

## بررسی قابلیت توفهای زئولیت دار طارم به عنوان پوزولان طبیعی برای استفاده در صنعت سیمان

سهیلا اصلانی<sup>۱\*</sup>، عباس بحرودی<sup>۲</sup>، رعنا اسمعیل پور<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی معدن [saslani@ut.ac.ir](mailto:saslani@ut.ac.ir)  
۲- استادیار دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی معدن [bahrودي@ut.ac.ir](mailto:bahrودي@ut.ac.ir)  
۳- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشگاه شهید بهشتی [Ra\\_Esmailpour2@yahoo.com](mailto:Ra_Esmailpour2@yahoo.com)

(دریافت ۱۹ فروردین ۱۳۹۱، پذیرش ۱۶ آذر ۱۳۹۱)

### چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی توانمندی در پتانسیل یابی مواد پوزولانی و ارزیابی آن‌ها جهت کاربرد صنعتی در منطقه طارم در محدوده استان زنجان می‌باشد. برای این منظور یکی از مناطق دارای پتانسیل مواد پوزولانی که در بررسی‌های گذشته مشخص شده بود، انتخاب شد و با انجام عملیات صحرائی و نمونه برداری مورد اکتشاف قرار گرفت. نمونه‌ها به ترتیب مورد مطالعات پتروگرافی، XRD، آنالیز شیمیایی، آزمایش‌های فیزیکی و در نهایت اکتیویته پوزولانی قرار گرفتند. بر اساس نتایج مطالعات پتروگرافی، ۵ نمونه مناسب و مستعد بعنوان مواد پوزولانی تشخیص داده شدند. در آزمایش‌های فیزیکی انجام شده نیز انطباق مناسبی بین نمونه‌ها و استانداردهای موجود برای مواد پوزولانی مشاهده شد. اما در مرحله نهایی با انجام آزمایش‌های اکتیویته پوزولانی نمونه‌ها استانداردهای لازم را کسب نکردند، به دلیل این که ترکیب توف‌های منطقه عموماً داسیتی و آندزیتی بودند، سنگ‌های منطقه علی‌رغم داشتن دگرسانی زئولیتی و  $\text{SiO}_2$  کافی، برای استفاده به عنوان ماده پوزولانی مناسب شناخته نشدند.

### کلمات کلیدی

پوزولان طبیعی، سیمان، اکتیویته پوزولانی، دگرسانی زئولیتی، آنالیز شیمیایی

## ۱- مقدمه

منطقه انتخاب شده در محدوده شمال روستای تهم و در نزدیکی سد تهم واقع شده است و علت انتخاب این منطقه، مطلوبیت بالای آن از نظر پتانسیل پوزولانی و نزدیکی به جاده منتهی به سد تهم می‌باشد. در این راستا ویژگی‌های پتروگرافی، فیزیکی و شیمیایی این سنگ‌ها با توجه به استانداردهای مربوطه مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۲۵۰۰ کیلومتر مربع در شمال استان زنجان در شمال روستای تهم (۲۵ کیلومتری شمال شهرستان طارم) و شمال شرقی روستای گله‌رود (در نزدیکی کوه‌های قره‌داش و چله‌خانه) در طول شرقی ۳۰'، ۴۸ تا ۴۰'، ۴۸ و عرض شمالی ۴۵'، ۳۶ تا ۵۵'، ۳۶ قرار دارد. بلندی متوسط منطقه از سطح دریا ۱۸۰۰ متر بوده و ناحیه به طور کامل کوهستانی می‌باشد و از شمال و جنوب به دو دشت طارم و زنجان محدود است. از راه‌های دسترسی منطقه می‌توان به راه‌های زنجان- تهم- زرزی و زنجان- علی آباد موسوی- گلیجه، زنجان- گیلوان- چورزق اشاره نمود. منطقه مورد مطالعه بدلیل قرارگیری در رشته کوه‌های البرز و ارتفاعات طارم دارای آب و هوای کوهستانی می‌باشد. لیتولوژی عمومی منطقه تناوبی از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی می‌باشد که به دلیل متفاوت بودن مقاومت آن‌ها در مقابل فرسایش دیواره دره‌ها به صورت پرتگاه درآمده است (اشکال ۱ و ۲) [۱۰].

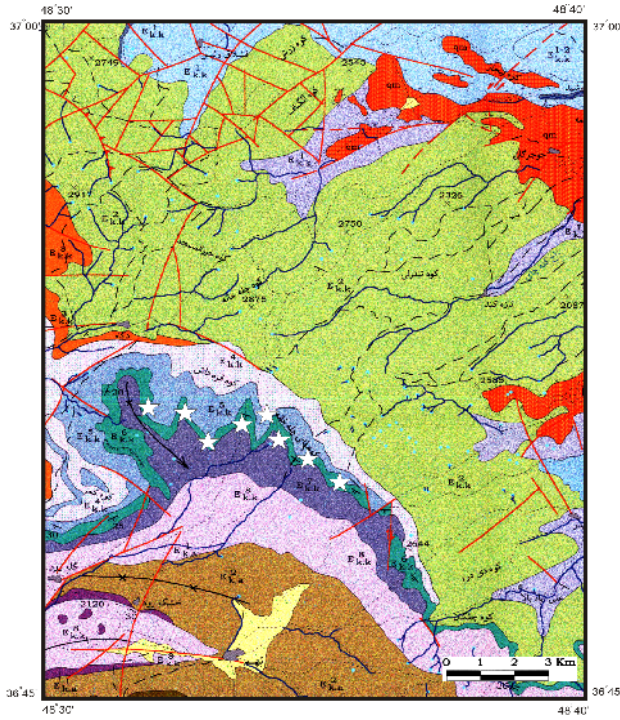
## ۲-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

ناحیه طارم در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران جزء منطقه البرز مرکزی محسوب می‌شود. این رشته کوه‌ها مرکب از طبقاتی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری است که با ضخامت قابل توجه (تا حدود ۴۰۰۰ متر) روی هم انباشته شده‌اند. واحدهای سنگی منطقه از قدیم به جدید عبارتند از: الف) سنگ آهک‌های ضخیم تا توده‌ای خاکستری رنگ پالئوزوئیک که توسط توده نفوذی دیوریتی خاکستری مایل به سبز سنوزوئیک قطع و در حاشیه این واحد موجب دگرگونی حرارتی و ایجاد مرمر و اسکارن شده است. ب) واحد شیلی بیتومین دار و گرافیت‌دار مزوزوئیک که دگرگونی ضعیفی را تحمل کرده و روی سنگ‌های دگرگون نشده سازند جوانتر به صورت تکتونیک قرار گرفته است. ج) واحدهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن در رشته کوه‌های البرز (منطقه طارم) به دو بخش کردکند (که معادل بخش زیرین سازند کرج) و بخش آهمند تقسیم می‌شوند. این دو واحد در سازند کرج توسط توده گرانودیوریتی و گسل‌ها از واحدهای قدیمی جدا می‌شود. سری مذکور از لحاظ سنگ‌شناسی شامل گدازه‌های آندزیتی، آذرآواری (توف ماسه‌ای)، توف برشی و رسوبات تخریبی

امروزه سیمان‌های پوزولانی به دلیل اقتصادی بودن و مصرف انرژی کمتر از یک سو و خواص ویژه آن‌ها از سوی دیگر در کشورهایی که دارای منابع پوزولانی هستند به مقدار قابل توجهی تولید و عرضه می‌شود. مواد پوزولانی از مواد سیلیسی یا سیلیسی-آلومینی تشکیل شده‌اند که به عنوان یک جایگزین برای بخشی از سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از پوزولان نه تنها باعث افزایش دوام و مقاومت مکانیکی بتن می‌شود، بلکه نفوذپذیری، گرمای هیدراتاسیون، مصرف انرژی و همچنین آلودگی محیط زیست را نیز کاهش می‌دهد [۴، ۱]. همچنین پوزولان‌ها سبب افزایش زمان گیرش می‌شوند علاوه بر این با استفاده از آن می‌توان هم مواد زائد و تولیدات فرعی کارخانه‌ها و آلاینده‌های محیط زیست را به مصرف رساند و هم در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CO<sub>2</sub> نیز موثر بود [۵]. یکی از خواص مهم پوزولان‌ها، فعالیت پوزولانی است که در واقع، به میزان توان واکنش پوزولان با آهک در حضور آب گفته می‌شود. هر چه فعالیت پوزولانی بیشتر باشد، کیفیت آن پوزولان بهتر خواهد بود؛ از عواملی که فعالیت پوزولانی را افزایش می‌دهد می‌توان به میزان فاز شیشه، ریزدانه‌گی و دگرسانی ژئولیتی اشاره کرد [۶].

مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت فشاری نمونه‌ها به وسیله برخی خواص پوزولان‌ها مثل ترکیب شیمیایی، نرمی و نسبت فاز شیشه تأثیر پذیر است. در استاندارد ملی ایران (ISIRI 3433) [۷] ترکیب شیمیایی پوزولان طبیعی به این ترتیب تعیین شده است: حداکثر ۴ درصد SO<sub>3</sub>، حداقل ۷۰ درصد SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، حداکثر ۳ درصد رطوبت و حداکثر ۱۰ درصد افت ناشی از حرارت، محدودیت‌ها در استاندارد ملی شماره 3433 ایران با محدودیت‌های استاندارد ASTM C618 [۸] شباهت دارد.

در ایران سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری به‌وفور یافت می‌شود. از جمله در رشته کوه البرز، زون سنندج- سیرجان، زون ارومیه- دختر و ایران مرکزی، که یکی از گسترده‌ترین آن‌ها توف‌های آتشفشانی می‌باشند 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 گسترش پتانسیل این مواد آذرآواری مورد بررسی قرار گرفته شود. مطالعات نشان می‌دهد که توف‌های دگرسان شده منطقه طارم دارای درصد نسبتاً مناسبی از کانی‌های گروه ژئولیت می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نقشه نهایی پتانسیل‌یابی مواد پوزولانی، توسط روش‌های دورسنجی و GIS [۹]، یکی از مناطق دارای مطلوبیت بالا انتخاب شد و بررسی‌های اکتشاف نیمه‌تفضیلی روی این منطقه انجام گرفت.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه طارم [۱۰] (نقاط نمونه برداری)

### ۳-۲- مطالعه مقاطع میکروسکوپی

مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از نمونه توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل Olympus BH<sub>2</sub> در آزمایشگاه دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران انجام گرفت و نتایج آن به شرح زیر می-باشد.

نمونه ۱: یک توف آذرین که در آن آلتراسیون کلسیتی و آرژیلیکی و زئولیتی ایجاد شده، دارای قطعات لیتیک و شیشه به همراه قطعات میکروکریستالین کوارتز می‌باشد (شکل ۳).  
 نمونه ۳: توف آذرین با ساخت جریان، به شدت زئولیتی و کلسیتی شده که وجود قطعات شیشه دگرسان شده و قطعات کانی‌های رسی در آن مشهود است (شکل ۴).

(ماسه‌سنگ) می‌باشد و سنگ‌های نفوذی شامل گرانیت، گرانودیوریت و مونزونیت در مرکز منطقه به موازات روند عمومی نهشته‌های ائوسن در داخل توفها نفوذ کرده است. در حاشیه این توده ها دگرسانی هیدروترمال در توفهای سازند کرج به وجود آمده و کانی همانند آلونیت تشکیل شده است. از لحاظ ماگمایی و از نظر ژئوشیمیایی گرانیتوئیدهای فوق‌الذکر از نوع کالک‌آلکان تا آلکانل می‌باشد. رگه‌های سیلیسی و آپوفیزهای نشات گرفته از گرانیتوئیدها در داخل گرانیت - گرانودیوریت و درزها و شکستگی‌های موجود در واحدهای آذرآواری کرج باعث کانی‌سازی مس، سرب، روی و طلا شده است. علاوه بر این در مجاورت توده نفوذی با نهشته‌های آذرآواری اندیس‌های کانسار آهن‌دار نیز تشکیل شده است [۱۰].

بر اساس نقشه‌ی نهایی پتانسیل پوزولانی تهیه شده با استفاده از مدل همپوشانی شاخص که اطلاعات آن از تصاویر ماهواره‌ای در محدوده طیفی VNIR و SWIR برای اکتشاف لایه‌های دگرسانی زئولیتی بدست آمده بود [۹]، یکی از مناطق امید بخش انتخاب و با انجام عملیات صحرائی و نمونه‌برداری مورد اکتشاف قرار گرفت. نمونه‌ها به ترتیب مورد مطالعات پتروگرافی، XRD، آنالیز شیمیایی، آزمایش‌های فیزیکی و در نهایت اکتیویته پوزولانی قرار گرفتند.

### ۳- روش مطالعه و انجام آزمایش

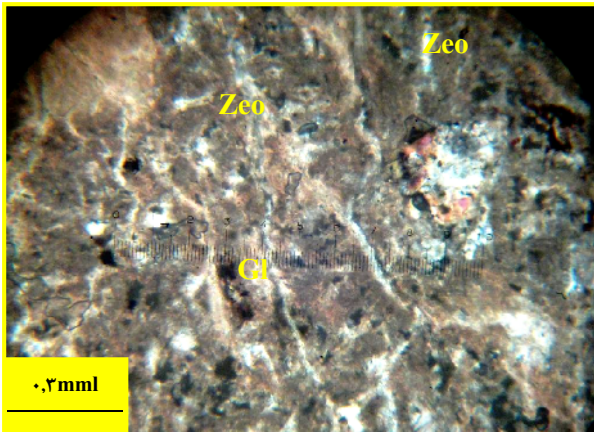
#### ۳-۱- مطالعات پتروگرافی

تعداد ۲۶ نمونه سنگی از ۷ منطقه مورد مطالعه برداشت شد و جهت انجام مطالعات پتروگرافی به آزمایشگاه سنگ‌شناسی دانشکده مهندسی معدن انتقال یافت. بعد از بررسی ماکروسکوپی نمونه‌های برداشت شده، ۵ منطقه (۱، ۳، ۱۰، ۱۲، ۱۳) برای ادامه مطالعات از قبیل مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی، تعیین ترکیب شیمیایی توسط روش XRF، انجام آزمایش‌های XRD، نهایتاً تعیین جنس سنگ مناسب تشخیص داده شد و مطالعات بر روی آن‌ها بشرح زیر ادامه یافت.

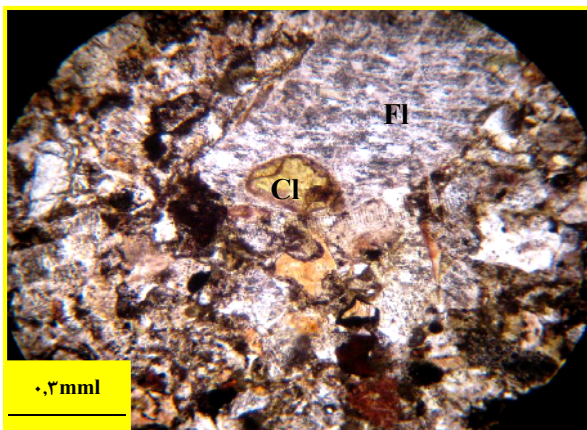
با توجه به استانداردهای ASTM C618 [۸] و ISIRI 3433 [۷] مربوط به خواص شیمیایی پوزولان‌های طبیعی، مشاهده می‌شود که همه‌ی نمونه‌ها در محدوده استانداردهای مربوطه قرار دارند (جدول ۳). در ادامه آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی نمونه‌های مربوطه انجام گرفت.



شکل ۳: نمونه ۱، آلتراسیون شدید زئولیتی (ZeO)



شکل ۴: نمونه ۳، آلتراسیون شدید زئولیتی (ZeO) و قطعات شیشه (Gl) که به زئولیت تبدیل شده اند



شکل ۵: نمونه ۲، کانی رسی (Cl) در زمینه فلدسپات های (Fl) دگرسان شده



شکل ۲: نمایی از منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای سازند کردکند.

Ek.k5: توف و توفیت به رنگ خاکستری تا سبز همراه با میان لایه ماسه سنگ توفی

Ek.k6: انواع توف

Ek.k7: تناوب توف با توف ماسه‌ای و پورفیریک آندزیت

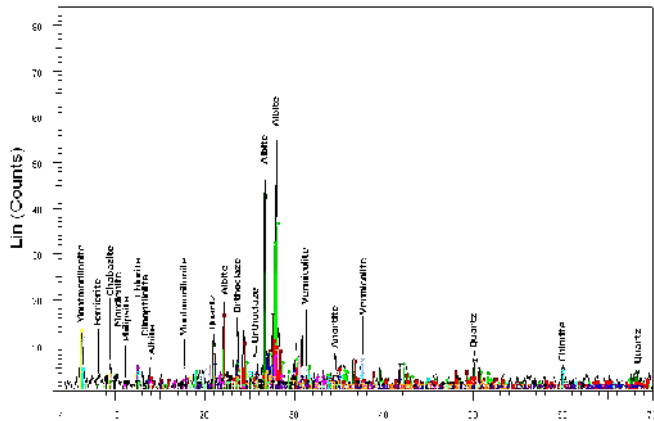
نمونه ۱۰: توف خرده سنگی ریوداسیتی با زمینه دانه ریز، حاوی قطعات فلدسپات، کانی‌های مافیک و قطعات شیشه که فاقد دگرسانی است (شکل ۵).

نمونه ۱۲: توف بلورین با بافت میکروولیتی که دارای مقدار کمی شیشه، کانی‌های مافیک (بیوتیت) که در زمینه فلدسپات‌های کمی دگرسان شده قرار گرفته‌اند، می‌باشد (شکل ۶).

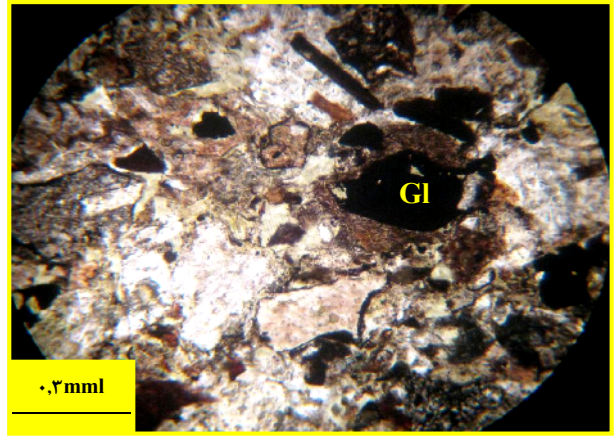
نمونه ۱۳: توف خرده سنگی حاوی بلور و شیشه با ترکیب ریوداسیتی با قطعات فلدسپات دگرسان شده به کانی‌های سبز (اپیدوت) و رسی می‌باشد.

### ۳-۳- نتایج آزمایش‌های آنالیز شیمیایی و XRD

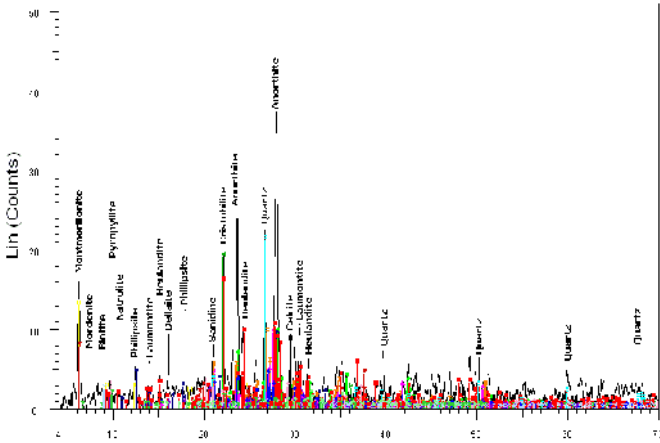
بعد از انجام مطالعات پتروگرافی، تجزیه فازهای تشکیل‌دهنده نمونه‌ها توسط دستگاه XRD مدل Bruker D8 Advance دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران انجام شد. در نمودارها وجود بیش از ۲۰ درصد کانی‌های زئولیتی مشخص است (اشکال ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و جدول ۱). همچنین این نمونه‌ها برای تعیین میزان اکسیدهای اصلی تشکیل‌دهنده که شامل  $SiO_2$ ،  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$ ،  $MgO$ ،  $CaO$ ،  $Na_2O$ ،  $K_2O$  و  $SO_3$  می‌باشد، مورد آنالیز XRF قرار گرفتند که نتایج آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. با استفاده از دیاگرام لوباس و همکاران [۱۱] مشخص می‌شود که توف‌های منطقه مورد مطالعه دارای ترکیب داسیت، آندزیت، بازالت آندزیتی و بازالت آندزیت تراکیتی می‌باشند.



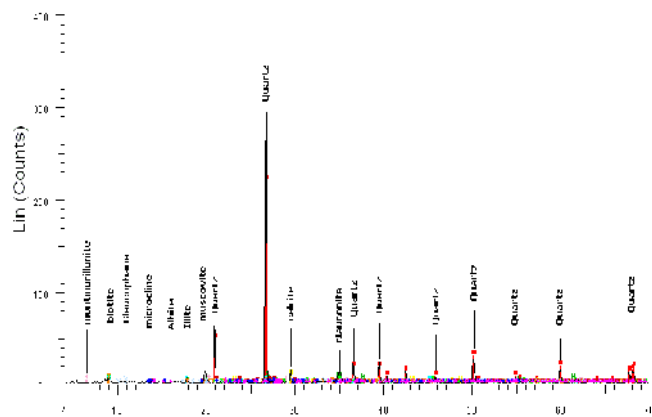
شکل ۹: پراش اشعه ایکس تهیه شده از نمونه No.10



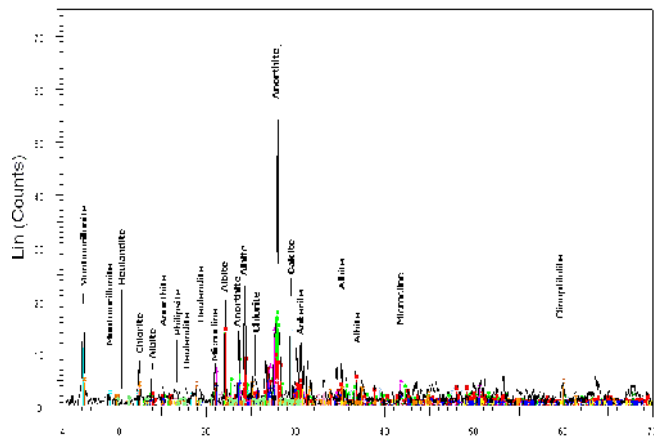
شکل ۶: نمونه ۱۲، قطعات شیشه (GL) و کانی رسی (CI)



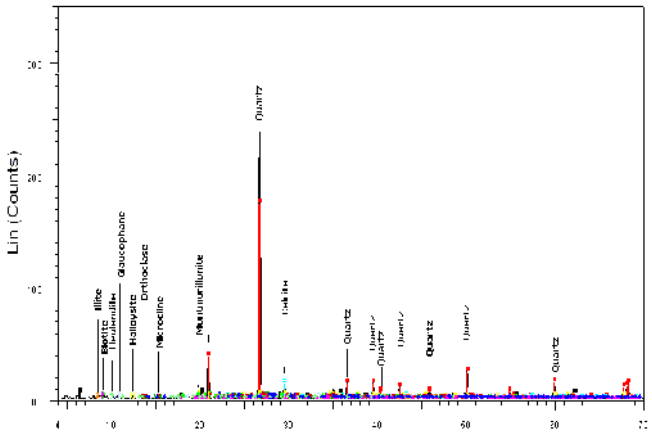
شکل ۱۰: پراش اشعه ایکس تهیه شده از نمونه No.12



شکل ۷: پراش اشعه ایکس تهیه شده از نمونه No.1



شکل ۱۱: پراش اشعه ایکس تهیه شده از نمونه No.13



شکل ۸: پراش اشعه ایکس تهیه شده از نمونه No.3

مربوطه اندازه‌گیری شدند (جدول ۴، ۵، ۶) از نمونه‌ها یک مخلوط شاهد و یک مخلوط آزمایشی مطابق با روش آزمایشی ASTM C109/C109M [۱۲]، قالب‌گیری شدند. سیمان پرتلند استفاده شده در این آزمایش باید مطابق با الزامات مشخصات ASTM C150 [۱۳] بوده و باید حداقل مقاومت فشاری معادل

### ۳-۳- نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها

همانطور که قبلاً ذکر شد، تعداد ۳ نمونه برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی مقاومت فشاری و خمشی، زمان گیرش، انبساط اوتوکلاو، دانسیته و زبری انتخاب شدند و در آزمایشگاه شرکت تحقیق و توسعه سیمان مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش‌ها، مقدار ۱۴ درصد پوزولان با سیمان تیپ II آبیگ مخلوط شده و خواص ذکر شده در استانداردهای

جدول ۱: نتایج انجام آزمایش‌های پراش اشعه ایکس

شماره نمونه	کانی‌های تشکیل دهنده نمونه‌های مورد مطالعه
No.1	کوارتز، گلوکونیت، کلسیت، موسکویت، مونت موریلونیت، ایلیت، بیوتیت، ارتوکلاز، گلوکوفان، میکروکلین و آلبیت.
No.3	کوارتز، کلسیت، مونت موریلونیت، سانیدین، میکروکلین، هالوپسیسیت، گلوکوفان، موسکویت، ارتوکلاز، بیوتیت، هیولاندیت، آلبیت
No.10	کوارتز، آنورتیت، میکروکلین، ورمیکولیت، مونت موریلونیت، آلبیت، ارتوکلاز، شابازیت، فیلیپسیت، کلریت، سانیدین، مورندیت، لامونتیت، فریریت، ناترولیت
No.12	کوارتز، مونت موریلونیت، ورمیکولیت، آنورتیت، سانیدین، فیلیپسیت، آلبیت، کلسیت، ارتوکلاز، ناترولیت، پیروفیلیت، شابازیت، هیولاندیت، مورندیت، بیوتیت، لامونتیت
No.13	کوارتز، آنورتیت، میکروکلین، آلبیت، سانیدین، کلریت، فیلیپسیت، لامونتیت، کلینوپتیولیت، هیولاندیت، آنکرت، مونت موریلونیت

جدول ۲: نتایج آنالیز شیمیایی XRF از نمونه‌های مورد مطالعه

اکسیدهای تشکیل دهنده	No.1[wt%]	No.3[wt%]	No.10[wt%]	No.12[wt%]	No.13[wt%]
SiO <sub>2</sub>	۶۸/۸۱	۶۷/۳۰	۵۷/۴۵	۵۶/۶۳	۵۴/۴۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵/۱۹	۱۴/۰۸	۱۵/۱۵	۱۴/۳۶	۱۴/۵۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۲۶	۱/۷۶	۷/۹۵	۷/۹۷	۹/۰۲
CaO	۴/۲۵	۵/۰۳	۵/۲۹	۴/۶۲	۵/۰۵
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۳	۰/۱۶	۲/۴۲	۳/۷۴	۳/۶۳
K <sub>2</sub> O	۴/۰۵	۳/۵۲	۲/۹۵	۲/۴۱	۲/۳۰
MgO	۰/۶۷	۱/۱۱	۳/۷۲	۴/۶۰	۵/۳۱
TiO <sub>2</sub>	۰/۱۷	۰/۲۳۴	۰/۷۶۸	۰/۶۹۴	۰/۸۰۵
MnO	۰/۰۸۷	۰/۰۹۴	۰/۱۴۶	۰/۱۵۶	۰/۱۴۹
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۰۳۶	۰/۰۶۵	۰/۳۱۲	۰/۳۰۲	۰/۳۰۹
SO <sub>3</sub>	۰/۱۳۸	۰/۱۱۳	۰/۱۳۰	۰/۱۰۸	۰/۱۳۳
LOI	۵/۵۶	۶/۸۹	۴/۲۰	۴/۸۹	۵/۰۶
جمع کل	۱۰۱/۲۶	۱۰۰/۳۱	۱۰۱/۵۱	۱۰۱/۴۹	۱۰۱/۷۹

جدول ۳: مطابقت خواص شیمیایی نمونه‌ها با استانداردهای ASTM C618 [۸]، ISIRI 3433 [۷]

پارامتر	استاندارد شماره 3433 ایران و ASTM C618	No.1	No.3	No.10	No.12	No.13
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	حداقل ۷۰٪	۸۵/۲۶	۸۳/۱۴	۸۰/۵۵	۷۸/۹۶	۷۸/۸۴
SO <sub>3</sub>	حداکثر ۴٪	۰/۱۳۸	۰/۱۱۳	۰/۱۳۰	۰/۱۰۸	۰/۱۳۳
میزان رطوبت	حداکثر ۳٪	۱/۳	۱/۷	۲/۲	۲	۱/۱
LOI	حداکثر ۱۰٪	۵/۵۶	۶/۸۹	۴/۲۰	۴/۸۹	۵/۰۶

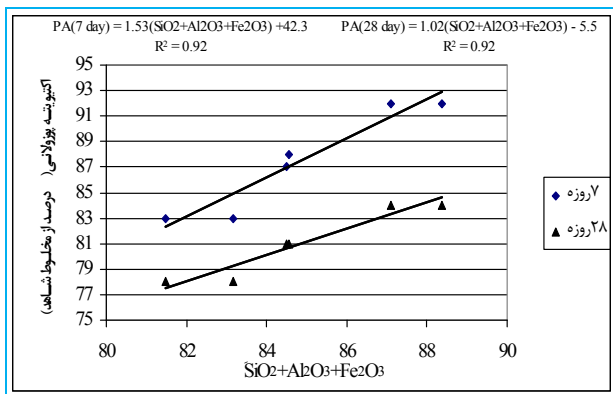
جدول ۴: برخی از مشخصات فیزیکی نمونه‌های پوزولان و سیمان پوزولانی (اختلاط با ۱۴ درصد پوزولان)

شماره نمونه	مقاومت فشاری (kg/cm <sup>2</sup> )			مقاومت خمشی (kg/cm <sup>2</sup> )			زمان گیرش (دقیقه)		میزان آب (درصد)	انبساط اتوکلاو (درصد)
	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	گیرش اولیه	گیرش ثانویه		
مخلوط شاهد	۲۲۵	۳۲۲	۴۱۶	۴۷	۶۴	۷۵	۱۲۵	۱۴۸	۲۴	۰/۱۵
No.1	۲۴۷	۳۴۵	۴۳۱	۵۱	۶۶	۷۳	۱۲۹	۱۵۶	۲۷	۰/۱۰
No.3	۲۴۰	۳۲۸	۴۰۹	۵۰	۶۴	۷۱	۱۲۵	۱۵۵	۲۷	۰/۰۹
No.10	۲۱۱	۳۱۰	۴۱۶	۴۵	۶۱	۷۲	۱۴۲	۱۶۲	۲۵	۰/۰۹
No.12	۲۱۰	۳۱۴	۴۰۰	۴۱	۶۳	۶۹	۱۳۸	۱۵۸	۲۵	۰/۱۰
No.13	۲۲۳	۳۳۳	۴۰۵	۴۶	۶۶	۷۰	۱۳۴	۱۵۵	۲۵	۰/۱۰

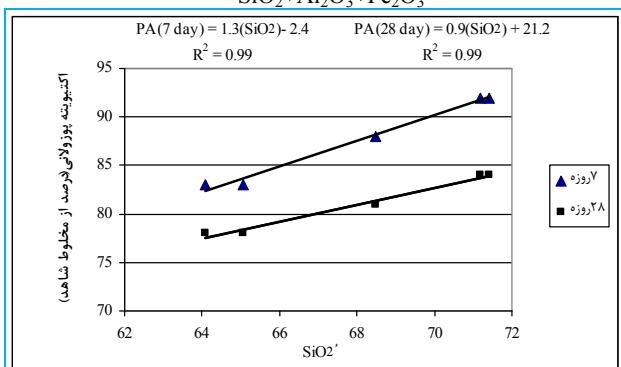
۰/۱۸٪ باشد. در مخلوط آزمایشی ۲۰٪ جرمی از مقدار سیمان استفاده شده در مخلوط شاهد، به وسیله همان مقدار از نمونه

۳۵ MPa (۵۰۰۰ psi) در ۲۸ روز داشته و درصد قلیایی کل (Na<sub>2</sub>O+0/658K<sub>2</sub>O) آن نباید کمتر از ۰/۵٪ و بیشتر از

با توجه به اینکه با تغییر ترکیبات شیمیایی نمونه‌های پوزولان، اکتیویته پوزولانی تغییر می‌کند بنابراین به نظر می‌رسد که یک رابطه‌ای بین این ترکیبات و اکتیویته پوزولانی وجود دارد. بنابراین نمودار تغییرات اکتیویته پوزولانی نسبت به این ترکیبات و همچنین نسبت به  $SiO_2$  بررسی شد که در اشکال ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. در این نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش میزان  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ، اکتیویته پوزولانی افزایش می‌یابد و دارای ضریب نسبتاً بالایی می‌باشد (۹۲ درصد برای ۷ روزه و ۲۸ روزه) (نمودار ۷). همچنین افزایش میزان  $SiO_2$ ، تأثیری بیشتری در افزایش اکتیویته دارد و ضریب بیشتری نسبت به مجموع  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  دارد (۹۹ درصد برای ۷ روزه و ۲۸ روزه) (شکل ۱۴). بنابراین می‌توان گفت که  $SiO_2$  عامل اصلی افزایش خواص پوزولانی می‌باشد و میزان  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  تا حدودی اثر کاهنده‌ای بر روی اکتیویته پوزولانی دارند.



شکل ۱۳: تغییرات اکتیویته پوزولانی نسبت به  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$

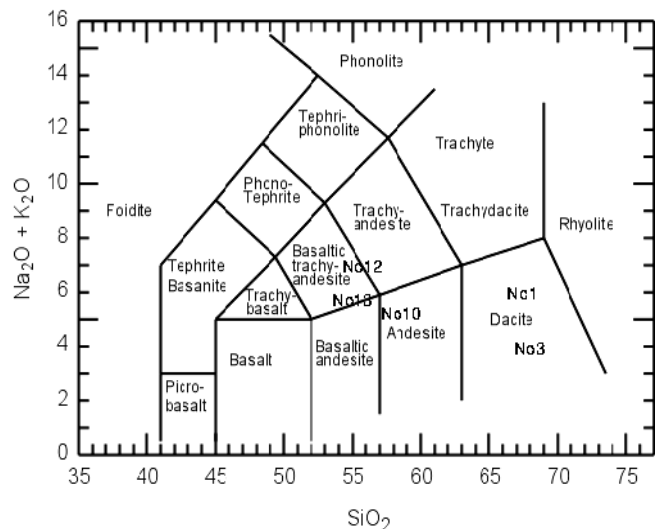


شکل ۱۴: تغییرات اکتیویته پوزولانی نسبت به  $SiO_2$

آزمایشی (پوزولان) جایگزین شده و مکعب‌هایی به ابعاد  $5 \times 5 \times 5$  سانتی‌متر ساخته شدند.

بعد از قالب‌گیری، قالب‌های حاوی نمونه در اتاق رطوبت با دمای  $23 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ تا ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس قالب‌ها از اتاق رطوبت خارج کرده، نمونه‌ها از قالب‌ها بیرون آورده و همان‌طور که در روش آزمایشی ASTM C109/C109M مشخص شده، مکعب‌ها در آب آهک قرار داده و نگهداری شدند و خواص اکتیویته پوزولانی بعد از ۷، ۳، ۱۴ و ۲۸ روز اندازه‌گیری شدند. بر اساس جداول ارائه شده، نتایج به دست آمده از آزمایش‌های فیزیکی منطبق با استانداردهای موجود است. علاوه بر این آزمایش‌ها، مطالعات پتروگرافی، آزمایش‌های اشعه X و سایر بررسی‌ها نیز حاکی از مطلوب بودن نمونه‌ها برای قرار گرفتن در زمره مواد پوزولانی می‌باشد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، ۳ نمونه انتخاب شدند و برای آخرین مرحله تعیین اکتیویته پوزولانی مورد آزمایش قرار گرفتند.

بر اساس نتایج تست اکتیویته به روش ترموگراویمتری (یک روش تسریع شده خمیره مخلوط آهک هیدراته و پوزولان در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) نمونه‌های پوزولانی به سه دسته ضعیف، متوسط و مرغوب تقسیم‌بندی می‌شوند، که نتایج آزمایشگاهی حاکی از آن است که نمونه‌های فوق به لحاظ اکتیویته پوزولانی جزو پوزولان‌های ضعیف محسوب می‌شوند (جدول ۷).



شکل ۱۲: موقعیت پوزولان‌های منطقه در دیگرام لوپاس و همکاران

### ۳-۵- بررسی تأثیر ترکیبات اصلی پوزولان روی اکتیویته پوزولانی

جدول ۵: آزمایش‌های فیزیکی الزامی سیمان پرتلند پوزولانی با ۱۴ درصد اختلاط با پوزولان

شماره نمونه	دانسیته پوزولان ( $\text{g/cm}^3$ )	سطح مخصوص ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
No.1	۳/۰۸	۳۷۱۹
No.3	۳/۰۹	۳۷۵۱
No.10	۳/۰۹	۳۵۵۵
No.12	۳/۰۸	۳۵۲۱
No.13	۳/۰۷	۳۵۲۱

جدول ۶: مطابقت خواص فیزیکی سیمان پوزولانی مخلوط شده با ۱۴ درصد پوزولان با استاندارد ASTM C595 [۱۴] و ISIRI 3432 [۱۵]

مقدار در استاندارد آمریکا ASTM C595-89					مقدار در استاندارد ملی ایران 3432		پارامتر
No.13	No.12	No.10	No.3	No.1	حداقل ۳۰۰۰	حداکثر ۰/۵	سطح مخصوص ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
۳۵۲۱	۳۵۲۱	۳۵۵۵	۳۷۵۱	۳۷۱۹	-	حداکثر ۰/۵	انبساط اتوکلاو (%)
۰/۱	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	حداکثر ۰/۵	حداکثر ۶۰	زمان گیرش اولیه (دقیقه)
۱۳۴	۱۳۸	۱۴۲	۱۲۵	۱۲۹	حداکثر ۴۲۰	حداکثر ۴۲۰	زمان گیرش نهایی (دقیقه)

جدول ۷: تعیین اکتیویته پوزولانی

نمونه	اکتیویته پوزولانی (درصد از مخلوط شاهد)			
	۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
مخلوط شاهد	۴۰/۶۸	۵۰/۵۱	۶۰/۱۹	۶۵/۳۴
No.1	۴/۵۷	۵/۲۷	۱۱/۹۹	۱۸/۱۹
No.3	۷/۲۶	۱۰/۰۳	۱۶/۴۳	۱۹/۶۶
No.10	۵/۶۹	۸/۲۶	۹/۹۳	۱۲/۶۴

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعات پتروگرافی انجام شده روی توف‌های ائوسن منطقه طارم مشخص شد که این سنگ‌ها دچار دگرسانی زئولیتی (با بیش از ۲۰ درصد کانی‌های زئولیتی)، سیلیسی- پروپیلیتی، آرژیلیکی و سیلیسی- سریسیتی شده‌اند. ترکیب نمونه‌های برداشت شده از توف‌های منطقه طارم نشانگر این مطلب است که این توف‌ها دارای ترکیبی داسیتی (نمونه‌های No.1 و No.3) و یا آندزیت-تراکی آندزیتی (نمونه‌های No.10,12,13) می‌باشند.

نمونه‌های برداشت شده از منطقه طارم در تمامی آزمایش‌های مربوط به پوزولان تطابق قابل ملاحظه‌ای از خود به نمایش گذاشتند. ولی در آزمایش اکتیویته پوزولانی، عملکرد ضعیفی از خود نشان دادند.

نمونه‌های No.1 و No.3 دارای مقدار سیلیس بالای حد استاندارد هستند ولی سیلیس موجود در این نمونه‌ها به صورت

بلوری می‌باشد. فاز کریستالین موجود اجازه حضور سیلیس در فرایند واکنش پوزولانی را نمی‌دهد و در نتیجه نمونه‌ها دارای اکتیویته پوزولانی ضعیف می‌باشند.

ترکیب آندزیتی نمونه‌های شماره No.10,12,13 منطقه نشان دهنده مقدار  $\text{SiO}_2$  زیر حد استاندارد می‌باشد. در نتیجه در آزمایش اکتیویته پوزولانی مقادیر پایین و غیر قابل قبولی برای قرارگیری در رده مواد پوزولانی از خود نشان می‌دهند.

#### ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از دانشگاه تهران که اعتبارات مورد نیاز این طرح پژوهشی به شماره ۲۲۷۸۵/۱/۰۱ را در اختیار گذاشته‌اند، سپاسگزاری می‌نمایند.

از شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان برای انجام آزمایش‌های فیزیکی مکانیکی و تعیین اکتیویته پوزولانی خصوصا آقایان مهندس تدین و مهندس صالحی تشکر می‌شود. همچنین از آقای مهندس روح شهباز به خاطر انجام مطالعات پتروگرافی نیز تشکر می‌شود.



مراجع

[15] ISIRI 3432, (1995), "Standard specification for pozzolan Portland cement." Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Iran.

- [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, 2066-2071.
- [2] 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, 1-5.
- [3] Uzal, B., and Turanli, L., (2003) "Studies on blended cement containing a high volume of natural pozzolans." Cement and Concrete Research, Vol. 33, 1777-1781.
- [4] Rodriguez- Camacho, R.E., ribe-Afif, R., (2002), "Importance of using natural pozzolans on concrete durability." Cement and Concrete Research, Vol. 32, 1851-1858.
- [5] Naraknejad, A., Aslani, S., Bahroudi, A., Khalatbari, H., (2009), Ability of zeolitic tuffs from central province as natural pozzolan using in cement industry, Journal of Faculty of Eng. Vol. 43, No. 3, 337-345
- [6] Delnavaz, M., Mirzahosseini, M.R., Jannesarie, H., (2006), Investigation of environmental impacts of concrete industry in Iran, 13<sup>th</sup> Civil Eng. Student Conference, Shahid Bahonar Uni. of Kerman, Iran
- [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." Annual Book of ASTM standards, Vol. 4.02, 319 - 321 .
- [9] Sharghi Namin, A. ; Aslani, S. and Bahroudi, A., (2011), Identification of Hydrothermal alteration zones using Aster data in the Tarom area, Zanjan, Journal of Earth & Resources, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> issue, Series No. 9
- [10] Amini, B., Amini Chehragh, M.R. (2000). 1:100000 geological Map of Tarom, Geological Survey of Iran.
- [11] Lebas, M.J., Le maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., (1985), "A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali - Silica Diagram." J. Petro. Vol. 7, Part 3, 745 - 750
- [12] ASTM C109/C109M, (1995), "Standard Test Method for Compressive Strength  $r_1$  of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)", Annual Book of ASTM standards, Vol. 4.01.
- [13] ASTM C150, (1995), "Standard specification for Portland cement", Annual 31 Book of ASTM standards, Vol. 4.01.
- [14] ASTM C595, (1995), "Standard Specification for Blended Hydraulic 51 Cements", Annual Book of ASTM standards, Vol. 4.01.