معرفی توف‌های آهکی به عنوان منابع جدید پوزولان: بر اساس مطالعه توف‌های سازند کرج در جنوب غرب بلده

فریبرز مسعودی
دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
مهناز خادمی پارسا
دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
سید محمود فاطمی عقدا
دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی و مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
طیبه پرهیزکار
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
تاریخ دریافت: ۹۱/۴ ۲۵ *تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۷*
F_masoudi@sbu.ac.ir

چکیده

پوزولان طبیعی سنگ‌های آتشفشانی هستند که در تولید سیمان‌های آمیخته استفاده می‌شوند. این سنگ‌ها به‌صورت گرد نرم در مجاورت رطوبت و در دمای معمولی با هیدروکسید کلسیم واکنش نشان داده و ترکیباتی با خواص سیمانی بوجود می‌آورند. توف‌های آهکی ترکیب شیمیایی استانداردهای بین المللی را نشان نمی-دهند، و از این رو به عنوان پوزولان استفاده نمی شوند. میزان سیلیس آنها کمتر از حد معرفی شده و میزان کلسیم آنها بیشتر از حد مجاز استانداردهای بین المللی است. اما بر اساس مطالعات صورت گرفته در این تحقیق بخشی از توف‌های آهکی سازند کرج در منطقه جنوب غرب بلده قابلیت کاربرد به عنوان پوزولان طبیعی را دارا می باشند. توف‌های آهکی مورد مطالعه دارای سیلیس به صورت آذر آوارهای شیشه‌ای هستند. این توف‌ها فعالیت پوزولانی خوبی را نشان می‌دهند. درصد بالای کلسیم در نمونه‌های پوزولانی باعث می‌شود تا مدت زمان رسیدن به فعالیت پوزولانی مطلوب افزایش یابد. علاوه بر معرفی توف‌های آهکی به‌عنوان منابع جدید پوزولان، بر اساس نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی، آنالیزهای ICP-MS و نتایج آزمایش‌های تعیین فعالیت پوزولانی، این تحقیق نشان داد که تنها ویژگی‌های شیمیایی برای تعیین کیفیت سنگ‌های آتشفشانی به‌عنوان پوزولان‌های طبیعی کافی نبوده و مطالعات پتروگرافی نیز در این راستا لازم می‌باشد.

کلمات کلیدی: *پوزولان، توف آهکی، آذر آوار شیشه‌ای، سازند کرج، بلده*

مقدمه

استفاده از سنگ‌های آتشفشانی مناسب به عنوان پوزولان های طبیعی در صنعت سیمان باعث ایجاد اثرات مهمی در خواص ملات سیمان های آمیخته از قبیل کاهش نفوذ پذیری و دمای هیدراسیون، بهبود ویژگی های بتن تازه و افزایش مقاومت آن در دراز مدت و افزایش مقاومت شیمیایی آن می‌شود (Mehta, 1989; Shannag and Yeginobal, 1995). همچنین افزودن این مواد به سیمان دارای مزایای زیست محیطی و اقتصادی (کاهش گازهای مضر و کاهش مصرف انرژی) می‌باشد. علاوه بر مزایای یاد شده استفاده صحیح از پوزولان می‌تواند دوام و مقاومت سیمان را نیز افزایش دهد (Shi et al, 2006).

تعیین مشخصات اولیه پوزولان‌های طبیعی، به‌عنوان مواد سیلیسی یا آلومینو-سیلیکاتی که بتواند در حضور رطوبت، در دمای محیط، با هیدروکسید کلسیم ناشی از هیدراسیون سیمان واکنش دهد و قابلیت کاربرد به عنوان جایگزین بخشی از سیمان را داشته باشد، اولین گام در ارزیابی پوزولان‌های طبیعی است.

در جنوب غرب بلده توف‌های متنوعی به سن ائوسن رخنمون دارند. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط خادمی پارسا و همکاران (۱۳۸۸) این توف‌ها قابلیت استفاده به عنوان پوزولان در ساخت سیمان آمیخته را دارند.

مطالعه حاضر به بررسی و معرفی توف‌های سازند کرج در منطقه بلده و امکان استفاده از آنها به عنوان پوزولان طبیعی پرداخته است. این تحقیق برای اولین بار امکان استفاده از توف‌های آهکی به عنوان پوزولان طبیعی را بررسی نموده است. بدین منظور خصوصیات پتروگرافی و شیمیایی و رابطه آنها با فعالیت پوزولانی مطالعه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

زمین‌شناسی

نهشته‌های آذر آواری و سنگ‌های آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه در جنوب بخش بلده از توابع استان مازندران در جنوب البرز مرکزی، در محدوده‌ای با مختصات۶ ،۳۶° تا ۱۱، ۳۶° عرض شمالی و ۳۰، ۵۱° تا ۴۰، ۵۱° طول شرقی واقع شده است و قسمتی از برگه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ آمل و ۱/۱۰۰۰۰۰ بلده را به‌خود اختصاص می‌دهد. نگاهی به نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ (سعیدی، ۱۳۷۲) نشان می‌دهد که واحدهای این بخش به لحاظ سنی در بر گیرنده سنگ‌های آذرین و رسوبی سنوزوئیک و مزوزوئیک است. سنگ‌ها و انباشته های سنوزوئیک از امتداد بلده به سوی جنوب گسترش دارند و تقریباً ۹۰٪ سطح این بخش را در بر می‌گیرند. در این میان سنگ‌ها و انباشته‌های ولکانیک و ولکانیک-رسوبی ائوسن بیشترین سهم را دارا است (شکل ۱). ترکیب سنگ‌های آتشفشانی از آندزیت و تراکی آندزیت تا پیروکلاستیک هایی با ترکیبی متفاوت از اسیدی تا حد واسط می‌باشد. در طی مطالعات زمین‌شناسی، حاجی محمدی (۱۳۸۰) سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی منطقه بلده را مورد مطالعه قرار داده، نوری‌زاده (۱۳۸۱) به بررسی ژئودینامیک گنبدهای آتشفشانی بلده پرداخته است و خادمی پارسا (۱۳۹۰) پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب غرب بلده را مورد بررسی قرار داده‌است. سنگ‌های پیروکلاستیک که گستره وسیعی از سنگ‌های منطقه را تشکیل می دهند از نظر چینه شناسی متعلق به سازند کرج به سن ائوسن می-باشند. این توف‌ها در بعضی موارد دارای لایه بندی ظریف همراه با پیچ خوردگی می باشند که نشان دهنده وجود جریان‌های آشفته در محل است. این سازند در این منطقه از نظر رخساره سنگی دارای گوناگونی است. بخش عمده این سازند در خاور روستای انگه رود تجمع یافته است. بر اساس بررسی‌های صحرایی توف‌های این منطقه را به ۳ بخش مجزا با ویژگی‌های سنگ‌شناسی متفاوت می توان تقسیم نمود (شکل ۲).

واحد توف ماسه ای سبز رنگ

این واحد با رنگ سبز و مورفولوژی تپه‌ای مشاهده می‌شود، که تناوبی از توف‌های سبز نازک لایه و شیل‌های با ضخامت کم است. با گذر از پایه به سمت پسین از مقدار شیل کاسته شده و بر مقدار ماسه افزوده می‌شود، به‌طوری که در قسمت‌های انتهایی این واحد تبدیل شدگی به توف ماسه‌ای دیده می‌شود. حالت کنکرسیون در بخش‌های توف ماسه‌ای بسیار معمول است.

واحد توف آهکی زرد رنگ

با گذر از توف سبز، توف‌های زرد رنگ با مرز مشخص قابل تمایز است. این بخش متشکل از توف‌های آهکی نازک لایه می‌باشد که لایه‌بندی چلپایی (لایه بندی متقاطع) همراه با گسل خوردگی های ریز در آن دیده می‌شود. وجود لایه‌بندی چلپایی نشان دهنده تغییر جهت جریان و کم ژرفا بودن حوضه رسوبی است. در بخش‌های انتهایی این واحد از مقدار آهک کاسته شده و بر مقدار توف افزوده می‌شود به‌طوری که توف‌های آهکی نازک‌لایه تبدیل به توف-های کریستالین توده‌ای با حالت بودینگ می‌شوند. در انتهای این واحد لایه‌ای از توف کریستالین با رنگ سبز کاملاً مشخص است همچنین گسلی باعث ایجاد جابجایی این بخش شده است.

واحد توف شیلی خاکستری رنگ

با عبور از توف‌های زرد رنگ، توف‌های خاکستری با مرز تدریجی مشاهده می‌شود. این بخش از توف‌های شیلی کاملاً خرد شده با میان لایه‌هایی از ژیپس به رنگ زرد و نارنجی تشکیل شده است. دو واحد سنگی دیگر در بخش انتهایی توف‌های خاکستری تفکیک شده‌اند که شامل لایه آهکی و لایه‌ای از گچ است.

روش کار

ابتدا ۱۵ نمونه از واحدهای توفی مختلف برداشت شد و پس از تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی از این نمونه‌ها، مشخصات پتروگرافی آن‌ها به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفت. جهت تکمیل مطالعات پتروگرافی مقدار عناصر اصلی و کمیاب ۵ نمونه توسط آنالیز ICP-MS در آزمایشگاه Labwest استرالیا بدست آمد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از ICP-MS و مطالعات پتروگرافی، ۲ نمونه انتخاب شده و فعالیت پوزولانی آن‌ها به سه روش، تعیین اندیس فعالیت مقاومتی (اندیس هیدرولیکی) براساس استاندارد ASTM C-618، تعیین فعالیت پوزولانی با استفاده از دستگاه STA (روش ترموگراویمتری) و تعیین فعالیت پوزولانی بر اساس روش استاندارد EN 196-5 در بخش مصالح ساختمانی مرکز تحقیقات راه، ساختمان و شهرسازی مورد ارزیابی قرار گرفت.

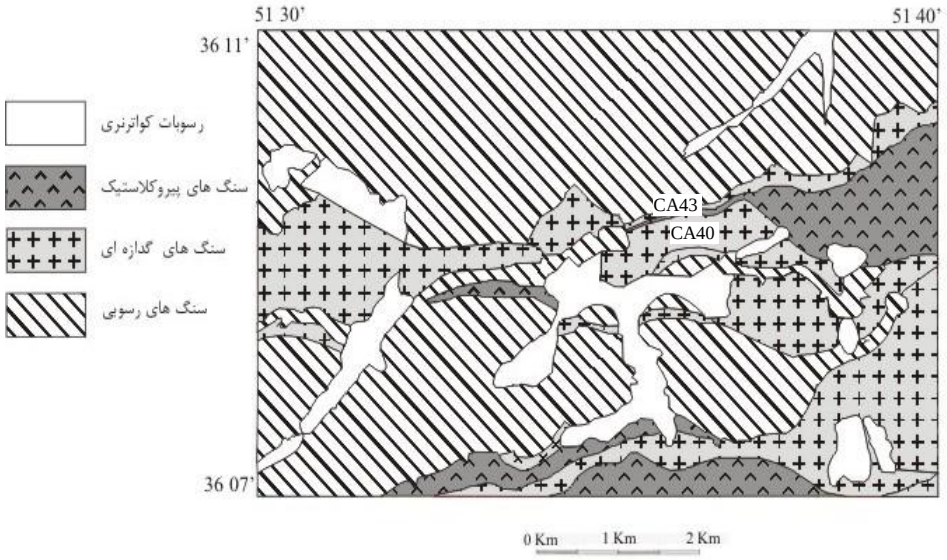
پتروگرافی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و با توجه به تقسیم‌بندی توف‌ها (Fisher, 1966)، توف‌های واقع در سکانس، شامل لیتیک‌توف و کریستال توف است که اغلب دارای ترکیب اسیدی هستند. به‌طور کلی قطعات بلورین شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار بوده و مقدار شکستگی و اندازه آن‌ها متفاوت است و جورشدگی ضعیف تا متوسط دارند. قطعات بلورین شکسته و زاویه‌دار معمول‌تر از بلورهای خودشکل هستند. اغلب قطعات بلورین را فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن و کوارتز شامل می‌شود که در ماتریکس سنگ شناور هستند. عموماً حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم توف‌ها را ماتریکس آن‌ها تشکیل می‌دهد که در بعضی موارد زمینه کریپتوکریستالین حاوی میکرولیت-های فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز بوده و در دیگر موارد زمینه حاوی آذرآوار-های شیشه‌ای و خمیره کریپتوکریستالین است. بلورهای ثانویه بیوتیت و گاهی کانی‌های اوپک در زمینه سنگ رشد کرده‌اند. حفرات پراکنده نامنظم انحلالی به وسیله کلسیت با بافت موزائیکی پر شده است و رگه‌های کلسیت ریز بلور در جهات مختلف سنگ را قطع می‌کند. نتایج مطالعات میکروسکوپی ۲ نمونه انتخابی جهت تست سیمان به شرح زیر می‌باشد.

نمونه CA40

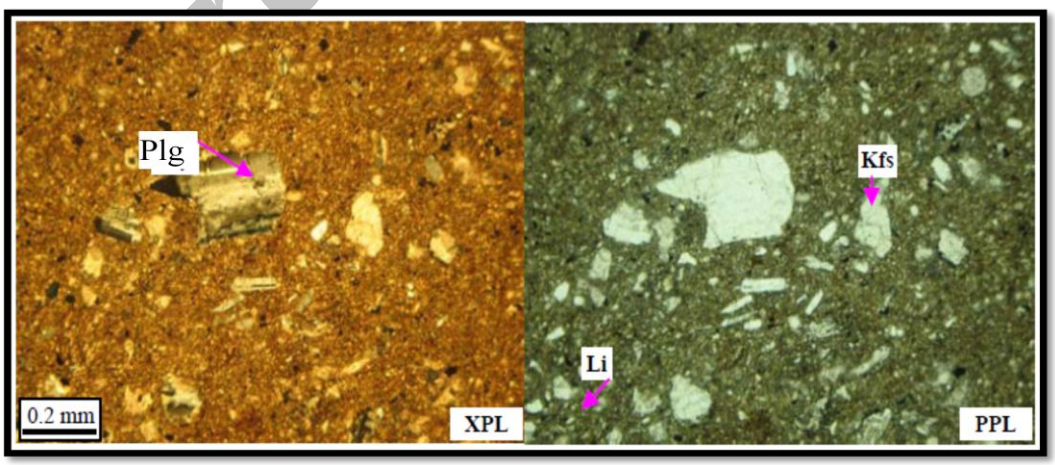
زمینه کریپتوکریستالین ۵۰٪ که حاوی میکرولیت‌های فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز است. درشت بلورهای پلاژیوکلاز با حواشی شکسته شده در زمینه پراکنده است. زمینه کریپتوکریستالین کاملاً سالم است. کمتر از ۵٪ قطعات خرده سنگی نیز در سنگ یافت می‌شود. بافت سنگ آذرآواری و نام سنگ توف کریستالین است (شکل۳).

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده).

شکل ۲. سه واحد توف با رنگ و سنگ شناسی متفاوت مربوط به سازند کرج (حوالی روستای انگه رود، دید به سمت شرق)



شکل ۳. توف کریستالین اسیدی منطقه جنوب بلده (Kfs= پتاسیم فلدسپات Li=خرده سنگی Plg=پلاژیوکلاز)

www.SID.ir

نمونه CA 43

زمینه حاوی ۵۰٪ آذر آوارهای شیشه‌ای و خمیره کریپتوکریستالین است. میکرولیت‌های پلاژیوکلاز ۲۰٪ و فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن و کوارتز خرد شده در آن شناور است. بلورهای ثانویه بیوتیت و کانی‌های اپک در زمینه سنگ قابل مشاهده است. کمتر از ۵٪ از سنگ را قطعات خرده-سنگی تشکیل می‌دهد، که همجنس زمینه اصلی است. بافت سنگ آذرآواری به همراه بافت فرعی جریانی است و نام سنگ توف کریستالین می‌باشد (شکل ۴).

ترکیب شیمیایی توف‌ها و فعالیت پوزولانی نمونه‌های پوزولانی

آنالیز ۵ نمونه توف منطقه مورد مطالعه جهت مقایسه با استانداردها و خصوصیات ژئوشیمیایی پوزولان ها در (جدول ۱) ارائه شده است.

تعیین فعالیت پوزولانی

فعالیت پوزولانی ۲ نمونه انتخابی به سه روش زیر انجام شد.

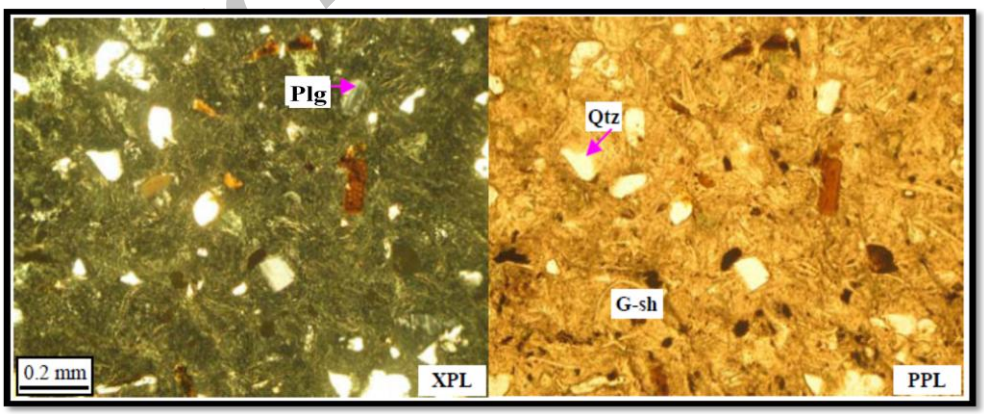
۱-*تعیین اندیس فعالیت مقاومتی (اندیس هیدرولیکی)* پرکاربردترین و معتبرترین استاندارد در زمینه ارزیابی ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی جهت جایگزینی در سیمان، استاندارد ASTM C 618 (استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۳ نیز برگرفته از این استاندارد است) می‌باشد. در این استاندارد، معیارها و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لازم برای پوزولان‌های طبیعی ارائه شده است. در این استاندارد پوزولان‌های طبیعی در رده N جای می‌گیرند و باید اندیس فعالیت مقاومتی آن‌ها در سن ۷ و ۲۸ روز، بیشتر از ۷۵ باشد (جدول ۲).

۲- *تعیین فعالیت پوزولانی با استفاده ازدستگاه STA (روش ترموگراویمتری)*

با استفاده از روش وزن سنجی حرارتی (TG-DTG)، فعالیت پوزولانی انواع پوزولان ها قابل اندازه گیری است. اساس روش بر پایه تجزیه حرارتی بلور های هیدروکسید کلسیم در دمای بیشتر از ۴۰۰ درجه سلسیوس است که به اکسید کلسیم و آب تبدیل می‌شود. خارج شدن مقدار آب مربوط به هیدروکسید کلسیم باقی مانده که به صورت یک قله مشخص می‌شود، بیانگر میزان آهک جذب نشده توسط پوزولان است. افت وزن که ناشی از تبخیر آب در محیط است، در پوزولان های فعال بسیار کم و در پوزولان های ضعیف زیاد است. بر اساس تجربیات به دست آمده از بررسی نتایج روش STA، می توان فعالیت پوزولانی نمونه‌های پوزولان را در چهار رده خوب (بیش از ۲۵ درصد)، متوسط (بین ۲۰ تا ۲۵ درصد)، ضعیف (بین ۱۵ تا ۲۵ درصد) و خیلی ضعیف (کمتر از ۱۵ درصد) دسته‌بندی نمود. بر این اساس هر دو نمونه انتخابی با فعالیت پوزولانی بیش از ۲۵ درصد در رده خوب قرار می‌گیرند (جدول ۳، شکل ۵ و ۶).

۳-*تعیین فعالیت پوزولانی براساس روش استاندارد EN 196-5*

به منظور بررسی کامل‌تر و اطمینان از نتایج و تجزیه و تحلیل دقیق‌تر جهت توسعه الگوی سنگ‌شناسی پوزولان‌ها، نمونه‌های انتخابی با روش استاندارد EN 196-5 نیز مورد آزمون قرار گرفتند. در این روش اندازه‌گیری فعالیت پوزولانی بر پایه اندازه‌گیری ظرفیت پیوند آهکی پوزولان طبیعی در یک محیط حاوی هیدروکسید کلسیم صورت می‌گیرد. در روش EN 196-5، غلظت Ca^{2+} و OH^- در محلول آبی سیمان آمیخته پوزولانی در زمان‌های معین تعیین می‌شود. همچنین یک منحنی تعادل Ca^{2+} و OH^- نیز ارائه شده است. در صورتیکه غلظت Ca^{2+} و OH^- در زیر منحنی تعادل قرار گیرد، فعالیت پوزولانی قابل قبول خواهد بود (شکل ۷ و ۸).



شکل ۴. توف کریستالین اسیدی جنوب بلده (Qtz=کوارتز Plg =پلاژیوکلاز G-sh=آذر آوار شیشه‌ای)

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۱. آنالیز ICP عناصر اصلی ۵ نمونه توف منطقه مورد مطالعه برحسب درصد

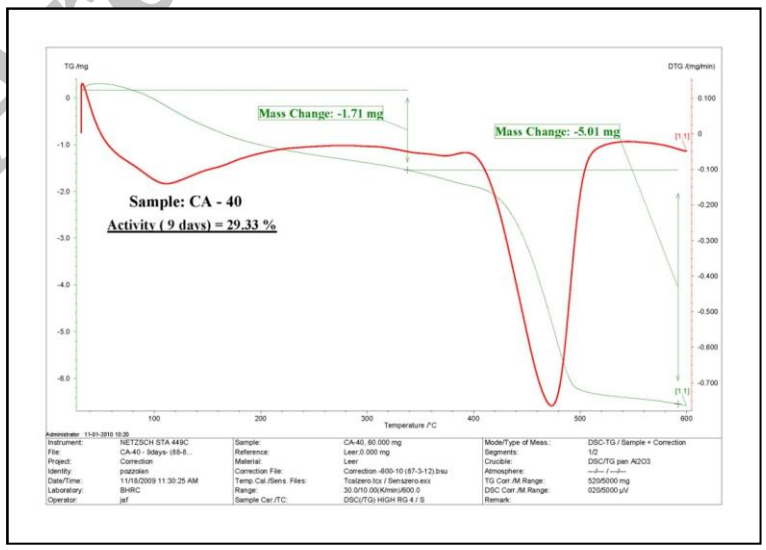
Number	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MgO	MnO	CaO	Na2O	K_2O	P_2O_5	LOI	SUM
CA 40	۴۹/۱۶	۴۸/۰	۷/۱۶	۳/۲۲	۱/۲۶	۰/۰۹	۱۸/۷۶	۰/۶۹	۱/۵۷	۰/۱۲	۱۲/۶۸	۹۵/۱۸
CA 43	۷۷/۸۰	۱۵/۰	۱۲/۰۱	۰/۴۶	۱/۱۱	۰/۰۰	۳/۵۹	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۰۱	۱/۳۲	۹۸/۱۵
PM 114	۵۳/۹۷	۵۵/۰	۷/۸۶	۲/۵۳	۱/۲۵	۰/۱۰	۱۸/۴۵	۰/۵۰	۳/۴۹	۰/۱۰	۸/۹۰	۹۷/۷۱
PM 117	۴۸/۶۶	۲۸/۰	۳/۳۹	۲/۲۰	۱/۲۸	۰/۰۹	۲۲/۸۲	۰/۹۰	۰/۷۷	۰/۱۳	۱۶/۹۳	۹۷/۴۶
PM 121	۴۶/۵۵	۳۹/۰	۷/۵۹	۲/۳۶	۰/۸۲	۰/۰۷	۲۲/۱۳	۱/۰۸	۲/۲۲	۰/۱۰	۱۳/۲۱	۹۶/۵۳

جدول ۲. اندیس هیدرولیکی ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های پوزولان

نمونه پوزولان	اندیس هیدرولیکی	
	۷ روزه	۲۸ روزه
CA 40	۱۳۱	۱۴۵
CA 43	۱۰۰	۱۲۱

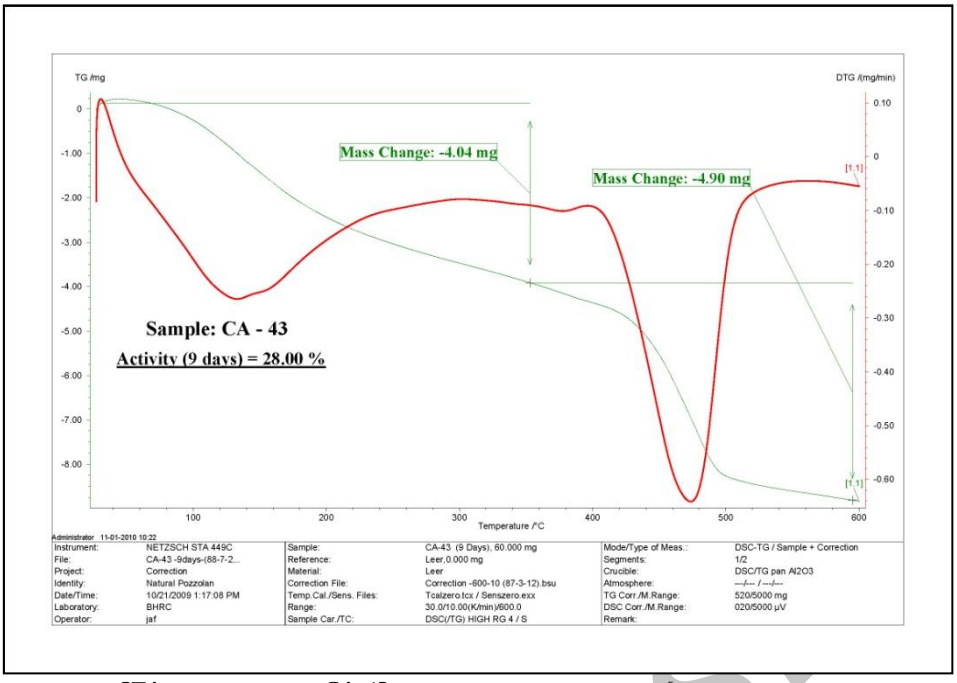
جدول ۳. فعالیت پوزولانی نمونه‌های پوزولانی پس از ۹ روز با استفاده از دستگاه STA

نوع پوزولان	فعالیت پوزولانی
CA 40	۲۹/۳۳
CA 43	۲۸/۰۰

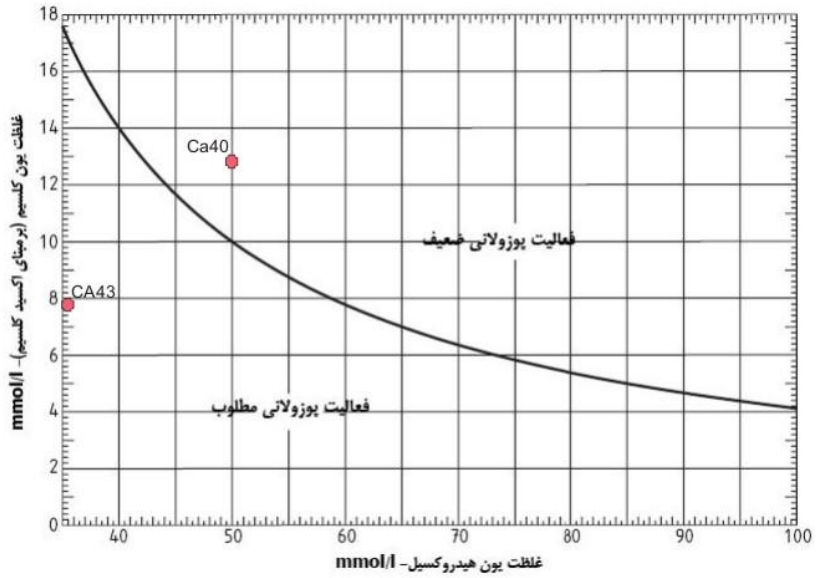


شکل ۵. منحنی آنالیز حرارتی نمونه پوزولان با مشخصه CA-40، با استفاده از دستگاه STA.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۶ . منحنی آنالیز حرارتی نمونه پوزولان با مشخصه CA-43، با استفاده از دستگاه STA.

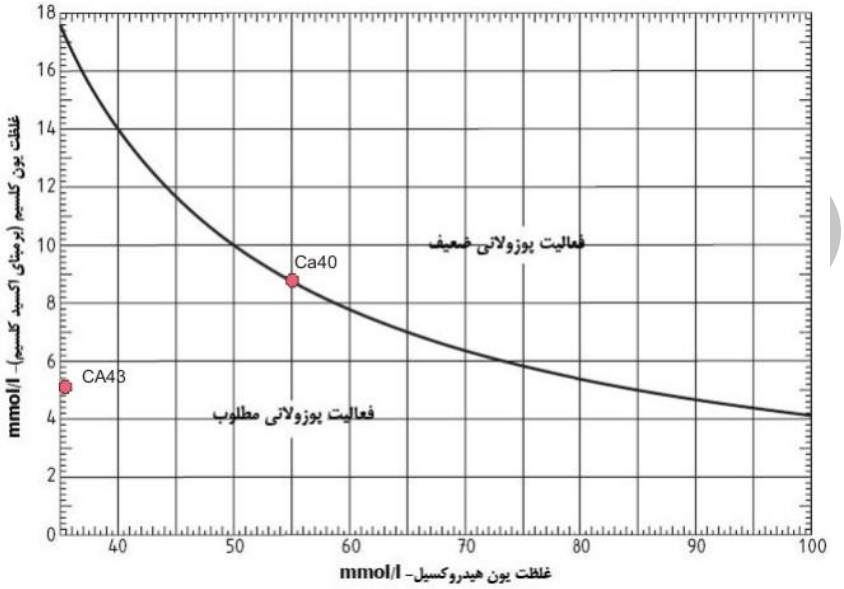


شکل ۷. منحنی تعادل غلظت یون هیدروکسیل-یون کلسیم پس از ۹ روز برای نمونه‌های پوزولان براساس استاندارد EN 196-5

www.SID.ir

بحث

در منابع علمی ترکیب شیمیایی پوزولان بسیار کلی بیان شده است. از این رو در استانداردهای کشورهای مختلف سعی شده است ترکیب مشخص‌تری برای پوزولان های قابل استفاده در سیمان ارائه شود. مهمترین استانداردها عبارتند از*استاندارد ASTM* این استاندارد توسط American Society for Testing and Materials معرفی و تعیین شده است. بر اساس استاندارد - ASTM، مجموع اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم و آهن حداقل می‌بایست ۷۰درصد باشد. میزان حداکثر اکسید گوگرد، اکسید منیزیم و LOI نیز به ترتیب ۳، ۵ و ۱۰ درصد تعیین شده است (جدول ۴). در برخی از منابع میزان اکسید پتاسیم بر حسب اکسید سدیم محاسبه و مجموع آنها با عنوان میزان الکالی معادل اکسید سدیم معرفی می‌شود. بر اساس این استاندارد با توجه به آنالیز شیمیایی، نمونه CA43 جهت استفاده به عنوان پوزولان مناسب بوده و نمونه‌های CA40، PM114، PM117 و PM121 قابلیت استفاده به عنوان پوزولان را ندارند.



شکل ۸. منحنی تعادل غلظت یون هیدروکسیل-یون کلسیم پس از ۳۰ روز برای نمونه‌های پوزولان براساس استاندارد EN 196-5

جدول ۴. استاندارد ASTM برای پوزولان‌های طبیعی

		استاندارد ASTM	نمونه CA40	نمونه CA43
ASTM C618 Class N (American Society for Testing and Materials)	SiO2+ Al2O3+Fe2O3	70% Minimum	۵۹/۵۴	۹۰/۲۷
	SO3	4% Maximum		
	Moisture Content	3% Maximum		
	LOI (950C)	۱۰/۰Maximum	۱۲/۶۸	۱/۳۲
	MgO	۵/۰Maximum	۱/۲۶	۱/۱۱
	Available Alkalis as NA2O K2O(96) Na2O(62)	۱/۵Maximum		

www.SID.ir

استاندارد DIN آلمان

در این استاندارد (DIN 51043) تفکیک بیشتر نسبت به استاندارد ASTM دیده می‌شود و اجزا سازنده اصلی پوزولان با تفکیک بیشتری مشخص می‌شوند (جدول ۵). بر اساس این استاندارد، اکسید سیلیسیم در پوزولان می-بایست بین ۵۰-۶۷ درصد، اکسید آلومینیم بین ۲۰-۱۴ درصد، اکسید آهن بین ۵-۲ درصد و مجموع اکسیدهای کلسیم و منیزیم کمتر از ۱۰ درصد باشند. مجموع آلکالی‌ها نیز بین ۸-۳ درصد است. بر اساس جدول ۱، حداقل در دو مورد از ۵ نمونه توف آنالیز شده با استاندارد آلمان برای پوزولان های طبیعی (با وجود دامنه گسترده تر درصد وزنی برای اکسیدها) مطابقت ندارند. بر اساس استاندارد آلمان (جدول ۵) ۲۲ درصد سنگ‌های استفاده شده به عنوان پوزولان در جهان دارای شرایط لازم طبق این استاندارد نیستند و میزان درصد SiO_2 آنها در دامنه ۵۰ تا ۷۰ درصدی این استاندارد قرار نمی‌گیرد (قریشوندی، ۱۳۸۸). با توجه به محدودیت‌های دیگر این استاندارد (مانند مجموع الکالی)، در مجموع ۵۸ درصد پوزولان‌های مورد استفاده در صنعت سیمان دنیا از استاندارد آلمان (DIN) تبعیت نمی‌کنند (قریشوندی، ۱۳۸۸). پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان دارای تنوع شیمیایی زیادی هستند. اما پوزولان‌های طبیعی از ماگماهایی با ویژگی‌های مشخص بوجود می‌آیند. رحیم-زاده (۱۳۸۸) و قریشوندی (۱۳۸۹) سه الگوی ژئوشیمیایی جهت تعیین ویژگی‌های شیمیایی پوزولان‌های طبیعی ارائه کرده‌اند، بدین صورت که پوزولان‌های طبیعی بیشتر از ماگماهای ساب‌آلکالن بوجود می‌آیند که میزان سیلیس آنها بسیار متنوع است و ضریب اشباع از آلومین آنها بیشتر در محدوده متا آلومین تا پرآلومین قرار می‌گیرند. Turkmenoglu and Tankut (2002) بر این عقیده هستند که با افزایش K_2O و یا مجموع Na_2O+K_2O مقاومت و سختی ملاتهای پوزولانی کاهش می‌یابد، همچنین بیان کرده‌اند تأثیر آلومینیم و سیلیس عکس یکدیگر است و در حالی که افزایش سیلیس مقاومت و سختی ملات‌های ساخته شده را افزایش می‌دهد، افزایش میزان آلومینیم این سختی را کاهش می‌دهد. به اعتقاد Rodriguez و همکاران (۲۰۰۲) کاهش آلومینیم، باعث افزایش مقاومت در برابر تخریب سطحی می-شود و میزان فعالیت پوزولانی با افزایش سیلیس افزایش می‌یابد. با توجه به آنالیزهای ارائه شده در جدول ۱ تمام نمونه‌های توف مورد مطالعه در محدوده ماگماهای ساب آلکالن قرار می‌گیرند و از نظر ضریب اشباع از آلومینیوم، به جز نمونه CA43، در محدوده متا آلومین قرار گرفته و میزان آلومینیوم آن‌ها کمتر از ۸ درصد وزنی است. در نمونه CA43 متناسب با افزایش میزان درصد سیلیس میزان درصد آلومینیوم نیز افزایش یافته است و از نظر ضریب اشباع از آلومینیوم در محدوده پرآلومین قرار می‌گیرد اما بالا بودن درصد آلومینیوم در نمونه CA43 با توجه به میزان بالای درصد سیلیس تأثیر چندانی در کاهش فعالیت پوزولانی نداشته است. در منابع علمی به آن اندازه که به ویژگیهای شیمیایی پوزولان‌ها توجه شده، به ویژگی‌های بافتی آنها اشاره نشده است. شاید هم به دلیل منافع اقتصادی در صنعت اینگونه مطالعات بافتی کمتر منتشر می شوند. بافت سنگ‌های آذرین، که گویای شرایط فیزیکی در هنگام تشکیل سنگ است، اهمیت بسیار زیادی در خواص پوزولانی آن دارد. سنگ گرانیت و ریولیت دارای ترکیب شیمیایی مشابه هستند ولی گرانیت سنگی است فاقد شیشه و دارای بلورهای درشت، اما ریولیت دارای فنوکریستال‌های محدودی در زمینه شیشه است. گرانیت‌ها بر اساس استانداردهای بین المللی ترکیب شیمیایی مناسبی جهت استفاده به عنوان پوزولان را داشته ولی به دلیل ویژگی‌های بافتی دارای خواص پوزولانی نیستند. ازاین‌رو به‌همراه بررسی شیمی سنگ‌های آذرین می‌بایست ویژگی‌های بافتی آنها نیز مطالعه شود تا بتوان مناسب بودن سنگ برای مصرف به عنوان پوزولان را تعیین نمود. اگرچه میزان SiO_2 و Al_2O_3 فعالیت پوزولانی را تغییر می‌دهد، اما قطعات پومیس حفره‌دار و آذر آوارهای شیشه‌ای (glass shards) در مقایسه با بلورهای کوارتز، بیوتیت، هورنبلند، پیروکسن و قطعات لیتیک دارای اهمیت بیشتری هستند. لذا حضور فاز شیشه و آذر آوارهای شیشه‌ای و آلتراسیون کمتر می‌تواند خواص پوزولانی را کنترل نماید. Shi (2001) نشان داد که هر عاملی که ساختار شیشه را تغییر دهد فعالیت پوزولانی را نیز تغییر می‌دهد. مهمترین عوامل ترکیب شیمیایی، میزان شیشه، اندازه ذرات و مواد شیمیایی افزوده شده به سیمان هستند. نمونه CA40 در بعضی موارد تحت پوشش استانداردهای شیمیائی ASTM و DIN قرار نمی‌گیرد. این نمونه دارای میزان سیلیس بسیار کم و در مقابل از درصد بالایی کلسیم به‌صورت آهک تشکیل شده است ولی با توجه به این مطلب، این نمونه در روش اندیس هیدرولیکی و ترموگراویمتری دارای فعالیت پوزولانی بالاتری نسبت به نمونه CA43 است و تنها در روش استاندارد EN196-5 پس از ۳۰ روز در منطقه مطلوب پوزولانی قرار گرفته است. نمونه CA43 دارای درصد بالایی از سیلیس آزاد به صورت آذرآوار شیشه‌ای است و در روش اندیس هیدرولیکی و ترموگراویمتری دارای فعالیت پوزولانی بالایی بوده است و نیز در روش استاندارد EN196-5 پس از ۹ روز در منطقه مطلوب پوزولانی قرار گرفته است این نمونه تقریباً منطبق با تمام موارد ذکر شده در استاندارد ASTM و DIN و نیز داده‌های ژئوشیمیایی است.

جدول ۵. استاندارد آلمان برای پوزولان

	نام اکسید	استاندارد آلمان	نمونه CA40	نمونه CA43
Chemical requirements (German standard) DIN 51043	SiO2	۵۰-۶۷	۴۹/۱۶	۷۷/۸۰
	Al2O3	۱۴-۲۰	۷/۱۶	۱۲/۰۱
	Fe2O3	۲-۵	۳/۲۲	۰/۴۶
	CaO+MgO	<10	۲۰/۰۲	۴/۷
	Na2O+K2O	۳-۸	۲/۲۶	۱/۷

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه گیری

نمونه CA43 که یک توف اسیدی است تقریباً منطبق با تمام موارد ذکر شده در استاندارد ASTM و DIN و نیز داده های ژئوشیمیایی است. ولی نمونه CA40 به عنوان یک توف آهکی از نظر شیمیایی تحت پوشش استانداردهای ASTM و DIN نبوده اما دارای فعالیت پوزولانی خوبی است. نمونه CA43 دارای درصد بالایی از سیلیس آزاد به صورت آذر آوار شیشه‌ای است. نمونه CA40 دارای آذر آوار شیشه‌ای کمتر و میزان سیلیس پائین‌تر و در مقابل از درصد بالایی آهک تشکیل شده است. هر دو نمونه در روش اندیس هیدرولیکی و ترموگراویمتری فعالیت پوزولانی بالایی داشته اند. در روش استاندارد EN196-5 نمونه CA43 پس از ۹ روز در منطقه مطلوب پوزولانی قرار گرفته اما نمونه CA40 پس از ۳۰ روز در منطقه مطلوب پوزولانی قرار گرفته می‌گیرد. با توجه به مطالب ذکر شده، این طور به نظر می رسد که استانداردهای ارائه شده (ASTM و DIN) تمام سنگ‌هایی که قابلیت استفاده به عنوان پوزولان را دارند تحت در بر نمی گیرد و بررسی شواهد بافتی در این راستا ضروری به نظر می رسد. وجود سیلیس آزاد به صورت آذر آوار شیشه ای باعث افزایش فعالیت پوزولانی و کاهش زمان گیرش می‌شود. در توف‌های آهکی نیز وجود آهک می‌تواند باعث افزایش فعالیت پوزولانی شود و تنها در زمان طولانی‌تری فعالیت پوزولانی در منطقه مطلوب قرار می‌گیرد. این تحقیق نشان داد که علاوه بر توف‌های اسیدی، توف‌های آهکی می‌توانند به عنوان منابع جدید پوزولان طبیعی مورد استفاده قرار گیرند. این توف‌ها در سنگ‌های آذرین با سن ائوسن ایران مانند سازند کرج وجود دارند. بدیهی است تحقیقات گسترده‌تری مانند انجام آزمایش‌های تعیین زمان گیرش یا حرارت هیدراسیون سیمان (استانداردهای ۳۹۲ و۳۹۴ سازمان تحقیقات صنعتی و استاندارد ایران) و یا تعیین مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای و تعیین انبساط به روش اتوکلاو (استانداردهای ۶۰۴۸ و۳۹۱ اداره استاندارد ایران) بر روی نمونه‌های متنوع‌تری از توف‌های آهکی مناطق مختلف سازند کرج در ایران می‌تواند منجر به ارائه الگویی برای استفاده از این سنگ‌ها به‌عنوان منابع جدید پوزولان در کشور باشد

.

منابع

حاجی محمدی، ف.، ۱۳۸۰، بررسی پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی منطقه بلده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین.

خادمی پارسا، م.، مسعودی، ف.، پرهیزکار، ط.، پورخورشیدی، ع.، ۱۳۸۹، پتروگرافی سنگ‌های جنوب غرب بلده با نگرشی بر قابلیت کاربرد پوزولان، اولین همایش پترولوژی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان.

خادمی پارسا، م.، ۱۳۹۰، پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب غرب بلده (البرز مرکزی)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

رحیم زاده، ب.، ۱۳۸۸، پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شرق قزوین با نگرشی بر امکان وجود پوزولان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

سعیدی، ع.، ۱۳۷۲، تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قریشوندی، ح.، ۱۳۸۹، پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین منطقه جام(سمنان) با نگرشی بر امکان وجود پوزولان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

نوری زاده، ح.، ۱۳۸۱، بررسی پترولوژی و ژئودینامیک خروج گنبدهای آتشفشانی و سایر توده های نیمه عمیق جوان منطقه بلده، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین.

Mehta, P.K., 1989, "Pozzolanic and Cementitious By -Product in Concrete- Another Look", Silica Fume, Slag and Natural Pozzolan in Concrete Proc, 3rd International Conference, Trondheim, Norway.

Fisher, R.V., 1966, Mechanism of deposition from Pyroclasic flows, Am. Sci.,Vol:264, P:350-363

Habert, G., Choupay, N., Montel, J.M., Guillaume, D., Escadeillas, G., 2008, Effects of the secondary minerals of the natural pozzolans on their pozzolanic activity, Cement and Concrete Research, Vol: 38, P:963–975.

Rodriguez-Camacho, R.E., Uribe-Afif, R., 2002, Importance of using the natural pozzolans on concrete durability, Cement Concrete Research, Vol: 32 P: 1851– 1858.

Shannag, M.J., Yeginobali, A., 1995, Properties of Pastes, Mortars and Concrete Containing Natural Pozzolan, Cement and Concrete Research, Vol:25, P:647-657.

Shi, C., Day, R.L., 2000, Pozzolanic reactions in the presence of chemical activators part I: reaction kinetics, Cement and Concrete Research, Vol:30,P:51–58.

Shi, C., 2001, An overview on the activation of reactivity ofnatural pozzolans, Can. J. Civ. Eng., Vol: 28, P:778–786.

Shi, C., Krivenko, P.V., Roy, D., 2006, Alkali –Activated Cement and Concrets, Taylor & Francis, P: 376.

Turkmenoglu, A.G., Tankut, A., 2002, Use of tuffs from central Turkey as admixture in pozzolanic cements; Assessment of their petrographical properties, Cement and Concrete Research, Vol:32, P:629–637.

Archive of SID
www.SID.ir