بررسی ویژگی های سنگ‌نگاری و ژئوشیمی واحدهای آتشفشانی خاور قزوین با هدف تعیین واحدهای مناسب برای استفاده به عنوان پوزولان طبیعی

بهمن رحیم‌زاده [۱*]، فریبرز مسعودی[۲]، سید محمود فاطمی عقدا [۳]، طیبه پرهیزکار [۴] و علیرضا پورخورشیدی [۵]

[۱]دانشجوی دکتری، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲]دانشیار، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳]دانشیار، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی (دانشگاه تربیت معلم سابق)، و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران
[۴] استادیار، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران
[۵] کارشناس‌ارشد، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۲۶

چکیده

در شمال محور آبیک- قزوین واحدهای آتشفشانی متنوعی شامل اولیوین‌بازالت، بازالت، آندزی‌بازالت، داسیت، تراکی‌آندزیت و توف‌های همراه، با سن ائوسن تا پلیوکواترنر رخنمون دارند. به منظور یافتن ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌نگاری تأثیرگذار در کیفیت پوزولان، فعالیت پوزلانی ۵ نمونه از سنگ‌های مختلف منطقه در آزمایشگاه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن مطالعه شد. این نمونه‌ها در این آزمایشگاه خردایش و بر روی آنها آزمایش‌های تعیین فعالیت پوزولانی با استفاده از روش ترموگراویمتری انجام شد. واحدهای توفی با بافت شیشه‌ای کم و بیش سالم با فعالیت پوزولانی ۲۶/۸۳ درصد مناسب‌ترین نتیجه، واحدهای توفی به نسبت دگرسان و واحد داسیتی با فعالیت پوزولانی ۲۱ تا ۲۴ درصد و در رده متوسط تا خوب قرار می‌گیرند. توف‌های لیتیک‌دار فعالیت پوزولانی ۱۹/۷۰ درصد دارند و در رده ضعیف قرار می‌گیرند. بنابراین در منطقه به طور کلی واحدهای توفی شیشه‌ای بدون دگرسانی و داسیت‌ها، برای استفاده به عنوان پوزولان مناسب و واحدهای با دگرسانی بالا و لیتیک‌دار بدون کیفیت پوزولانی هستند.

کلیدواژه‌ها: آبیک- قزوین، آتشفشانی، پوزولان، ترموگراویمتری، فعالیت پوزولانی

***نویسنده مسئول:** بهمن رحیم‌زاده
E-mail: B.Rahimzade59@gmail.com

۱- مقدمه

از گذشته‌های بسیار دور در روم و ایران باستان از واحدهای آتشفشانی به عنوان پوزولان استفاده شده است (باباخانی ۱۳۸۳). از آنجا که استفاده از پوزولان طبیعی بهترین روش برای ساخت بتن سبک با توجه به کیفیت و هزینه است، می‌توان با بهره‌گیری از پتانسیل‌های موجود در کشور، تولید سیمان‌های آمیخته توسط پوزولان را گسترش داد. اضافه کردن مواد پوزولانی به بتن، به شکل افزودنی به سیمان و بتن، خواص مهندسی بتن به ویژه خواص مکانیکی و دوام را بهبود می‌بخشد (مقصودی و احمدی‌مقدم، ۱۳۸۶).

مواد پوزولانی در ترکیب با کربنات‌کلسیم و آب خاصیت گیرشی از خود بروز می‌دهند. وجود شیشه بی‌شکل در پوزولان‌ها باعث خاصیت گیرشی می‌شود که مهم‌ترین دلیل استفاده از پوزولان در صنعت سیمان به عنوان ماده اولیه است. خواص کلی افزودن پوزولان به سیمان پورتلند توسط منابع علمی بسیاری بیان شده است (رمضانیان‌پور و پیدایش، ۱۳۷۶؛ مقصودی و احمدی‌مقدم، ۱۳۸۶؛ و Massazza, 1974; Ramezanianpour, 1987; Shi et al., 2006). مهم‌ترین آنها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی (کاهش گازهای مضر و کاهش مصرف انرژی)، کاهش نفوذپذیری و دمای هیدراسیون، افزایش مقاومت شیمیایی، بهبود ویژگی‌های بتن تازه و افزایش مقاومت آن در درازمدت. افزون بر موارد یاد شده، استفاده از پوزولان دارای منافع اقتصادی بسیاری است و قیمت تمام شده و انرژی استفاده شده در تولید سیمان را نیز کاهش می‌دهد (Mehta, 1989; Shannag & Yeğinobalı, 1995).

در خاور قزوین مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی متنوع رخنمون دارند و با توجه به نزدیکی آنها به بازار مصرف (کارخانه‌های سیمان آبیک و لوشان) در این پژوهش فعالیت پوزولانی واحدهای آذرین بررسی شده است. در این راستا از تمام واحدهای دوران سنوزوییک موجود در منطقه نمونه‌برداری شد. پس از تهیه مقطع نازک و مطالعه آنها ۱۶ نمونه در دانشگاه تربیت معلم به شیوه XRF تجزیه شدند. پس از آن با توجه به بررسی خواص سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی ۵ نمونه در آزمایشگاه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای آزمایش تعیین فعالیت پوزولانی با استفاده از روش ترموگراویمتری آزمایش شدند. رفتار حرارتی ۵ نمونه پیشنهاد شده برای تولید پوزولان، با استفاده از دستگاه STA-449 C، مارک Netzsch، مدلJupiter مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل، واحدهای سنگی بر حسب فعالیت پوزولانی تفکیک و معرفی شدند.

۲- زمین‌شناسی

در خاور قزوین واحدهای آتشفشان متنوعی از بازیک تا اسیدی شامل اولیوین بازالت، بازالت، آندزی‌بازالت، تراکی‌آندزیت، داسیت، توف و آذرآواری‌های همراه، با سن ائوسن تا پلیوکواترنر رخنمون دارند (شکل ۱).

فوران سنگ‌های آتشفشانی منطقه را می‌توان در دو مرحله در نظر گرفت اول سنگ‌هایی که در یک محیط دریایی کم ژرفا به همراه اندکی رسوبات فوران کرده‌اند (آسیابانها، ۱۳۸۰). بیشتر سنگ‌های این مرحله، اسیدی به سن ائوسن و بیشتر توف‌های سبز اسیدی هستند. مرحله دوم شامل سنگ‌های حدواسط تا بازیک و جوان‌تر از ائوسن است که در محیط خشکی فوران یافته‌اند. سنگ‌های مرحله دوم شامل اولیوین‌بازالت، بازالت، آندزی‌بازالت، تراکی‌آندزیت و ریوداسیت هستند که آندزیت‌ها بیشترین رخنمون را در منطقه دارند.

۳- سنگ‌نگاری نمونه‌های مورد مطالعه

به دلیل تنوع سنگی، بافت در سنگ‌های منطقه متنوع، اما بافت چیره پورفیری است. از دیگر بافت‌ها می‌توان بافت‌های گلومروپورفیری، ویتروپورفیری و تراکیتی را در گدازه‌ها و بافت‌های پیروکلاستیک و ویتریک را در آذرآواری‌های منطقه نام برد. باتوجه به ویژگی‌های مهم بررسی شده در مطالعات پژوهشگران، از میان سنگ‌های معرفی شده در منطقه مورد مطالعه توف‌ها و آذرآواری‌ها مستعدترین واحدها برای استفاده به عنوان پوزولان هستند. این سنگ‌ها در مناطق مختلف ناحیه

مورد مطالعه بررسی شدند و از میان آنها ۵ نمونه برای آزمایش سیمان انتخاب شد. ویژگی‌های سنگ‌نگاری واحدهای انتخاب شده به طور خلاصه در جدول ۱ و تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها در شکل ۲ آمده است.

۴- ژئوشیمی

واحدهای اصلی منطقه به روش XRF در دانشگاه تربیت معلم تجزیه شدند (جدول ۲). تجزیه شیمیایی انجام شده نیز نشان‌دهنده وجود طیف گسترده‌ای از سنگ‌های بازیک تا اسیدی در منطقه است. با توجه به نمودارهای ژئوشیمیایی، سرشت سنگ‌های منطقه ساب‌آلکالن تا آلکالن با چیرگی کالکوآلکالن پتاسیم بالا و تعدادی شوشونیتی است. نمودارهای عناصر خاکی کمیاب غنی‌شدگی بالا در عناصر کمیاب سبک (Cs, Rb, Th, K, Pb) در مقابل غنی‌شدگی اندک در عناصر کمیاب سنگین و متوسط (Nb, Ti, Yb, La, Ce) نشان می‌دهند. تهی‌شدگی Ta, Nb و غنی‌شدگی LREE ها بیشتر با مناطق کوهزایی و حاشیه فعال قاره شباهت دارد، و این ویژگی‌ها بیشتر با فعالیت آتشفشانی حاصل از مناطق فرورانشی قاره- اقیانوس تطابق دارد (پناهی، ۱۳۷۵؛ کلانتری، ۱۳۸۳ و رحیم‌زاده، ۱۳۸۸).

۵- نتایج فعالیت پوزولانی نمونه‌های پوزولان به روش ترموگراویمتری

با استفاده از روش وزن‌سنجی حرارتی (TG – DTG)، فعالیت پوزولانی قابل اندازه‌گیری است. این روش بر پایه تجزیه حرارتی بلورهای هیدروکسیدکلسیم به اکسیدکلسیم و آب در دمای بیشتر از ۴۰۰ درجه سیلسیوس انجام می‌شود. خارج شدن مقدار آب مربوط به هیدروکسیدکلسیم باقی‌مانده که به صورت یک قله مشخص می‌شود، بیانگر میزان آهک جذب نشده توسط پوزولان است. افت وزن، ناشی از تبخیر آب در محیط است که در پوزولان‌های با فعالیت بالا، کم و در پوزولان‌های با فعالیت پایین، زیاد است. بر اساس تجربیات به دست 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 کرد. فعالیت پوزولانی نمونه‌های مورد مطالعه با این روش در جدول ۳ و نمودار حرارتی نمونه شماره R89 با فعالیت پوزولانی خوب برای مثال در شکل ۳ ارائه شده است. بنابراین، درصد سیلیس به تنهایی نمی‌تواند شاخصی برای تعیین میزان کیفیت سنگ‌ها به منظور کاربرد آنها به عنوان پوزولان باشد. وجود استانداردهای شیمیایی گوناگون و متفاوت جهانی نیز گویای آن است که درصد اکسیدهای دیگر نیز معیار خوبی برای تعیین کیفیت پوزولانی سنگ‌ها نیست.

۶- بحث

۶-۱. ویژگی‌های شیمیایی

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان کشورهای مختلف دارای تنوع شیمیایی زیادی هستند. هر چند میزان فعالیت پوزولانی با افزایش سیلیس به صورت آمورف (شیشه) افزایش می‌یابد (Rodriguez-Camacho & Uribe-afif, 2002)، اما آتشفشان‌های با ترکیب متوسط نیز در بسیاری کشورها از جمله ایران (تفتان)، مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور تعیین محدوده میزان سیلیس پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان، درصد SiO_2 پوزولان نسبت به میزان کلسیم آن در نموداری رسم شد (شکل۴). میزان SiO_2 آنها بین کمتر از ۴۵ درصد تا بیش از ۷۰ درصد متغیر است. این در حالی است که در ایران پوزولان‌ها بیشتر دارای SiO_2 بالاتر از ۶۲ درصد هستند. تنها پوزولان تفتان که یکی از شناخته‌ترین پوزولان‌های ایران است مقدار SiO_2 کمتر از ۶۰ درصد دارد. بنابراین 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.

اما در پژوهشی که در مورد سنگ‌های آذرین البرز مرکزی انجام شد (طرح دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۹)، مشخص شد که پوزولان‌های طبیعی از ماگماهای با ویژگی‌های مشخصی به وجود می‌آیند. پوزولان‌های طبیعی بیشتر از ماگماهای ساب‌آلکالن به وجود می‌آیند و دارای ضریب اشباع از آلومینیم مشخص هستند. میزان سیلیس آنها نیز بسیار متنوع است. بر مبنای پژوهش یاد شده، جدول ۴ 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 تأثیر این تغییرات بر ویژگی‌های پوزولان نیاز به مطالعه بیشتری دارد.

نمونه‌های مورد بررسی در مقایسه با معیارهای بالا دارای همپوشانی کامل هستند. از ۵ نمونه مورد آزمایش، ۳ نمونه در ردیف سنگ‌های اسیدی و ۲ نمونه در ردیف سنگ‌های حدواسط قرار می‌گیرند. پایین بودن درصد سیلیس در نمونه‌های حدواسط بویژه نمونه R17 در نتیجه آزمایش سیمان بیشتر نمود پیداکرده و تأثیر منفی کمبود سیلیس را نشان داده است. ضریب اشباع از آلومینیم در فرمول ۱ از ۱/۱ تا ۲/۸۴ و در فرمول ۲ از ۰/۸۶ تا ۱/۴۵ متغیر است. در فرمول دوم با افزایش مقدار نسبت مول، کیفیت پوزولانی نیز افزایش می‌یابد. در محاسبه ضریب آلکالی نمونه‌ها، جمع درصدهای $K_2O+ Na_2O$ در تمامی آنها کمتر از مقدار (0.37 SiO_2-14.24) و با معیار معرفی شده هماهنگ است. در محاسبه ضریب آلکالی مشاهده می‌شود هرچه اختلاف دو طرف علامت " > " بیشتر باشد کیفیت پوزولان مناسب‌تر است. برای مثال نمونه R89 بیشترین اختلاف و نمونه R17 کمترین اختلاف را در ضریب آلکالی داشته‌اند که به ترتیب این نمونه‌ها دارای بیشترین و کمترین کیفیت پوزولانی هستند (جدول ۵). در مجموع از ۳ معیار محاسبه شده به استثنای فرمول اول نمونه R17 کمترین مقدار و نمونه R89 بالاترین مقدار را دارند.

مقدار سیلیس و ضریب اشباع از آلومینیم در ۱۰۰گرم ماده اولیه و ضریب آلکالی برای مقایسه با معیارهای معرفی شده در جدول ۴ ، در جدول ۵ آورده شده‌اند.

۶-۲. ویژگی‌های سنگ‌نگاری

استانداردهای زیادی در کشورهای مختلف در معرفی معیارهای شیمیایی پوزولان ارائه شده است (ASTM, DIN, China, Turkye). با وجود این همان گونه که در بحث ژئوشیمی دیده شد، سنگ‌هایی با شیمی متفاوت از بازیک تا اسیدی، در نقاط مختلف جهان به عنوان پوزولان استفاده شده اند. بسیاری از سنگ‌های درونی متوسط تا اسیدی می‌توانند ویژگی‌های ژئوشیمیایی منطبق با این استانداردها را دارا باشند، اما این سنگ‌ها برای پوزولان مناسب نیستند. بنابراین، برای مناسب بودن یک واحد سنگی برای استفاده در صنعت سیمان، افزون بر ویژگی شیمیایی یک سنگ، ویژگی‌های سنگ‌نگاری آن نقش اصلی داشته و عامل اصلی تعیین کننده خاصیت پوزولانی است.

در مقاطع سنگی، دو بخش خمیره و بلورها بررسی شده‌اند. در بخش خمیره درصد شیشه به‌ویژه شارد بسیار مهم است. ترکیب شیشه یعنی ماده تبلور نیافته در خمیره سنگ می‌تواند سیلیس یا فلدسپاری باشد. شیشه با ترکیب سیلیسی باعث افزایش خاصیت پوزولانی می‌شود در حالی که شیشه با ترکیب فلدسپاری چنین اثری ندارد. نوع شیشه می‌تواند از میزان SiO_2 مشخص شده در تجزیه شیمیایی سنگ تعیین شود. به این معنی که اگر مقدار سیلیس سنگ شیشه‌دار بالا باشد، بخش زیادی از شیشه ترکیب سیلیس دارد که باعث افزایش خاصیت پوزولانی می‌شود. هرچه بلورها کمتر

و ریزدانه‌تر باشند، خاصیت پوزولانی بالاتر است (Shi & Day, 2000 و Shi, 2001). نمونه R89 دارای بیشترین خمیره و کمترین بلور و ریزدانه‌تر از دیگر سنگ‌هاست. از طرفی کمترین هوازدگی بر آن حاکم شده است و در آزمایش STM که تعیین کننده کیفیت پوزولانی است، کیفیت خوبی دارد (جدول ۵). نمونه R32 دارای شارد فراوان است، اما هوازدگی خمیره و افزایش تعداد و اندازه بلورهای پلاژیوکلاز در جهت وارون کیفیت عمل کرده‌اند. نمونه R14 دارای خمیره شیشه‌ای بیشتر فلدسپاری (باتوجه به مقدار در SiO_2 در جدول ۵) فراوان و تعداد کمی بلور است. از طرفی خمیره مقداری هوازده و بلورهای آن درشت‌دانه است. نمونه R24 دارای خمیره شیشه‌ای کم و تقریباً هوازده است. از طرفی اندازه دانه‌ها ریز و گاه دارای زئولیت هستند. سه نمونه بیان شده، کیفیتی متوسط دارند. نمونه R17 با خمیره کاملاً تبلور دوباره یافته و تشکیل بلورهای کوارتز ثانویه، دارای کیفیت پوزولانی ضعیف است (جدول ۶).

۷- فعالیت پوزولانی واحدهای سنگی خاور قزوین

نمونه پوزولان R89 با فعالیت پوزولانی ۲۶/۸۳ به روش ترموگراویمتری با بهترین نتیجه دارای کیفیت عالی است و در اولویت اول برای استفاده در سیمان‌های آمیخته قرار می‌گیرد. نمونه‌های R14، R24، R32 با فعالیت پوزولانی ۲۱ تا ۲۴ در رده متوسط قرار می‌گیرند و نمونه R17 دارای فعالیت پوزولانی ۱۹/۷۰ بوده و در رده ضعیف قرار گرفته است.

با توجه به بررسی اطلاعات موجود در منطقه مورد مطالعه، مناطق مستعد بر حسب اولویت به شرح زیر در نظر گرفته شد.

۱-واحد توف مخفی بلورین (کریپتوکریستالین) در خاور روستای تیخور، کهوانک و وندر توف دارای لایه‌بندی (نمونه R89).

۲-واحد داسیتی در بین روستای زرجه بستان تا خاور روستای اباذر (نمونه R32).

۳-توف‌های آندزیتی نزدیک به روستای فالیزان و روستای کاواندج (نمونه R14).

۴-توف آذرآواری در خاور روستای وندر (نمونه R24).

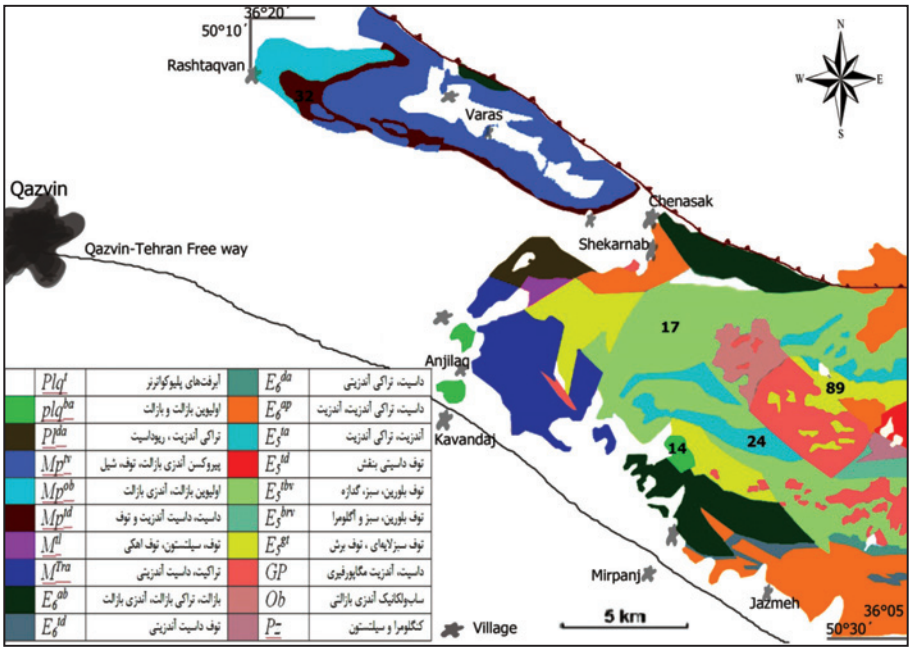
۸- نتیجه‌گیری

در منابع علمی موجود، استانداردهای معرفی شده برای انتخاب سنگ‌ها به عنوان پوزولان طبیعی بیشتر بر مبنای محدودیت‌هایی بر میزان درصد اکسیدهای سازنده آن است. این در حالی است که درصد اکسیدهای اصلی نمی‌تواند به تنهایی در انتخاب سنگ‌ها به عنوان پوزولان استفاده شود. به نظر می‌رسد که نوع ماگما و یا ضریب اشباع از آلومینیم می‌توانند به عنوان معیارهای جدید ژئوشیمیایی استفاده شوند. افزایش میزان Si، باعث افزایش خاصیت پوزولانی خواهد شد. در سنگ‌های دارای شیشه با درصد سیلیس بالا، ترکیب شیمیایی شیشه بیشتر سیلیس خواهد بود که عامل مثبت در کیفیت پوزولان است. در حالی که در سنگ‌های دارای درصد سیلیس پایین، ترکیب شیشه بیشتر فلدسپاری است که تأثیری در افزایش کیفیت پوزولان ندارد.

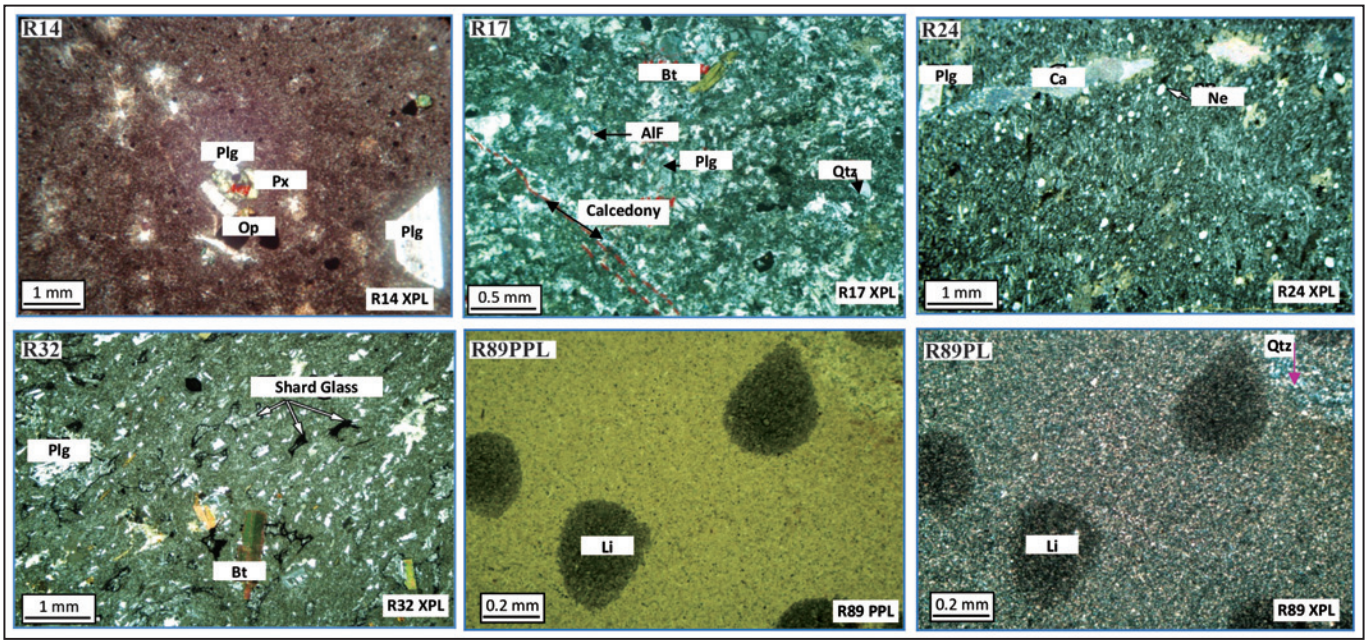
بافت سنگ‌های آذرین که گویای شرایط فیزیکی در هنگام تشکیل سنگ است، اهمیت بسیار زیادی در تعیین خاصیت پوزولانی آن دارد. از این‌رو به همراه بررسی شیمی سنگ‌های آذرین باید ویژگی‌های بافتی آنها نیز مطالعه شود تا بتوان مناسب بودن سنگ برای مصرف به عنوان پوزولان را تعیین کرد.

افزایش حضور فاز شیشه سیلیسی و شاردهای شیشه‌ای، کاهش اندازه ذرات، کاهش مقدار بلورها و افزایش زئولیت، از مهم‌ترین عوامل سنگ‌نگاری تأثیرگذار در بالا بردن میزان کیفیت پوزولان هستند. دگرسانی غیر زئولیتی، تبلور دوباره، افزایش میزان بلورها و افزایش اندازه ذرات (لیتیک‌ها) تأثیر منفی در کیفیت پوزولان‌های طبیعی دارند. بررسی نمونه‌های آزمایش شده درستی نتایج به دست آمده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

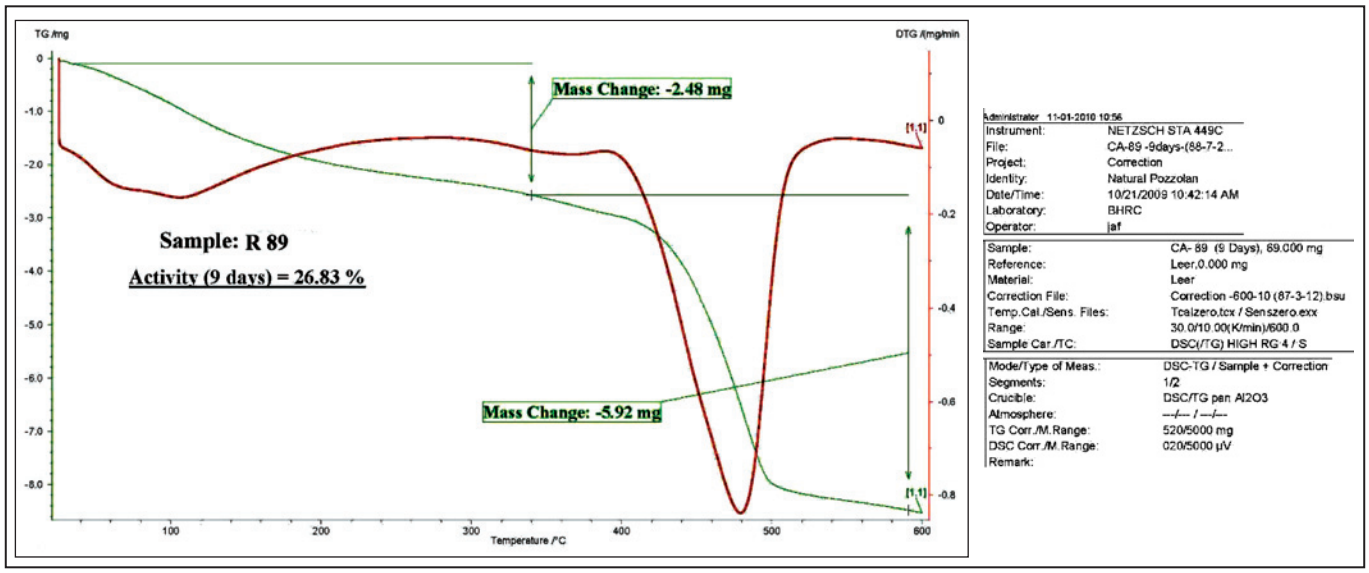
با توجه به تطبیق خوب معیارهای یافت شده و درصد فعالیت پوزولانی به روش ترموگراویمتری، روش یاد شده روشی کارا در تعیین فعالیت پوزولانی است. بررسی نمونه‌های سنگی برداشت شده از واحدهای توفی سالم نشان داد که این توف‌ها، فعالیت پوزولانی خوبی دارند و در منطقه مورد مطالعه توف‌های کریپتوکریستالین ائوسن، بیشترین پتانسیل برای استفاده به عنوان پوزولان را دارند.



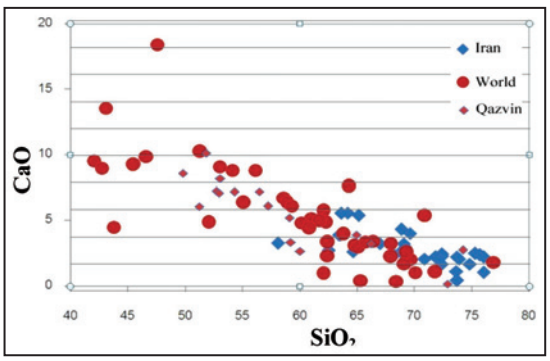
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ قزوین (رادفر ۱۳۸۰) با مختصری اصلاحات)، موقعیت نمونه‌های مورد آزمایش روی نقشه مشاهده می‌شود.



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های مطالعه شده، نمونه R14 کریستالین توف، نمونه R17 تراکیت با تبلور دوباره، نمونه R24 گدازه‌های نفلین‌دار، نمونه R32 داسیت با شاردهای شیشه‌ای، نمونه R89 توف لیتیک‌دار. بیوتیت =Bt، پلاژیوکلاز=Plg، کوارتز=Qtz، کلسیت=Ca، قطعات سنگی (لیتیک)=Li، کانی‌های تیره=Op، آلکالی فلدسپار=AlF، نفلین=Ne، شارد= Shard Glass



شکل ۳- منحنی تجزیه حرارتی نمونه R89 با استفاده از دستگاه STA.



شکل ۴- تغییرات درصد SiO_2 در برابر درصدCaO پوزولان‌های مصرفی در ایران (لوزی‌های بزرگ)، دیگر کشورهای جهان (دایره‌ها) و درصد سنگ‌های خاور قزوین (لوزی‌های کوچک).

جدول ۱- خلاصه سنگ‌نگاری نمونه‌های انتخاب شده برای آزمایش سیمان.

شماره نمونه	واحد	سنگ‌شناسی	خصوصیات بافتی
R14	توف آندزیتی	درشت‌بلور: پلاژیوکلاز (۵٪) پیروکسن(۵٪) زمینه: شیشه و خمیره کریپتوکریستالین (۵۰٪) میکرولیت (۳۵٪) کدر(۵٪)	آذرآواری
R17	توف لیتیک‌دار بلورین ائوسن	درشت‌بلور: پلاژیوکلاز (۱۰٪) بیوتیت (۲٪) زمینه: شیشه (۳۳٪) میکرولیت (۴۰٪) کدر(۵٪) کوارتز (۱۰٪)	بافت کلاستیک و توف شیشه‌ای- بلورین اسیدی با کریستالو کلاستیک
R24	تراکی‌آندزیت آذرآورای ائوسن	شیشه (۵۰٪) میکرولیت(۴۰٪) کدر(۵٪) کلیست (۵٪)	بافت پورفیری در زمینه میکرولیتی
R32	داسیت شاردار میو پلیوسن	درشت‌بلور: پلاژیوکلاز (۵٪) بیوتیت (۵٪) زمینه: شیشه (۲۰٪) میکرولیت (۳۰٪) کدر(۵٪) کوارتز(۵٪) شارد (۳۰٪)	میکرولیتی جریانی
R89	توف ائوسن	زمینه حاوی ۹۰٪ خمیره کریپتوکریستالین و پلاژیوکلاز ۱۰٪ است	میکرولیتی قطعات خرده سنگی با زمینه همجنس است

جدول ۲- تجزیه عناصر اصلی (برحسب درصد) نمونه‌های منطقه با روش XRF

S.N	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5
R14	59.07	15.62	8.72	5.42	0.82	2.78	3.76	0.13	1.29	0.52
R16	74.20	13.05	2.57	3.01	0.47	2.27	4.88	0.04	0.27	0.06
R17	57.18	17.01	7.48	6.28	3.29	3.21	2.81	0.14	0.92	0.30
R21	56.44	16.13	7.62	7.34	2.82	2.77	2.86	0.11	0.58	0.32
R23	59.98	15.58	4.26	2.91	3.49	4.83	3.02	0.08	0.85	0.19
R24	64.88	15.10	2.27	4.13	0.90	3.54	2.98	0.08	0.46	0.10
R27	59.16	14.85	7.54	3.59	2.09	2.75	4.99	0.08	1.30	0.50
R28	52.70	18.55	7.55	7.42	4.34	3.09	3.54	0.15	1.05	0.44
R30	51.21	14.78	9.22	6.25	7.45	2.14	3.57	0.10	0.81	
R32	72.81	12.81	1.81	0.49	0.51	2.06	7.07	0.1	0.28	0.12
R33	49.76	15.06	8.90	8.67	7.57	2.34	2.85	0.08	0.83	
R34	54.28	16.48	8.27	7.33	4.93	2.36	2.40	0.24	1.02	0.30
R35	51.80	15.21	9.63	10.18	3.27	2.48	1.98	0.12	0.93	0.40
R36	52.89	16.35	8.54	7.26	4.01	3.43	2.46	0.16	1.42	0.59
R37	53.02	15.55	8.18	8.29	3.24	3.28	2.81	0.11	1.20	0.80
R89	66.15	18.84	1.71	3.49	1.58	2.32	2.64	0.07	0.47	0.06

جدول ۳- ویژگی‌های نمونه‌های انتخابی و نتایج حاصل از آزمایش‌ها

نمونه	سنگ‌شناسی	سن	محل	درصد فعالیت پوزولانی	کیفیت
R14	توف آندزیتی	ائوسن	خاور فالیزان	۲۱/۴۱	متوسط
R17	توف کریستالی لیتیک‌دار	ائوسن	جنوب وندر	۱۹/۷	ضعیف
R24	پیروکلاستیک توف	ائوسن	خاور تیخور	۲۴/۲۹	متوسط
R32	توف داسیتی شاردار	میوپلیوسن	زرجه بستان	۲۴/۲۹	متوسط
R89	توف کریپتوکریستالین	ائوسن	شمال کهوان	۲۶/۸۳	خوب

جدول ۴- شاخص‌های اولیه ژئوشیمیایی پوزولان‌های مصرفی در صنعت سیمان

ردیف	نوع شاخص	رابطه شیمیایی	
۱	میزان سیلیس (Silica index)	SiO_2 بین ۷۰-۵۰ درصد	- سنگ‌های حد واسط (Intermediate) SiO_2 بین ۵۲- ۶۳ درصد - سنگ‌های اسیدی (Acidic) SiO_2 بین ۶۳-۷۰ درصد
۲	ضریب اشباع از آلومینیم (Alumina Saturation index)	(1): mol $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$= 1-4 (2): mol $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$= 0.5-1.5	
۳	ضریب آلکالی Alkali index	سنگ‌های نیمه آلکالن	$Na_2O+K_2O < 0.37SiO_2 - 14.24$

جدول ۵- مقدار سیلیس و ضریب اشباع از آلومینیم در ۱۰۰ گرم ماده اولیه و ضریب آلکالی برای مقایسه با معیارهای معرفی شده در جدول ۴.

شماره نمونه	میزان سیلیس %Wt	ضریب اشباع از آلومینیم (2)	ضریب اشباع از آلومینیم (1)	ضریب آلکالی
R14	۵۹/۰۷	۰/۸۴۸	۱/۸۲۴	۶/۵۴ < ۷/۶۱
R17	۵۷/۱۸	۰/۸۶۴	۲/۰۵۸	(Low) ۶/۰۲ < ۶/۹۱
R24	۶۴/۸۸	۰/۹۱۵	۱/۶۸۰	۶/۵۲ < ۹/۷۶
R32	۷۲/۸۱	۱/۰۸۷	۱/۱۷۶	۹/۱۳ < ۱۲/۶۹
R89	۶۶/۱۵	۱/۴۵۳	۲/۸۴۶	(High) ۴/۹۶ < ۱۰/۴۳

جدول ۶- خلاصه ویژگی‌های سنگ‌نگاری مؤثر در ویژگی پوزولانی

نمونه	ویژگی مناسب	ویژگی نامناسب	فعالیت پوزولانی
R14	تعداد کم بلور	هوازدگی خمیره، بلورهای درشت دانه	متوسط
R17	بلورهای ریزدانه	خمیره کاملا تبلور دوباره یافته، تشکیل بلورهای کوارتز ثانویه	ضعیف
R24	بلورها ریزدانه، وجود مقداری زئولیت	خمیره شیشه‌ای کم و تقریبا هوازده	متوسط
R32	شارد	هوازدگی خمیره، افزایش تعداد و اندازه بلورها	متوسط
R89	خمیره شیشه‌ای زیاد، ریزدانه بودن بلورها، بدون دگرسانی	-	خوب

کتابنگاری

آسیابانها، ع.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی و پتروژنز رخساره‌های آتشفشانی منطقه یوزجای‌باشی (غرب قزوین): پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۲۱ص.

باباخانی، ع. ر.، ۱۳۸۳- پوزولان‌ها- کاربرد آنها در صنعت سیمان و چگونگی گسترش آنها در کشور، مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۲، تابستان.

پناهی، ب.، ۱۳۷۵- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شرق قزوین: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۷۱ص.

رادفر، ج.، ۱۳۸۰- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

رحیم‌زاده، ب.، ۱۳۸۸- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شرق قزوین با نگرشی بر امکان وجود پوزولان، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۶ص.

رمضانیان‌پور، ع. ا. و پیدایش، م.، ۱۳۷۶- دوام بتن و نقش سیمان های پوزولان. (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن).

طرح تحقیقاتی دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۹- طرح پهنه‌بندی منابع پوزولان موجود در البرز مرکزی جهت جایگیری در سیمان‌های آمیخته.

کلانتری، ک.، ۱۳۸۳- پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه زرجه‌بستان-کجیران (قزوین): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

مسعودی، ف.، ۱۳۸۹- پهنه بندی منابع پوزولان البرز مرکزی جهت جایگزینی در سیمان های آمیخته، طرح مرکز تحقیقت ساختمان و مسکن.

مقصودی، ع. ا. و احمدی‌مقدم، ح.، ۱۳۸۶- بررسی جمع‌شدگی بتن حاوی سیمان آمیخته با پوزولان. همایش ملی زلزله و مقاوم‌سازی ساختمان.

References

Massazza, F., 1974- "Principal Paper, Chemistry of Pozzolanic Additions and Mixed Cements", Proc. 6 th International Congress on the Chemistry of Cements, Moscow, September.

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.

Ramezanianpour, A. A., 1987- "Engineering properties and morphology of pozzolanic cement concrete" PhD Thesis, University of Leeds, p 359.

Rodriguez-Camacho, R. E. & Uribe-afif, R., 2002- "Importance of using the natural pozzolans on concrete durability" Cement Concrete Res. 32 1851–1858.

Shannag, M. J. & Yeğinobalı, A., 1995- "HProperties of Pastes, Mortars and Concrete Containing Natural Pozzolan", Cement and Concrete Research V.25, pp. 647-657.

Shi, C., 2001- "An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans" Can. J. Civ. Eng. 28: 786-778 .

Shi, C. & Day, R. L., 2000- "Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators: Part II. Reaction products and mechanism" Cem. Concr. Res. 30, 607–613.

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