

استخدام غبار افران الاسمنت كمادة اسمنتية مساعدة في خلطة
الردم الاسمنتية بالمناجم العميقة لمعادن الأساس

إعداد

علي يحي أحمد بكري

إشراف

د. هيثم مجدي أحمد

د. محمد عادل حفني

كلية الهندسة

جامعة الملك عبدالعزيز

المملكة العربية السعودية

١٤٤٤ هـ / ٢٠٢٣ م

المستخلص

مع استمرار نمو الطلب على الاسمنت، من المتوقع أن يزداد الإنتاج العالمي، مما قد يتسبب في آثار سلبية على البيئة والتي لا تتوافق مع أهداف الإستدامة. غبار أفران الأسمنت (CKD) هو أحد التأثيرات السلبية الناتجة عن صناعة الأسمنت. في الوقت الحالي يُعد استخدام هذه المخلفات في التطبيقات الصناعية المختلفة توجهاً عالمياً يبحث فيه العديد من العلماء في مختلف المجالات. وبالمثل، ينتج عن صناعة التعدين مخلفات النحاس كمواضع غير مرغوب فيها أثناء معالجة الخام، مما يخلق مشاكل بيئية بسبب صعوبة إدارة الكميات الضخمة الناتجة في جميع أنحاء العالم والتي تصل إلى مليارات الأطنان المترية. في صناعة التعدين، تعتبر خلطة الردم الأسمنتية (CPB) تقنية جديدة نسبياً. ومع ذلك، فإن سعر الإسمنت كمادة لاحمة يؤثر بشكل كبير على تكلفة هذه التقنية. حقق هذا البحث في الاستخدام المفيد لغبار أفران الاسمنت وكذلك مخلفات النحاس في التطبيقات الصناعية التعدينية من خلال إستخدامها في خلطة الردم الاسمنتية (CPB) في المناجم العميقة لمعادن الأساس. تم تصميم خمسة وستين خلطة ثنائية وكذلك ثلاثية التركيب على مدار المراحل التجريبية والتي تضمنت مرحلة التحقيق الأولي ومرحلة فحص المنتجات الناشئة عن ترطيب الخلطات بالماء. حيث استخدمت هذه الدراسة ثلاثة أنواع مختلفة من غبار افران الاسمنت تم جمعها من ثلاثة مصانع اسمنت محلية مختلفة ومن ثم استخدامها بأربع نسب هي ٥، ١٠، ١٥، ٢٠٪ كبديل جزئي للأسمنت البورتلاندي العادي والأسمنت البورتلاندي البوزولاني، ممثلة في منات العينات التي تم إعدادها. بالإضافة إلى الخلطات المرجعية والتي لم يُستخدم فيها غبار أفران الاسمنت. بعد أن تم جمع المواد الخام تمت دراسة خصائصها على نطاق واسع من منظور فيزيائي وكيميائي. كما تم إخضاع العينات المتصلبة لاختبارات الكثافة وقوة الضغط أحادية المحور (UCS) ومعامل المرونة والتشوه المحوري لقياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية في أوقات معالجة مختلفة شملت ٧، ١٤، ٢٨، ٥٦ و ٩٠ يوم. بالإضافة إلى تطبيق عدد من التقنيات مثل فلورية الأشعة السينية (XRF)، حيود الأشعة السينية (XRD)، المسح المجهر الإلكتروني (SEM)، وتحليل مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDX) لتحليل العينات المتصلبة المختلفة. أظهرت النتائج أن غبار افران الاسمنت (CKD) زاد من قوة الخلطات ذات التكوين الثنائي حتى نسبة ٣٠٪ عند استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي، و إلى نسبة ١٥٪ عند إستخدام الاسمنت البوزولاني، وذلك مقارنة بالقيم التي حققها الخلطات المرجعية. كما أشارت النتائج الى أنه يمكن أيضاً استخدام غبار افران الاسمنت بشكل مفيد في الخليط الثلاثي الخاص بخلطة الردم الاسمنتية كبديل جزئي للأسمنت بنسبة تصل إلى ٢٠٪. حيث تجاوزت جميع خلطات الردم الاسمنتية قوة الانضغاط المطلوبة لتحقيق الاستقرار في المناجم تحت سطحية دون أي تأثير كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية. كما أنه لوحظ وجود علاقة عكسية في العينات التي تم اختبارها عند ٩٠ يوم بين أعلى مقاومة ضغط تم تحقيقها وقيمة عامل تشبع الجير (LSF) الخاص بمواد غبار افران الاسمنت. طبقت هذه الدراسة أيضاً الانحدار الخطي المتعدد (MLR) والشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) مع خوارزمية تدريب الانتشار العكسي ذو الطبقات المتعددة وذلك لإنشاء النماذج التنبؤية. حيث أظهر نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية التنبؤي ارتباطاً إيجابياً وثيقاً بين القيم المقاسة والقيم المتوقعة، مع معاملات إحصائية موثوقة والتي حققت قيم R^2 ٠.٩٩٥ و ٠.٩١١ و RMSE و MAE، على التوالي، مما يقدم الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) كأداة ذكية تستخدم في تحسين خلطات الردم الاسمنتية (CPB). أشارت نتائج النماذج التنبؤية أيضاً أن سيليكات الكالسيوم الرطبة (C-S-H) والبورتلانديت والكالسيت هي أهم التكوينات المعدنية الناشئة عن خلط المواد الأولية بالماء، في الوقت نفسه حظي الاسمنت البوزولاني والبورتلاندي العادي وكذلك مواد غبار افران الاسمنت المختلفة بأعلى أهمية كمكونات خام في الخلطات التي تم إعدادها خلال هذه الدراسة. إن إعادة تدوير غبار افران الاسمنت وكذلك المخلفات الناتجة عن معالجة النحاس بكفاءة في التطبيقات الصناعية التعدينية توفر العديد من المزايا الإقتصادية والبيئية، مثل تقليل تكلفة عمليات ردم المناجم، تقليل كميات مخلفات النحاس وغبار افران الاسمنت المنقولة إلى مرامي النفايات، حماية الموارد الطبيعية المستخدمة في صناعة الأسمنت، تقليل انبعاثات الغازات المصاحبة لصناعة الاسمنت، توفير الطاقة، ودعم الاستدامة في الصناعة.

Cement Kiln Dust (CKD) as a Co-Binder for Cemented Paste Backfill of Base Metal Underground Mines

By Ali Yahya Ahmed Bakri

Supervised by

Dr. Haitham M. Ahmed

Dr. Mohammed A. Hefni

**FACULTY OF ENGINEERING
KING ABDULAZIZ UNIVERSITY
JEDDAH, SAUDI ARABIA**

1444 H/ 202۳

Abstract

With the continuity in cement demand growth, global production is expected to be increased, which may cause environmental concerns incompatible with sustainability objectives. Cement kiln dust (CKD) is a significant waste material induced by cement production. Utilizing this by-product waste material in industrial applications is a global focus that many scholars are investigating in various fields. Similarly, copper tailing as unwanted material is produced in the mining industry while beneficiating the ore and creating environmental problems due to difficulty managing worldwide generated quantities that reach billions of metric tons. In the mining industry, cemented paste backfill (CPB) is a relatively new technology compared to backfill methods. However, the binder price significantly influences the cost of this method. This research aimed to beneficially investigate the utilization of cement kiln dust and copper tailing as undesirable wastes in industrial applications through underground mines' cemented paste backfill (CPB). Sixty-five binary and ternary mixtures were prepared over the experimental campaign, including a preliminary and comprehensive investigation phase. This study used four proportions of CKD (5, 10, 15, and 20%) to replace cement partially, represented in more than 950 samples prepared. Raw materials were characterized from physical and chemical perspectives. Meanwhile, the hardened samples were subjected to density, uniaxial compressive strength (UCS), and axial deformation tests to measure the physical and mechanical properties at curing times of 7, 14, 28, 56, and 90 days. And then calculating the elastic modulus from the UCS curves. In addition to applied X-ray fluorescence (XRF), X-ray powder diffraction (XRD), Scanning electron microscopy (SEM), and Energy-dispersive X-ray (EDX) techniques for analyzing the CPB-hardened mixtures chemically. And for linking the physical and mechanical behaviors of binary and ternary mixtures with the chemical content, which is one contribution of this study. The results showed that CKD increased the binary mixture strength by up to 30% for OPC and up to 15% for PPC compared to the control mixes. CKD could also be used beneficially in the CPB ternary mixture to replace the main binder (cement) with a proportion of up to 20%. At 28 days of curing, prepared mixtures meet the compressive strength requirement for CPB to achieve stability in underground mines. A noticeable inverse relationship was observed over the tested samples between the highest compressive strength achieved and CKD's lime saturation factor (LSF) at 90 days of curing time in the CPB ternary mixture. This study also applied multiple linear regression (MLR) and artificial neural network (ANN) with a multilayer perceptron feed-forward backpropagation training algorithm to develop the UCS predictive models. ANN model exhibited a significant positive correlation with excellent statistical parameters that achieved 0.995, 0.065, and 0.911 for R^2 , RMSE, and MAE, respectively, which introduces the ANN as an intelligent tool to perform optimized cemented paste backfill (CPB) operation. Calcium silicate hydrates (C-S-H), Portlandite, and Calcite achieved the most significant phases upon hydration in the predictive models, and PPC, OPC, YCKD, ACKD, and UCKD have the highest importance as mixtures components.