



روشهای شناسایی واکنش قلیایی - سیلیسی سنگدانه

در بتن سخت شده

امیرمازیار رئیس قاسمی، کارشناس مسئول آزمایشگاه بخش بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران
جمشید روح‌شهباز، هیئت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران و مشاور مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران
علیرضا باقری، استادیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و مشاور مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران

چکیده

پدیده واکنش قلیایی سیلیسی سنگدانه‌ها بر اثر واکنش‌های شیمیایی مایعات قلیایی در حفرات بتن و کانی‌های سیلیسی فعال در برخی سنگدانه‌ها رخ می‌دهد که در نتیجه ژل سیلیکات قلیایی حاصل می‌گردد. واکنش قلیایی سیلیسی یکی از مهمترین عواملی است که باعث تخریب بسیاری از سدها، روسازی‌ها و پلهای بتنی در سراسر جهان شده است.

در این مقاله ضمن بیان روشهای شناسایی واکنش قلیایی سیلیسی در سازه‌های بتنی، شامل: ارزیابی ترکها و تشخیص ریزترکهای حاصل از انواع واکنش‌های قلیایی، ارزیابی پتروگرافی بتن، بررسر، پتانسیل واکنش قلیایی سیلیسی و سایر واکنش‌ها و همچنین استفاده از محلول اورانیل استات بعنوان یک روش سریع جهت شناسایی ژل سیلیکاتی، نتایج بررسی‌های انجام شده در یکی از موارد مطالعاتی که به منظور ارزیابی علل خرابی بتن صورت پذیرفته ارائه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: بتن، واکنش قلیائی، سیلیسی، پتروگرافی، ریزترک، شاخص خرابی، محلول اورانیل استات

مقدمه

بارزترین مورد واکنش قلیائی سنگدانه (AAR)¹ شناسایی شده، واکنش قلیائی - سیلیسی (ASR)² می باشد، که در سال ۱۹۴۰ میلادی توسط T.E. Stanton گزارش گردید که مبتنی بر واکنش قلیائی های سیمان با سنگدانه هایی از جنس اوپال در ایالت کالیفرنیا کشور آمریکا بوده است. این واکنش بین یونهای هیدروکسید هم پیوند با نمکهای سدیم و پتاسیم محلول و کانی های سیلیسی که کاملاً بلوری نشده اند، کانی ها و سنگهای سیلیسی (مانند: اوپال، چرت و کریستوبالیت)، شیشه های آتشفشانی حاوی سیلیس فراوان یا بشدت دگرگون شده، خرده سنگهای سیلیسی همچون متاکوارتزیت و ندرتا سنگهایی که دارای دانه های ریز سیلیس هستند (مانند لایه سنگها^۳ و فیلیتها^۴)، اتفاق می افتد. بر اثر این واکنش، ژلی تولید می شود که در صورت وجود رطوبت منبسط می شود. این انبساط باعث ایجاد ریزترکهایی در خمیر سیمان و سنگدانه می گردد، ریزترکهایی ایجاد شده باعث نفوذ رطوبت بیشتری به داخل بتن گردیده و ژل منبسط شونده ریزترکها را پر می نماید که سبب انبساط بیشتری می گردد.

این یونهای هیدروکسید هستند که بر اثر پیوند با یونهای سدیم و پتاسیم باعث ایجاد واکنش های مضر می شوند، اما این قلیائی ها همیشه به اندازه ای موجود نیستند که باعث واکنش قابل توجهی گردند. معمولاً چنین فرض می شد که در صورتی که میزان قلیائیت معادل سیمان ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$) کمتر از ۰/۶٪ وزن سیمان باشد، فرض می شود میزان قلیائیت به اندازه ای کم است که باعث ایجاد انبساط ناشی از واکنش قلیائی سیلیسی نمی گردد. اما تحقیقات نشان می دهد که تنها بکارگیری سیمانهایی با قلیائیت کم (کمتر از ۰/۶٪ معادل Na_2O) در جلوگیری از انبساط حاصل از واکنش های قلیائی کافی نیست و حتی در برخی موارد استفاده از سیمانهای با قلیائیت ۰/۴ - ۰/۵٪ نیز مانع از این انبساط نگردیده است [۳].

بجز سنگ آهک خالص و دولومیت، تقریباً تمامی سنگها دارای کانی های سیلیس هستند. بطور معمول سیلیس به صورت کانی اکسید در خاکها و سنگها یافت می شود. تعدادی از کانی های طبیعی سیلیسی بر اساس کاهش واکنش زایی آنها در جدول "۱" درج گردیده اند [۱]. این فرمت بطور کلی عنوان گردیده است زیرا با توجه به میزان پراکندگی اجزای تشکیل دهنده، روش و منشأ پیدایش، ممکن است این ترتیب کمی تغییر نماید.

جدول ۱- کانی های سیلیسی به ترتیب کاهش در واکنش زایی [۱]

ردیف	عنوان
۱	سیلیس آمورف (رسوبها یا شیشه های آتشفشانی که تبلور مجدد پیدا کرده و ممکن است هنوز فعال باشند)
۲	اوپال
۳	سیلیس بلوری ناپایدار (تریديمیت و کریستوبالیت)
۴	چرت
۵	کالسدون
۶	دیگر اشکال سیلیس مخفی بلور
۷	دانه های دگرگون شده و کوارتزهایی که دارای ساختمان منظم نیستند
۸	کوارتزهای تنش دیده
۹	کوارتزهایی که بطور کامل کریستالی نشده اند
۱۰	کوارتز خالص که بصورت کامل کریستالی شده است

1- Alkali Aggregate Reaction

2- Alkali Silica Reaction

3- Siltstones

4- Phyllites

در جدول "۲" فرمت تعدادی از سنگها به ترتیب بر اساس کاهش پتانسیل واکنش زائی ارائه شده است [۱]. این فرمت نیز بسیار عمومی می باشد، زیرا با توجه به میزان پراکندگی اجزاء مختلف و همچنین میزان مواد مضر موجود در آنها این ترتیب متغیر می باشد.

جدول ۲- انواع سنگها به ترتیب بر اساس کاهش پتانسیل واکنش زائی [۱]

ردیف	عنوان
۱	شیشه های آتشفشانی، شامل توفها بخصوص انواع سیلیسی آن
۲	متاکوارتزیت ها (کوارتز دگرگونی و ماسه سنگ دگرگونی)
۳	برخی گنایسهای گرانیتی
۴	گنایسهای گرانیتی که بشدت تحت تنش قرار گرفته اند
۵	دیگر سنگهای سیلیسی دگرگون شده
۶	فیلیت و شیت سیلیسی
۷	سنگهای آذرینی که بخوبی متبلور شده اند
۸	سنگهای آذرین درشت بلور
۹	سنگهای غیرسیلیسی

در بسیاری از موارد واکنش قلیائی سیلیسی پس از شروع تا زمانی که یونهای قلیائی، سنگدانه های فعال و آب، موجود باشد بطور مستمر ادامه پیدا می کند و وسعت خرابی نیز با گذشت زمان و بیشتر شدن عمر سازه افزایش می یابد. تا زمانی که تخریب و عوارض واکنش قلیائی سیلیسی ادامه دارد و یا چگونگی پیشرفت و میزان انبساط تعیین نشده است، انجام عملیات تعمیری میسر نیست.

در این نوشتار ضمن بیان روشهای صحرایی و آزمایشگاهی برای تأیید وقوع پدیده واکنش قلیائی، نتایج تحقیق انجام شده در این خصوص نیز بطور اختصار بیان می گردد.

آزمایشهای صحرایی

متخصصین تکنولوژی بتن و پتروگرافی باید با بازدید از محل و بازرسی بتن معیوب، از نحوه نمونه گیری و عکسهای تهیه شده اطمینان حاصل نمایند، همچنین شواهدی مبنی بر وقوع واکنش را شناسائی نمایند. در این خصوص عوامل زیر باید مورد بررسی قرار گیرند:

الف - طرح ریزترکها (وضعیت ظاهری ترک)

ب - شواهد انبساط سازه ها

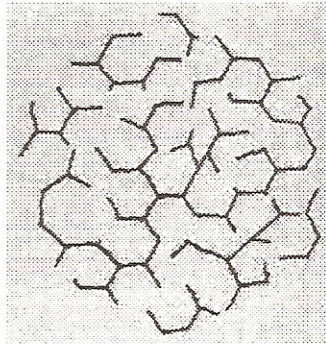
پ - تراوش، پوشش و پرشدن حفره ها

ت - نمونه گیری کافی و صحیح از بتن

وضعیت ظاهری ریزترکها

الگو و نحوه توزیع ترکهای ناشی از انبساط واکنش قلیائی، بسیار شبیه به ترکهایی است که در شوره زارها و مناطق پوشیده از بعضی از خاکهای رسی زمانی که لایه سطحی آنها پس از خشک شدن و انقباض جمع می شوند، و یا ترکهای ناشی از جمع شدگی پلاستیک و یا همچنین ترکهایی که روی مواد مذاب وقتی که سطح آن به سرعت سرد و جمع می شود، می باشند.

الگوی این ریزترکها شبیه لانه زنبورهای نامنظم می باشد. شکل و الگو ترکها به چسبندگی، یکنواختی و همچنین سرعت جمع شدگی بستگی دارد. [۱] (شکل ۱)

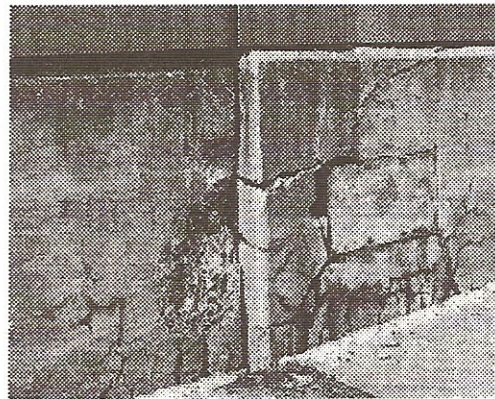


شکل ۱- یک طرح شماتیک از لانه زنبوری شکسته [۱]

در انبساطهای ناشی از واکنش قلیانی سنگدانه ها، ترکهای بوجود آمده بعلت افزایش حجم قسمتهای زیرین نسبت به لایه های بالایی و سطحی، و چسبندگی بین این دو لایه ایجاد می شوند. قسمتهای زیرین بتن بعلت تماس با آب زیرزمینی یا بخار آب حاصل از آب زیرزمینی و همچنین دور بودن از تشعشع نور خورشید و باد، مرطوب تر از سطح بتن می باشند و بدین لحاظ امکان انجام واکنش بیشتر می باشد. شکل ترکهای سطحی به نامهای، ترکهای نقشه ای، ترکهای شبکه ای، ترکهای نقش و نگاره ای، و ترکهای پنجه مانند معروف می باشند.

شواهد انبساط در سازه

انبساط اعضای سازه ای ممکن است بسیار مشخص باشد. برخی از این شواهد بصورت های زیر نمودار می گردد: بسته شدن درزهای انبساط، نزدیک شدن قطعات محافظ های بتنی و حتی آسیب رساندن آنها به یکدیگر، عوارضی همچون بالا بردگی در دالهای بتنی، قطع بولتها و تورم در بعضی از شانه های بتنی راهها. (شکلهای ۲ و ۳)



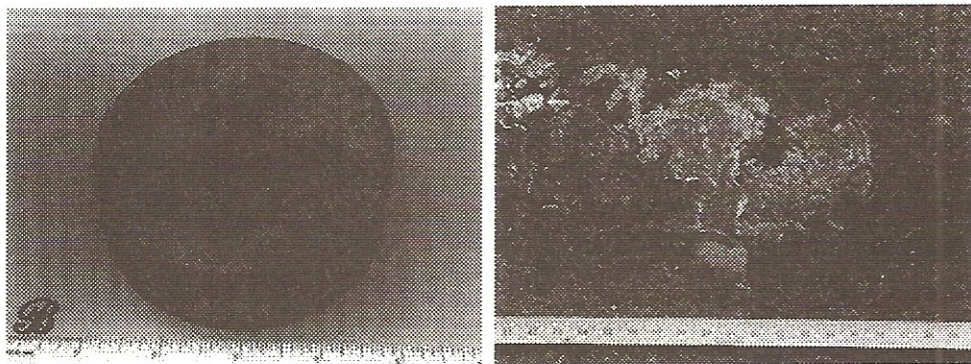
شکل ۲ - تخریب در محافظ های بتنی کنار جاده بر اثر انبساط و نزدیک به یکدیگر [۲]
شکل ۳ - ترکهای حاصل از واکنش قلیانی سیلیسی و ترشح ژل به سطح بتن [۱]

تشخیص انبساط همیشه به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد زیرا انبساط، ناشی از ترکیب چندین عامل همچون، سنگدانه‌های فعال، قلیائیت به میزان کافی، رطوبت به میزان کافی و نفوذپذیری زیاد بتن و... می‌باشد، که شناسایی این موارد نیاز به تخصص و تجربه کافی دارد. برای انجام اکثر واکنشهای شیمیایی که نیاز به آب دارند، رطوبتی در حدود ۸۰ درصد باید مهیا باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده، بتنی که یک وجه آنها در تماس با خاک می‌باشد، در شرایط آب و هوایی خشک، رطوبت داخلی آنها در عمق ۵ سانتیمتر بیشتر از ۸۰ درصد می‌باشد. [۱]

تراوش، پوشش و حفرات پر شده

بر اثر واکنش قلیائی سیلیسی، ژل منبسط‌شونده‌ای تولید می‌شود که این ژل در مراحل پیشرفته تخریب، بر سطح بتن نیز قابل رؤیت می‌باشد. این ژل اصولاً حالت شفاف، مرطوب و همچنین چسبناکی دارد، اما اغلب بعلت از دست دادن آب و کربناتی شدن به حالت غیرشفاف و به شکل شوره‌زدگی مشاهده می‌شود. (شکل ۴)

ژلهایی که در سطح بتن و در معرض رفت‌وآمد و ترافیک (مانند جاده‌ها) هستند، با وجود اینکه آب خود را از دست می‌دهند، اما به سبب سایش ایجاد شده بصورت سطح صیقلی نمایان می‌شوند.



شکل ۴- ژل قلیائی سیلیسی - الف - ژل تراوش شده بر روی سطح قسمتهای تخریب شده یک جاده بتنی. ب - ژل بر روی سطح یک مغزه، به زاویه ۱۲۰ درجه ترک توجه شود.

در پلهایی که به شدت آسیب دیده هستند، ژل سیلیسی و همچنین مواد کربناتی همراه، بصورت قندیل‌های استلاگیتی در زیر عرشه پلها نمایان می‌شوند.

همچنین توجه به این نکته ضروری می‌باشد که در بعضی از موارد ژل حاصل از واکنش‌های قلیائی بی‌ضرر نیز ممکن است از طریق ترکهای حاصل از عوامل دیگری همچون ذوب و انجماد، نشست سازه و یا... به بیرون تراوش نموده و یا اینگونه ترکها را پر نماید، که در اینگونه موارد باید دقت بیشتری گردد.

امروزه به منظور تشخیص ژل سیلیسی در محل و یا آزمایشگاه، از یک روش شیمیائی قابل اطمینان استفاده می‌شود. در این روش از محلول اورانیل استات استفاده می‌گردد. (توضیحات بیشتر در ادامه در بند "مطالعات آزمایشگاهی" ارائه شده است) با استفاده از این روش با سرعت و دقت زیادی می‌توان ژلهای سیلیسی را شناسائی نمود. استفاده از این آزمایش بعلت قابلیت استفاده در محل و همچنین آزمایشگاه و سرعت در شناسائی، در مراجع بین‌المللی توصیه شده است. [۱ و ۲ و ۳]

نمونه‌گیری از بتن

نمونه‌گیری از بتن سخت شده در مراحل اولیه واکنش قلیائی سنگدانه‌ها باید با دقت بیشتری و بر اساس توصیه‌های آیین‌نامه ACI 201.1R و استانداردهای ASTM C 42, ASTM C 823 و ASTM C 856 انجام پذیرد. از آنجائی‌که در این مرحله عوارض واکنش قلیائی سنگدانه‌ها بطور یکنواخت در سطح بتن نمایان نمی‌گردد و همچنین نشان‌دهنده وضعیت قسمتهای زیرین سطح بتن نیز نمی‌باشد، در تهیه نمونه آزمایشی باید نمونه‌هایی هم از نواحی که بشدت آسیب دیده هستند، هم از نواحی ظاهراً سالم و هم از مناطق مابین این دو ناحیه تهیه گردند.

مطالعات آزمایشگاهی

مسائلی که در آزمایشگاه باید مورد ارزیابی قرار گیرند شامل: شناسائی سنگدانه‌های واکنش‌زا، آزمایش بر روی ریزترکها و بررسی ظاهر آنها، شناسائی و بررسی بر روی فرآورده‌های حاصل از واکنش و نحوه انجام آزمایشهای لازم بر روی سنگدانه‌های طبیعی و واکنشهای احتمالی آنها می‌باشد. در ادامه بطور خلاصه چندین روش آزمایشگاهی که می‌توانند در تشخیص واکنش قلیائی سیلیسی بسیار موثر باشند، تشریح شده است.

بررسی وضعیت ظاهری نمونه‌ها

با مطالعه بر روی نمونه‌های مغزه (یا نمونه‌های بریده شده) از سطح بتن و ریزترکهای سطحی و تطابق آنها با ارزیابی ترکهای روی سازه و ظاهر ترکها، می‌توان ترکهای ناشی از واکنش و ترکهای حاصل از جمع‌شدگی پلاستیک را از یکدیگر تمیز داد. در این خصوص باید توجه گردد که، مصالحی که در قسمتهای سطحی بتن (که رطوبت کمتری دارند)، قرار دارند و به شدت ترک خورده‌اند به اندازه دیگر قسمتهای بتن منبسط نمی‌شوند و فرآورده‌های واکنشی که باعث تخریب می‌شوند نیز در این نواحی دیده نمی‌شوند.

همچنین سنگدانه‌هایی که بر اثر واکنش قلیائی سیلیسی تغییر پیدا کرده‌اند، باید مورد مطالعه قرار گیرند. قطعاتی از سنگدانه ممکن است به شدت آسیب دیده باشند، این آسیب‌دیدگی ممکن است به یکی از صورتهای زیر باشد: ۱- هاله‌هایی در اطراف سنگدانه، که به نظر می‌رسد باعث کاهش نفوذپذیری سطح خارجی سنگدانه گردد ۲- ترکهای پر شده با ژل که به خارج از سنگدانه و به داخل خمیر سیمان گسترش پیدا کرده‌اند ۳- قطعات سنگدانه که بعلت انباشتنی ژل و یا ژل هیدراته نشده ترک خورده‌اند.

تعیین شاخص خرابی (DI)¹

نمونه‌هایی از میان مغزه‌های تهیه شده از قسمتهای مختلف مورد ارزیابی، انتخاب می‌گردد، مغزه‌های انتخاب شده ابتدا از طول بریده شده و یک وجه هر یک از قسمتها برای بررسی بوسیله استریو میکروسکوپ، صیقلی می‌شوند. حداقل سطح مورد نیاز در هر مغزه که باید مورد بررسی قرار گیرد ۱۸۰ سانتیمتر مربع می‌باشد.

شاخص خرابی بتن در هر یک از مغزه‌ها بر اساس تعداد نواقص موجود در شبکه‌هایی به ابعاد ۱/۵ سانتیمتر تعیین می‌گردد، بدین منظور از یک صفحه مشبک در زیر استریو میکروسکوپ با بزرگنمایی (۱۶×) استفاده می‌شود. مواردی که در این خصوص مورد بررسی قرار می‌گیرند شامل: ریزترکها با وجود ژل و یا بدون ژل در سنگدانه‌ها و در خمیر سیمان، هاله‌های واکنشی و عدم پیوستگی در اطراف سنگدانه‌های واکنشی با خمیر سیمان، و وجود ژل در حفرات می‌باشد.

مجموع هر یک از انواع این نواقص در یک ضریب که بیانگر تأثیر احتمالی آنها در تخریب بتن است ضرب می‌شود. در انتها مجموع هر یک از انواع موارد پس از تصحیح برای هر ۱۰۰ سانتیمتر مربع محاسبه می‌گردد و مجموع کل نواقص تصحیح شده بعنوان میزان شاخص خرابی (DI) برای هر مغزه اعلام می‌گردد. شاخص DI اگر چه بیانگر میزان تخریب بر اثر واکنش قلیائی سنگدانه‌ها می‌باشد، اما همچنین تأثیر ترکهای بوجود آمده بر اثر دیگر عوامل را نیز در نظر می‌گیرد که تشخیص آن بر عهده یک سنگ‌شناس باتجربه می‌باشد. [۶]

استفاده از معرف شیمیائی

همانگونه که در بخش مطالعات صحرائی ذکر گردید یکی از روشهای شناسائی ژلهای قلیائی سیلیسی، استفاده از محلول اورنیل استات می‌باشد. استفاده از این روش بعنوان یک راه‌حل نهائی ابهامات میان ژل سیلیسی و دیگر فرآورده‌های ثانوی مانند کربنات کلسیم را، که گاهی از بتن تراوش می‌کند، رفع می‌نماید.

ژل سیلیسی بطور معمول در تمام انواع بتن که با سنگدانه‌های سیلیسی ساخته شده‌اند، مشاهده می‌گردد، اما این ژلها الزاماً مخرب نیستند و تنها زمانی می‌توانند باعث تخریب شوند که در معرض رطوبت، منبسط شوند. در هنگام استفاده از این روش بعلت استفاده از محلول اورنیل استات و همچنین نور ماوراء بنفش رعایت مسائل ایمنی و پوشش کافی الزامی می‌باشد.

این آزمایش روی سطحی از بتن که کاملاً تمیز، عاری از گرد و غبار و آثار کربنات می‌باشد، انجام می‌پذیرد. ابتدا پس از اینکه سطح بتن بوسیله آب مقطر شسته شد، سطح بتن به محلول اورنیل استات آغشته شده و پس از گذشت ۵ دقیقه دوباره با آب مقطر شستشو انجام می‌شود. محل‌های مورد نظر در یک مکان تاریک زیر نور ماوراء بنفش (UV) مشاهده می‌شوند. ژل قلیائی سیلیسی به رنگ زرد مایل به سبز می‌درخشد [۱ و ۶].

مطالعه مقاطع نازک

از مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک به منظور تعیین کانی‌شناسی مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه، شناسائی فسیل‌ها و تشخیص ASR از روی فرم ترکها و وجود ژل در سنگدانه‌ها و خمیره استفاده می‌شود. [۵ و ۴]

بدین منظور قطعاتی از بتن که بطور انتخابی از نمونه‌ها (نیم دیگر مغزهای انتخاب شده در آزمایش DI) تهیه شده‌اند به ضخامت حدوداً ۱۵ میکرون نازک گردیده و بوسیله میکروسکوپ پلاریزان با نور عبوری مورد مطالعه قرار می‌گیرند [۶ و ۵].

آزمایشهای بررسی پتانسیل واکنش قلیائی

یکی از روشهای بررسی پتانسیل واکنش قلیائی سنگدانه‌ها و همچنین تخمین میزان انبساط بتن در آینده، اندازه‌گیری میزان انبساط مغزه‌های تهیه شده از سازه و نگهداری آنها در شرایط مساعد برای انجام واکنش قلیائی می‌باشد، به‌گونه‌ای که نگهداری نمونه‌ها در این‌گونه شرایط، ضمن تشابه با شرایط واقعی، باعث تسریع در انجام واکنش نیز گردد. بدین منظور می‌توان روشهای زیر را بکار برد:

- ۱- نگهداری مغزه‌ها در سود ۱ نرمال و دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و کنترل انبساط آنها. [۴ و ۶]
 - ۲- نگهداری مغزه‌ها در دمای ۳۸ درجه سانتیگراد و رطوبت ۱۰۰ درصد و کنترل انبساط آنها. [۶]
 - ۳- استحصال سنگدانه‌های درشت از مغزه‌های تهیه شده و ساخت نمونه‌هایی بر اساس یکی از روشهای ملات منشوری (CSA A23.2 - 25A, ASTM C 1260) و یا منشور بتنی (CSA A23.2 - 14A, ASTM C 1293) و کنترل انبساط آنها. [۶]
- شایان ذکر است، نتایج آزمایشهای مذکور به تنهایی نمی‌تواند موثر باشد، زیرا اگر فرضاً نمونه‌ای در این آزمایشها انبساطی نشان ندهد، دلیل بر واکنش‌زا نبودن سنگدانه نمی‌تواند باشد، بدلیل اینکه ممکن است آن نمونه از زمان ساخت تا زمان

نمونه‌گیری بر اثر واکنش، تمام پتانسیل انبساطی خود را نشان داده باشد و این عدم انبساط نشان‌دهنده میزان انبساط آن در آینده خواهد بود.

نتیجه یک مورد ارزیابی انجام شده

به منظور ارزیابی علل خرابی دال بتنی، تحت بارهای دینامیکی، ضربه‌ای و مواد شیمیایی، تحقیقی در بخش بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام گردیده است.

عضو مورد بررسی یک دال بتنی مسلح روی ستونهای قارچی شکل بوده که روی آن دستگاهی با وزن تقریبی تن دارای اثر ضربه‌ای قرار داشت و زیر دستگاه نیز انواع مواد شیمیایی (مانند تینر، روغن، مواد قلیائی و...) در تماس با بتن بود. هدف از ارزیابی انجام شده بررسی کیفیت بتن دال و همچنین علل ترک‌خوردگی دال و نشست مایعات از قسمت زیر دستگاه به طبقه زیر بوده است. در این خصوص با استفاده از آزمایشهای نیمه‌مخرب و غیرمخرب و مطالعات آزمایشگاهی کیفیت بتن، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

از لحاظ وضعیت ظاهری، تمامی سطح زیرین دال بتنی دارای ترکهای بصورت "شبکه‌ای" بوده که در برخی نواحی دارای گسترش کمتری نیز بود، هرچند در برخی نواحی ظاهراً این ترکها با مسیر آرماتورها انطباق کلی داشتند، اما بررسی نواحی دیگر نشان داد این وضعیت را نمی‌توان در تمامی قسمتها مشاهده کرد.

با توجه به وضعیت ظاهری ترکها، موقعیت سازه و شرایط تهاجمی، مفروضات زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

۱- ترکهای سازه‌ای (بعلت طراحی نادرست و یا عدم انطباق سازه اجرا شده با نقشه‌های محاسباتی)

۲- ترکهای حاصل از خوردگی میلگرد

۳- ترکهای ناشی از واکنش قلیائی سنگدانه‌ها

۴- ترکهای پلاستیک و یا جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن

که در این نوشتار با توجه به موضوع مقاله تنها تحقیقات انجام شده به منظور شناسائی واکنش قلیائی سیلیسی ارائه می‌گردد.

- آزمایشهای صحرائی: در این خصوص ابتدا طرح ترکهای سطحی مورد بررسی قرار گرفت که بعلت شباهت الگوی ترکها با عوارض واکنش قلیائی سیلیسی، بررسی‌های تکمیلی نیز انجام گردید، و از آنجائی که شواهد انبساط سازه‌ای و یا ترشح ژل مشاهده نشد، ادامه بررسی‌ها در آزمایشگاه بر روی نمونه‌های مغزه انجام گردید.

- بررسی‌های آزمایشگاهی: در آزمایشگاه ضمن انجام آزمایشهای دیگری همچون مقاومت فشاری، تعیین عمق کرناسیون، بررسی وضعیت میلگردهای قطع شده و...، به منظور بررسی وقوع واکنش قلیائی - سیلیسی، تعداد ۳ مغزه به قطر ۵۰mm انتخاب و در شرایطی مطابق با روش تسریع شده (ملات منشوری ASTM C1260, CSA A25.2-25A) تا ۱۴ روز نگهداری و تغییر طول آنها کنترل گردید [۶].

نتایج آزمایش هیچگونه انبساط قابل ملاحظه‌ای را نشان نداد (کمتر از ۰/۰۳ درصد) که بیانگر عدم پتانسیل انبساطی بتن بر اثر واکنش قلیائی - سیلیسی در آینده می‌باشد. در ادامه بررسی‌ها، نمونه‌هایی از بین مغزه‌های تهیه شده انتخاب گردید. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد هم از قسمتهای ترک‌خورده و هم از قسمتهای بدون ترک، نمونه‌هایی برای آزمایش بوسیله محلول اورانیل اسات مشخص شود.

از این روش آزمایش برای شناسایی ژل قلیائی سیلیکاتی استفاده می‌شود. در این تحقیقات با توجه به اینکه نمونه‌های بتن در آزمایش تسریع شده، پتانسیل واکنش قلیائی از خود نشان ندادند، به منظور اطمینان از عدم وقوع واکنش قلی، این بررسی انجام پذیرفت. تحقیقات انجام شده آثاری از ژل سیلیکاتی در حفرات و یا ترکها را تأیید نمی‌کرد.

به موازات این دو آزمایش، به منظور بررسی ریز ترکها، سنگدانه‌های مضر و احتمال واکنش قلیائی از تعدادی از نمونه‌ها، مقاطع نازک جهت بررسی میکروسکوپی تهیه گردید [۶ و ۷]. مقاطع در دو جهت عمود بر هم از هر مغزه تهیه شد. همچنین از مغزه‌ای که از تمام ضخامت دال (حدود ۳۰ سانتیمتر) تهیه شده بود، بمنظور بررسی ریزساختار قسمتهای بالایی و پائینی دال، مقاطعی از قسمت بالائی و پائینی مغزه تهیه گردید. از بررسی پتروگرافی مقاطع نازک نتایج زیر به دست آمد:

۱ - بخشی از سنگدانه‌های مورد مصرف شامل قطعاتی از سنگهای مضر نظیر، ریولیت، توف کلریتی شده، ژئولیت گری‌واک و... که جزء سنگدانه‌های واکنش‌زا هستند، بودند [۵].

۲ - بخشی از سنگدانه‌ها شامل قطعات سست و یا آماس‌پذیر نظیر شیل، مارن وکانی های اسمگتیت بودند [۵].

۳ - اکثر ریزترکها در خمیر سیمان و حاشیه سنگدانه‌ها بودند. (علت اینگونه ترکها می‌تواند جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن و یا اثرات ضربه‌ای بار خارجی باشد) [۷].

۴ - ریزترکهایی در داخل سنگدانه مشاهده گردید که علت آن می‌تواند عدم یکنواختی در سختی دینامیکی سنگدانه‌ها باشد.

تحقیقات نشان داد، با وجود اینکه در این سازه الگوی ترک‌ها شبیه به عوارض واکنش قلیائی سیلیسی بود و در مصالح سنگی بکاررفته نیز، سنگدانه‌های مشکوک به واکنش زائی وجود داشت، ولی آزمایشهای انجام شده (آزمایش تسریع شده در سود، شناسایی ژل با محلول اورانیل استات و بررسی میکروسکوپی) این امر را تأیید ننمود. بعلت پیچیدگی‌هایی در مکانیزم وقوع واکنش قلیائی سیلیسی، شناسایی آن نیاز به تجربه و انجام آزمایشهای متعددی دارد. این تحقیقات نیز با وجود اینکه بیانگر عدم وقوع واکنش قلیائی سیلیسی می‌باشند، اما نشان می‌دهند که تنها استناد به نتایج یک یا دو آزمایش برای تأیید وقوع و یا عدم وقوع پدیده واکنش قلیائی سیلیسی کافی نمی‌باشد.

نتیجه گیری

پدیده واکنش قلیائی سیلیسی یکی از عواملی است که باعث خسارات زیادی در کشورهای جهان شده است. توجه به ASR از جنبه‌های زیر حائز اهمیت می‌باشد:

- واکنش قلیائی - سیلیسی یکی از مکانیزم‌های تخریب بتن می‌باشد که از داخل بتن شروع میگردد و بدین لحاظ کنترل و یا جلوگیری از وقوع آن مشکل و حتی در بسیاری از موارد غیر ممکن است.

- در اکثر موارد این پدیده پس از شروع تا تخریب کامل سازه بطور مستمر ادامه پیدا می‌کند.

- بعلت پیچیدگی‌هایی که در علل بروز این پدیده وجود دارد، تمامی جنبه‌های بروز این واکنش نیز شناخته شده نیست.

- تعمیر و یا کنترل واکنش قلیائی در بسیاری از سازه‌ها به علت مواردی که در بالا به آن اشاره شد، مؤثر نبوده است.

توجه به نکات فوق‌الذکر ضمن بیان اهمیت واکنش قلیائی، دلیل اطلاق واژه "سرطان بتن" به این پدیده را روشن می‌نماید.

هدف از این نوشتار، بیان مؤثرترین روشهای شناسایی واکنش قلیائی سیلیسی در بتن و همچنین توجه به این موضوع می‌باشد که، شناسایی ASR نیاز به بررسی‌های مختلفی دارد و اکفا نمودن به انجام یک یا دو روش ممکن است باعث اشتباه در تصمیم‌گیری‌های بعدی گردد. بنابراین توجه به عوامل مختلف، انجام آزمایش‌های متعدد و استفاده از نیروی متخصص در شناسایی واکنش قلیائی سیلیسی بسیار راهگشا می‌باشد. رعایت این مطلب در شناسایی سنگدانه‌های واکنش‌زا، قبل از استفاده

در بتن نیز لازم می‌باشد، چنانچه در مواردی، سنگدانه‌هایی با توجه به نتایج یک یا دو آزمایش بی‌ضرر (از نظر واکنش قلیائی) تشخیص داده شده، ولی پس از استفاده در بتن و گذشت چندین سال، عوارض ناشی از واکنش قلیائی در سازه مشاهده شده است. لذا با توجه به این‌که در سالهای اخیر در کشور ما سازه‌های آبی و دریایی زیادی در دست ساخت هستند و معادن مختلف سنگدانه در سراسر کشور دارای پتانسیل واکنش قلیائی سیلیسی می‌باشند، دقت در انتخاب سنگدانه مناسب و راه‌های جلوگیری از بروز این پدیده، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

مراجع:

- [1]- Hollis N. Walker, H.N. "Petrographic Methods of Examining Hardend Concrete: A Petrographic Manual", U.S. Dept. of Transportation's Federal Highway Administration - Research, Development, and Technology, 1991, Virginia SP&R report.
- [2]- Strategic Highway Research Program (SHRP), "Handbook for the Identification of Alkali - Silica Reactivity in Highway Structures", SHRP - C/FR - 91 - 101, National Research Council, 1994.
- [3]- Helmutt, R., "Alkali - Silica Reactivity in Concrete - An Overview of Research", SHRP - C/FR - 92, National Research Council, 1992.
- [4]- ASTM C 856, "Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete", Annual book of ASTM Standards, Philadelphia, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 1995.
- [5]- ASTM C 295, "Standard Guid for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete", Annual book of ASTM Standards, Philadelphia, Volume 04.02, Concrete and Aggregate, 1990
- [6]- Grattan - Bellew, P.E., "Laboratory Evaluation of Alkali - Silica Reaction in Concrete from Saunders Generating Station", ACI Materials Journal, V.92, No.2, March - April 1995.
- [7]- Goltermann, Per, "Mechanical Predictions of Concrete Deterioration - Part 2: Classification of Crack Patterns", ACI Materials Journal, V.92, No.1, January - February 1995.