

بررسی قابلیت پوزولانی خاکسترهای آتشفشانی شمال دهگلان (شرق کردستان)

فریبرز مسعودی^{۱*}، بهمن رحیم‌زاده^۲ و علیرضا پورخورشیدی^۳

۱. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲. دانشجوی دکتری پترولوژی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات ساختمان، راه و شهرسازی

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲۷

چکیده

در شمال دهگلان آتشفشان‌های جوانی با سن میوسن رخنمون دارند که بخشی از کمربند ارومیه دختر هستند. ترکیب این سنگ‌ها بیشتر متوسط تا اسیدی و کمتر بازیگ با بافت غالباً پورفیریک است. بخش عمده‌ای از سنگ‌های متوسط تا اسیدی، ترکیب ریوداسیتی داشته و بصورت خاکسترهای آتشفشانی و لاهار بزرگترین واحد منطقه را تشکیل می‌دهد. پلاژیوکلاز و هورنبلند فنوکریست‌های اصلی و کوارتز، فلدسپات آلکالن و بیوتیت کانی‌های فرعی را تشکیل می‌دهند. خمیره بیشتر شامل شیشه سیلیسی و کمتر فلدسپات است که فضای بین کانی‌ها را پر کرده است. از ویژگی‌های بارز واحد خاکستر وجود زنولیت‌های فراوان و سبکی آن بعلاوه وجود تخلخل است. پس از بررسی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی، به منظور بررسی پتانسیل سنگ‌های اسیدی شمال دهگلان، فعالیت پوزولانی این سنگ‌ها با روش ترموگراویمتری STA مورد آزمایش قرار گرفت. مقدار بدست آمده برای خاکسترهای اسیدی مورد بررسی ۴۹/۳۶ درصد است که در رده ممتاز قرار می‌گیرد. از نظر شیمیایی نیز تغییرات نسبت مولی $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ به $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$ نمونه‌های دهگلان با نمونه‌های پوزولانی مورد استفاده در نقاط مختلف جهان و ایران همپوشانی خوبی نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: پوزولان، ترموگراویمتری (STA)، دهگلان، فعالیت پوزولانی.

مقدمه

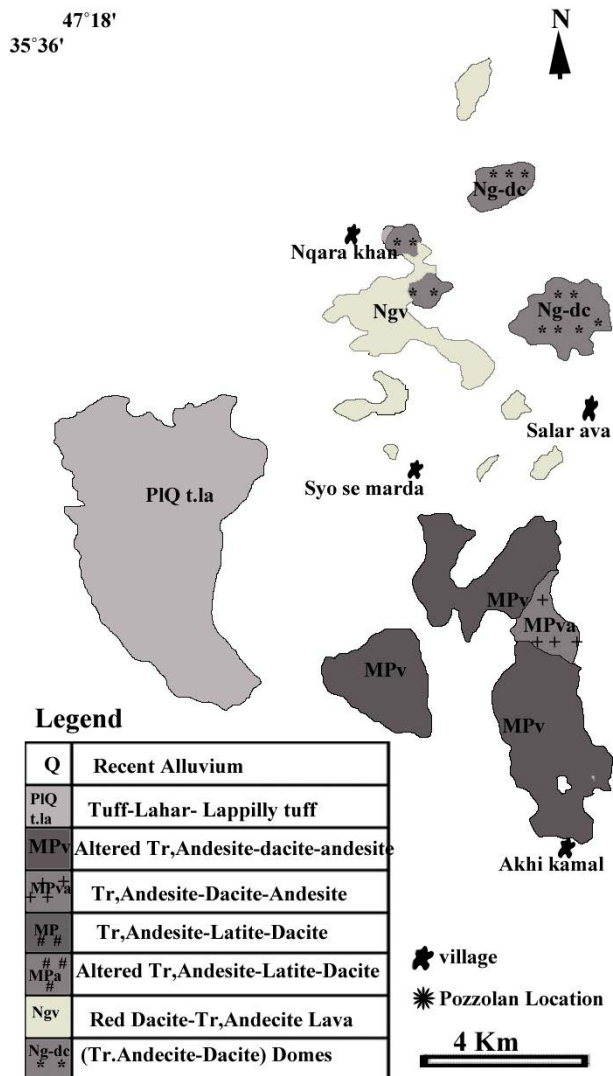
مواد آتشفشانی دارای شیشه آمورف و خمیره است که این مواد به علت نداشتن پیوند اتمی در صورت پودر شدن میل به واکنش داشته و در حضور آب و کلسیم خاصیت چسبندگی از خود نشان می‌دهند (رمضانیان‌پور و پیدایش، ۱۳۷۶، مقصودی و احمدی مقدم، ۱۳۸۶، Shi et al., 1987; Ramezani pour, 1987; Massazza, 1974). از این رو مواد پیروکلاستیکی حاصل از آتشفشان از جمله توف و خاکسترهای آتشفشانی، مناسب‌ترین مواد برای استفاده به عنوان ماده افزودنی به سیمان هستند. توف‌های سبز سازند کرج در البرز مرکزی در سال‌های اخیر توسط کارخانه‌های سیمان موجود در منطقه استفاده شده و محدوده مطالعات انجام شده با دیدگاه پترولوژی، حاکی از پتانسیل‌های زیاد سنگ‌های آتشفشانی

بتن پس از آب دومین ماده مصرفی بشر می‌باشد و استفاده از آن در هر جامعه یکی از شاخص‌های پیشرفت تکنولوژی آن جامعه است. مصرف سرانه بتن در بسیاری کشورها سالانه ۲۵۰ لیتر است در حالی که مصرف آن برای هر نفر در ایران حدود ۲ لیتر در سال است (شکرچی زاده و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از پوزولان برای تولید سیمان‌های آمیخته باعث افزایش تولید سیمان می‌شود و مواد آتشفشانی یکی از مهم‌ترین مواد افزودنی به سیمان پوزولانی است. میزان افزایش مواد پوزولانی به سیمان، بسته به خواص نوع سنگ حدود ۱۵ تا ۳۵ درصد است (مقصودی و احمدی مقدم، ۱۳۸۶).

* نویسنده مرتبط f_masoudi@sbu.ac.ir

سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط وجود دارد (شکل ۱). کوه شیدا یکی از آتشفشان‌های نسبتاً بزرگ منطقه، ترکیبی شامل گدازه‌های تراکی‌اندزیت، لایتیت و داسیت با بافت پورفیریک دارد. سایر رخنمون‌ها غالباً بصورت خاکسترهای داسیتی سفید و خاکستری رنگ هستند که جوش‌خوردگی اندکی حاصل کرده و مقاومت گدازه‌ها را ندارند. به دلیل فراوانی ریز حفرات حاصل از تراکم نیافتگی خاکستر آتشفشانی و وجود گازهای اولیه، این خاکسترهای انفجاری غالباً چگالی پایینی دارند. از ویژگی‌های بارز این خاکسترهای داسیتی، فراوانی زنولیت است که به صورت تحلیل رفته و گاهی سالم دیده می‌شوند. این زنولیت‌ها در اندازه‌های میکروسکوپی تا ماکروسکوپی با ابعاد ۱ متری حضور داشته و حجم آنها در مواردی تا ۱۵ درصد از کل واحد را تشکیل می‌دهند. سن این آتشفشان‌ها ۸/۳ تا ۹/۲ میلیون سال محاسبه شده است (Boccaletti et al., 1977).

ولکانیسم منطقه را می‌توان به باز شدن شکاف‌های نردبانی

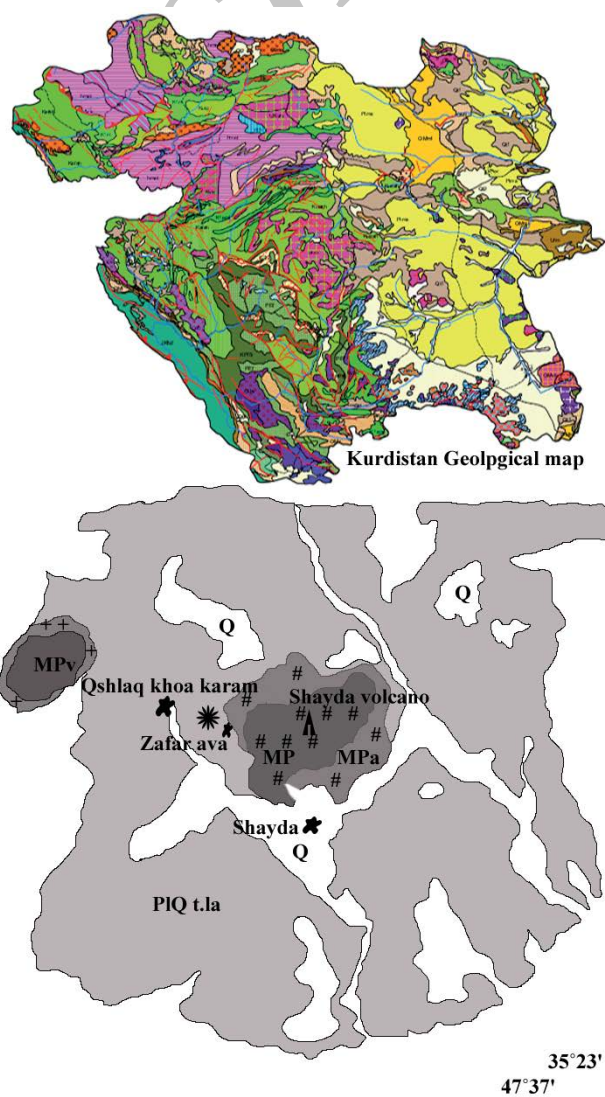


منطقه جهت استفاده در پوزولان است (خاکزاد و گلپهاری، ۱۳۷۸؛ باباخانی، ۱۳۸۶؛ رحیم‌زاده، ۱۳۸۸؛ قریشوندی، ۱۳۸۹).

از جمله خواص سیمان‌های پوزولانی ضد سولفات‌ها بودن و استحکام زیاد آن در برابر خوردگی در محیط آبی است (رمضانیان پور، ۱۳۷۶). با توجه به افزایش سدسازی و انجام طرح‌های عمرانی در کل کشور و از جمله منطقه کردستان، لزوم مطالعه در این بخش، بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا سنگ‌های آتشفشانی جوان محور قروه تکاب مورد بررسی قرار گرفت. بخشی از واحدهای خروجی این منطقه انفجاری و بصورت خاکستر آتشفشانی هستند که دارای بیشترین پتانسیل بوده و لذا بطور مشخص در این مطالعه فعالیت پوزولانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

زمین‌شناسی عمومی

در شمال دهگلان واقع در شرق کردستان چند برونزد از



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی سنگ‌های ولکانیک‌ها شمال دهگلان، برگرفته از چهار نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ سندج (سرتیپی، ۱۳۸۴)، قروه (حسینی، ۱۳۷۹)، دیوانده (قلمقاش و خضری، ۱۳۸۴) و بیجار (فودی و صدیقی، ۱۳۸۴) با ویرایش.

روش کار

پس از مطالعات صحرایی و بررسی سنگ‌شناسی منطقه، نمونه‌برداری از واحد داسیتی شمال دهگلان انجام شد. مهمترین ابزار این تحقیق پتروگرافی بوده است لذا از اجزای مختلف واحد مقطع نازک تهیه و مطالعه شد. با توجه به مطالعات پتروگرافی تعداد ۵ نمونه جهت انجام آنالیز ژئوشیمی عناصر اصلی انتخاب و در آزمایشگاه شیمی تر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز شدند (جدول ۱). جهت شناسایی فازهای کریستوکریستالین خمیره در نمونه‌های خاکستر، تعداد سه نمونه به روش (XRD) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز شد (جدول ۲). جهت تشخیص فاز شیشه‌ای نیز، نورم (CIPW) نمونه‌های مورد بررسی محاسبه شد (جدول ۳).

پس از بررسی نتایج شیمی نمونه‌های مورد بررسی دهگلان،

ناشی از حرکت کشویی گسل‌های موازی تراست زاگرس نسبت داد (معین وزیری، ۱۳۷۵). به نظر ملکوتیان و همکاران (۱۳۸۶) سنگ‌های بازیگ محور قروه تکاب که در یک محیط زمین ساختی درون صفحه‌ای قاره‌ای رخنمون یافته‌اند، از درجات پایین ذوب بخشی گوشته بالایی حاصل شده‌اند. واحد مورد بررسی در این پژوهش (شکل ۱)، یک واحد خاکستر آتشفشانی با آنکلاوهای گرد شده از گدازه و زنولیت‌های تحلیل رفته است. درصد حجم این آنکلاوها و زنولیت‌ها، گاهی به ۲۰ درصد از کل حجم واحد می‌رسد. آنکلاوها شامل آنکلاوهای سالم با اندازه‌های میکروسکوپی تا ماکروسکوپی با ابعاد ۲ مترمکعب هم دیده می‌شود. آنکلاوهای تحلیل رفته همان مشخصات آنکلاوهای سالم را دارند با این تفاوت که خمیره کریستوکریستالین آنها کوارتز-فلدسپاتی است و فنوکریست‌ها نیز سالم نیستند.

جدول ۱. آنالیز نمونه‌های داسیتی دهگلان به روش XRF، اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی است.

| نمونه | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | Na ₂ O | K ₂ O | CaO | MgO | TiO ₂ | BaO | SrO | L.O.I | SO ₃ | Total |
|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------|------|------------------|------|------|-------|-----------------|-------|
| MP1 | ۶۹/۴۱ | ۱۳/۱۹ | ۳/۲۹ | ۰/۱۴ | ۳/۱۰ | ۳/۴۲ | ۲/۵۹ | ۳/۰۲ | ۰/۲۰ | - | - | ۱/۵۰ | - | ۹۹/۹۶ |
| MP2 | ۶۴/۰۰ | ۱۷/۰۰ | ۳/۶۰ | ۰/۲۱ | ۲/۸۰ | ۳/۲۰ | ۲/۹۰ | - | ۰/۳۰ | - | - | - | - | ۹۴/۰۱ |
| MP3 | ۶۷/۱۹ | ۱۴/۸۸ | ۳/۱۱ | ۰/۳۰ | ۲/۹۹ | ۳/۶۲ | ۳/۱۸ | ۱/۷۱ | ۰/۴۵ | ۰/۱۰ | ۰/۱۲ | ۲/۳۴ | - | ۹۹/۴۵ |
| MP4 | ۶۶/۰۹ | ۱۵/۳۶ | ۳/۱۲ | ۰/۲۹ | ۳/۱۸ | ۳/۲۷ | ۳/۳۷ | ۱/۵۵ | ۰/۴۱ | ۰/۱۰ | ۰/۱۴ | ۲/۶۴ | - | ۹۹/۵۲ |
| MP5 | ۶۶/۲۱ | ۱۵/۳۶ | ۳/۱۸ | ۰/۳۲ | ۳/۰۰ | ۳/۴۵ | ۳/۴۵ | ۱/۵۸ | ۰/۴۱ | ۰/۱۸ | ۰/۱۴ | ۲/۶۱ | - | ۹۹/۸۹ |

جدول ۲. آنالیز کیفی نمونه‌های داسیتی دهگلان به روش XRD

| نمونه | Feldspar | Amphibole | Quartz |
|-------|----------|-----------|--------|
| MP3 | * | * | - |
| MP4 | * | Minor | * |
| MP5 | * | Minor | - |

جدول ۳. محاسبه نورم (CIPW) نمونه‌های داسیتی دهگلان بر حسب درصد (Q: کوارتز، Or: اورتوکلاز، Plg: پلاژیوکلاز، Ab: آلبیت، An: آنورتیت، Hy: هیپرستن، Hem: هماتیت، Ap: آپاتیت)

| نمونه | Q | Or | Plg(An) | Ab | An | Hy | Hem | Ap | Ru | Total |
|-------|-------|-------|---------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| Mp1 | ۲۸/۶۳ | ۲۰/۲۱ | ۳۱/۲۷ | ۲۶/۲۳ | ۱۱/۹۳ | ۷/۵۲ | ۳/۲۹ | ۰/۳۲ | ۱/۲۱ | ۹۹/۰۷ |
| Mp2 | ۲۹/۸۵ | ۱۸/۹۱ | ۳۵/۴۶ | ۲۳/۶۹ | ۱۳/۰۱ | - | ۳/۶۰ | ۰/۴۹ | ۰/۳۸ | ۹۴/۰۹ |
| Mp3 | ۲۸/۰۲ | ۲۱/۶۴ | ۳۵/۹۴ | ۲۵/۳۰ | ۱۴/۱۹ | ۲/۹۱ | ۳/۱۱ | ۰/۷۰ | ۰/۵۷ | ۹۷/۲۳ |
| Mp4 | ۲۶/۱۲ | ۱۹/۵۷ | ۳۶/۱۹ | ۲۶/۹۱ | ۱۵/۲۶ | ۳/۸۶ | ۳/۱۲ | ۰/۶۷ | ۰/۵۲ | ۹۶/۹۹ |
| Mp5 | ۲۶/۴۱ | ۲۰/۸۳ | ۳۷/۸۶ | ۲۵/۳۹ | ۱۵/۴۶ | ۳/۹۴ | ۳/۱۸ | ۰/۷۴ | ۰/۵۲ | ۹۷/۳۹ |

شرایط واقعی)، عمل آوری می‌شود. سپس در زمان آزمایش، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه ۱۰۵ درجه سلسیوس نگهداری می‌شود تا هیدراسیون متوقف گردد. حدود ۵۰ میلی‌گرم از وسط نمونه استخراج و پس از آسیاب کردن از الک ۷۵µm عبور داده می‌شود. سپس ۱۰ میلی‌گرم از پودر برای آزمایش در نظر گرفته می‌شود. نمونه پودر در کوره دستگاه قرار داده می‌شود و با نرخ ثابت ۲۰ درجه سلسیوس در دقیقه تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس، حرارت داده می‌شود. در دمای بین ۴۲۵ و ۵۳۴ درجه سلسیوس، هیدروکسید کلسیم، آب خود را از دست می‌دهد:



بر اساس رابطه (۱)، از مقدار ۷۴ گرم Ca(OH)_2 مقدار ۱۸ گرم آب تبخیر می‌شود. مقدار Ca(OH)_2 برابر است با رابطه (۲):

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{Ca(OH)}_2 \text{ درصد} = \text{وزن} \times (74/18) \text{ درصد}$$

رفتار حرارتی نمونه پوزولان، با استفاده از دستگاه STA-449C، مارک Netzsch، مدل Jupiter مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمون، آماده سازی نمونه‌ها و عمل آوری نمونه‌ها به شرح زیر انجام شد:

- اختلاط پودر پوزولان و هیدروکسید کلسیم به نسبت (۵۰ + ۵۰) درصد وزنی. برای اختلاط بهتر و همگن شدن مطلوب آزمون‌ها، مخلوط‌ها پس از هم زدن اولیه، در یک هاون به خوبی ساییده شدند. شایان ذکر است به منظور تعیین فعالیت پوزولانی، در همه مخلوط‌ها از هیدروکسید کلسیم با درجه خلوص بالا استفاده شده است تا ارزیابی آزمون‌ها در یک شرایط ثابت و منطقی انجام شود.

- با افزودن آب مقطر به مخلوط خشک و همزدن مجدد، خمیری با غلظت مناسب به دست آمد. سپس خمیر به دست آمده در یک ظرف مناسب ریخته و با استفاده از یک درپوش کاملاً هوابندی شد.

- ظرف حاوی آزمون هوابندی شده در یک ظرف شیشه‌ای دارای آب مقطر قرار داده شد و مجموعه برای عمل آوری به یک گرمخانه با دمای حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد منتقل گشت. قرار

جدول ۴. خلاصه پتروگرافی سنگ های اصلی واحد مورد مطالعه

| نمونه | کانی‌های اصلی | خمیره | بافت |
|-----------------------------------|---|---|--------------------|
| MP1 - خاکسترهای سست آتشفشانی | پلاژیوکلاز، فلدسپات الکلن، بیوتیت، کوارتز آمفیبول | شیشه | هیالومیکروپورفیریک |
| MP2 - گدازه با رنگ روشن | پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول | فلدسپات الکلن و کوارتز | پورفیریک |
| MP3 - گدازه تیره رنگ (شبه آنکلاو) | پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول، کوارتز | شیشه | هیالوپورفیریک |
| V - سنگ‌های آتشفشانی تفکیک نشده | پلاژیوکلاز، فلدسپات، بیوتیت، آمفیبول دگرسان شده | فلدسپات الکلن و کوارتز کریپتو کریستالین | پورفیریک |

نمونه MP3 جهت آزمایش تست سیمان انتخاب و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن کشور با روش ترموگراویمتری (دستگاه STA) مورد آزمایش قرار گرفت.

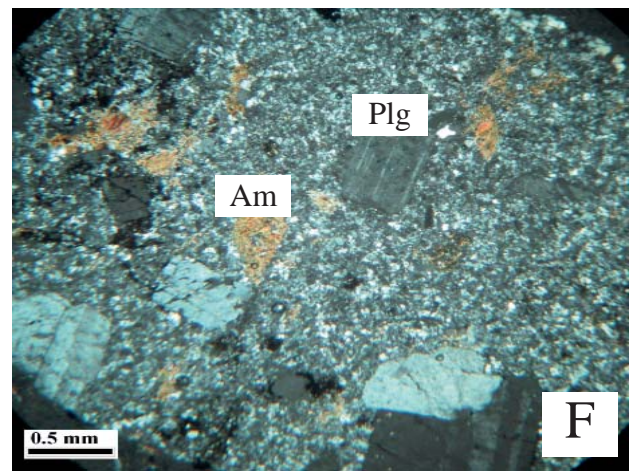
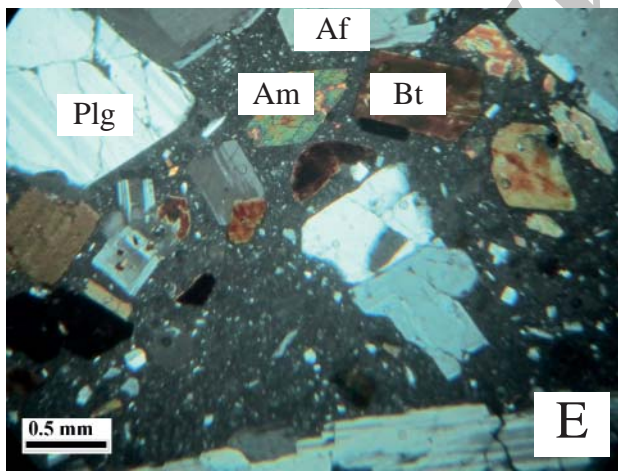
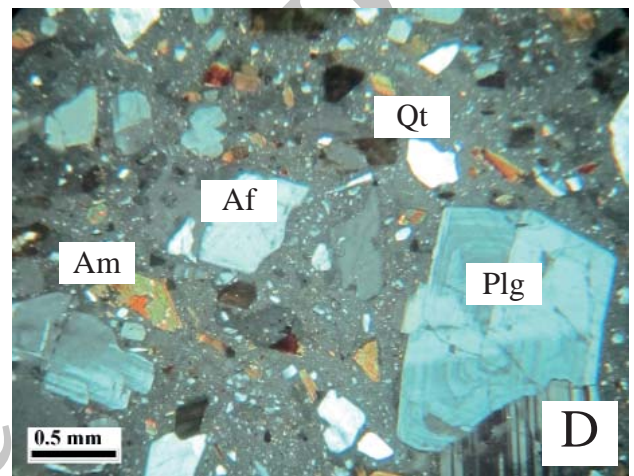
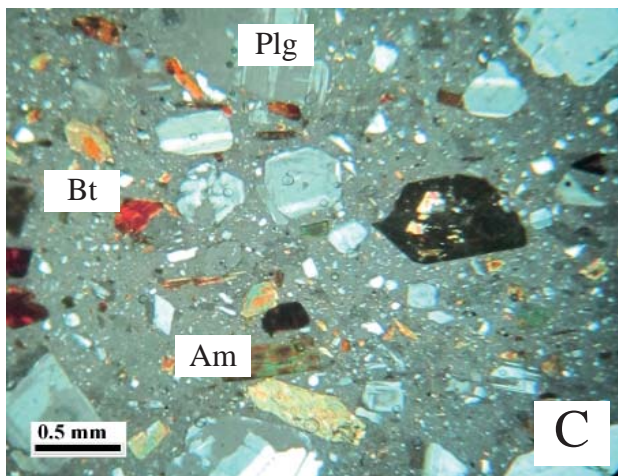
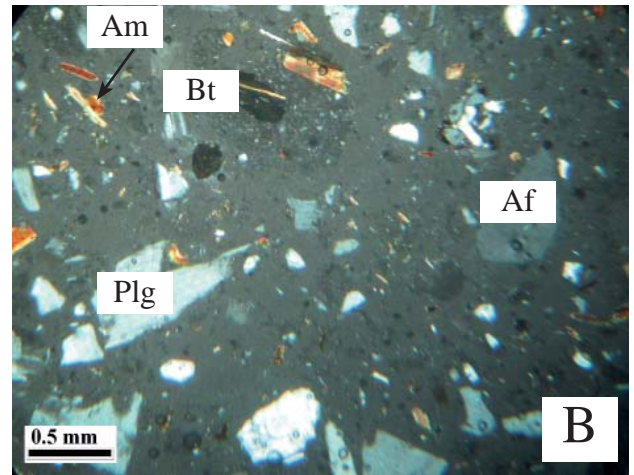
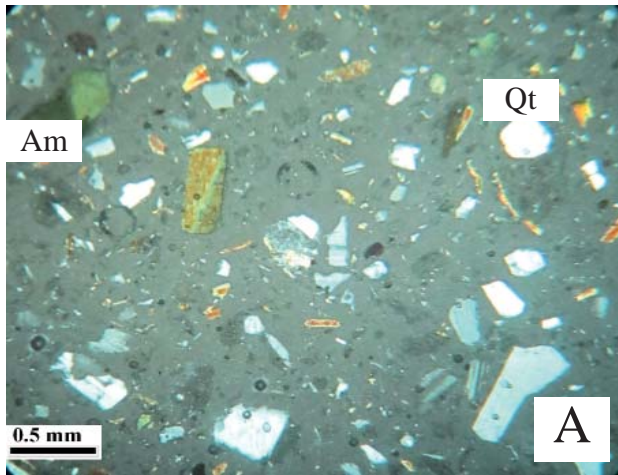
پتروگرافی

سنگ‌های میوسن پایانی در شمال دهگلان شامل تراکی آندزیت، لاتیت و داسیت است. واحدهای تراکی - آندزیت و لاتیتی دارای بافت پوفیریک هستند. در این سنگ‌ها فنوکریست‌های آندزین-الیگوکلاز، هورنبلند سبز و بیوتیت در یک خمیره میکرولیتی متشکل از فلدسپات پراکنده‌اند و داسیت‌ها شبیه تراکی آندزیت‌ها ولی دارای کوارتز می‌باشند (شکل ۲). محدوده مورد مطالعه قسمتی از واحد بزرگ PIQt, al (توف با ترکیب متوسط تا اسیدی، لاهار و آبرفت) است که بسیاری از مناطق این واحد هوازده و به خاک کشاورزی تبدیل شده و زیر کشت است. واحد خاکستر مورد بررسی از نظر پتروگرافی همگن است. اندازه بلورها و گاه فراوانی آن‌ها به طور پیوسته تغییر می‌کند. خصوصیات پتروگرافی اجزای واحد مورد مطالعه در جدول (۴) خلاصه شده است. در طبقه بندی سنگ‌ها این واحد داسیت است و اگر آن را هم سن آتشفشان شیدا فرض کنیم در دوره پلیوسن فوران کرده است.

تعیین فعالیت پوزولانی با استفاده از دستگاه STA (روش ترموگراویمتری)

با استفاده از روش وزن‌سنجی حرارتی (TG-DTG)، فعالیت پوزولانی انواع پوزولان‌ها قابل اندازه‌گیری است. اساس روش بر پایه تجزیه حرارتی بلورهای 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 باقی‌مانده 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 پوزولان‌های فعال، بسیار کم و در پوزولان‌های ضعیف، زیاد است.

برای انجام آزمایش TG، ابتدا خمیر سیمانی از سیمان پرتلند و پوزولان طبیعی (با درصد دلخواه جایگزینی) ساخته می‌شود و در مدت مورد نظر، در شرایط از پیش تعیین شده (مطابق



شکل ۲. پتروگرافی نمونه‌های مورد مطالعه، A و B: بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت در زمینه کوارتز-فلدسپاتی شیشه‌ای-کریپتوکریستالین در نمونه MP1؛ C و D: بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت در خمیره شیشه‌ای-کریپتوکریستالین در نمونه MP2؛ E: نمونه زنولیتی سالم، بلورهای پلاژیوکلاز (Plg)، بیوتیت (Bt)، آمفیبول (Am)، آلکالی فلدسپار (Af) و کوارتز (Qt) در خمیره شیشه‌ای در نمونه MP3؛ F: نمونه زنولیتی تحلیل رفته، بلورهای پلاژیوکلاز بیوتیت در زمینه سست کوارتز-فلدسپات (MP₂). تمامی تصاویر در نور XPL عکسبرداری شده‌اند.

آن برداشته شد.

- هر یک از نمونه‌ها از داخل ظرف به یک هاون منتقل و خوب ساییده و با استفاده از گاز ازت خشک شدند. مقدار مناسبی از نمونه خشک شده برداشت شد و به داخل جانمونه‌ای

دادن ظرف حاوی نمونه‌ها در ظرف شیشه‌ای دارای آب مقطر، به‌منظور تأمین یکنواختی دما در اطراف آن‌ها بوده است. مجموعه به مدت ۹ روز در شرایط دمایی ذکر شده عمل‌آوری شد. پس از پایان ۹ روز، ظرف حاوی نمونه از گرمخانه خارج و درپوش

بحث

ویژگی‌های شیمیایی

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان کشورهای مختلف دارای تنوع شیمیایی زیادی هستند. همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود درصد SiO_2 موجود در نمونه‌ها بالا است. محاسبه نرم (CIPW) نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که خمیره شیشه‌ای بیشتر حاوی سیلیس است که در صورت تبلور می‌تواند کانی کوارتز را تشکیل دهد و نمی‌تواند کانی فلدسپار را تشکیل دهد (جدول ۲ و ۳). هر چند میزان فعالیت پوزولانی با افزایش سیلیس بصورت آمورف (شیشه) افزایش می‌یابد (Rodriguez et al., 2002; Shi et al., 2006)، لیکن آتشفشان‌های با ترکیب متوسط نیز در بسیاری کشورها از جمله ایران (تفتان)، مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور تعیین محدوده تغییرات میزان سیلیس پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان، درصد SiO_2 پوزولان نسبت به میزان کلسیم آن در نموداری ترسیم شد (مسعودی، ۱۳۸۹) (شکل ۴). نتایج نشان داده است که میزان SiO_2 پوزولان‌های مصرفی در جهان بین کمتر از ۴۵ درصد تا بیش از ۷۰ درصد متغیر است. این در حالی است که بیشتر پوزولان‌ها در ایران دارای SiO_2 بالاتر از ۶۲ درصد هستند. تنها پوزولان تفتان که یکی از شناخته‌ترین پوزولان‌های

مخصوص دستگاه STA ریخته و با استفاده از یک ترازو با دقت 0.001 گرم توزین شد.

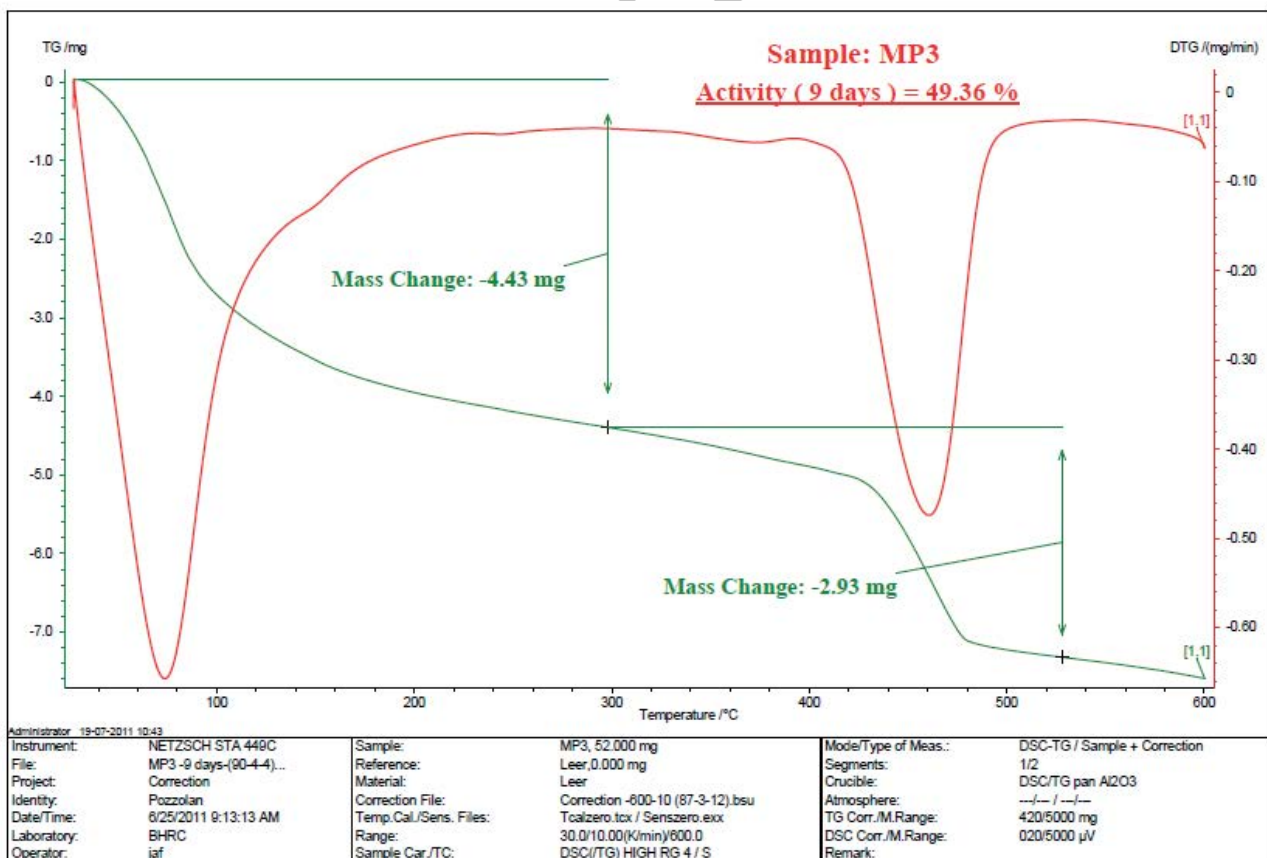
همه نمونه‌ها در دستگاه STA با یک برنامه حرارتی مشخص به شرح زیر مورد تجزیه حرارتی قرار گرفتند:

- حداکثر دمای اعمال شده: ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد.

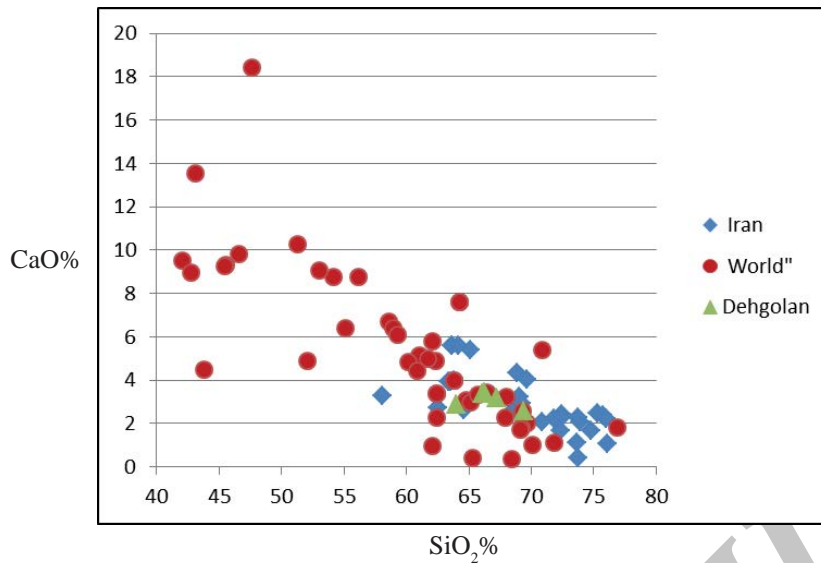
- نرخ دمایی اعمال شده: ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه.

- زمان نگهداری در دمای نهایی: ۲ دقیقه.

بر اساس تجربیات بدست آمده از بررسی نتایج این روش، می‌توان فعالیت پوزولانی نمونه‌های پوزولان را در چهار رده خوب (بیش از ۲۵ درصد)، متوسط (بین ۲۰ تا ۲۵ درصد)، ضعیف (بین ۱۵ تا ۲۰ درصد) و خیلی ضعیف (کمتر از ۱۵ درصد) دسته‌بندی نمود. به دلیل مشابهت ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمی نمونه‌های خاکستر شمال دهگلان، آزمایش یک نمونه کافی به نظر رسید. آزمایش انجام گرفته روی نمونه نماینده (MP3) خاکسترهای شمال دهگلان، حاکی از فعالیت بسیار عالی است، بطوری که فعالیت پوزولانی آن ۴۹/۳۶ درصد است (شکل ۳). این مقدار در رده بندی فعالیت پوزولانی در رده خوب و بسیار بالاتر از فعالیت بهترین واحدهای پوزولانی مورد استفاده در صنعت سیمان در شرق قزوین (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۹۰) می‌باشد.



شکل ۳. منحنی تجزیه حرارتی نمونه MP3 با استفاده از دستگاه STA.



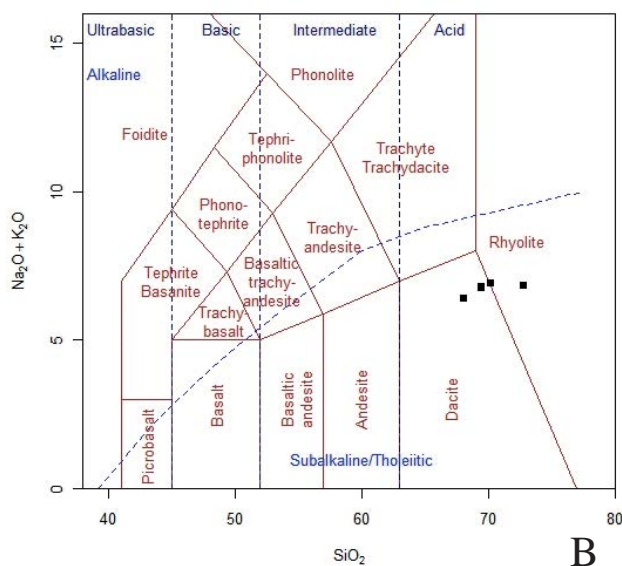
شکل ۴. تغییرات درصد SiO_2 برابر درصد CaO پوزولان‌های مصرفی سنگ‌های دهگلان (مثلث سبز)، در ایران (رحیم زاده ۱۳۸۸) (لوزی بزرگ)، سایر کشورهای جهان (دایره) بر اساس:

Ahmet and Yetgin, 2007; Liebig and Althaus, 1998; Muhammad and Alhozaimy, 2005; Hossain, 2005; Khandaker and Hossain, 2003; Khandaker and Hossain, 2005; Habert et al., 2008; Adnan and Olak, 2003; Uzal and Turanli, 2003; Rodríguez-Camacho and Uribe-Afif, 2002; Irassar et al., 2000; Turanli et al., 2005; Moropoulou et al., 2004; Shi et al., 2000.

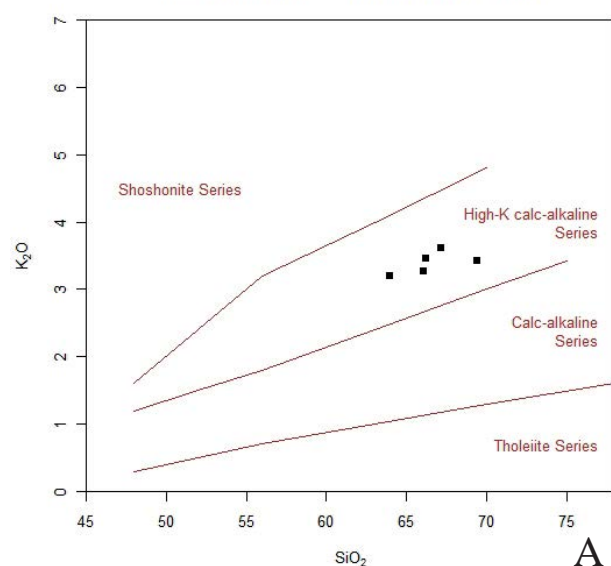
نامگذاری سنگ‌ها، نشان می‌دهد که سه نمونه در محدوده داسیت و یک نمونه در محدوده ریولیت قرار می‌گیرد (شکل ۵-A) (Le Bas, 1986). همچنین سرشت این آتشفشان کالکوآلکانل پتاسیم بالا است (شکل ۵-B) (Peccerillo and Taylor, 1976). در تحقیقی که در مورد سنگ‌های آذرین البرز مرکزی انجام شده است (مسعودی، ۱۳۸۹)، مشخص شد که پوزولان‌های طبیعی از ماگماهای با ویژگی‌های مشخصی بوجود می‌آیند. پوزولان‌های

ایران است دارای SiO_2 کمتر از ۶۰ درصد می‌باشد. لذا درصد سیلیس به تنهایی نمی‌تواند شاخصی برای تعیین میزان کیفیت سنگ‌ها به منظور کاربرد آنها به عنوان پوزولان باشد. وجود استانداردهای شیمیایی متعدد و متفاوت جهانی نیز گویای آن است که درصد اکسیدهای دیگر نیز معیار خوبی برای تعیین کیفیت پوزولانی سنگ‌ها نیست. نامگذاری نمونه‌ها با استفاده از نتایج آنالیزها در نمودار

TAS (Le Bas et al. 1986)



SiO_2 - K_2O plot (Peccerillo and Taylor 1976)



شکل ۵. A: نمونه‌های بررسی شده در نمودار طبقه‌بندی TAS (Le Bas et al., 1986) داسیت تا ریولیت هستند. B: در نمودار (Peccerillo and Taylor, 1976) نمونه‌ها سرشت کالکوآلکانل پتاسیم بالا را نشان می‌دهند.

آلکالی مشاهده می‌شود هرچه اختلاف دو طرف معادله بیشتر باشد کیفیت پوزولان مناسب‌تر است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به نزدیک بودن خصوصیات نمونه‌ها در جدول ۶ می‌توان بر اساس فعالیت پوزولانی نمونه تست شده $MP3=49/36\%$ پیش‌بینی نمود که سایر نمونه‌ها نیز کیفیت پوزولانی مناسبی دارند. در مقایسه تغییرات مولی نمونه‌های دهگلان با نمونه‌های پوزولانی در نقاط مختلف جهان و ایران نیز همپوشانی خوبی دیده می‌شود (شکل ۶).

معیارهای پتروگرافی

بافت سنگ‌های آذرین، که گویای شرایط فیزیکی در هنگام تشکیل سنگ است، اهمیت بسیار زیادی در تعیین خواص پوزولانی آن دارد. از این‌رو به همراه بررسی شیمی سنگ‌های آذرین می‌بایست ویژگی‌های بافتی آنها نیز مطالعه شود تا بتوان مناسب بودن سنگ برای مصرف به عنوان پوزولان را تعیین نمود. افزایش حضور فاز شیشه سیلیسی، کاهش اندازه ذرات، کاهش مقدار بلورها و افزایش ژئولیت، از مهم‌ترین عوامل پتروگرافی تاثیرگذار در بالا بردن میزان کیفیت پوزولان هستند. دگرسانی غیر ژئولیتی، تبلور مجدد، افزایش میزان بلورها و افزایش اندازه ذرات

طبیعی بیشتر از ماگماهای ساب‌آلکانل بوجود می‌آیند و دارای ضریب اشباع از آلومینیم مشخص هستند. میزان سیلیس آن‌ها نیز بسیار متنوع است. بر مبنای تحقیق یاد شده، جدول ۵ شاخص‌های پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان را به طور خلاصه نشان می‌دهد. ارقام و روابط نشان داده شده در این جدول می‌تواند به عنوان الگوی اولیه در تشخیص ویژگی‌های شیمیایی پوزولان‌های طبیعی استفاده شود. شاخص‌های تعیین شده دارای دامنه‌ای از تغییرات هستند و تاثیر این تغییرات بر خواص پوزولان نیاز به مطالعه بیشتری دارد.

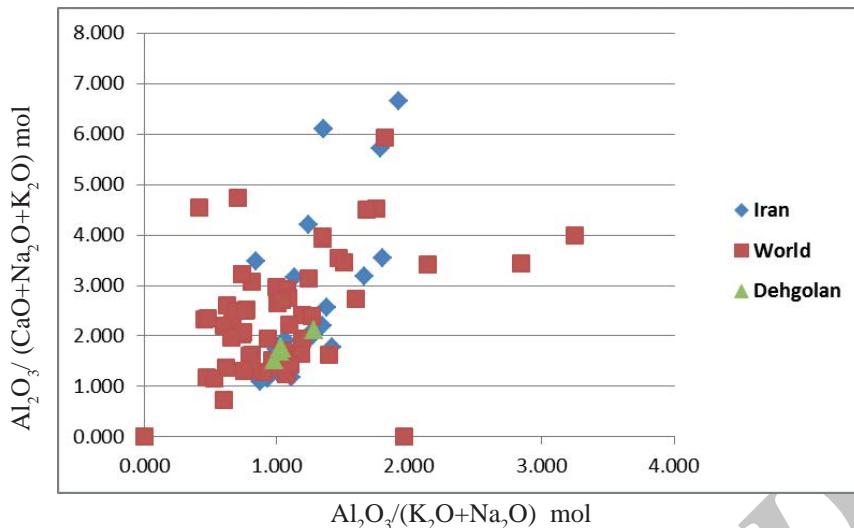
نمونه‌های مورد بررسی در مقایسه با معیارهای بالا دارای هم‌پوشانی کامل هستند. ۵ نمونه مورد آزمایش در ردیف سنگ‌های اسیدی قرار می‌گیرند. با توجه به همگن بودن واحدهای مورد بررسی، درصد SiO_2 در آنها نزدیک به هم و مابین ۶۴ تا ۶۹ در صد است. ضریب اشباع از آلومینیم در فرمول (۱) محاسبه و از ۱/۵۱ تا ۲/۱۲ متغیر و در فرمول دوم از ۰/۹۸ تا ۱/۲۸ متغیر می‌باشند که در کل خواص بسیار نزدیکی بهم نشان می‌دهند. در محاسبه ضریب آلکالی نمونه‌ها، جمع درصد‌های K_2O+Na_2O در تمامی نمونه‌ها بین ۶-۶/۵ بوده و از مقدار $0.37SiO_2-14.24$ کمتر می‌باشد که با معیار معرفی شده هماهنگ است. در محاسبه ضریب

جدول ۵. شاخص‌های اولیه ژئوشیمیایی پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان

| ردیف | نوع شاخص | رابطه شیمیایی |
|------|---|--|
| ۱ | میزان سیلیس (Silica index) | SiO_2 بین ۷۰-۵۰ درصد |
| ۲ | ضریب اشباع از آلومینیم (Alumina Saturation index) | $Al_2O_3 / (K_2O+Na_2O) = 1-4 \text{ mol}$ $Al_2O_3 / (CaO+Na_2O+K_2O) = 0.5-1.5 \text{ mol}$ |
| ۳ | ضریب آلکالی (Alkali index) | $Na_2O+K_2O < 0.37SiO_2-14.24$ |

جدول ۶. مقدار سیلیس و محاسبه ضریب اشباع از آلومینیم در ۱۰ گرم ماده اولیه و ضریب آلکالی نمونه‌ها جهت مقایسه با معیارهای معرفی شده در جدول ۴.

| شماره نمونه | میزان سیلیس | ضریب اشباع از آلومینیم | | ضریب آلکالی | |
|-------------|-------------|------------------------|-------|--------------|-------------------|
| | | (۱) | (۲) | Na_2O+K_2O | $0.37SiO_2-14.24$ |
| MP1 | ۶۹/۴۱ | ۱/۵۱۱ | ۰/۹۸۲ | ۶/۵۲ | ۱۱/۴۴ |
| MP2 | ۶۴ | ۲/۱۲۴ | ۱/۲۸۱ | ۶/۰۰ | ۹/۴۴ |
| MP3 | ۶۷/۱۹ | ۱/۶۹۸ | ۱/۰۲۳ | ۶/۶۱ | ۱۰/۶۲ |
| MP4 | ۶۶/۰۹ | ۱/۷۶۵ | ۱/۰۳۶ | ۶/۴۵ | ۱۰/۲۱ |
| MP5 | ۶۶/۲۱ | ۱/۷۸۷ | ۱/۰۳۳ | ۶/۴۵ | ۱۰/۲۵ |



شکل ۶. نمودار تغییرات نسبت مولی $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ به $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$ ، سنگ‌های دهگلان (مثلت سبز)، در ایران (لوزی بزرگ)، سایر کشورهای جهان (دایره) بر اساس داده‌های شکل ۴.

میزان خاصیت پوزولانی و مقایسه آن با سایر نمونه‌های مورد استفاده در سایر نقاط جهان باشد.

نمونه MP3 با فعالیت پوزولانی ۴۹/۳۶ دارای کیفیتی ممتاز برای استفاده به عنوان مواد افزودنی به سیمان است. این نتیجه با توجه به شباهت ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی این نمونه نماینده با کل واحد، می‌تواند در مورد کل واحد خاکستر دهگلان مورد پذیرش قرار گیرد.

وجود پوزولان طبیعی با کیفیت خوب در منطقه دهگلان می‌تواند به توسعه استفاده از سیمان پوزولانی در انجام طرح‌های عمرانی استان کردستان منجر شود.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های برداشت‌های صحرایی و نمونه‌برداری توسط معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید بهشتی و آزمایش تعیین میزان قابلیت پوزولانی توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام شده است که بدینوسیله از حمایت آن‌ها تشکر می‌نمائیم.

منابع

- باباخانی، ع. ر.، ۱۳۸۶. پوزولان‌ها و کاربرد آنها در صنعت سیمان و چگونگی گسترش آنها در کشور، مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۲.
- حسینی، م.، ۱۳۷۹، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیجار، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خاکزاد، ا.، و گلبهاری، ا.، ۱۳۷۸. بررسی توف‌های پوزولانی اطراف کوه دماوند. دوازدهمین همایش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رحیم‌زاده، ب.، ۱۳۸۸. پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شرق قزوین با نگرشی بر امکان وجود پوزولان، دانشگاه شهید بهشتی،

(لیتیک‌ها) تاثیر منفی در کیفیت پوزولان‌های طبیعی دارند (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

در سنگ‌های دهگلان میزان بلورها بالا است (شکل ۲) و اندازه بلورها نیز نسبتاً بزرگ است، ولی فاکتور تخلخل نیز در واحدهای پوزولانی دهگلان بالا است. ترکیب شیشه یعنی ماده تبلور نیافته در خمیره سنگ می‌تواند سیلیسی یا فلدسپاتی باشد. شیشه با ترکیب سیلیسی باعث افزایش خاصیت پوزولانی می‌شود در حالی که شیشه با ترکیب فلدسپاتی چنین اثری ندارد. نوع شیشه می‌تواند در میزان SiO_2 مشخص شده در تجزیه شیمیایی سنگ منعکس شود. به این معنی که اگر مقدار سیلیس سنگ شیشه‌دار بالا باشد، الزاماً بخش زیادی از شیشه ترکیب سیلیس داشته و باعث افزایش خاصیت پوزولانی می‌شود. بلورها هر چه کمتر و ریزدانه‌تر باشند، خاصیت پوزولانی بالاتر است (Shi and Day, 2000 و Shi, 2001). شیشه سیلیسی در این واحدها بیشتر از شیشه فلدسپاری است. این مسئله در بررسی‌های پتروگرافی (مقایسه کاندوبالزام با خمیره) و نتایج XRD و نورم کانی‌ها آشکار است. با توجه به این مشاهدات و با توجه به نتیجه بسیار مطلوب ترموگراویمتری، می‌توان گفت که دو عامل تخلخل و وجود شیشه با نورم کوارتزی در این سنگ‌ها بسیار مهم‌تر از عواملی همچون اندازه دانه‌ها و میزان بلور در سنگ است.

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های پتروگرافی در تعیین خواص پوزولانی بسیار با اهمیت است. تاثیر هرکدام از ویژگی‌های پتروگرافی نیز در مقایسه با دیگری متفاوت است بطوریکه در پوزولان‌های دهگلان میزان بالای تخلخل و مقدار بالای شیشه سیلیسی در مقابل اندازه دانه‌ها و میزان بلورها تاثیرگذارتر است. استفاده از تغییرات نسبت مولی به‌عنوان معیاری که اغلب درصد‌های اکسیدی سنگ‌ها را شامل می‌شود، می‌تواند بیانگر

- Habert, G., Choupay, N., Montel, J.M., Guillaume, D., and Escadeillas, G., 2008. Effects of the secondary minerals of the natural pozzolans on their pozzolanic activity. *Cement and Concrete Research*, 38, 963-975.
- Hossain, K.M.A., 2005. Correlations between porosity, chloride diffusivity and electrical resistivity in volcanic pumice-based blended cement pastes. *Advances in Cement Research*, 17, 29-37.
- Irassar, E.F., Gonzalez, M., and Rahhal, V., 2000. Sulfate resistance of type V cements with limestone filler and natural pozzolan. *Cement and Concrete Composites*, 22, 361-368.
- Khandaker M., and Hossain, A., 2003. Blended cement using volcanic ash and pumice. *Cement and Concrete Research*, 33, 1601-1605.
- Khandaker, M., and Hossain, A., 2005. Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete. *Cement and Concrete Composites*, 27, 381-390.
- Le Bas, M.J., 1986. The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science*, 26, 265-288.
- Liebig, E., and Althaus, E., 1998. Pozzolanic activity of volcanic tuff and suevite: effects of calcinations. *Cement and Concrete Research*, 28, 567-575.
- Massazza, F., 1974. "Principal Paper, Chemistry of Pozzolanic Additions and Mixed Cements", Proc. 6th International Congress on the Chemistry of Cements, Moscow.
- Moropoulou, A., Bakolas, A., and Aggelakopoulou, E., 2004. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. *Thermochemica Acta*, 420, 135-140.
- Muhammad, I.Kh., and Alhozaimy, A.M., 2005. Performance of Concrete utilizing the natural pozzolanic material available in the Kingdom of Saudi Arabia, King Saud University College of Engineering Research Center. Final Research Report No. 423 / 33.
- Peccerillo, A., and Taylor, S. R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63-81.
- Ramezani-pour, A.A., 1987. "Engineering properties and morphology of pozzolanic cement concrete" PhD Thesis, University of Leeds, 359.
- رحیم‌زاده، ب.، مسعودی، ف.، فاطمی عقدا، س. م.، پرهیزکار، ط. و پورخورشیدی، ع.، ۱۳۹۰. بررسی ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمی واحدهای ولکانیکی شرق قزوین با هدف تعیین واحدهای مناسب جهت استفاده به عنوان پوزولان طبیعی. فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (زیرچاپ).
- رمضان‌پور، ع. ا. و پیدایش، م.، ۱۳۷۶. دوام بتن و نقش سیمان‌های پوزولان. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- سرتیپی، ه. ا.، ۱۳۸۴. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سنندج. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شکرچی زاده، م.، لیبیر، ن. ع. و امدادی، آ.، ۱۳۸۷. بتن سبک‌دانه. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۴۱۵.
- فنودی، م. و صدیقی، ا.، ۱۳۸۴. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیجار. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قریشوندی، ح.، ۱۳۸۹. پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین شمال شرق سمنان با نگرشی بر امکان وجود پوزولان. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی.
- قلمقاش، ج. و خضری، م.، ۱۳۸۴. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیجار. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مسعودی، ف.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی منابع پوزولان البرز مرکزی جهت جایگزینی در سیمان‌های آمیخته، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- معین وزیری، ح.، ۱۳۷۵. دیباچه ای بر ماگماتیسم ایران. انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۳۷۴.
- مقصودی، ع. ا. و احمدی‌مقدم، ح.، ۱۳۸۶. بررسی جمع‌شدگی بتن حاوی سیمان آمیخته با پوزولان. همایش ملی زلزله و مقاومت‌سازی ساختمان، دانشگاه امیرکبیر.
- ملکوتیان، س.، وثوقی عابدینی، م.، قربانی، م. و حق‌نظر، ش.، ۱۳۸۶. شواهد ایزوتوپی از پوسته قاره‌ای در سنگ‌های بازیک کواترنری محور قروه-تکاب. فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Ahmet, C., and Yetgin, S., 2007. Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on cement, some chemical and mechanical relationships. *Construction and Building Materials*, 21, 2066-2071.
- Boccaletti, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Motamed, A., Pasquare, G., Radicati, F. di Brozolo and Amin Sobhani, E., 1977. Neogene and Quaternary volcanism of the Bijar Area (Western Iran), *Bulletin of Volcanology*, 40-2, 1976-77.
- Colak, A., 2003. Characteristics of pastes from a Portland cement containing different amounts of natural pozzolan. *Cement and Concrete Research*, 33, 585-593.

- Rodriguez-Camacho, R.E. and Uribe-Afif, R., 2002. "Importance of using the natural pozzolans on concrete durability" *Cement and Concrete Research*, 32, 1851–1858.
- Shi, C., 2001. "An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans" *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28, 778-786.
- Shi, C., and Day, R.L., 2000. Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators: Part II. Reaction products and mechanism. *Cement and Concrete Research*, 30, 607–613.
- Shi, C.; Krivenko, P.V. and Roy, D., 2006. "Alkali – Activated Cement and Concrets" Taylor & Francis, 376.
- Turanli L., Uzal, B., and Bektas F., 2005. Effect of large amounts of natural pozzolan addition on properties of blended cements. *Cement and Concrete Research*, 35, 1106– 1111.
- Uzal, B., and Turanli L., 2003. Studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans. *Cement and Concrete Research*, 33, 1777–1781.

Archive of SID