغوط النسبية η لسلسلة العينات RPCC و RPCF

يتناقص معامل تشوه خرسانة المسحوق التفاعلي مع زيادة الضغط النسبي. في نطاق الإجهاد النسبي (0.1 إلى 0.3) ، يكون معامل تشوه RPCF أكبر من RPCC ، يتم عكس هذا الاتجاه لقيم الإجهاد النسبي الأكبر من 0.4. حسب النتائج التي تم الحصول عليها من [13].

**4.4معامل المرونة**



**شكل.** **7.** معامل مرونة الخرسانة RPCC و RPCF

معامل المرونة للخرسانة المسحوقة المقواة بالألياف أكبر من تلك الخاصة بالخرسانة غير الليفية ، والتي قد تكون بسبب وجود الألياف المعدنية ، حيث تم تسجيل زيادة قدرها 2.16 ميجا باسكال. لا يوجد فرق كبير بين معامل مرونة الخرسانة المسلحة بالألياف والخرسانة غير الليفية لأن معامل المرونة يمثل حالة مستقرة من الخرسانة المتصلبة ، حتى في حالة الزيادات الكبيرة في الإجهاد. وفقا للنتائج التي تم الحصول عليها من [[13 ;14

1. **الخلاصة**

في هذا البحث تم دراسة تأثير الألياف على خصائص مسحوق الخرسانة المتفاعلة. يمكن تلخيص النتائج الرئيسية لهذا البحث على النحو التالي

يؤدي دمج الألياف المعدنية في صياغة مسحوق الخرسانة التفاعلي إلى تطور ملحوظ في مقاومة الانضغاط مقارنة بتلك التي لا تحتوي على ألياف يمكن أن تصل إلى 124 ميجا باسكال في 28 يومًا. للحصول على مستوى عالٍ من المقاومة ، يجب عليك: خفض W / C إلى النسبة من 0.16 إلى 0.20 ،

استخدام مادة ملدنة فائقة الجودة. يجب أن تكون جميع المكونات في الخرسانة ذات جودة عالية جدًا

يتناقص معامل التشوه مع زيادة الضغط النسبي. معامل التشوه للخرسانة مع إضافة 17٪ SF لديه معامل تشوه أعلى من الخرسانة المتحكمة. معامل مرونة الخرسانة المتصلدة هو دالة على قوتها الميكانيكية. ومع ذلك ، فإن العوامل التي تعمل على معامل المرونة هي نفسها التي تعمل على المقاومة.

يعتبر إدخال الألياف المعدنية أهم عامل في اكتساب مقاومة الانضغاط (+ 17.20٪). ترتبط هذه التحسينات في القوة بالنسبة العالية جدًا من RPCs في الألياف المعدنية وتتفق مع النتائج التي حصل عليها باحثون آخرون مثل [15,16]. تأثير الإضافات المعدنية على تطور معامل المرونة كبير. وبالتالي ، لوحظ أن الخرسانة التي تحتوي على إضافة لها دائمًا معامل أعلى من معامل الطيار ملموسة ، والتي ترتبط بانضغاطها الكبير

توضح دراسة قابلية التشوه للخرسانة البودرة التفاعلية أن العلاقة بين القيمة النسبية والتشوهات الطولية المرنة اللحظية لخرسانة المسحوق التفاعلية لها طابع خطي في جميع نطاقات الإجهاد النسبي ومعامل المرونة المطوَّر للألياف المقواة. مسحوق الخرسانة التفاعلي يتفوق على ذلك بدون الألياف.

المراجع

[1] Chadli, M., Tebbal, N., and Mellas, M, Study of the Mechanical Behavior of a Reactive Powder Concrete Containing Fibers. Springer Nature Switzerland, Proceedings of the 4th International Symposium on Materials and Sustainable Development, 2020 71–82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43211-9\_7.

[2] Mounira Chadli, Nadia Tebbal, Mekki Mellas , (2021) Impact of elevated temperatures on the behavior and microstructure of reactive powder concrete, Construction and Building Materials 300 124031.

[3] Mounira Chadli, Messaouda Bensmail, Mekki Mellas, Study of the Influence of the Aggressive Environment on the Behavior of Reactive Powder Concrete, Cement Based Composites 1 (2021) 7-12. <https://doi.org/10.36937/cebacom.2021.001.002>

[4] How-Ji Chen, Yi-Lin Yu , Chao-Wei Tang ., Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete before and after Exposure to High Temperatures, Materials **2020,** 13, 770; doi:10.3390/ma13030770

[5] Wille, K., Kim, D.J. and Naaman, A.E., **“**Strain- hardening UHP-FRC with low fiber contents**”**, Mater Struct **2011**, 44:583-98,.

[6] Wille, K., Naaman, A.E. and El-Tawil, S., **“**Ultra high performance fiber reinforced concrete (UHP- FRC) record performance under tensile loading**”**, Concrete International **2011**, vol 33, no 9, September, pp 35-41,**.**

[7] DanyingGao, Lijuan Zhang , Michelle Nokken, Jun Zhao., Mixture Proportion Design Method of Steel Fiber Reinforced Recycled Coarse Aggregate Concrete, Materials **2019**,12,375; doi:10.3390/ma12030375

[8] [Chadli,](https://www.emeraldinsight.com/author/Chadli%2C%2BMounira) M., [Mekki,](https://www.emeraldinsight.com/author/Mekki%2C%2BMellas) M. and [Mezghiche,](https://www.emeraldinsight.com/author/Mezghiche%2C%2BBouzidi) B., Formulation and study of metal fiber-reinforced reactive powder concrete**,** World J. Eng **2018**., **15**(4), 531-539.

[9] Shahad S. Khamees, Mohammed M. Kadhum, Nameer A. Alwash. ,Steel Fiber Use as Shear Reinforcement on I-Shaped UHP-FRC Beams, Civil Engineering Journal **2020**, Vol. 6, No. 1.

[10] [Umut Hasgul](https://sciprofiles.com/profile/author/ZlExNFVvYWFTWUh2c2F0ayt3Tnp5RkIzcjVnV3l2REp2amlyQ0wrdWNjTT0%3D) , [Altug Yavas,](https://sciprofiles.com/profile/author/bmNSUC8zSVZ6bXQzSDMvaVp0Ri90a1lKTCsvcDNOOEZCZzZCQk1Qd1Z6Zz0%3D) [Tamer Birol](https://sciprofiles.com/profile/author/ZXk0ZVhJeW03WGd0WDVjY0xpM1kzOVdzeld2ZWxlTkZwT0Rvd3h3V1VkTT0%3D) [,Kaan](https://sciprofiles.com/profile/author/S09zVWZOSnhKK3doTkxvSGwrc3d4c0JiUWJGZ0QrQ0tyc3VVWW91ZXRMST0%3D) [Turker.](https://sciprofiles.com/profile/author/S09zVWZOSnhKK3doTkxvSGwrc3d4c0JiUWJGZ0QrQ0tyc3VVWW91ZXRMST0%3D), Steel Fiber Use as Shear Reinforcement on I-Shaped UHP-FRC Beams, Appl. Sci. **2019**, 9(24), 5526; <https://doi.org/10.3390/app9245526>

[11] In-Hwan Yang, Jihun Park, The Quang Bui, Kyoung-Chul Kim, Changbin Joh and Hyungbae Lee ., An Experimental Study on the Ductility and Flexural Toughness of Ultrahigh- Performance Concrete Beams Subjected to Bending, Materials **2020**, 13, 2225; doi:10.3390/ma13102225

[12] Yang, Guangyao, Jiangxiong Wei, Qijun Yu, Haoliang Huang, and Fangxian Li. Investigation of the Match Relation between Steel Fiber and High- Strength Concrete Matrix in Reactive Powder Concrete. Materials **2019,** 12, no. 11 : 1751. doi:10.3390/ma12111751. [[13] Dalila Benamara ,Bouzidi Mezghiche, Mechrouh Fatma Zohra ., The deformability of a high performance Concrete (HPC), Physics Procedia **2014**, Eighth International Conference on Material Sciences, CSM8-ISM5, [Volume 55,](https://www.sciencedirect.com/science/journal/18753892/55/supp/C) Pages 342-347.

[14] Dmitriy Sarkisov, Nikolay Gorlenko, Gleb Gorynin, Yuri Sarkisov, Gafurzhan Izmailov , and Tatyana Shepelenko., Strength and deformability of reinforced concrete elements under oblique eccentric short-term dynamic compression, tension and bending, E3S Web of Conferences 164, 14008, 2020, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016414008

[15] S. Kherbache, N. Bouzidi, M. A. Bouzidi,K. Moussaceb, A. K. Tahakourt., The behavior of the concretes and mortars reinforced by metallic fibers wastes as substitution of cement, J. Mater. Environ. Sci **2016**. 7**(**1) 18-29

[16] Bakis A, Isik E, El AA, et al. Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes Produced Using Pumice Powder[J]. J. Wuhan Univ. Technol. -Mater. Sci. Ed., **2019**, 34(2): 353-360

[17] Syed Safdar Raza·Liaqat Ali Qureshi·Babar Ali·Ali Raza·Mudasser Muneer Khan·Hammad Salahuddin, Mechanical Properties of Hybrid Steel– Glass Fiber-Reinforced Reactive Powder Concrete After Exposure to Elevated Temperatures, Arabian Journal for Science and Engineering **2020** 45:4285– 4300 https://doi.org/10.1007/s13369-020-04435-4

[18] Tafraoui, A., Escadeillas, G., Lebaili, S., Vidal, T., Metakaolin in the formulation of UHPC.Constr. Build. Mater **2009**. 23, 669–674,.

[19] Cheyrezy M., Applications structurales du BPR. Conférence AFPC-AFREM sur les Bétons

[20] Yang Haitao, Liu Juanhong, Xue Yanpeng, Zhou Yucheng, JI Hongguang., Corrosion Behavior of Steel Fibers in Reactive Powder Concrete with High Volume of Mineral Admixtures, Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. [www.jwutms.net](http://www.jwutms.net/) June **2020** , Vol.35 No.3, pp 541- 550.

[21] Ming keeng,Jian Han,Haibo Liu,Meng Qin,and Xing wen Liang., Analysis of Compressive Toughness and Deformability of High Ductile Fiber Reinforced Concrete, Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume **2015**, Article ID 384902, 7 pages [http://dx.doi.org/10.1155/2015/384902.](http://dx.doi.org/10.1155/2015/384902)

[22] [Romualdas Kliukas,](https://sciprofiles.com/profile/1008723) [Ona Lukoševičienė,](https://sciprofiles.com/profile/660498) [Arūnas](https://sciprofiles.com/profile/author/QUZ4VUdxcGFyNzloWUhZU0o1dGpQYlBKOVpZVlc3cnFaZUZ1VXdMVW5JOD0%3D) [Jaras](https://sciprofiles.com/profile/author/QUZ4VUdxcGFyNzloWUhZU0o1dGpQYlBKOVpZVlc3cnFaZUZ1VXdMVW5JOD0%3D) and [Bronius Jonaitis](https://sciprofiles.com/profile/author/WXV3anJDSTlUWFhVeSs2UjUwU3lmbEJia0t6a1l4Y3FyS094WE9zc3NuRT0%3D)., The Mechanical Properties of Centrifuged Concrete in Reinforced Concrete Structures**,** *Appl. Sci.* **2020**, *10*(10), 3570; <https://doi.org/10.3390/app10103570>

[23] Remitz, J.; Wichert, M.; Empelmann, M. Ultra-High Performance Spun Concrete Poles—Part II: Tests on Grouted Pole Joints. In Proceedings of the 11th High Performance Concrete (HPC) and the 2nd Concrete Innovation Conference (CIC), Tromso, Norway, 6–8 March **2017**; Available online: [https://www.researchgate.net/publication/31724860](https://www.researchgate.net/publication/317248608) [8](https://www.researchgate.net/publication/317248608) .