

Structural and Thermal Efficiency of Concrete Incorporating Wood Ash as a Partial Cement Replacement: An Experimental and Numerical Investigation

Soran University



This master thesis discussion is arranged by SUN's
Engineering faculty, Civil and Environmental Engineering . (DCEE)

This study investigates whether finely processed restaurant-derived wood ash (WA) can be used as a partial cement replacement in concrete while maintaining a structurally reasonable response in reinforced concrete members. The study is designed as a structural-material assessment by linking laboratory testing with predictive modelling, Design-Expert optimization, nonlinear ABAQUS beam simulation, and ACI-based analytical verification. Five primary mixtures were produced with 0%, 10%, 15%, 20%, and 25% WA replacement by mass of binder at a constant water-to-binder ratio of 0.41. The WA is sieved through a 63 μm sieve and mechanically ground to an average particle size of approximately 6.5 μm .

The processed WA was characterized using X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy-dispersive spectroscopy (EDS). The ash is rich in Ca, Mg, and K, with relatively low contents of SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 , and showed a mainly crystalline mineralogical character. These findings indicate that the contribution of WA was mainly associated with filler and packing effects at moderate replacement levels, while cement dilution became more influential at higher replacement levels. The fine, irregular, and porous ash particles also increased superplasticizer demand when workability is maintained at constant water content.

The experimental results show a clear strength–durability–thermal trade-off. At 28 days, compressive strength decreased from 47.1 MPa for the control mixture to 37.2, 30.8, 24.5, and 16.2 MPa for mixtures containing 10%, 15%, 20%, and 25% WA, respectively. Water absorption increased from 2.54% to 5.43%, while permeable voids increased from 6.70% to 12.76%. The charge passed in the rapid chloride penetrability test (RCPT) remained within the moderate chloride ion penetrability class up to 20% WA replacement but increased sharply to 6988.6 C at 25%. In contrast, thermal conductivity decreased from 0.51 to 0.40 W/m·K, showing improved thermal insulation potential at higher WA contents.

For the structural part, the selected 10% WA concrete is used in twelve ABAQUS reinforced concrete beam models with different shear-span-to-effective-depth ratios and shear reinforcement conditions. The 10% WA beams developed lower peak loads and generally larger deflections at peak than the control beams, but the structural response pattern remained comparable. Moment and one-way shear checks based on American Concrete Institute (ACI) 318-19 showed that beams with stirrups had adequate nominal shear resistance, whereas beams without stirrups were shear-vulnerable. These comparisons supported analytical verification of the numerical results, but not experimental beam validation. Predictive modelling also showed that the artificial neural network (ANN) model gave the best compressive-strength prediction, while Design-Expert verification identified the experimentally verified mixture containing about 13% WA as the better optimized mixture. Overall, finely processed restaurant-derived WA can be considered a promising partial cement replacement, with the most practical range being approximately 10–15% under the conditions of this study.

پوخته‌ی توژینه‌وه

به‌کاره‌ینانی ماده‌ه چیمه‌نتوییه ته‌واوکه‌ره‌کان که له پاشماوکه‌انه‌وه به‌ده‌ست ده‌ه‌ینرین، رینگه‌یه‌کی گرنگه بو که‌مه‌کردنه‌وه‌ی به‌کاربردنی چیمه‌نتو و باشترکردنی به‌رده‌وامی (sustainability) کونکریت. نه‌م توژینه‌ومه‌یه له کارایی پیکه‌اته‌یی و گهرمی گه‌یه‌نهری کونکریت ده‌کولنه‌وه که خوله‌میشی داری چیشته‌خانه‌کان (WA) به شیوه‌یه‌کی ورد پرۆسیس‌کراو له‌خوده‌گریت و هک جیگره‌وه‌ی به‌شیک له چیمه‌نتو. کاره‌که تاقیکردنه‌وه‌ی تاقیگه‌یی، مۆدیلکردنی پیش‌بینیکراو، باشترکردنی ناماری (statistical optimization)، سه‌لماندنی تاقیگه‌یی، و شیکاریی ژمیرکاریی به‌نامه‌ی ئاباکوس (ABAQUS) له‌خوده‌گریت. پینج تیکه‌له‌ی سه‌ره‌کی ناماده‌کران به ریزه‌ی 0%، 10%، 15%، 20% و 25% بو جیگرته‌وه‌ی خوله‌میشی دار (WA) له‌سه‌ر بنه‌مای بارسته‌ی ماده‌ی لکینه‌ر، له‌گه‌ل هیشته‌وه‌ی ریزه‌ی ناو بو ماده‌ی لکینه‌ر به جیگری له 0.41. خوله‌میشه‌که (WA) به بیژنگی

63 مایکرومتر بیژرایهوه و به شیوهیهکی میکانیکی هاردرا، که بووه هوی بهرهمهینانی تیکرای قهبارهی تمۆلکهکان به بری نزیکهی 6.5 مایکرومتر.

تابیتمهندییهکانی خۆلهمیشه پرۆسیسکراوهکه به بهکارهینانی نهجامی پشکنینهکانی SEM، XRD، XRF و EDS دیاریکران. خۆلهمیشهکه دهولهمنده بوو به کالسیۆم-مهگنسیۆم-پۆتاسیۆم (Ca-Mg-K)، لهگهڵ ریزمیهکی کهم له SiO_2 ، Al_2O_3 و Fe_2O_3 ، وه زۆریه تابیتمهندییه کانزاییهکانی به شیوهی بلووری (crystalline) دهركهوتن. دهركهمنهکان دهريدهمن که بهشداریهیهکی له ناسته مامناوهندهکانی جیگرتنهوهدا زیاتر پهيوهست بووه به کاریگهريیهکانی پرکردنهوه (filler) و چرکردنهوه، له کاتیکدا کهمبوونهوهی کاریگهريی چیمهنتۆ (cement dilution) له ناسته بهرزمهکانی جیگرتنهوهدا زائتر بوو. توانای کارکردن (Workability) به زیادکردنی پلمهپلهی مادهی شلکرموهی بههیز (superplasticizer) پاریزرا، و بری پیووستی شلکرموهکه لهگهڵ زیادبوونی بری خۆلهمیشهکهدا زیادی کرد بههوی سروشتی ورد، ناریک و کونداریتی تمۆلکهکانی خۆلهمیشهکه.

نهجامه تاقیکارییهکان هاوسهنگیهکی پروونیان له نیوان هیز-بهرگهگرتن-گهرمی (trade-off) نیشان دا. بهگشتی زیادکردنی جیگرموهی خۆلهمیشتی دار بووه هوی کهمبوونهوهی چری و هیزی میکانیکی کۆنکریت، له کاتیکدا ههلمزین، بۆشاییه تپیهرمهکان (permeable voids) و بری تپیهربوونی شهپۆلی کلۆرید (RCPT) زیادی کرد. له تمهمنی ۲۸ رۆژیدا، هیزی پهستاون (compressive strength) له

ملخص الدراسة

يُعد استخدام المواد الأسمنتية التكميلية المستخلصة من النفايات مساراً مهماً لتقليل استهلاك الأسمنت وتحسين استدامة الخرسانة. تبحث هذه الدراسة في الكفاءة الإنشائية والحرارية للخرسانة الحاوية على رماد الخشب (WA) المستخلص من المطاعم والمعالج بدقة، كبديل جزئي للأسمنت. يجمع هذا العمل بين الاختبارات التجريبية، والنمذجة التنبؤية، والتحسين الإحصائي، والتحقق المعملية، والمحاكاة العددية باستخدام برنامج أباكوس (ABAQUS). تم تحضير خمس خلطات رئيسية بنسب استبدال لرماد الخشب بلغت 0%، و10%، و15%، و20%، و25% من كتلة المادة الرابطة، مع الحفاظ على نسبة ماء إلى المادة الرابطة ثابتة عند 0.41. تم نخل رماد الخشب عبر منخل بفتحات حجمها 63 ميكرومتر وطحنه ميكانيكياً، مما أنتج متوسط حجم للجسيمات يبلغ حوالي 6.5 ميكرومتر.

تم تحديد خصائص رماد الخشب المعالج باستخدام تقنيات (XRF) و (XRD) و (SEM) و (EDS). كان الرماد غنياً بالكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم (Ca-Mg-K)، مع محتوى منخفض نسبياً من أكسيد السيليكون (SiO_2) وأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) وأكسيد الحديد (Fe_2O_3)، وأظهر طابعاً معدنياً بلورياً في الغالب. تشير هذه النتائج إلى أن مساهمته ارتبطت بشكل أساسي بتأثيرات الحشو والتعبئة عند مستويات الاستبدال المعتدلة، في حين أصبح تأثير تخفيف الأسمنت (cement dilution) أكثر سيطرة عند مستويات الاستبدال الأعلى. تم الحفاظ على قابلية التشغيل (Workability) من خلال الإضافة التدريجية للملدنات الفائقة (superplasticizer)، وزادت الجرعة المطلوبة مع زيادة محتوى رماد الخشب بسبب الطبيعة الدقيقة وغير المنتظمة والمسامية لجسيمات الرماد.

أظهرت النتائج التجريبية وجود مفاضلة (trade-off) واضحة بين المقاومة والديمومة والخصائص الحرارية. أدت زيادة نسبة استبدال رماد الخشب بشكل عام إلى تقليل الكثافة والمقاومة الميكانيكية، في حين زادت من نسبة الامتصاص، والفجوات النافذة (permeable voids)، والشحنة المارة في اختبار نفاذية أيون الكلوريد السريع (RCPT). عند عمر 28 يوماً، انخفضت مقاومة الانضغاط من 47.1 ميجاباسكال للخلطة المرجعية إلى 37.2، و30.8، و24.5، و16.2 ميجاباسكال لنسب 10%، و15%، و20%، و25% من رماد الخشب على التوالي. زاد امتصاص الماء من 2.54% إلى 5.43%، وزادت الفجوات النافذة من 6.70% إلى 12.76%. ظلت قيم اختبار (RCPT) ضمن فئة نفاذية أيون الكلوريد المعتدلة حتى نسبة استبدال 20%، لكنها ارتفعت بشكل حاد لتصل إلى 6988.6 كولوم عند نسبة استبدال 25%. في المقابل، انخفضت الموصلية الحرارية من 0.51 إلى 0.40 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ، مما يشير إلى تحسن إمكانات العزل الحراري عند المحتويات الأعلى من رماد الخشب.

تم إجراء النمذجة التنبؤية باستخدام قاعدة بيانات مرجعية تضم 470 سجلاً. ومن بين النماذج المطورة، قدم نموذج الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) أفضل تنبؤ عام لمقاومة الانضغاط، في حين قدمت النماذج التربيعية الكاملة (full quadratic) ونموذج (M5P) بدائل مفيدة قابلة للتفسير. اقترحت عملية التحسين باستخدام برنامج (Design-Expert) خلطتين للتحقق، هما M6 و M7، وأظهرت الاختبارات المعملية أن الخلطة M6، التي تحتوي على حوالي 13% من رماد الخشب، وفرت توازناً عاماً أفضل من الخلطة M7. وعلاوة على ذلك، أظهرت محاكاة أباكوس (ABAQUS) لاثني عشر عتبة خرسانية مسلحة (reinforced concrete beams) أن الخرسانة المختارة بنسبة 10% من رماد الخشب أنتجت استجابة عددية إنشائية معقولة عند توفير تسليح القص (shear reinforcement).

ئەندامانى لىژنەى تالوتىكردن			
پلەى ئەندامىيەتى	زانكۆ	نازناوى زانستى	ناو
سەرۆكى لىژنە	ز. پۆلىتەكنىكى دھۆك	پ.يارىدەدەر	يەمان سامى الكمكى
ئەندام	زانكۆى سۆران	پ.يارىدەدەر	بەنگىن مسىحو اودل
ئەندام	زانكۆى گەرميان	پ.يارىدەدەر	غازى بەهروز جمعه
سەرپەرشتىار	زانكۆى سۆران	پ.يارىدەدەر	كامران سلیمان اسماعیل
نۆینەرى بەش	زانكۆى سۆران	م. يارىدەدەر	نارى حربى رفیق

About Soran University

[Soran University \(SUN\)](#) is located in the city of Soran, which is about a two-hour drive north-east of [Erbil](#) (Arbil, Hewlér), the capital of the [Kurdistan Region](#) of Iraq (KRIQ). The city is flanked by the famous Korek, Zozik, Henderén, and Biradost mountains. The medieval mountain village of [Rewandiz \(Rawanduz, رەواندز\)](#) is a stone-cast away, and the two cities share this lovely, harmonious upland. While waiting for its green, environmentally friendly building to be erected on a hilltop overlooking the cities of Soran and Rewandiz, its existing city campus has been

meticulously set out to accommodate the lovely natural landscape. The new campus will be the first of its type, being walkable, balanced, powered by renewable energy, and compliant with all international environmental regulations. There are 5 Faculties in [SUN](#); [Faculty of Arts](#) (FAAR), [Faculty of Science](#) (FSCN), [Faculty of Education](#) (FEDU), [Faculty of Law](#), Political Science, and Management (FLAW/PSM), and [Faculty of Engineering](#) (FENG). Also, there is SUN research centre. Moreover, at SUN, there is a Language Center. SUN signed many Memoranda of Understandings (MoU) with many International Universities.

How to get here

Soran University (SUN) is located in the heart of the city of Soran. The main city campus is easily found on Google Maps for direction.