بررسی پتانسیل پوزولانی سنگهای آتشفشانی البرز مرکزی

بهمن رحیم زاده[۱] ، فریبرز مسعودی [۲*]، سید محمود فاطمی عقدا [۳]، طیبه پرهیزکار [۴] ، علیرضا پورخورشیدی [۴]

۱- کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۳- دانشیار دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم و مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
۴- کارشناس و هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱/۳۰
تأیید نهایی مقاله: ۱۹ /۱۳۸۹/۹

چکیده

در البرز مرکزی واحدهای ولکانیکی زیادی در دورانهای مختلف زمین شناسی بویژه دوران سنوزوئیک رخنمون یافته‌اند. بعضی از واحدهای ولکانیکی کم بلور و شیشه زیاد در صنعت سیمان به‌عنوان پوزولان استفاده می شود. با نمونه برداری از واحدهای مختلف البرز مرکزی و معالعه پتروگرافی و ژئوشیمی آنها، تعداد ۱۳ نمونه جهت کاربرد در سیمان پوزولانی بعنوان جایگزین آماده شد. در بررسی پتروگرافی نمونه ها پدیده دگرسانی غیر زئولیتی غالب و مهمترین عامل در بازدارندگی مقدار فعالیت پوزولانی است. در این مطالعه از سه روش مختلف جهت سنجش خاصیت پوزولانی استفاده و نتایج آنها با هم مقایسه شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در نمونه های البرز مرکزی روش شاخص مقاومتی مطابق با ASTM C-618 ، انطباق خوبی با نتایج دو آزمون ترموگراویمتری و تعیین غلظت تعادلی ندارد. اما نتایج آزمون ترموگراویمتری Tg با نتایج تعیین غلظت تعادلی مطابقت خوبی نشان می‌دهد. اگرچه در بسیاری از مطالعات مبنای استانداردی نمونه‌های پوزولان را براساس شاخص مقاومتی می سنجند لیکن نتایج به دست آمده از تعیین فعالیت پوزولانی به روش شاخص مقاومتی نمی‌تواند بعنوان تنها شاخص ارزیابی برای میزان فعالیت پوزولانی در نظر گرفته شود. ویژگی بررسی پتانسیل پوزولانی سنگهای آتشفشانی البرز مرکزی .....

واژه های کلیدی: ترموگراویمتری، شاخص مقاومتی، تعیین غلظت تعادلی، فعالیت پوزولانی، البرز مرکزی

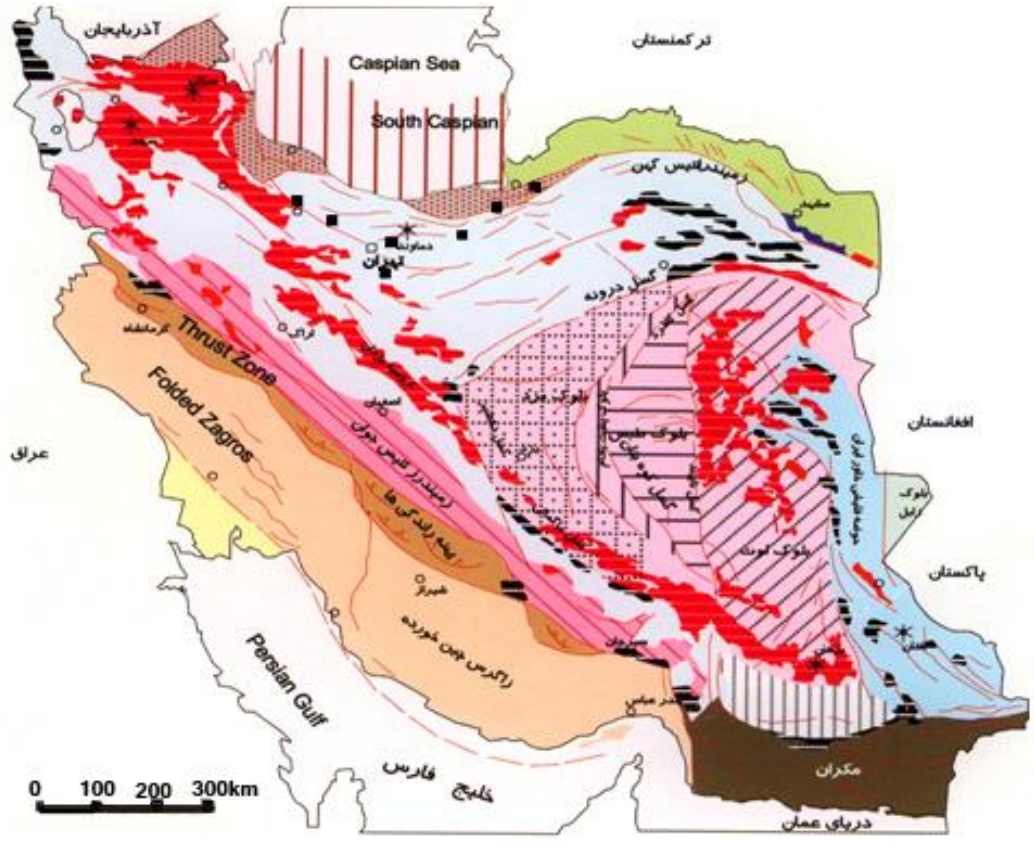
[*]- نویسنده مسئول: ۲۲۹۰۲۶۴۲
Email: f_masoudi@sbu.ac.ir

مقدمه

کشور ما بواسطه وجود فازهای متعدد آتشفشانی جوان دوران سنوزوئیک قابلیت زیادی در استفاده از پوزولان های طبیعی در تولید سیمان های آمیخته را دارد. در این راستا پتانسیل های پوزولان در البرز مرکزی با توجه به حجم بسیار عظیمی از مواد پیروکلاستیکی و نزدیکی به بازار مصرف و کارخانه های بزرگ سیمان، هدف این مطالعه قرار گرفت (شکل۱). سیمان های پوزولانی مزایایی از جمله کاهش وزن سازه ها، حجم فونداسیون و زمان ساخت آنها، مقاومت در برابر آب و آتش، عایق سازی مناسب، کاهش هزینه های تخریب (ماسازا ،۱۹۷۴؛ رمضانیان پور،۱۹۸۷ و شی و همکاران، ۲۰۰۶) و سازگاری با محیط زیست را دارا هستند، بطوریکه میزان دی اکسید کربن تولید شده در سیمان پرتلند چندید برابر سیمان پوزولانی است (شایگی نیک و سهرابی، ۱۳۸۶). این مطلب ضرورت توجه و توسعه بیشتر به یافتن ذخایر جدید پوزولان را بطور شفاف نمایان می سازد. تعیین فعالیت پوزلانی، پوزولان‌های طبیعی، به عنوان موادی سیلیسی یا آلومینو-سیلیکاتی که بتواند در حضور رطوبت، در دمای محیط، با هیدروکسیدکلسیم ناشی از هیدراسیون سیمان واکنش دهد و قابلیت کاربرد به عنوان جایگزین بخشی از سیمان را داشته باشد، اولین گام در ارزیابی پوزولان‌ها است. روش های متداول تعیین فعالیت پوزولانی عبارتند از: ۱- تعیین اندیس مقاومتی براساس استاندارد ASTM C-618؛ ۲- تعیین فعالیت پوزولانی به روش ترموگراویمتری با استفاده از دستگاه STA و ۳- تعیین فعالیت پوزولانی براساس تعیین غلظت تعادلی به روش استاندارد EN 196-5. انتخاب روشی کارا و سریع در تعیین قابلیت کاربرد سنگهای آتشفشانی به عنوان پوزولان دارای اهمیت بسیار است. در این مطالعه نتایج فعالیت پوزولانی ۱۳ نمونه انتخابی از البرز مرکزی با روش های فوق در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن اندازه گیری شده و نتایج حاصله با هم مقایسه تا کارائی و تشابه نتایج بررسی شود. سنگهای دارای فعالیت پوزولانی خوب دارای ویژگی های پتروگرافی مشخصی‌اند از جمله: میزان بلور کم و ریز دانه، تخلخل بالا، زئولیت بالا، عدم دگرسانی و میزان شیشه سیلیسی بالا بویژه بصورت شارد (رحیم‌زاده، ۱۳۸۸، رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰و شی و همکاران، ۲۰۰۶). لذا فعالیت پوزولانی بدست آمده از روش های مختلف با معیارهای پتروگرافی نمونه ها نیز کنترل شد.

مشخصات نمونه های مورد مطالعه

نمونه های مورد مطالعه در البرز مرکزی و در محدوده طول های جغرافیایی ′۳۰ °۴۹ تا ′۰۰ °۵۴ و عرض های جغرافیایی ′۰۰ °۳۶ تا ′۰۰ °۳۷ در غرب و ′۳۰ °۳۵ تا ′۰۰ °۳۷ در شرق قرار دارد. (شکل ۱). جهت نمونه برداری ابتدا تمام واحدهای ولکانیکی و بویژه واحدهای سنوزوئیک، شناسایی و سپس از آنها نمونه برداری شد.



شکل ۱- موقعیت تقریبی محدوده مورد مطالعه در نقشه تقسیمات زمین شناسی ایران (آقانباتی ۱۳۸۳) منطقه مورد مطالعه داخل کادر و مربع های سیاه زنگ کارخانه های سیمان را نشان می دهند.

در البرز مرکزی سنگ‌های آتشفشانی با سن دوران اول در سازند جی رود (واحد ۱۵۰ متری بازالت)، نواحی آمل، شمال قزوین و علم کوه نیز رخنمون های بازالتی دارند (آقانباتی، ۱۳۸۳). گدازه‌های بازالتی جابان (لاتریتی-بوکسیتی شده) در فیروزکوه تا دماوند و شمال سمنان با سن تریاس رخنمون دارد (دلنباخ، ۱۹۶۴). در شمال قزوین نیز رخنمون‌های از بازالت با سن تریاس گزارش شده است (آنلز و همکاران، ۱۹۷۵). در نواحی قزوین، فیروزکوه، ترکمن دره و دماوند گدازه‌های با سن ژوراسیک رخنمون دارند (آقانباتی،۱۳۸۳). گدازه‌های بازیک در شرق دماوند آندزی‌بازالت و اولیوین بازالت‌های جنوب چالوس (کارتیر، ۱۹۷۲) ، لایه‌های توفی جواهرده و اولیوین-دیابازهای نواحی تیزکوه در منطقه مطالعاتی مربوط به کرتاسه اند (آقانباتی،۱۳۸۳).

شدیدترین فعالیت‌های ماگمای در البرز

در ائوسن میانی رخ داده است. مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های زیر دریایی (سازند کرج)، کمتر بازیک و بیشتر اسیدی، در سراسر البرز مرکزی دیده می شود. عمده ترکیب سنگ‌های ائوسن میانی توف و توفیت حدواسط تا اسیدی، گدازه های بازیک، گدازه های اسیدی و تراکیتی به ترتیب فراوانی هستند. در کواترنر آتشفشان دماوند و چند رخنمون دیگر در نواحی طالقان و شرق قزوین و شمال تاکستان رخنمون یافته اند. از تمامی واحدهای مذکور نمونه برداری بعمل آمد و با توجه به مشخصات پتروگرافی

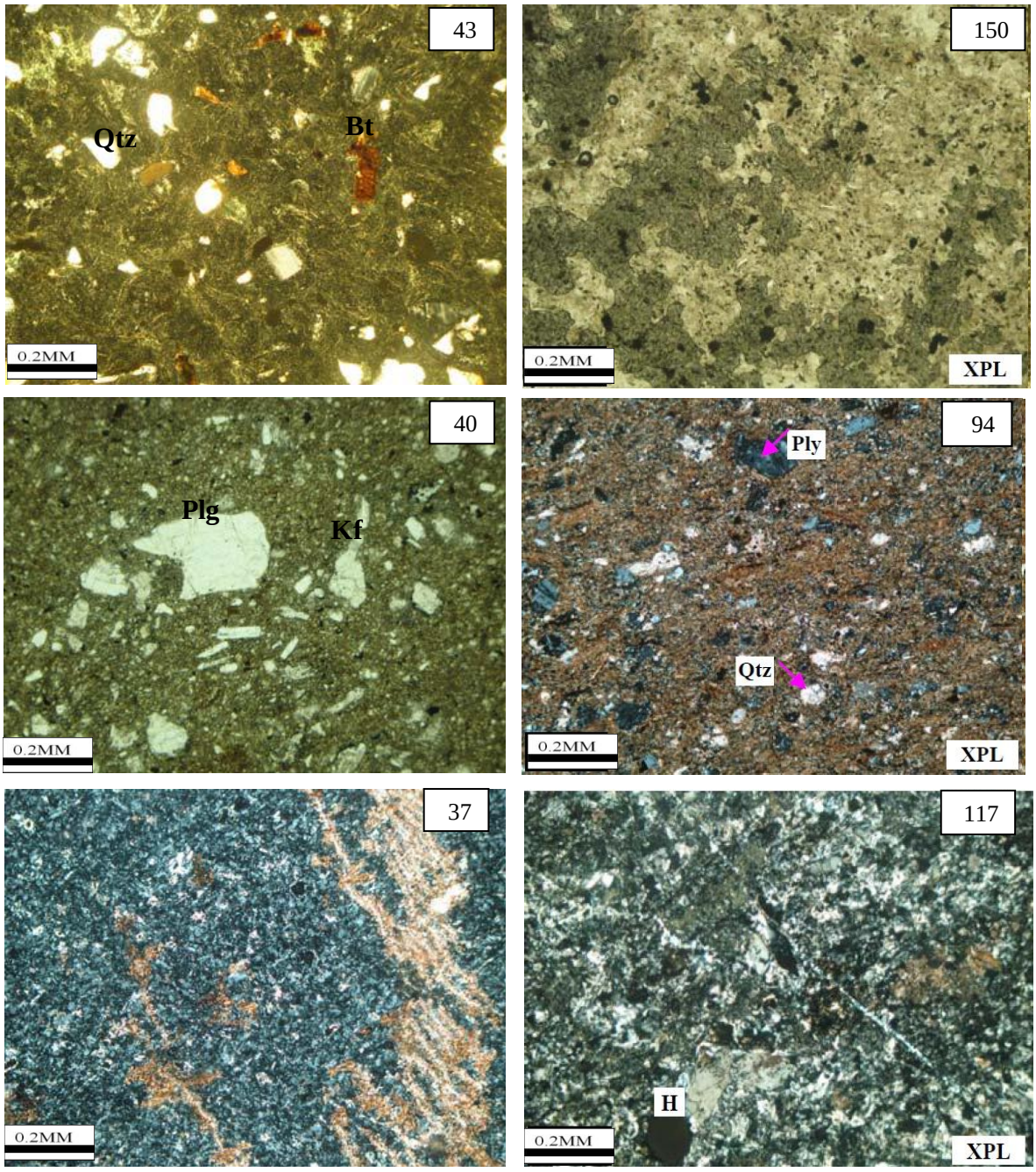
معرفی شده (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۹۰) تعدادی از نمونه ها انتخاب شدند. ویژگی های این نمونه ها در سه روش مطالعه و مورد مقایسه قرار گرفته اند.

پتروگرافی نمونه های مورد مطالعه

ویژگی‌های پتروگرافی کانی‌های نمونه های مطالعه شده از البرز مرکزی در جدول (۱) خلاصه شده اند. سنگ‌های مطالعه شده، شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب و سن‌های مختلف در البرز مرکزی است. با توجه به خصوصیات پتروگرافی نمونه ها جهت بررسی فعالیت پوزولانی انتخاب شدند. نمونه ها شامل انواع سنگهای ولکانیکی از جمله انواع توفها، بازالت، آندزیت و داسیت است. به طبع متفاوت بودن واحدهای انتخابی، ویژگی های پتروگرافی از جمله بافت، نوع و درصد کانیها، ترکیب خمیره و بلور در این سنگها متفاوت است. در ادامه پتروگرافی نمونه‌ها بصورت خلاصه آورده شده است (جدول۱ و شکل ۲).

جدول ۱- نامگذاری و خلاصه مطالعات پتروگرافی.

نمونه	نام سنگ	کانی شناسی (اعداد به درصد است)	بافت و ملاحضات
CA12	آندزیت-تراکیتی آندزیت	خمیره کریپتوکریستالین ۵۰+ شارد ۲۰+ اپک۵ + لیتیک ۵ + حفرات نیمه پر شده با کلسیت ثانویه۲۰+ شیشه	پیروکلاستیک و اوتاکسیتیک
CA34	بازالت	خمیره کریپتوکریستالین ۴۰+ قطعات خرده سنگی ۱۰+ فنوکریست های فلدسپات آلکالن ۵ و میکرولیت های پلاژیوکلاز آلتره ۵+ اپیدوت ۴۰	میکرولیتی، ویزیگولار
CA37	توف	خمیره کریپتوکریستالین۴۰+ شارد۲۰+ کلسیت+ کوارتز	پیروکلاستیک
CA40	توف کریستالین	زمینه شیشه -کریپتو کریستالین ۵۵+ قطعات خرده سنگی۲۰+ پلاژیوکلاز ۱۵+ فلدسپات۱۰ آلکالن	پیروکلاستیک
CA43	توف کریستالین	خمیره شیشه ای-شارد ۵۰+ لیتیک ۱۵+ میکرولیت ۲۰+ فنوکریست های پلاژیوکلاز ۵، فلدسپات آلکالن-کوارتز ۱۰	پیروکلاستیک
CA60	توف کریستالین	خمیره کریپتوکریستالین۴۰+ کوارتز ۷+ فلدسپات الکالن ۳+ پلاژیوکلاز ۴۰+ پیروکسن سالم ۵+ اپیدوت و کلریت ثانویه ۵	پیروکلاستیک
CA84	توف کریستالین	خمیره کریپتوکریستالین۲۰+ میکرولیت۵۰+ پلاژیوکلا۳۰	پیروکلاستیک و پرفیروئید
CA94	توف	خمیره کریپتوکریستالین ۵۵+ (پلاژیوکلاز+فلدسپات+پیروکسن)۳۰+ کوارتز ثانویه ۱۰ + بیوتیت ۵	پیروکلاستیک
CA114	توف	خمیره کریپتوکریستالین۳۵+ شیشه ۲۰+ (پلاژیوکلاز-فلدسپات) ۲۵+ پیروکسن پسودومورف۲۰	پیروکلاستیک
CA117	بازالت جریانی	خمیره تبلور مجدد یافته ۷۰+ پلاژیوکلاز ۲۰+ بیوتیت۵+ اپک۵	پیروکلاستیک
CA132	داسیت	خمیره شیشه ای ۷۰+ شارد۱۰+ پلاژیوکلاز۱۰+ بیوتیت ۵+ اپک۵	میکروپورفیری
CA150	توف	خمیره کریپتوکریستالین و شیشه ای ۷۰+ شارد۲۰+ میکرولیت پلاژیوکلاز۱۰	پیروکلاستیک
CA153	توف کریستالین	خمیره کریپتوکریستالین ۶۰+ شارد ۱۰+ (پلاژیوکلاز، کوارتز) ۲۰ + کلریت۵+ لیتیک۵	پیروکلاستیک



شکل۲- تصاویر پتروگرافی مقاطع میکروسکوپی با نور XPL–دسته خوب (CA (40, 43, 150 - دسته متوسط- CA 94- دسته ضعیف CA117 و دسته خیلی ضعیف CA37؛ (کوارتز: Qtz-پلاژیوکلاز: Plg-بیوتیت: Bt-فلدسپات: Kfs- حفره: H).

مطالعات آزمایشگاهی

با مطالعه واحدهایی ولکانیکی در البرز مرکزی تعداد ۱۰۰ نمونه به مقدار ۵ تا ۱۰ کیلوگرم از واحدهای مختلف از جمله لوشان، جواهرده، توف سبز سازند کرج، دماوند و جام برداشت شد. نمونه های انتخابی شامل گروه های اصلی سنگ های آتشفشانی البرز مرکزی از پالئوزوئیک تا عهد حاضر است. علاوه بر تنوع سنگ شناسی و سنی، توزیع مکانی واحدها نیز در انتخاب نمونه‌ها برای مطالعات پتروگرافی و به دنبال آن آنالیز های شیمیایی مورد توجه قرار گرفت. از نمونه های

انتخابی نمونه مقطع نازک تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شدند. بر اساس تلفیق داده های زمین شناسی و مطالعات میکروسکپی تعداد ۱۳ نمونه جهت تجزیه شیمیایی انتخاب شد.ه و در دانشگاه تربیت معلم تجزیه شیمی شدند (جدول ۲).

جدول۲- تجزیه درصد اکسیدهای عناصر اصلی نمونه ها (XRF)

Sample	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total
CA-12	58.52	17.59	3.24	6.13	0.04	1.06	4.18	5.74	2.09	0.6	99.19
CA-34	45.08	14.47	2.56	12.35	0.19	11.72	9.68	2.46	0.66	0.55	99.72
CA-37	62.28	18.04	1.39	4.72	0.05	0.87	5.09	3.88	2.94	0.54	99.8
CA-40	69.50	11.84	0.47	8.55	0.09	1.25	1.94	1.4	3.13	0.24	98.43
CA-43	76.37	13.84	0.28	1.34	0	1.6	4.05	0.34	1.73	0.04	99.59
CA-60	68.24	16.6	1.06	2.1	0.08	1.87	3.17	2.83	3.64	0.33	99.92
CA84	67.69	14.28	0.06	5.58	1.06	0.54	2.35	2.46	5.52	0.27	99.81
CA-94	69.85	15.42	0.4	2.95	0.08	0.81	5.22	0.55	3.94	0.14	99.36
CA-114	75.7	13.6	0.2	1.49	0.03	0.43	1.69	4.43	2.41	0.08	100.06
CA117	53.23	14.9	0.06	9.82	0.83	6.68	8.87	3.73	2.43	0.11	100.66
CA132	72.81	12.81	0.28	1.81	0.58	0.51	0.49	2.06	7.07	0.12	98.32
CA-150	77.02	11.9	0.18	1.39	0.01	0.46	1.72	4.5	2.32	0.05	99.55
CA-153	76.65	12.6	0.19	1.48	0.02	0.42	1.7	4.48	2.32	0.04	99.9

به کمک داده‌های ژئوشیمیایی و پتروگرافی، تعداد ۱۳ نمونه جهت آزمایش‌های تست سیمان انتخاب شدند. مقدار ۴ کیلوگرم از هر نمونه در آزمایشگاه سازمان تحقیقات مسکن خردایش شد. از هر نمونه با سه روش زیر آزمایش به عمل آمد:

۱- اندیس مقاومتی مطابق با ASTM C-618

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 و در آن پوزولان‌های طبیعی در رده N جای می‌گیرند و باید اندیس مقاومتی آنها در سن ۷ و ۲۸ روز، بیشتر از ۷۵ باشد.

بر اساس نتایج تحقیقات و تجربیات صورت گرفته، می‌توان گفت که اندیس مقاومتی، از ویژگی‌های تعیین‌کننده انتخاب پوزولان‌های طبیعی جهت جایگزینی در سیمان است. اندیس مقاومتی برای پوزولان‌های طبیعی از نسبت مقاومت فشاری ملات استاندارد ماسه و سیمان آمیخته (سیمان پرتلند به همراه ۲۰ درصد پوزولان طبیعی افزوده) به مقاومت فشاری ملات ماسه-سیمان استاندارد تعیین می‌شود. مقدار آب مورد نیاز برای ملات استاندارد ماسه و سیمان آمیخته (ملات آزمایشی)، طوری تنظیم می‌شود که روانی مشابه با ملات ماسه سیمان استاندارد (ملات شاهد) را تأمین کند. برای ملات ماسه سیمان استاندارد (ملات شاهد)، نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۸، ثابت در نظر گرفته می‌شود. بررسی نتایج به دست آمده از روش شاخص مقاومتی (جدول۳)، نشان می‌دهد که اندیس مقاومتی ۷ و ۲۸ روزه همه نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM C-618 و دارایی خاصیت پوزولانی هستند.

۲-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 این روش بر پایه تجزیه حرارتی بلورهای هیدروکسید کلسیم در دمای بیشتر از ۴۰۰ درجه سلسیوس است که به اکسید کلسیم و آب تبدیل می‌شود. خارج‌شدن 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 پوزولان های 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 زمان مشخص، در شرایط از پیش تعیین شده (مطابق شرایط واقعی)، عمل‌آوری 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 75mμ 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:

$$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$$

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

$$\%Ca(OH)_2 = \text{مقدار افت وزن} \times \%\frac{74}{18}$$

رفتار حرارتی ۱۳ نمونه پوزولان، با استفاده از دستگاه STA-449 C، مارک Netzsch ، مدل Jupiter مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمون، آماده سازی نمونه‌ها و عمل‌آوری آزمونه‌ها به شرح زیر انجام شد:

- اختلاط پودر پوزولان و هیدروکسیدکلسیم به نسبت (۵۰ + ۵۰) درصد وزنی. برای اختلاط بهتر و همگن شدن مطلوب آزمونه‌ها، مخلوط‌ها پس از همزدن اولیه، در یک هاون خوب ساییده شدند. به‌منظور تعیین فعالیت پوزولانی، در همه مخلوط‌ها از هیدروکسید کلسیم با درجه خلوص بالا استفاده شده است تا ارزیابی آزمونه‌ها در یک شرایط ثابت و منطقی انجام شود. با افزودن آب مقطر به مخلوط خشک و همزدن مجدد، خمیری با غلظت مناسب به‌دست آمد. سپس خمیر به‌دست آمده در یک ظرف مناسب ریخته وبا استفاده از یک درپوش کاملاً هوابندی شد. ظرف حاوی آزمونه هوابندی‌شده در یک ظرف شیشه‌ای دارای آب مقطر قرار داده شد و مجموعه برای عمل‌آوری به‌یک گرمخانه با دمای حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد منتقل گشت. قرار دادن ظرف حاوی آزمونه‌ها 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 آزمونه از گرمخانه خارج و درپوش آن برداشته شد. هر یک از آزمونه‌ها از داخل ظرف به یک هاون منتقل و خوب ساییده و با استفاده از گاز ازت خشک شدند. مقدار مناسبی از آزمونه خشک شده برداشت شد و به داخل جانمونه‌ای مخصوص دستگاه STA ریخته و با استفاده از یک ترازوی با دقت ۰/۰۰۱گرم توزین شد.

همه آزمونه‌ها در دستگاه STA با برنامه حرارتی دمایی $600^{\circ}C$، افزایش نرخ دمایی $10^{\circ}C/1$ min و به مدت ۲ دقیقه در دمای نهایی

نگهداری شدند.

نتایج به دست آمده در جدول ۳ و شکل ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳ - شاخص مقاومتی ۷ و ۲۸ روزه، و فعالیت پوزولانی نمونه‌های پوزولان پس از ۹ روز با استفاده از دستگاه STA

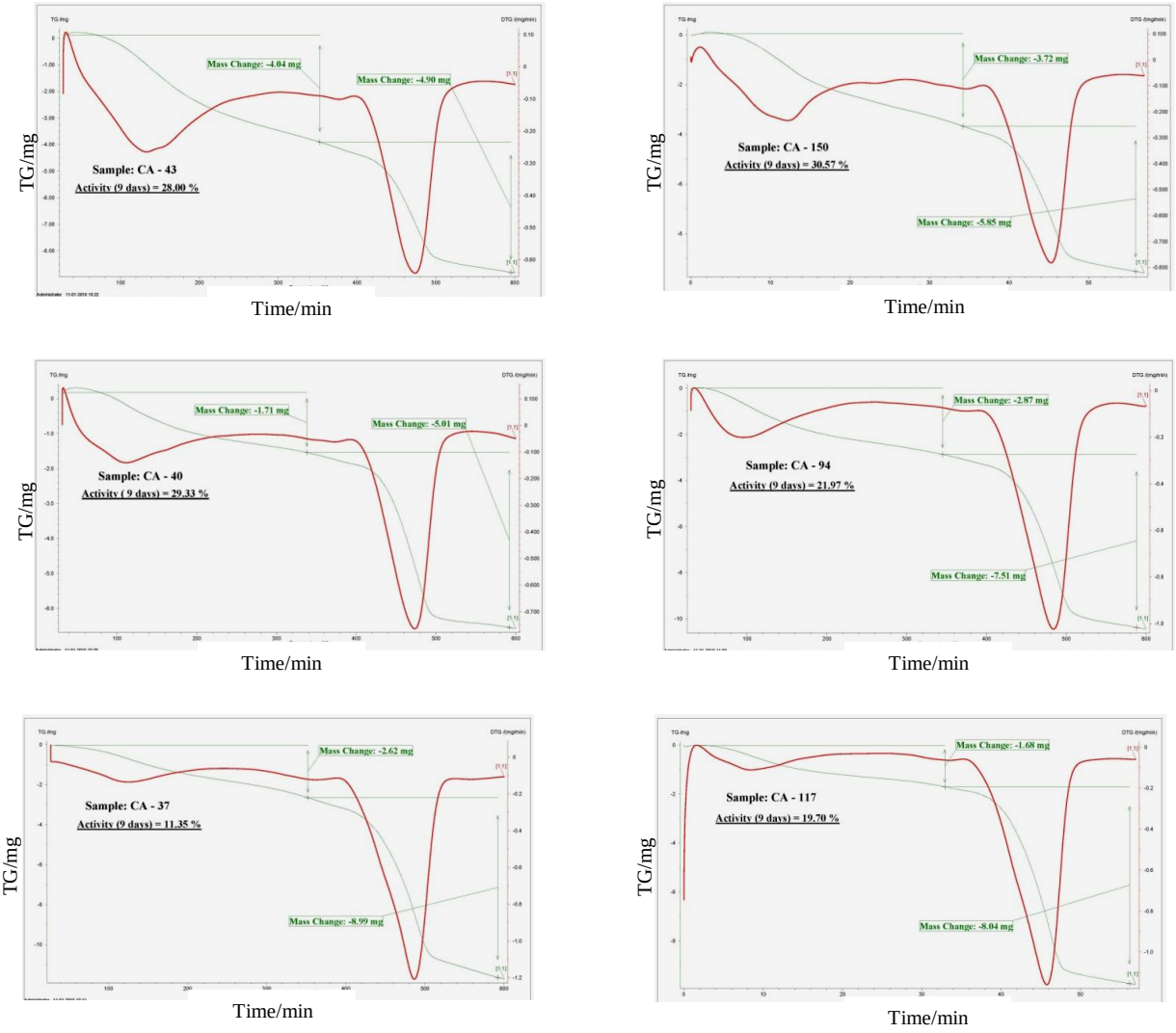
شماره نمونه	فعالیت پوزولان	شاخص مقاومتی	
		۷ روزه	۲۸ روزه
CA-12	۲۳/۱۳	۹۶	۱۰۹
CA-34	۱۸/۲۸	۱۳۸	۱۴۱/۵
CA-37	۱۱/۳۵	۱۰۴	۱۲۱
CA-40	۲۹/۳۳	۱۳۱	۱۴۵
CA-43	۲۸/۰۰	۱۰۰	۱۲۱
CA-60	۳۱/۹۲	۷۵	۷۹/۵
CA-84	۱۹/۶۴	۱۰۰/۵	۱۰۶
CA-94	۲۱/۹۷	۱۱۷	۱۲۲
CA-114	۲۱/۴۱	۸۰	۸۹
CA-117	۱۹/۷۰	۹۴/۵	۹۶
CA-132	۲۴/۲۹	۱۱۸	۱۳۴/۵
CA-150	۳۰/۵۷	۱۱۲/۵	۱۱۳
CA-153	۳۰/۱۲	۸۷	۹۲/۵

بر اساس تجربیات بدست آمده از بررسی نتایج روش STA، 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. فعالیت پوزولانی هر چهار دسته پوزولان به روش STA و همچنین مقایسه آن با نتایج فعالیت پوزولانی به روش شاخص مقاومتی (۲۸ روزه) به ترتیب در جدول ۴ ارائه شده است.

- نمونه CA-60 با فعالیت پوزولانی ۳۱/۹۲ درصد به روش STA بیشترین نتیجه را به دست داده در حالی‌که دارای شاخص مقاومتی ۷۹/۵ (کمترین نتیجه) است.

- نمونه CA-40 با شاخص مقاومتی ۱۴۵ به روش شاخص مقاومتی بهترین نتیجه را به روش STA به‌دست داده و دارای فعالیت پوزولانی ۲۹/۳۳ درصد بوده است.

- نمونه پوزولان CA-37 با فعالیت پوزولانی ۱۱/۳۵ درصد به روش STA کمترین نتیجه را به دست داده است در حالی‌که دارای شاخص مقاومتی ۱۲۱ است.



شکل ۳- منحنی آنالیز حرارتی نمونه پوزولان با استفاده از دستگاه STA.

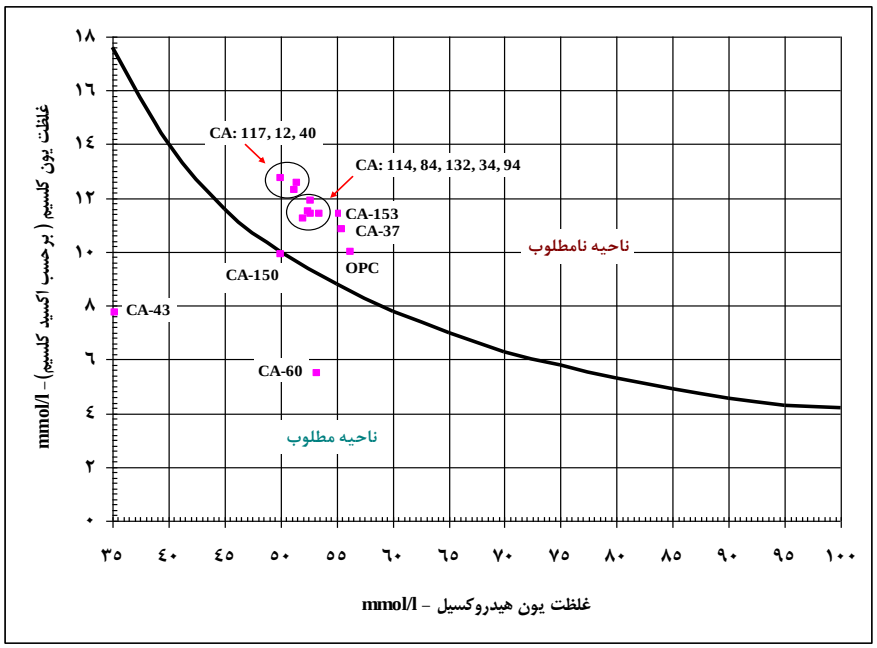
۳-تعیین فعالیت پوزولانی براساس روش استاندارد EN 196-5

به منظور بررسی کامل‌تر و اطمینان از نتایج و تجزیه و تحلیل دقیق‌تر جهت توسعه الگوی سنگ‌شناسی پوزولان‌ها، نمونه پوزولان‌های مورد بررسی با روش استاندارد EN 196-5 نیز مورد آزمون قرار گرفتند. استاندارد EN 196-5 برای ارزیابی فعالیت پوزولانی سیمان‌های پوزولانی که در استاندارد EN 197-1 دسته‌بندی شده‌اند، ارائه گردیده است. در این روش، اندازه‌گیری فعالیت پوزولانی بر پایه اندازه‌گیری ظرفیت پیوند آهکی پوزولان طبیعی در یک محیط حاوی هیدروکسید کلسیم صورت می‌گیرد.

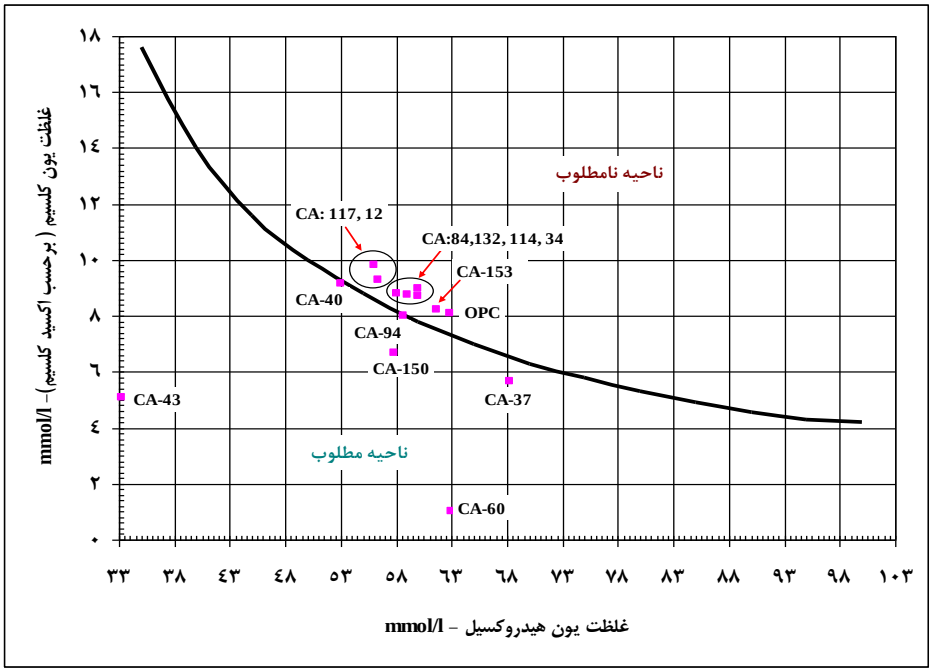
جدول۴- دسته بندی سنگ‌ها بر اساس فعالیت پوزولانی به ۴ دسته خوب، متوسط، ضعیف، خیلی ضعیف و مقایسه آن با نتایج ASTM

دسته خوب- فعالیت پوزولانی بیش از ۲۵ درصد، و مقایسه آن با نتایج روش شاخص مقاومتی			دسته متوسط- نمونه‌های پوزولان دارای فعالیت پوزولانی بین ۲۰ تا ۲۵ درصد، و مقایسه آن با نتایج روش شاخص مقاومتی			دسته ضعیف- نمونه‌های پوزولان دارای فعالیت پوزولانی بین ۱۵ تا ۲۰ درصد، و مقایسه آن با نتایج روش شاخص مقاومتی		
شماره نمونه	روش STA	شاخص مقاومتی (۲۸ روزه)	شماره نمونه	روش STA	شاخص مقاومتی (۲۸ روزه)	شماره نمونه	روش STA	شاخص مقاومتی (۲۸ روزه)
CA-40	۲۹/۳۳	۱۴۵	CA-12	۲۳/۱۳	۱۰۹	CA-34	۱۸/۲۸	۱۴۱/۵
CA-43	۲۸/۰۰	۱۲۱	CA-94	۲۱/۹۷	۱۲۲	CA-84	۱۹/۶۴	۱۰۶
CA-60	۳۱/۹۲	۷۹/۵	CA-114	۲۱/۴۱	۸۹	CA-117	۱۹/۷۰	۹۶
CA-150	۳۰/۵۷	۱۱۳	CA-132	۲۴/۲۹	۱۳۴/۵	دسته خیلی ضعیف- فعالیت پوزولانی کمتر از ۱۵		
CA-153	۳۰/۱۲	۹۲/۵				CA-37	۱۱/۳۵	۱۲۱

اساس روش استاندارد EN 196-5، بر مبنای اندازه‌گیری ظرفیت پیوند آهک پوزولان‌ها و مشخص شدن رفتار پوزولان‌ها در زمان‌های مختلف واکنش است و نشان می‌دهد که چه‌موقع حالت تعادل ایجاد می‌شود. در روش EN 196-5، غلظت Ca^{2+} و OH^- در محلول آبی سیمان آمیخته پوزولانی در زمان‌های معین تعیین می‌گردد. 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. جهت انجام این آزمایش، لازم است تا در ابتدا، غلظت یون‌های Ca^{2+} و OH^-، برای سیمان پرتلند مصرفی که قرار است پوزولان جایگزین بخشی از آن گردد، در سنین ۸ روز و ۱۵ روز و بیشتر از آن، در دمای ۱±۴۰ درجه سلسیوس تعیین شود. نتایج اندازه‌گیری بر روی یک منحنی تعادل هیدروکسیدکلسیم محلول آهک اشباع شده در این دما مقایسه می‌شود. در صورتی که پوزولان طبیعی دارای فعالیت مناسبی باشد، با افزایش مقدار قلیایی در محلول از مقادیر یون‌های Ca^{2+} کاسته می‌شود و نتایج به سمت قطب قلیایی (OH^- بیشتر) و کاهش غلظت یون‌های کلسیم در زیر نمودار تعادل با هیدروکسیدکلسیم اشباع، پیش می‌روند. به منظور انجام این آزمون مخلوط‌های سیمان پوزولانی با نسبت سیمان/پوزولان برابر ۳۰/۷۰ بررسی گردید. نتایج آزمون در فاصله زمانی ۹ و ۳۰ روز در نمودارهای شکل ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- منحنی تعادل غلظت یون هیدروکسیل- یون کلسیم پس از ۹ روز برای نمونه‌های پوزولان براساس استاندارد EN 196-5



شکل۵- منحنی تعادل غلظت یون هیدروکسیل-یون کلسیم پس از ۳۰ روز برای نمونه‌های پوزولان براساس استاندارد EN 196-5

بحث

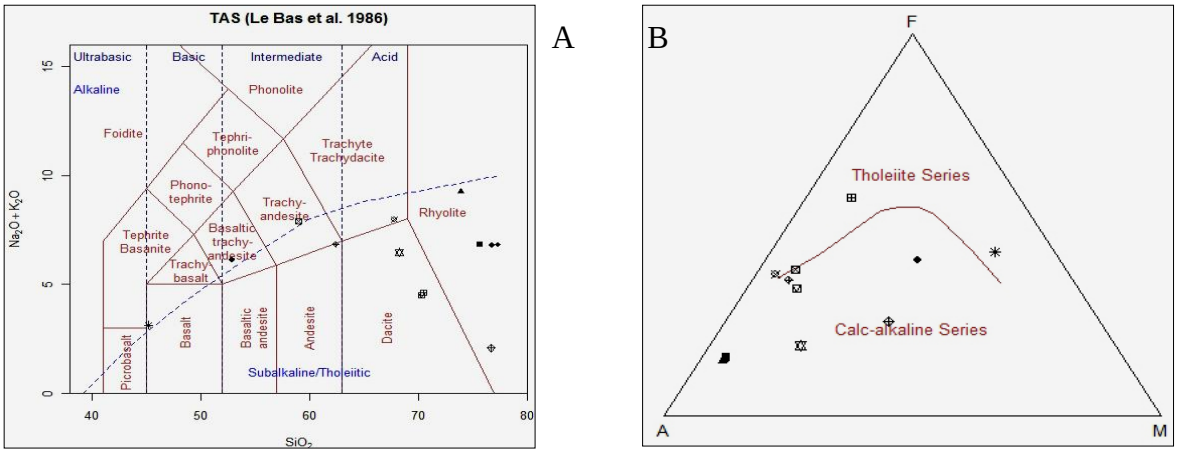
۱-پتروگرافی

جهت مناسب بودن یک واحد سنگی برای استفاده در صنعت سیمان علاوه بر خواص شیمیایی یک سنگ، خواص پتروگرافی آن نقش اصلی داشته و تعیین کننده نهایی خاصیت پوزولانی است. در

مقاطع سنگی دو قسمت خمیره و بلورها بررسی شده اند. در بخش خمیره درصد شیشه بخصوص شارد بسیار حائز اهمیت است که در نمونه های با خواص پوزولانی بالا مشهود است (CA40,43,150). بلورها هرچه کمتر و ریز دانه تر باشند، خاصیت پوزولانی بالاتر است (شی و دی، ۲۰۰۰؛ شی، ۲۰۰۱) که این مورد در اکثر نمونه های توفی به چشم می خورد. در نمونه های گدازه ای نیز تعداد بلورها کم و در صورت وجود ریز بلور هستند. یکی از عوامل تعیین کننده در خواص دگرسانی است که عملکردی دو طرفه دارد. دگرسانی که منتهی به زئولیتی شدن شود باعث افزایش خاصیت پوزولانی نمونه ها می شود. اما سایر دگرسانی ها باعث کاهش خاصیت پوزولانی می شوند که در نمونه های مورد بررسی بیشتر اتفاق افتاده است. اکثر نمونه ها دارای شیشه و خمیره ریز بلور کافی هستند لیکن دگرسانی باعث تبلور مجدد شیشه و ایجاد کانی های ثانویه مانند کوارتز، کلریت،کلسیت و اپیدوت شده است که خاصیت بازدارندگی دارند. به نظر می‌رسد که خاصیت پوزولانی نمونه های مورد بررسی در البرز مرکزی بیش از هر عامل دیگری تحت کنترل دگرسانی خمیره باشد.

۲-ژئوشیمی

نتایج آنالیز نمونه ها با استفاده از نمودار نامگذاری سنگها، بیشتر در محدوده اسیدی و دوتا از نمونه ها در محدوده بازالت و تراکی‌آندزیت قرار می گیرد (شکل۶:A) (لی باس، ۱۹۸۶). همچنین این نمونه ها سرشت کالکوآلکالن را نشان می دهند (شکل۶:B) (ایروین و باراگار، ۱۹۷۱). در بررسی استانداردهای معتبر جهانی (ASTM, DIN, Turkye, Chin) مشخص می شود که اکسیدهای سلیسیم، آلومینیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم تاثیرگذار هستند و بیشتر تقسیم بندی ها بر اساس میزان این عناصر تنظیم شده است. نمونه های البرز با نمونه های مصرفی در اکثر کشورهای جهان و ایران مقایسه شدند که از انطباق مناسبی برخوردارند . انطباق نمونه های مناسب و نامناسب با استانداردهای شیمیایی مشخص می شود که درصد عناصر اصلی نمی تواند به تنهایی گویای کیفیت یک واحد آتشفشانی برای پوزولان باشد.



شکل۶- A: نمونه ها در نمودار طبقه بندی TAS (لی باس، ۱۹۸۶) بیشتر نمونه ها اسیدی هستند. B: در نمودار AFM (ایروین و باراگار، ۱۹۷۱) نمونه ها سرشت کالکو الکالن نشان می‌دهند.

۳-مقایسه و تجزیه و تحلیل نتایج آزمون‌های تعیین خواص پوزولانی

نتایج نمودارهای ۴ و ۵ نشان می‌دهد که پس از ۹ روز، نمونه‌های CA-43، CA-60 و CA-150 در زیر منحنی تعادل قرار گرفته‌اند. این سه نمونه در آزمون Tg نیز دارای فعالیت پوزولانی خوبی بودند. در سن ۳۰ روز، نمونه‌های CA-37، CA-40 و CA-94 نیز به زیر منحنی تعادل منتقل شدند. نمونه‌های CA-40 و CA-94 بر اساس نتایج Tg دارای فعالیت پوزولانی خوب و متوسط بوده‌اند. نتایج پس از ۳۰ روز نشان می‌دهد که پوزولان CA-94 گرچه طبق آزمون Tg فعالیت پوزولانی متوسطی نشان می‌دهند، اما در طول زمان واکنش‌های پوزولانی آن تکمیل می‌شود. به غیر از نتیجه مربوط به نمونه CA-37 که در آزمون Tg فعالیت ضعیفی نشان داده است، بقیه نتایج با نتایج Tg انطباق خوبی دارد. بر اساس نتایج بدست‌آمده، در مجموع آزمون‌های Tg و تعیین غلظت تعادلی، انطباق خوبی با هم نشان می‌دهند. آزمون اندیس مقاومتی گرچه به عنوان یکی از ساده‌ترین آزمون‌های ارزیابی پوزولان شناخته می‌شود، اما این نتایج اثبات کرد که این آزمون نمی‌تواند معیار تشخیص فعالیت پوزولانی باشد.

نتایج تعیین اندیس فعالیت مقاومتی، Tg و روش تعیین غلظت تعادلی نشان می‌دهد که آزمون اندیس مقاومتی انطباق خوبی با نتایج دو آزمون دیگر ندارد. اما نتایج آزمون Tg با نتایج تعیین غلظت یون‌های هیدروکسیل و کلسیم مطابقت خوبی نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از تعیین فعالیت پوزولانی به روش شاخص مقاومتی نمی‌تواند به عنوان تنها شاخص ارزیابی برای میزان فعالیت پوزولانی در نظر گرفته شود. در تحقیقات انجام‌شده، مشخص شده است که پوزولان‌های بسیار ریزدانه اما با فعالیت پوزولانی ضعیف، در روش شاخص مقاومتی نتایج مطلوبی را به دست داده‌اند.

نتیجه گیری

بررسی خواص پتروگرافی واحدهای البرز مرکزی نشان می دهد که فرایند دگرسانی مهمترین عامل باز دارندگی در کیفیت خواص پورولانی در این منطقه است. این بازدارندگی بیشتر بواسطه تبلور مجدد خمیره شیشه ای و تشکیل کانی های ثانویه غیر زئولیتی است. در واحدهایی که محصول دگرسانی زئولیتی شدن است خاصیت پوزولانی افزایش یافته است.

درصد اکسیدهای آهن، آلومینیوم و کلسیم در آنالیزهای شیمیایی بیشترین کاربرد را در استانداردهای مربوط به تعیین خواص پوزولان ها به منظور جایگزین در سیمان مختلف دارد. این در حالی است که شیمی سنگ به تنهایی نمی‌تواند گویای کیفیت یک واحد پوزولانی باشد.

آزمایشات به روش شاخص مقاومتی ASTM-C618 و روش ترموگراویمتری در نمونه‌های البرز مرکزی همگرایی معنی داری در تعیین خواص پوزولانی ندارند. بطوریکه در بعضی موارد عکس هم هستند. با این وجود تعیین فعالیت پوزولانی براساس روش استاندارد EN 196-5 می تواند روشی مکمل و محک برای روش های قبلی باشد.

روش EN 196-5 مؤید آن است که آزمون Tg، آزمونی دقیق در بین روش‌های آزمون فعالیت پوزولانی می‌باشد، لذا نتایج حاصل از سنگ‌شناسی جهت تهیه الگوی سنگ‌شناسی پوزولان‌ها بر اساس این آزمون، می تواند راهگشا باشد. این مطلب با ویژگی های پتروگرافی در نمونه های (CA40, 43, 60, 150) مورد تایید است.

شناخت معیارهای پتروگرافی سنگها مهمترین عوامل تاثیر گذار در افزایش یا کاهش خاصیت پوزولانی می باشند و توجه به این مهم می‌تواند مانع از اتلاف وقت و هزینه زیاد در تشخیص واحدهای ولکانیکی مناسب برای پوزولان باشد.

منابع

-آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۷۳ صفحه.

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

-رحیم‌زاده، ب.، مسعودی، ف.، فاطمی عقدا، س.م.، پرهیزکار، ط.، پورخورشیدی، ع.، ۱۳۹۰. بررسی ویژگی های پتروگرافی و ژئوشیمی واحدهای ولکانیکی شرق قزوین با هدف تعیین واحدهای مناسب جهت استفاده به عنوان پوزولان طبیعی، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (زیرچاپ).

- شایگی نیک، س. و سهرابی، م.ر.، ۱۳۸۶. بررسی خواص پودر پوزولان پومیس تفتان به عنوان جایگزین سیمان، سومین کنگره ملی مهندسی عمران.

-Annells, R.N., Arthurton, R.S., Bazley, R.A. and Davies, R.G., 1975. Explanatory text of the Qazvin and Rasht Quadrangles map, Tehran, Geological Survey of Iran, 94 p.

-Cartier, E., 1972. Geological map of the central Alborz: Sheet Damavand: Tehran, Iran, Geological Survey, scale 1:100,000, 1 sheet.

-Delenbach, J., 1964. Contribution of Letude de la region situee a last de Tehran (Iran) the University. Straburg.

-Irvine, T.N. and Baragar, W.R.B., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Candian Journal of Earth Science, v. 8, p. 523-548.

-Le Bas, M.J., 1986. The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. American Journal of Science, v. 260, p. 269-288.

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

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

- Shi, C., 2001. An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans: Canadian Journal of Civil and Engineering, v. 28, p. 778-786.

- Shi, C., Day, R.L., 2000. Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators: Part II. Reaction products and mechanism, Cement and Concert Research, v. 30, p. 607–613.

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