

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

ارزیابی کیفیت پوزولان‌های مورد استفاده در پنج کارخانه سیمان کشور و ارائه توصیه‌های لازم برای کاربردهای مختلف

دکتر طیبه پرهیزکار

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

دکتر علی‌اکبر رمضانیاپور

(استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

مهندس علیرضا پورخورشیدی

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

فاطمه جعفرپور

فهیمة فیروزیار

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ - ۶۱۳

چاپ اول: ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور	ارزیابی کیفیت پوزولان‌های مورد استفاده در پنج کارخانه سیمان کشور و ارائه توصیه‌های لازم برای کاربردهای مختلف/طیبه پرهیزکار ... [و دیگران]
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	۲۶۴ص: جدول، نمودار.
فروست	گزارش تحقیقاتی: شماره نشر: گ-۱۳۶
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۹۴-۶
وضعیت فهرست‌نویسی	فیفا
یادداشت	مؤلفان طیبه پرهیزکار، علی اکبر رمضانینپور، علیرضا پورخورشیدی، فاطمه جعفرپور، فهیمه فیروزیار.
موضوع	پوزولان‌ها
موضوع	سیمان - - افزوده‌ها
موضوع	سیمان پرتلند
شناسه افزوده	پرهیزکار، طیبه، ۱۳۲۹-
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
شناسه افزوده	ایران، وزارت راه و شهرسازی
رده‌بندی کنگره	TP۸۸۱/الف ۱۳۹۰
رده‌بندی دیوبی	۶۶۶/۹۵
شماره کتابشناسی ملی	۲۴۹۹۷۹۵
مضوبه شماره ۱۶۸۵-۱ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن	

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

ارزیابی کیفیت پوزولان‌های مورد استفاده در پنج کارخانه سیمان کشور و ارائه توصیه‌های لازم برای کاربردهای مختلف

دکتر طیبه پرهیزکار، دکتر علی اکبر رمضانینپور، مهندس علیرضا پورخورشیدی،

فاطمه جعفرپور، فهیمه فیروزیار

شماره نشر: گ-۱۳۶ چاپ اول: ۱۳۹۰

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۳۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه فضل‌انوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل.

خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صنوبر پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۲۲-۶

صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir

پیشگفتار

امروزه کاربرد مواد پوزولانی طبیعی یا مصنوعی جهت کاربرد و جایگزینی آن به جای بخشی از سیمان مصرفی در بتن، نقش عمده‌ای در روند توسعه پایدار پیدا کرده است. آلودگی کمتر محیط زیست و افزایش دوام سازه‌های بتنی از نتایج مطلوب استفاده از پوزولان‌ها در بتن است. با توجه به فراوانی و در دسترس بودن پوزولان‌های طبیعی در کشور، تاکنون مطالعات منسجم و دقیق جهت مصرف این مواد طبیعی انجام نگرفته است و تحقیقات به صورت موردی انجام شده است. طبق برآوردهای انجام شده می‌توان حدود ۴ میلیون تن به تولید سیمان کشور از طریق عرضه انواع سیمان‌های پوزولانی و بنایی افزود. طبق آمار، ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل سیمان تولیدی در کشور صرف کارهای بنایی و غیرسازه‌ای می‌شود که می‌توان با استفاده از سیمان‌های بنایی این نیاز را به راحتی تأمین نمود و صرفه‌جویی مناسبی در مصرف سیمان انجام داد.

هدف از این پروژه بررسی و ارزیابی تعدادی از انواع پوزولان‌های مهم مورد مصرف در صنعت سیمان کشور که در تولید سیمان‌های پوزولانی استفاده می‌شود، است. پوزولان‌های انتخابی با توجه به حجم عظیم منابع آنها و پتانسیل این منابع جهت ساخت انواع سیمان‌های پوزولانی یا بنایی می‌باشد. بر اساس نتایج این پروژه یک دستورالعمل مناسب جایگزینی این مواد در انواع سیمان‌های پوزولانی و بنایی ارائه خواهد شد.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: بررسی موضوع	۱
مقدمه	۱
۱-۱-تاریخچه سیمان‌های طبیعی و پوزولانی	۵
۲-۱-کشف سیمان‌های طبیعی در ایران	۸
۳-۱-خصوصیات پوزولان‌ها	۹
۴-۱-طبقه‌بندی پوزولان‌ها	۱۴
۱-۴-۱-پوزولان‌های طبیعی	۱۶
۱-۴-۱-۱-مواد با منشأ آتشفشانی (سنگ‌های آذری آواری)	۱۶
۱-۴-۱-۲-مواد با منشأ آواری	۱۷
۱-۴-۱-۳-مواد با منشأ آلی	۱۸
۵-۱-توجه به پوزولان‌ها جهت کاربرد در تولید سیمان بنایی	۱۸
۱-۵-۱-ضرورت اقتصادی تولید سیمان بنایی	۲۰
۲-۵-۱-ضرورت زیست‌محیطی تولید سیمان‌های بنایی	۲۱
۶-۱-بررسی استانداردهای معتبر در زمینه سیمان‌های پوزولانی	۲۱
۱-۶-۱-استاندارد اروپایی EN 197-1	۲۱
۲-۶-۱-تقسیم‌بندی سیمان‌های پرتلند پوزولانی بر اساس ASTM C 595	۲۵
۳-۶-۱-تقسیم‌بندی سیمان‌های پرتلند بر اساس BS	۲۵
۴-۶-۱-تقسیم‌بندی سیمان پرتلند پوزولانی بر اساس استاندارد ملی	۲۷
۷-۱-مقایسه استانداردهای سیمان بنایی	۲۹
۱-۷-۱-استاندارد سیمان بنایی مطابق EN 413-1	۲۹
۲-۷-۱-استاندارد سیمان بنایی مطابق ASTM C 91	۳۱
۳-۷-۱-استاندارد سیمان بنایی مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۶	۳۲
۸-۱-ضرورت اصلاح استاندارد سیمان بنایی	۳۴
۹-۱-کاربرد سیمان‌های آمیخته پوزولانی در صنعت بتن آماده	۳۵

- ۱-۱-۱- راهکارهای تأکید بر مزایا و رفع معایب و توصیه‌هایی به ۳۶
- ۱-۱-۱-۱- مروری بر آخرین تحقیقات انجام شده در زمینه پوزولان‌های طبیعی ۳۸
- ۱-۱-۱-۱- استفاده بهینه از پوزولان طبیعی برای حداکثر مقاومت فشاری بتن ۳۹
- ۱-۱-۱-۲- اهمیت استفاده از پوزولان‌های طبیعی بر دوام بتن ۴۷
- ۱-۱-۱-۳- مشخصات خمیره‌های سیمان پرتلند سیمان پرتلند حاوی ۵۷
- ۱-۱-۱-۴- خواص مهندسی سیلیس غیربلوری به‌عنوان یک ۶۹
- ۱-۱-۱-۵- تأثیر مقادیر زیاد پوزولان طبیعی بر خواص سیمان‌های آمیخته ۸۲
- ۱-۱-۱۲- اکتشاف معادن پوزولان داخل کشور و تحقیقات انجام شده در این زمینه ۹۱

- فصل دوم: ارزیابی کیفیت معادن پوزولان (سیمان تهران، آبیک، خاش و پودر پوزولان
سهند و ژئولیت افتر) ارائه دستورالعمل شناسایی، پی‌جویی و اکتشاف معادن پوزولان ۱۰۳
- ۱-۲-۱- اهداف بازدید ۱۰۳
 - ۲-۲-۱- منابع پوزولانی کارخانجات بازدید شده ۱۰۴
 - ۲-۲-۲- معادن پوزولان سیمان تهران ۱۰۷
 - ۱-۲-۲-۱- آشنایی ۱۰۷
 - ۲-۲-۲-۱- موقعیت معدن تراس جاجرود ۱۰۸
 - ۲-۲-۲-۲- بهره‌برداری از تراس جاجرود ۱۰۸
 - ۲-۲-۲-۳- افق‌های پوزولان در تراس جاجرود ۱۱۰
 - ۲-۲-۲-۴- نمونه‌گیری از پوزولان‌های تراس جاجرود ۱۱۴
 - ۲-۲-۲-۵- نمونه‌برداری صنعتی ۱۱۸
 - ۲-۲-۲-۶- پوزولان سیمان آبیک ۱۱۹
 - ۱-۲-۲-۱-۴- آشنایی ۱۱۹
 - ۲-۲-۲-۲-۴- زمین‌شناسی منطقه ۱۱۹
 - ۲-۲-۲-۳-۴- بهره‌برداری از پوزولان‌ها ۱۲۱
 - ۲-۲-۲-۴-۴- ارزیابی منطقه ۱۲۱
 - ۲-۲-۲-۵-۴- نمونه‌گیری از پوزولان‌های آبیک ۱۲۳
 - ۲-۲-۲-۶-۴- نمونه‌گیری صنعتی ۱۲۵
 - ۲-۲-۲-۵-۵- پوزولان سهند ۱۲۵
 - ۱-۲-۲-۱-۵- آشنایی ۱۲۵
 - ۲-۲-۲-۵-۵- معادن اسکندان ۱۲۶
 - ۲-۲-۲-۵-۳- روش بهره‌برداری ۱۲۸



۱۲۹	۲-۵-۴- نمونه برداری کیفی از معدن و کارخانه
۱۳۱	۲-۵-۵- کنترل کیفیت پوزولان سه‌سند
۱۳۲	۲-۶-۱- سیمان خاش
۱۳۲	۲-۶-۱- آشنایی
۱۳۳	۲-۶-۲- زمین‌شناسی پوزولان خاش
۱۳۴	۲-۶-۳- بهره‌برداری از پومیس‌های خاش
۱۳۴	۲-۶-۴- نمونه‌گیری
۱۳۵	۲-۶-۵- نمونه صنعتی
۱۳۶	۲-۶-۶- کنترل کیفی پوزولان‌های خاش
۱۳۷	۲-۷-۱- پوزولان رئولیت (معدن افتر سمنان)
۱۳۷	۲-۷-۱- کلیاتی در مورد معدن پوزولان رئولیت (معدن افتر سمنان)
۱۳۹	۲-۷-۲- بهره‌برداری از معدن رئولیت افتر
۱۴۲	۲-۸- نتیجه‌گیری از بازدیدهای معادن پوزولان
۱۴۴	۲-۹- مراحل پیشنهادی برای ارزیابی منابع و ذخایر پوزولانی
۱۴۵	۲-۹-۱- مرحله شناسایی
۱۴۶	۲-۹-۲- مرحله پی‌جویی
۱۴۸	۲-۹-۳- مرحله اکتشافات
۱۴۹	۲-۱۰- پیشنهاد بهبود وضعیت موجود برای استخراج معادن پوزولان
فصل سوم: کاربرد به عنوان جایگزین در سیمان‌های پوزولانی و پوزولانی ویژه -	
۱۵۱	مطالعات آزمایشگاهی
۱۵۱	مقدمه
۱۵۲	۳-۱- مرحله اول برنامه آزمایشگاهی: آزمایش‌های کامل مواد پوزولانی
۱۵۲	۳-۱-۱- پوزولانهای مورد بررسی
۱۵۲	۳-۱-۲- روند اصول برنامه آزمایشگاهی
۱۵۴	۳-۱-۳- مشخصات فیزیکی پوزولان‌ها
۱۶۳	۳-۱-۴- خواص شیمیایی پوزولان‌ها
۲۰۱	۳-۲- مرحله دوم برنامه آزمایشگاهی: تعیین درصد جایگزینی انواع پوزولان‌های مورد بررسی جهت تولید انواع سیمان‌های پوزولانی
۲۰۱	۳-۲-۱- مواد و مصالح مصرفی
۲۰۴	۳-۲-۲- برنامه کار



۲۰۴	۳-۲-۳- تعیین حرارت هیدراسیون و زمان گیرش
۲۰۹	۴-۲-۳- نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های ملات ماسه سیمان استاندارد
۲۱۱	۳-۳- مرحله سوم برنامه آزمایشگاهی
۲۱۱	۱-۳-۳- مصالح مصرفی
۲۱۳	۲-۳-۳- طرح مخلوط‌ها
۲۱۵	۳-۳-۳- آزمون‌ها
۲۲۹	فصل چهارم: استفاده از پوزولان در تولید سیمان بنایی
۲۳۰	۱-۴- تعریف سیمان بنایی
۲۳۰	۲-۴- اجزای سیمان بنایی و ترکیبات آن
۲۳۲	۳-۴- رده‌بندی سیمان بنایی
۲۳۳	۴-۴- ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی
۲۳۳	۱-۴-۴- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی
۲۳۵	۲-۴-۴- ویژگی‌های شیمیایی
۲۳۶	۳-۴-۴- ویژگی‌های دوام
۲۳۷	۵-۴- مزایای استفاده از سیمان بنایی در ساخت ملات
۲۳۸	۶-۴- ساخت سیمان بنایی با استفاده از پوزولان در مقیاس آزمایشگاهی
۲۴۱	۷-۴- بررسی نتایج آزمون‌های اجزای تشکیل‌دهنده سیمان بنایی
۲۴۱	۸-۴- مشخصات سیمان بنایی با استفاده از پوزولان
۲۴۲	۹-۴- ساخت سیمان بنایی با استفاده از پوزولان
۲۴۲	۱-۹-۴- شرایط عمل‌آوری نمونه‌های سیمان بنایی ساخته‌شده
۲۴۳	۲-۹-۴- اندازه‌گیری مقاومت‌های خمشی و فشاری نمونه‌های سیمان بنایی ساخته‌شده
۲۴۴	۱۰-۴- بررسی نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های سیمان بنایی ساخته‌شده با ۴ نوع پوزولان
۲۴۷	۱۱-۴- بررسی نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های سیمان بنایی ساخته‌شده با ۴ نوع پوزولان
۲۵۰	۱۲-۴- ارزیابی نتایج
۲۵۱	منابع

چکیده

یکی از پتانسیل‌های عمده مواد جایگزین سیمان جهت تولید انواع سیمان‌های آمیخته در کشور، پوزولان‌های طبیعی می‌باشد و با توجه به وجود کوه‌های آتشفشانی، وجود منابع عظیم این مواد در کشور تخمین زده می‌شود.

استفاده صحیح از سیمان‌های پوزولانی باعث کاهش نفوذپذیری بتن و افزایش دوام در محیط‌های خورنده می‌شود. علاوه بر این استفاده از پوزولان‌های طبیعی در صنعت سیمان دارای منافع اقتصادی بسیاری است و قیمت تمام‌شده و انرژی در تولید سیمان را نیز کاهش می‌دهد.

در این پروژه، پوزولان‌های مورد استفاده در ۵ کارخانه مهم سیمان کشور که از پوزولان‌های با ذخیره مناسب در کشور هستند، مورد آزمون‌های کامل شیمیایی و فیزیکی قرار گرفته‌اند. همچنین با استفاده از درصدهای مختلف این پوزولان‌ها در بتن و ملات، خواص مکانیکی آنها تعیین شدند. بر اساس نتایج بدست‌آمده کیفیت این پوزولان‌ها جهت کاربرد در تولید انواع سیمان‌های آمیخته پوزولانی مشخص گردیده است.