Archive of SID

نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۳، شماره ۳، شهریورماه ۱۳۸۸، از صفحه ۳۳۷ تا ۳۴۵

قابلیت توف‌های زئولیت‌دار استان مرکزی به عنوان پوزولان طبیعی مورد استفاده در صنعت سیمان

ایوب نارک‌نژاد[۱]، سهیلا اصلانی[*۲]، عباس بحرودی[۲] و مرتضی خلعتبری[۳]

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

[۲]استادیار دانشکده مهندسی معدن- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

[۳]دکتری پترولوژی- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور- بخش اکتشاف

(تاریخ دریافت ۸۷/۹/۲۰ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۳/۲۷، تاریخ تصویب ۸۸/۶/۱۶)

چکیده

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی روستای دودهک واقع در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان دلیجان(استان مرکزی) قرار دارد و به نظر می‌رسد که سنگ‌های رسوبی- آتشفشانی ائوسن این منطقه، از نظر مواد پوزولانی، ظرفیت قابل توجهی نشان می‌دهند. برای ارزیابی قابلیت توف‌های ائوسن این منطقه برای تأمین محصولات سیمان صنعتی، آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی و مطالعات پتروگرافی روی نمونه‌های جمع آوری شده، انجام شد. نتایج پتروگرافی و اشعه ایکس پودر نشان داد که نمونه‌ها فاز شیشه نداشته یا درصد کمی فاز شیشه دارند اما میزان کانی‌های گروه زئولیت آنها به نسبت بالا است. ترکیبات شیمیایی همه نمونه‌ها از نظر ترکیب پوزولان با استانداردهای ISIRI 3433 و ASTM C618 مطابقت دارد. مقاومت‌های فشاری ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و همگی بالاتر از حداقل میزان مورد نیاز در استانداردهای ISIRI 3432 و ASTM C595-89 بودند. در ضمن سایر مشخصات فیزیکی نمونه‌ها با توجه به استانداردهای مربوط به آن اندازه‌گیری شده و آنها نیز با این استانداردها مطابقت دارند. به طور کلی این مطالعه نشان داد که عامل اصلی تأثیرگذار بر خواص پوزولانی، وجود فازهای زئولیتی است و توف‌های ائوسن منطقه به دلیل وجود حدود ۲۰ درصد فازهای زئولیتی از قابلیت خوبی به عنوان پوزولان طبیعی بهره مندند.

واژه‌های کلیدی: پوزولان طبیعی، سیمان، زئولیت، مقاومت فشاری، XRD، XRF

مقدمه

کاربرد پوزولان طبیعی در تولید سیمان و نیز تکنولوژی بتن امروزه رو به گسترش است. پوزولان‌ها تأثیرات عمده‌ای بر چندین ویژگی ملات سیمانی دارند. به عنوان مثال تأثیر بر مقاومت، زمان‌گیرش، انبساط حجمی و دوام که وابسته به نسبت جانشینی و نرمی آن است[۱،۲،۳و۴]. پوزولان‌های طبیعی می‌توانند شامل کانی‌های سیلیکاتی مثل کوارتز، فلدسپات، میکا، هورن‌بلند، پیروکسن، کریستوبالیت، کانی‌های رسی، شیشه‌های آتشفشانی آمورف و قطعات شیشه باشند[۱]. به علاوه از زمانی که این مواد وارد چرخه تولید سیمان می‌شوند و بعد از فرایند کوره، منابع مهم اقتصادی و زیست محیطی را فراهم می‌آورند[۵و۶]. مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت فشاری نمونه‌ها به وسیله برخی خواص پوزولان‌ها تأثیر پذیر است مثل ترکیب شیمیایی، نرمی و نسبت فاز شیشه[۱]. در استاندارد ملی ایران(ISIRI 3433) ترکیب شیمیایی- پوزولان طبیعی به این ترتیب تعیین شده است: حداکثر ۴ درصد SO_3، حداقل ۷۰ درصد $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ، حداکثر ۳ درصد رطوبت و حداکثر ۱۰ درصد افت ناشی از حرارت[۷]. محدودیت‌ها در استاندارد ملی شماره ۳۴۳۳ ایران با محدودیت‌های استاندارد ASTM C618 [۸] شباهت دارد. در ایران سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری به وفور یافت می‌شود، از جمله در رشته کوه البرز، زون سنندج- سیرجان، زون ارومیه- دختر و ایران مرکزی که یکی از گسترده‌ترین آنها توف‌های آتشفشانی است که سطح وسیعی از مساحت کشور ما را پوشش می‌دهند. با توجه به اهمیت این سنگ‌ها در استفاده آنها به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، نیاز است که به خوبی ظرفیت این مواد آذر آواری بررسی شود.

مطالعات نشان می‌دهد که توف‌های منطقه دلیجان در استان مرکزی دارای درصد به نسبت مناسبی از کانی‌های گروه زئولیت بوده که به صورت پرشدگی در تخلخل‌ها، رگچه‌ها و شکاف‌های ثانویه توف‌ها تشکیل

*نویسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۴۲۹۳ ، فاکس : ۸۸۰۰۸۸۳۸ ، Email: saslani@ut.ac.ir

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID

یافته‌اند. هدف این مطالعه تعیین قابلیت این توف‌ها به عنوان پوزولان طبیعی در سیمان است. در این راستا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این سنگ‌ها با توجه به استانداردهای مربوط به آن بررسی می شوند.

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در جنوب غربی روستای دودهک واقع در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان دلیجان، در طول شرقی″۲۵ ،′۳۳ ،°۵۰ و عرض شمالی ″۵۰ ،′۰۶ ،°۳۴ قرار دارد. رودخانه دائمی قمرود که از کوه‌های گلپایگان سرچشمه می‌گیرد از نیمه شرقی منطقه می‌گذرد و سد پانزده خرداد واقع در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه، روی این رودخانه احداث شده است. جاده اصلی سلفچگان- دلیجان از شرق منطقه گذشته و از این جاده، جاده فرعی دودهک- حاجی‌آباد منشعب شده و از مرز شمالی منطقه می‌گذرد که برای دسترسی به این منطقه می‌توان از این راه‌ها استفاده کرد[۹].

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

این منطقه بخش کوچکی از پهنه ایران مرکزی است و در زیرپهنه آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد. واحدهای سنگی منطقه شامل ردیفی از سنگ‌های پرمین تا ترشیری همراه با رسوبات کواترنری و حجم قابل توجهی از سنگ‌های آذرین بیرونی(گدازه و آذرآواری) و درونی وابسته به ترشیری است. واحدهای سنگی منطقه از قدیم به جدید عبارتند از:

الف) سنگ آهک دولومیتی و سنگ آهک‌های بلورین ضخیم‌لایه تا توده‌ای خاکستری روشن مربوط به پرمین،

ب) بیرون زدگی‌های دولومیتی بلورین مربوط به تریاس که به صورت ضخیم‌لایه و رنگ خاکستری روشن مشخص است و همبری این واحد با سنگ‌های جوانتر گسله است؛

ج) شیل‌های ماسه‌ای یا سیلتی همراه با میان لایه‌های ماسه سنگی به رنگ سبز تیره یا خاکستری تیره مربوط به ژوراسیک.

پوزولان‌های این منطقه شامل توف‌های سبز رنگ دوره ائوسن است که در بعضی نقاط همراه با میان لایه‌های شیلی و ماسه سنگی است[۹]. در شکل(۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و زمین شناسی آن به تصویر کشیده شده است.

روش مطالعه و انجام آزمایش‌ها

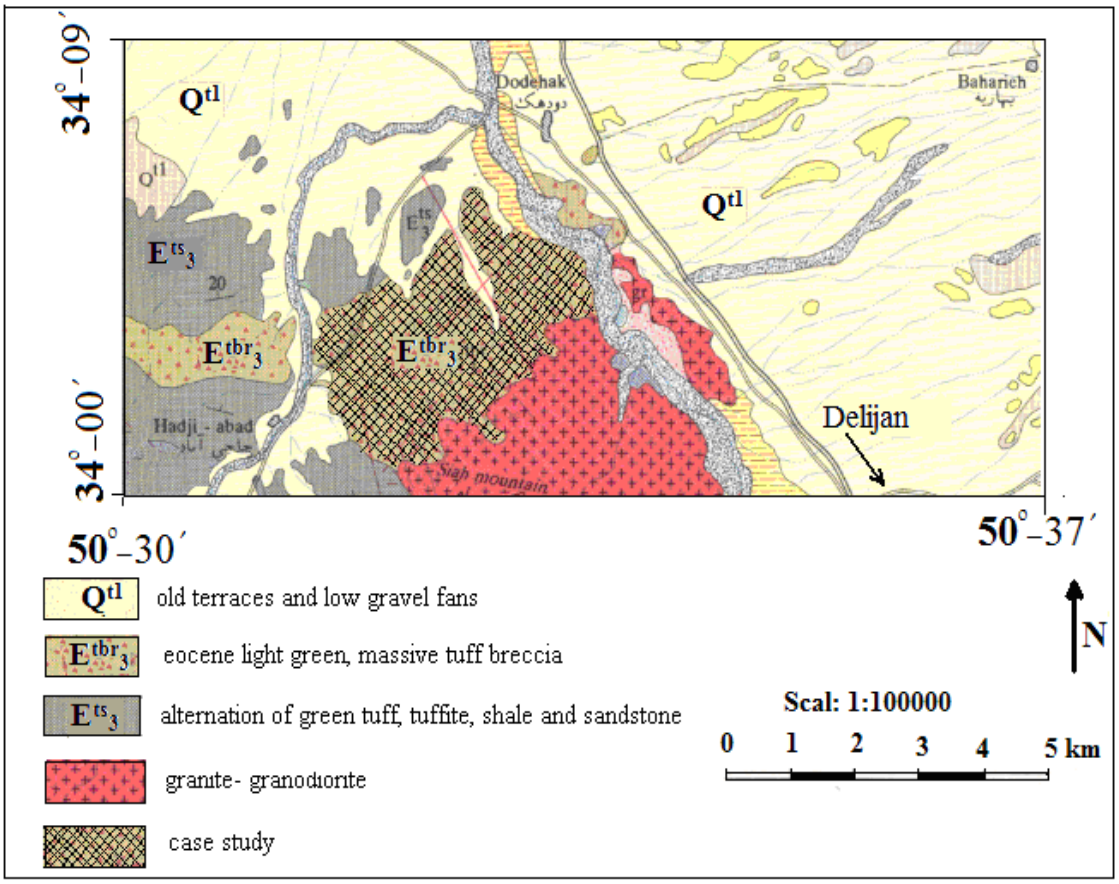
در این مطالعه پس از بررسی نقشه‌های زمین شناسی ناحیه شمال دلیجان(در استان مرکزی)، نزدیک-ترین ظرفیت‌های حاوی مواد پوزولانی به کارخانه‌های سیمان دلیجان مشخص شد. بر اساس بررسی‌های صحرایی، محل نمونه‌ها به وسیله یک شبکه نمونه‌برداری منظم تعیین شده و تعداد ۸۰ نمونه از بیرون‌زدگی‌های سنگی برداشت شد. این توف ها تفاوت‌های ظاهری از قبیل وجود و نبود رگچه‌های پر شده از آهن و کلسیت، تفاوت در رنگ ظاهری سنگ و میزان هوازدگی، داشته و در بازدیدهای صحرایی انجام گرفته از این منطقه، دگرسانی در سنگ‌ها به خوبی مشخص بودند. سپس در آزمایشگاه میکروسکوپ نوری، ویژگی‌های کانی شناسی و سنگ شناسی نمونه‌های پوزولان به وسیله مطالعه تیغه‌های نازک بوسیله میکروسکوپ نوری و همچنین تفسیر نمودار اشعه ایکس پودر تعیین شد.

علاوه بر نمونه‌برداری سطحی، عملیات حفاری ۹ گمانه برای مطالعات تکمیلی و تفصیلی، در نواحی دارای ظرفیت بالا دارند، انجام شد. با استفاده از خرده‌های حفاری، نمونه‌های ۴ گمانه تهیه شد و برای تعیین میزان اکسیدهای تشکیل‌دهنده نمونه‌ها که شامل SiO_2، Al_2O_3، Fe_2O_3، MgO، CaO، Na_2O، K_2O، TiO_2، P_2O_5، BaO، MnO، SrO، ZrO و SO_3 است، از آنها XRF تهیه شد که نتایج آن در جدول(۱) ارائه شده است (لازم به ذکر است که تجزیه شیمیایی تر نمونه‌ها نیز انجام شد که میزان اکسیدهای اصلی بسیار نزدیک به نتایج XRF بود). همچنین کانی‌های اصلی نمونه‌ها در نمودار تفریق اشعه ایکس پودر مشخص شده است(شکل۲). بعد از تهیه نمونه‌های سیمانی با ۱۴ درصد اختلاط با مواد پوزولانی مورد نظر، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها تعیین شد و همچنین زمان گیرش، میزان آب و انبساط اوتوکلاو نمونه‌ها نیز تعیین شدند که نتایج آن در جدول(۲) ارائه شده است. علاوه بر این، برای ارزیابی از سایر خصوصیات فیزیکی نمونه‌ها، برخی دیگر از این خصوصیات تعیین شدند که نتایج آن در جدول(۳) ارائه شده است. همچنین برای بررسی بیشتر عوامل موثر بر خواص پوزولانی، مطالعات پتروگرافی از تیغه‌های نازک نیز انجام شده است.

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID



شکل۱: بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک و موقعیت منطقه مورد مطالعه[۹].

جدول۱: نتایج XRF نمونه‌های پوزولان.

Elements	G21	G61	G72	G93
SiO_2	74.01	72.45	70.84	67.08
Al_2O_3	7.40	11.98	11.55	9.60
Fe_2O_3	2.95	3.2	4.08	5.25
CaO	3.90	3.08	2.62	8.3
MgO	1.98	2.06	1.77	2.12
Na_2O	2.49	2.48	3.08	2.95
K_2O	1.46	1.44	1.55	1.25
TiO_2	0.21	0.20	0.22	0.21
P_2O_5	0.01	0.02	0.02	0.01
MnO	0.01	0.01	0.02	0.01
SrO	0.10	0.12	0.11	0.08
BaO	0.07	0.08	0.09	0.05
ZrO	0.02	0.01	0.02	0.01
SO_3	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	5.60	3.15	4.13	3.22
SUM	100.22	100.29	100.11	100.15

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

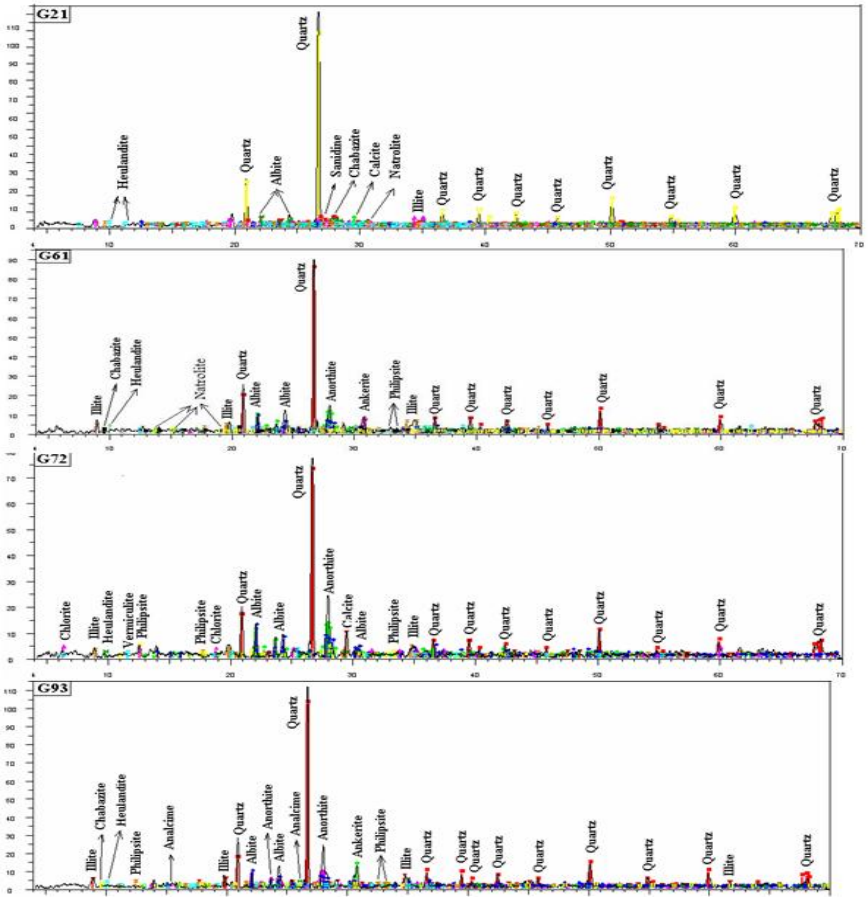
Archive of SID

جدول۲: آزمایش‌های فیزیکی الزامی سیمان پرتلند پوزولانی با ۱۴ درصد اختلاط با پوزولانی.

Sample No.	Compressive Strength(kg/cm^2)			Flexural Strength(kg/cm^2)			Setting Time(minute)		Water Content(%)	Autoclave Expansion(%)
	3 day	7 day	28 day	3 day	7 day	28 day	Primary	Secondary		
Control mixture	173	257	370	41	57	98	180	215	24.5	0.21
G21	157	236	319	34	50	62	155	210	25.5	0.10
G61	155	246	338	36	48	67	175	515	26.5	0.12
G93	150	235	329	37	44	61	155	205	25.5	0.11
G72	169	232	322	37	48	61	170	215	25.5	0.11

جدول۳: برخی دیگر از مشخصات فیزیکی نمونه‌های پوزولان و سیمان پوزولانی(اختلاط با ۱۴ درصد پوزولان).

Sample No.	Specific mass of pozzolan (gr/cm^3)	Remain 45 µm sieve of pozzolan(%)	Specific mass of pozzolanic cement(gr/cm^3)	Specific surface(cm^2/gr)	Remain 45 µm sieve of pozzolanic cement(%)	Remain 90 µm sieve of pozzolanic cement(%)
G21	2.67	25	3.04	3255	25	3.2
G61	2.60	24	3.06	3178	26	3.3
G72	2.62	24	3.03	3285	24	3
G93	2.62	24	3.05	3178	25	3



شکل۲: نمودار اشعه ایکس پودر چهار نمونه G21، G61، G72 و G93.

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID

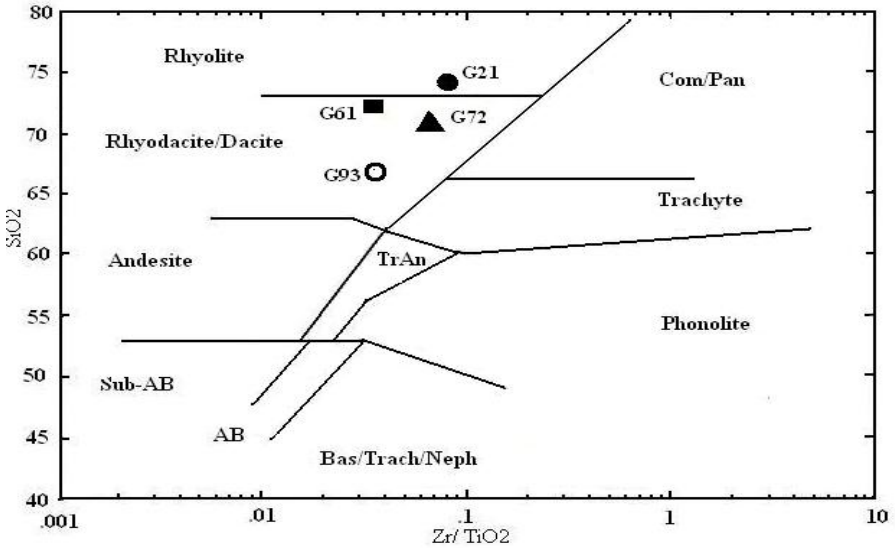
نتایج مطالعات پتروگرافی

در مطالعات میکروسکوپ پولاریزان مشخص شد در اکثر نمونه‌ها تبلور شدید کانی‌های خمیره مشاهده شده است و اکثر نمونه‌ها، دچار سیلیسی شدن و تبلور دوباره شده‌اند. دگرسانی با پاراژنزهای کائولینیت+ مواد آرژیلی- کانی‌های رسی + سریسیت ± کلریت و به مقدار به نسبت بالا ± زئولیت قابل ملاحظه است. کلریت‌ها بیشتر از نوع فروکلریت هستند و سریسیت به صورت تراشه‌های ریز و به صورت دگرسانی فنوکریست‌ها و فنوکلاست‌های پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های خمیره قابل ملاحظه است. رگچه‌های پر شده از کانی‌های کربناته نظیر کلسیت و کانی‌های اپاک و رگچه‌های پر شده از کلسیت همراه با آغشتگی‌هایی از اکسیدهای آهن و رگچه‌های پر شده از کانی‌های زئولیتی، از جمله دیگر فرایندهای دگرسانی تأثیرگذار بر توف‌ها بوده اند. به نظر می‌رسد که پدیده‌هایی چون دوتریفیکاسیون و دگرسانی‌های ذکر شده با فواصل زمانی اندک بر سنگ‌های منطقه تأثیرگذار بوده است.

با توجه به نمودار اشعه ایکس پودر، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده نمونه‌های پوزولان مشخص شدند و معلوم شد که نمونه‌ها درصد به نسبت بالایی(حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد) از کانی‌های گروه زئولیت نظیر فیلیپسیت، هیولاندیت، ناترولیت، شابازیت و آنالسیم را دارند که این ویژگی باعث بالابردن خواص پوزولانی شده است. این زئولیت‌ها در اثر تجزیه فلدسپات‌ها در نتیجه دگرسانی و تبلور دوباره آنها به وجود آمده‌اند. همچنین این نمونه‌ها درصد بالایی از SiO_2 به صورت بلورین داشته که بخش اعظم فاز بلورین آن در کانی‌های کوارتز و فلدسپات‌هایی نظیر آلبیت، آنورتیت و سانیدین است. نتایج نمودار اشعه ایکس نمونه‌ها در جدول(۴) خلاصه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از XRF نمونه‌ها و با استفاده از نمودار وینچستر و فلوید[۱۰] مشخص شد که توف‌های منطقه اسیدی و ترکیب ریولیتی تا داسیتی- ریوداسیتی دارند. به طوری که نمونه G21 ترکیب ریولیتی و نمونه‌های G61، G72 و G93 ترکیب داسیتی- ریوداسیتی دارا دارند. موقعیت پوزولان‌های منطقه مورد مطالعه در دیاگرام وینچستر و فلوید در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول۴: نتایج آنالیز اشعه ایکس نمونه‌های پودر شده.

Sample	Basic Minerals
G21	Quartz, Albite, Anorthite, Sanidine, Calcite, Illite, Kaolinite, Philipsite, Heulandite, Natrolite and Chabazite
G61	Quartz, Albite, Anorthite,Calcite, Dolomite, Ankerite, Illite, Kaolinite, Philipsite, Heulandite, Natrolite and Chabazite
G72	Quartz, Albite, Anorthite, Calcite, Illite, Philipsite, Heulandite, Chlorite and Vermiculite
G93	Quartz, Albite, Anorthite, Illite, Philipsite, Heulandite, Chabazite, Analcime and Ankerite

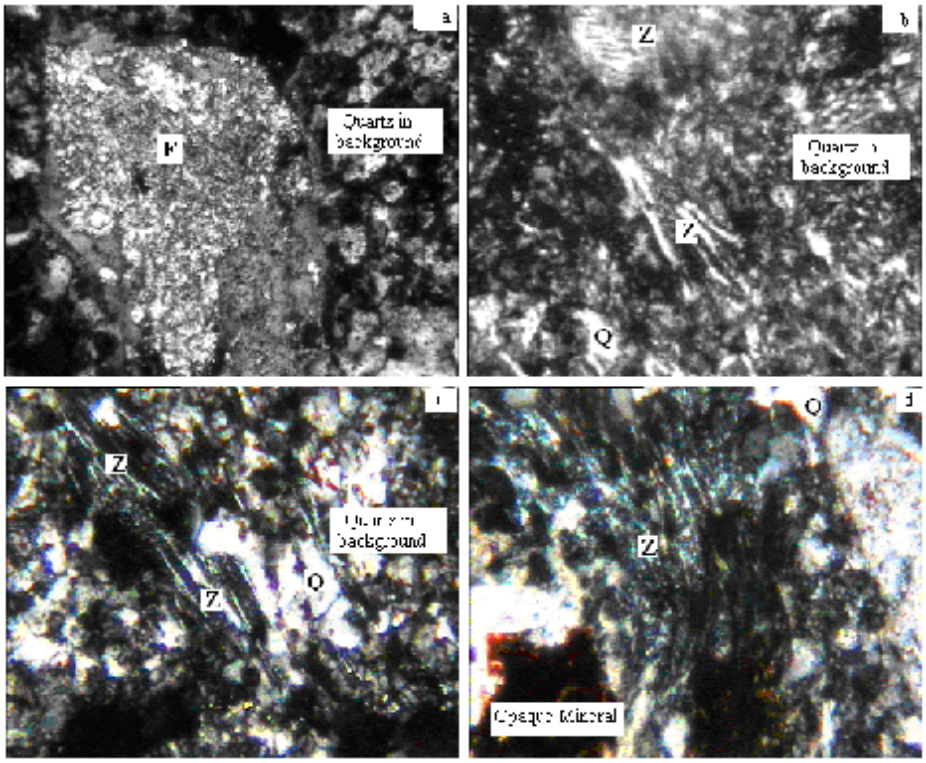


شکل ۳: موقعیت پوزولان‌های منطقه در دیاگرام وینچستر و فلوید[۱۰].

www.SID.ir
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID

با توجه به مطالعات پتروگرافی تیغه‌های نازک مشخص شد که نمونه‌ها درصد به نسبت بالایی فازهای زئولیتی دارند که این فازها به صورت رشته‌ای و شعاعی در تیغه‌ها مشخص است. این زئولیت ها در اثر تجزیه فلدسپات‌ها تشکیل شده‌اند (شکل۴). همچنین مشخص شد که فاز شیشه در نمونه‌ها وجود ندارد و اگر هم وجود داشته، در اثر دگرسانی و تبلور دوباره به کانی‌های بلورین نظیر کوارتز و فلدسپات تبدیل شده است. در نمودار اشعه ایکس نیز مشهود است که فاز شیشه وجود ندارد و اگر هم وجود داشته باشد به میزان خیلی اندک وجود دارد؛ به طوری که آثار ضعیفی در نمودار اشعه ایکس نمونه G21 (شکل۲) از فاز شیشه مشاهده می‌شود. بنابراین نتایج نمودارهای اشعه ایکس پودر و نتایج پتروگرافی تیغه‌های نازک یکدیگر را تأیید می‌کنند.



شکل٤: نمایش فازهای زئولیتی در تیغه‌های نازک زیر میکروسکوپ پولاریزان: a) تجزیه فلدسپات قلیایی(F) در یک زمینه ریزبلور کوارتز b) فازهای زئولیتی(Z) هم به صورت شعاعی(بالای تصویر) و هم به صورت رشته‌ای(مرکز تصویر) c) بلورهای کوارتز(Q) به همراه فازهای زئولیتی شعاعی d) بلورهای کوارتز و کانی اوپاک به همراه فاز زئولیتی رشته‌ای (بزرگنمایی۱۰X).

جدول۵: مطابقت ترکیبات شیمیایی نمونه‌ها با استاندارد ملی ایران.

	ISIRI 3433 and ASTM C618	G21	G61	G72	G93
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	Min 70%	84.36	87.63	86.47	81.93
SO_3	Mox 4%	0.01	0.01	0.01	0.01
Humid content	Max 3 %	2	2.2	1.5	1.7
LOI	Max 10 %	5.6	3.15	4.13	3.22

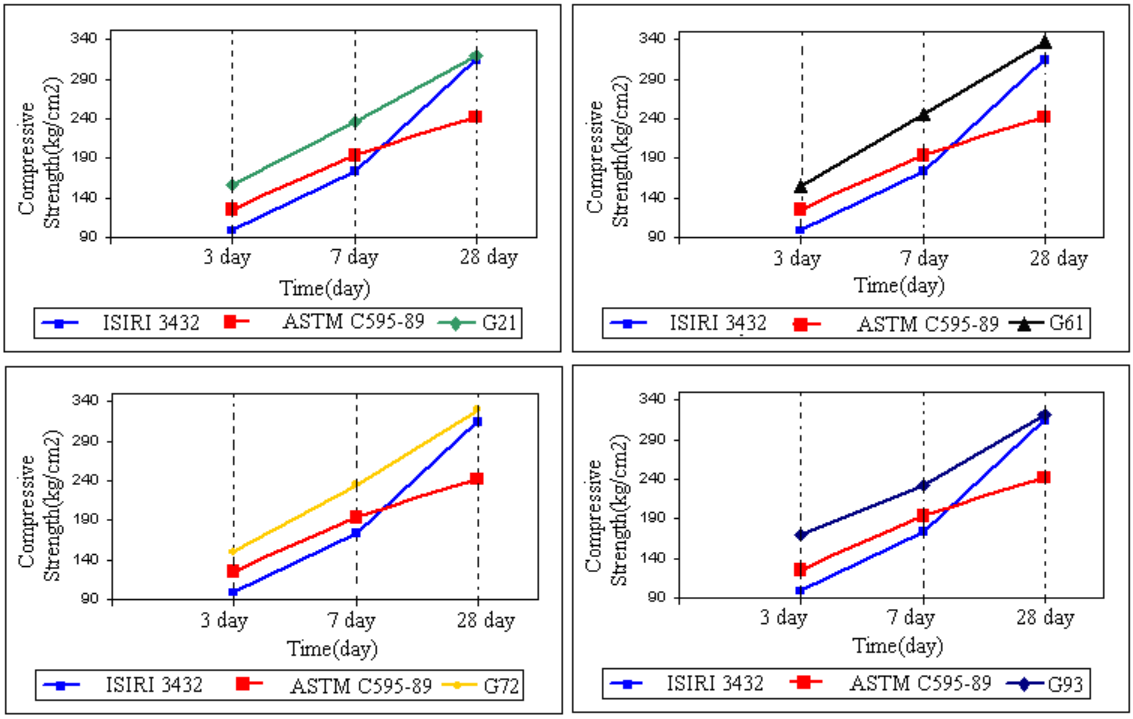
جدول۶: مطابقت مشخصات فیزیکی ملات تهیه شده به وسیله اختلاط ۱۴ درصد نمونه‌های پوزولان با استاندارد ملی ۳۴۳۲ ایران و ASTM C595-89.

Parameter	ISIRI 3432	ASTM C595-89	G21	G61	G72	G93
Specific surface(cm^2/gr)	Min 3000	-	3255	3178	3285	3178
Autoclave Expansion(%)	Max 0.8	Max 0.8	0.1	0.12	0.11	0.11
Primary Setting Time(minute)	Min 60	Min 45	155	175	155	170
Secondary Setting Time(minute)	Max 420	Max 420	210	215	205	215

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID



شکل۵: مطابقت مقاومت‌های فشاری ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های مورد مطالعه با استاندارد ملی شماره ۳۴۳۲ ایران و ASTM C595-89.

نتایج آزمایش‌های فیزیکی پوزولان

با توجه به تجزیه شیمیایی انجام شده، مشخص شد که نمونه‌ها، حاوی نسبت بالایی از SiO_2 هستند. مطابق با استاندارد مرتبط، بعضی از ویژگی‌های شیمیایی از موادی که به عنوان پوزولان استفاده شده بودند، مورد نیاز است. مطابقت ترکیب شیمیایی نمونه‌ها با استاندارد ملی ایران(ISIRI 3433) و ASTM C618، به طور مختصر در جدول (۵) نشان داده شده است. همان‌طوری که در جدول(۵) نشان داده شده، ترکیبات شیمیایی همه نمونه‌ها درون محدوده استانداردهای مربوط به آن است. همچنین برخی مشخصات فیزیکی الزامی ملات‌هایی که با ۱۴ درصد پوزولان اختلاط شده بودند، با استاندارد ملی ایران شماره ۳۴۳۲(ISIRI 3433)[۱۱] و استاندارد ASTM C595-89 مطابقت داده شدند و مشخص شد که این ویژگی‌ها در محدوده هر دو استاندارد ذکر شده قرار دارد (جدول۶).

برای ارزیابی پوزولان‌های منطقه مورد مطالعه به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، باید مقاومت فشاری آنها نیز اندازه‌گیری می‌شد. بنابراین مقاومت فشاری ملات‌هایی که حاوی ۱۴ درصد پوزولان بودند، اندازه‌گیری شد.

نتایج آزمایش مقاومت فشاری(جدول۲) نمونه‌ها، بالاتر از حداقل مقدار مشخص شده در استانداردها است. در شکل (۵)، نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها بر حسب زمان رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقاومت فشاری با گذشت زمان افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد سیمان‌های پوزولانی مقاومت نهایی خود را در زمان‌های طولانی حتی بالاتر از ۲۸ روز نشان می‌دهند.

در نمودارهای شکل(۵)، مقاومت‌های فشاری ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها با مقادیر مورد نیاز در استانداردهای ISIRI 3432 و همچنین ASTM C595-89 مطابقت داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقاومت‌های فشاری ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه همه نمونه‌ها بالاتر از حداقل مقدار مشخص شده در استانداردهای ذکر شده هستند(شکل۵).

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که منابع طبیعی غنی پوزولان در استان مرکزی وجود دارد. رخنمون‌های سنگی بررسی شده، منشأ آتشفشانی داشته و ویژگی‌های پوزولانی خوبی نشان داده‌اند.

www.SID.ir
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID

نتایج مطالعات پتروگرافی نشان داد که نمونه‌ها فاز شیشه نداشته و یا دارای اندکی فاز شیشه دارند و قابلیت پوزولانی خوبی دارند که این موضوع می‌تواند به دلیل وجود درصد به نسبت بالای کانی‌های گروه زئولیت(۱۵ تا ۲۵ درصد) باشد. کاهش قابلیت پوزولانی به دلیل نبود فازهای شیشه، به وسیله وجود فازهای زئولیتی جبران شده است. تا کنون در مطالعات انجام شده قبلی، عامل اصلی خواص پوزولانی خوب، فاز شیشه بیان شده است؛ ولی در این مطالعه مشخص شد که این پوزولان‌ها با توجه با اینکه فاز شیشه نداشته و یا دارای میزان اندکی هستند، ولی خواص پوزولانی خوبی از خود نشان داده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد که عامل اصلی خواص پوزولانی خوب، فازهای زئولیتی باشد. همچنین می‌توان گفت اگر سنگی وجود داشته باشد که فاز آمورف(شیشه) نداشته ولی درصد بالایی از فازهای زئولیتی(بالاتر از ۲۰ درصد) را داشته باشد، می‌تواند به عنوان پوزولان طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

این توف‌ها، الزام‌های استاندارد ملی ایران و استاندارد آمریکا را برای ترکیبات شیمیایی و فیزیکی و همچنین مقاومت‌های فشاری ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه برآورده می‌کند. به گونه‌ای که مقاومت فشاری ۳ روزه نمونه‌ها بین ۱۵۰ تا ۱۶۹ kg/cm^2 (حداقل در استاندارد ایران۱۰۰ و در ASTM ۱۲۵ kg/cm^2) است، مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌ها بین ۲۳۲ تا ۲۴۶ kg/cm^2 است(حداقل در استاندارد ایران ۱۷۵ و در ASTM ۱۹۳kg/cm^2) و در نهایت مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها بین ۳۱۹ تا ۳۳۸ kg/cm^2 است(حداقل در استاندارد ایران ۳۱۵ و در ASTM ۲۴۱ kg/cm^2). بنابراین پوزولان‌های مطالعه شده، برای استفاده به عنوان جایگزین بخشی از سیمان قابلیت خوبی دارند.

مراجع

1 - Cavdar, A. and Yetgin, S. (2007). "Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on concrete, some chemical and mechanical relationships." *Construction and Building Materials*, Vol. 21, PP. 2066-2071.

2 - Colak, A. (2002). "The long-term durability performance of gypsum- Portland cement- natural pozzolan blends." *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, PP. 109-115.

3 - Rodriguez- Camacho, R. E. and Uribe-Afif, R. (2002). "Importance of using natural pozzolans on concrete durability." *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, PP. 1851-1858.

4 - Uzal, B. and Turanli, L. (2003). "Studies on blended cement containing a high volume of natural pozzolans." *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, PP. 1777-1781.

5 - Canpolat, F., Yilmaz, K., Koese, M., Suemer, M. and Yurdusev, M. (2003). "Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production."*Cement and Concrete Research*, Vol. 23, No. 24, PP.1-5.

6 - Turanli, L., Uzal, B. and Bektas, F. (2005). "Effect of larg amounts of natural pozzolan addition on properties of blended cements." *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 6, PP. 1106-1111.

7 - ISIRI 3433. (1994). *Standard specification for natural pozzolans.* Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Iran.

8 - ASTM C 618-03. (1993) *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural pozzolan for use as a mineral admixture in Concrete*. Anaual Book of ASTM standards, Vol. 4.02, PP. 319-321.

9 - Ghalamghash, J., Babakhani, A. R. and Bahrudi, A. (2000). "Kahak geological map sheet 1:100000. " *Geological Survey of Iran*, Iran.

10 - Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1997). "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements." *Chemical Geology,* Vol. 20, PP. 325-343.

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Archive of SID

11 - ISIRI 3432. (1995). *Standard specification for pozzolan Portland cement*. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Iran.

واژه‌های علمی به ترتیب استفاده در متن

1 - Compressive Strength
2 - Flexural Strength
3 - Setting Time
4 - Autoclave Expansion
5 - Control Mixture
6 - Specific Surface
7 - Pozzolanic Cement

www.SID.ir

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com