واکنش قلیائی ـ سیلیسی سنگدانه‌های بتن

(تاثیر نوع آزمایش، نوع سیمان و افزودنی‌های میکروسیلیس و فوق روان کننده)

محمد رضا اصفهانی
استادیار

رامین آدینه
دانشجوی کارشناس ارشد

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این تحقیق پدیده واکنش قلیائی ـ سیلیسی سنگدانه‌های بتن (Alkali-Silica Reaction, ASR) با استفاده از یک سنگدانه فعال مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از مطالعه بررسی تاثیر نوع سیمان مصرفی و افزودنی‌های میکروسیلیس و فوق روان کننده بر واکنش قلیائی ـ سیلیسی سنگدانه‌های بتن می‌باشد. همچنین روش‌های مختلف تشخیص واکنش قلیائی ـ سیلیسی سنگدانه‌های بتن مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند. در این تحقیق مجموعا تعداد ۱۰۴ نمونه ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌ها عبارت بودند از: آزمایش پتروگرافی استاندارد ASTM C295، روش طولانی مدت CAN/CSA A23.2-14، روش تسریع شده CAN/CSA A23.2-25A و روش فوق سریع اتوکلاو Laval که با استفاده از سیمان‌های نوع ۲ و ۵ و نوعی سنگدانه سیلیسی از جنس کوارتز انجام شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که تطابق مناسبی بین روش تسریع شده با روش طولانی مدت در تشخیص واکنش (ASR) وجود دارد. این تطابق نتایج بین روش فوق سریع اتوکلاو Laval با دو روش دیگر کمتر دیده می‌شود. بر اساس نتایج آزمایشگاهی در مورد سنگدانه مورد نظر، افزودن حدود ۱۵٪ میکروسیلیس به مخلوط، باعث کاهش قابل توجهی در انبساط ناشی از واکنش قلیائی می‌شود. به ازای مصرف بیش از ۱۵٪ میکروسیلیس اگر چه مقدار انبساط کمتر می‌شود لیکن شدت کاهش قابل ملاحظه نمی‌باشد. افزودن فوق روان‌کننده نیز تاثیر مثبتی در محدود کردن انبساط نمونه‌های مورد آزمایش داشته است. همچنین مشخص گردید که همراهی افزودنی‌های فوق با سیمان نوع ۵ نسبت به سیمان نوع ۲ در کاهش انبساط ناشی از ASR مؤثرتر است.

کلمات کلیدی

بتن، سیلیس، فوق روان کننده، میکروسیلیس، واکنش قلیائی.

Alkali-Silica Reaction (ASR) in Concrete

(The Effect of Test Type, Cement Type and Admixtures of Silica Fume and Superplasticizer)

M. R. Esfahani
Assistant Professor

R. Adineh
MSc Student

Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

This paper investigates the Alkali-Silica Reaction (ASR) in concrete containing high potentially active aggregates. The effects of cement type and admixtures of silica fume and superplasticizer in the concrete mixture on ASR were studied. Also, different test methods to evaluate the alkali-silica reaction in concrete were compared. The experimental work comprised of manufacturing and 104 testing specimens in different test methods including ASTM C295, CAN/CSA A23.2-14A, CAN/CSA A23.2-25A, and Laval Accelerated Test Method. Test results showed that using 15 percent silica fume by weight of cement in the concrete mixture decreased the expansion of concrete due to ASR significantly less than the allowable values given by different standards. For the values of silica fume more than 15%, the reducing rate of expansion was not significant. The admixture of superplasticizer in the concrete mixture reduced the negative effect of ASR. It was also seen that the admixtures of silica fume and superplasticizer were more effective in reducing ASR when cement

Type 5, instead Type 2, was used. Test methods of CAN/CSA A23.2-14A and CAN/CSA A23.2-25A estimated similar values of expansion in different specimens. The results obtained by Laval Accelerated Test Method were different from other results.

Keywords
alkali-silica reaction, concrete, silica, superplasticizer, silica fume,

مقدمه

بتن به دلیل مزایایش، به طور وسیعی در سرتاسر جهان استفاده می‌شود. در این میان عوامل متعددی وجود دارند که می‌توانند موجب صدمه به سازه بتنی و حتی تخریب آن گردند. از مهمترین این عوامل می‌توان به اثر کلریدها بر آرماتور، سیکل‌های یخ زدن و آب شدن، کربناسیون، حمله سولفات‌ها، انقباض سنگدانه و واکنش‌های قلیایی سنگدانه‌ها اشاره کرد. واکنش قلیائی سنگدانه‌های بتن بین اجزاء سیلیسی و کربناتی فعال سنگدانه‌ها و قلیایی‌های موجود در سیمان اتفاق می‌افتد. واکنش قلیائی ـ سیلیسی (ASR) با حمله اکسیدهای قلیایی، که از قلیائی‌های موجود در سیمان مشتق می‌شوند، بر کانیهای سیلیسی موجود در سنگدانه‌ها شروع شده و در نتیجه یک ژل قلیایی ـ سیلیکاتی تشکیل و بدنبال آن تغییراتی در مرزهای بین سنگدانه‌ها و سیمان بوجود می‌آید. ژل حاصل آب را جذب نموده و در نتیجه تمایل به افزایش حجم کسب می‌کند. از آنجا که این ژل بوسیله خمیر سیمان اطراف خود احاطه شده است، این افزایش حجم موجب فشارهای داخلی شده که بالاخره منتهی به انبساط، ترک خوردن و از هم پاشیدن خمیر سیمان می‌گردند. عقیده Diamond [1] بر این است که این واکنش اساساً ناشی از تمرکز یون‌های هیدروکسید در محلول‌های منفذی می‌باشد.

با توجه به تحقیقات بسیار گسترده‌ای که در مورد این پدیده در جهان انجام گرفته، روش‌های مختلفی جهت پیشگیری و کاهش اثر مخرب آن ارائه شده است. روش‌هایی نظیر محدود نمودن مصرف سیمان‌های با قلیای بالا، عدم استفاده از سنگدانه‌های فعال ویا محدود کردن میزان آنها و نیز استفاده از افزودنی‌های بتن همچون انواع پوزلان‌های طبیعی و یا محصولات مصنوعی نظیر خاکستر بادی (FA)، تفاله سربار کوره ذوب (Slag) و میکروسیلیس (Silica Fume) پیشنهاد می‌شود.

نظریه استفاده از پوزلان جهت جلوگیری از انبساط‌های زیاد ناشی از ASR اولین بار توسط Hanna [2] مطرح شد. Rogers [3] در سال ۱۹۸۷ طی مقاله‌ای مصرف ۲۰ درصد خاکستر بادی (Fly Ash) را در جلوگیری از ترک خوردگی بتن حاوی سنگدانه‌های فعال، مثبت اعلام نمود. براساس آزمایشات Davies and Oberholster [4] جایگزینی حداقل ۱۰٪ میکروسیلیس بجای سیمان پرتلیا در کنترل ASR موفق بوده است. Hobbs [5] مصرف حداقل ۲۰٪ میکروسیلیس را توصیه نموده است.

در کشورمان ایران در این زمینه یک سری آزمایش توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بر روی سنگدانه‌های مصرفی در ساخت برخی از سدهای ایران صورت گرفته و تأثیر جایگزینی ۱۰ تا ۱۵ میکروسیلیس در بتن جهت کنترل واکنش قلیا ـ سیلیس این سنگدانه‌ها مشخص شده است [6]. در این راستا و بمنظور بدست آوردن اطلاعات بیشتر و کاملتری در مورد کاربرد میکروسیلیس در بتن حاوی سنگدانه‌های فعال و نیز مقایسه نتایج روش های مختلف ارزیابی ASR، بررسی هائی در طی این تحقیق صورت گرفته است. همچنین از آنجا که اثرات عوامل دیگری همچون کاربرد فوق روان کننده و نوع سیمان مصرفی در بروز یا کاهش انبساط ناشی از ASR کمتر مورد ارزیابی دقیق قرار گرفته، بخش دیگری از این تحقیق شامل بررسی این عوامل است.

جهت نیل به اهداف این مطالعه روش‌های مختلف آزمایشگاهی بررسی و روش‌های زیر انتخاب شدند:

- روش پتروگرافی ASTM C295
- روش ملات منشوری تسریع شده CAN/CSA A23.2-25A
- روش منشور بتنی تسریع شده CAN/CSA A23.2-14A
- روش اتوکلاو لاوال Laval

در این تحقیق از دو نوع سیمان تیپ ۲ و ۵ تولید شده در استان خراسان، پودر میکروسیلیس، فوق روان کننده، نوعی سنگدانه سیلیسی فعال از جنس کوارتز و نوعی سنگدانه غیرفعال از جنس سنگ آهک استفاده گردید.

نمونه‌های آزمایشی و روشهای آزمایش

از روش پتروگرافی یا سنگ نگاری جهت ارزیابی اولیه پتانسیل فعالیت سنگدانه‌ها در واکنش قلیائی بهره گرفته شد. برای این منظور، نمونه‌هائی از مصالح سنگی تهیه شده طبق روش ASTM C295 بررسی گردید.

در آزمایش ملات منشوری تسریع شده CAN/CSA A23.2 - 25A تعداد ۴۸ عدد نمونه مکعب مستطیل شکل با ابعاد ۲۸/۵ ×۲/۵× ۲/۵ سانتیمتر با ملات سیمان در۱۶ سری ساخته و تحت آزمایش قرار گرفتند. هشت سری اول شامل ملات با سیمان‌های نوع ۲و ۵ و مصرف بترتیب ۰ ، ۷ ، ۱۴و ۲۱ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان تهیه شد. هشت سری دوم با همان مشخصات نمونه‌های سری‌های قبل و با افزودن فوق روان کننده ساخته شد. هر سری شامل ۳ عدد نمونه بود که بمدت ۱۴ روز در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد در محلول یک نرمال سود (NaOH) نگهداری و در زمانهای معین تغییرات طولشان اندازه‌گیری شد. تغییرات طول نمونه‌ها نسبت به حد مرزی مشخص شده در استاندارد یعنی ۰/۱٪ سنجیده شده و انبساط های بیش از آن بعنوان فعالیت قلیائی مضر ارزیابی گردید. با مقایسه نتایج حاصله از سری‌های فوق میزان تاثیر فوق روان کننده، میکروسیلیس و نوع سیمان مصرفی در واکنش قلیائی ـ سیلیسی سنگدانه‌ها مشخص گردید.

در روش منشور بتنی تسریع شده CAN/CSA A23.2-14A تعداد۲۴ نمونه مکعب مستطیل بتنی به ابعاد۲۸/۵ ×۷/۵× ۷/۵ سانتیمتر در۸ سری ساخته شدند. برای هریک از سیمانهای نوع ۲ و ۵ تعداد۴ سری نمونه با درصدهای مختلف میکروسیلیس جایگزین سیمان تهیه شد. هر سری شامل ۳ عدد نمونه بوده که بمدت ۶ ماه در دمای ثابت ۳۸ درجه سانتیگراد و داخل محلول یک نرمال سود نگهداری شد. در فواصل زمانی معین تغییرات طول نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و با حد مجاز استاندارد بمیزان ۰/۰۴٪ مقایسه گردید. از نتایج بدست آمده از این سری از آزمایشات جهت بررسی میزان تاثیر میکروسیلیس و نوع سیمان مصرفی در واکنش قلیائی و همچنین مقایسه با روش تسریع شده ملات منشوری و اتوکلاو لاوال بهره گرفته شد.

در روش اتوکلاو لاوال Laval تعداد۳۲ عدد نمونه با مشخصات هندسی و نیز طرح اختلاطی مشابه آزمایش ملات منشوری تسریع شده در ۸ سری فراهم شد. برای هریک از سیمان‌های مصرفی ۴ سری نمونه با درصدهای مختلف میکروسیلیس جایگزین ـ ۰ ، ۷ ، ۱۴ و ۲۱٪ ـ آماده و پس از قالب برداری به مدت ۵ ساعت در داخل دستگاه اتوکلاو با دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد و فشار ۰/۱۷ مگاپاسکال نگهداری و سپس تغییرات طول نمونه‌ها قرائت گردید. حد مجاز انبساط در این آزمایش برابر ۰/۱٪ طول اولیه توصیه شده است. هر سری شامل ۴ عدد نمونه بود که میانگین تغییرات طولشان ملاک عمل قرار گرفت. هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر میکروسیلیس و نوع سیمان مصرفی در واکنش ASR و مقایسه نتایج با سایر روش‌های آزمایش بود.

مشخصات مصالح

در این تحقیق از دو نوع سیمان مختلف استفاده شده‌است: ۱ـ سیمان پرتلند ضدسولفات نوع دو از محصولات مجتمع کارخانجات سیمان شرق واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شهر مشهد. ۲ـ سیمان پرتلند ضد سولفات نوع پنج از محصولات کارخانه سیمان قائن. نتایج آزمایش تجزیه شیمیائی سیمان‌های مصرفی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

میکروسیلیس مصرفی در این سری آزمایشات از محصولات شرکت سیکا و با نام تجاری سیکافیوم است که نتیجه تجزیه نمونه‌ای از آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

فوق روان کننده مورد استفاده نیز از نوع NN و از محصولات شرکت سیکا می‌باشد. جهت انجام آزمایشات مورد نظر از دو نوع سنگدانه متفاوت استفاده گردید. نوع اول سنگدانه‌ای فعال در واکنش قلیا ـ سیلیس از جنس کنگلومرای کوارتزی با بافت ریزدانه است که بعنوان ماسه سیلیسی و جهت استفاده در صنایع ریخته گری بکار می‌رود. دانه‌بندی آن عمدتا بین ۱ تا ۱۵ میلیمتر بوده و به همین جهت بعنوان مصالح سنگی ریزدانه در آزمایشات بکار گرفته شده است. نوع دوم سنگدانه مصرفی که بعنوان مصالح درشت دانه بکاررفته است، سنگدانه‌ای با بافت آهکی و تهیه شده از معادن محدوده شهر مشهد بوده که در آزمایشات واکنش قلیائی، غیرفعال ارزیابی گردید.

سود (NaOH) تهیه شده نیز بصورت گرانول‌هائی بقطر حدود ۵ میلیمتر، در قوطی‌های یک کیلوگرمی و از تولیدات شرکت داروئی ـ شیمیائی مرک آلمان بوده است.

جدول (۲) نتایج تجزیه شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۵.

تجزیه شیمیایی	درصد
SiO_2	۲۲/۹۹
Al_2O_3	۴/۲۰
Fe_2O_3	۵/۶۵
CaO	۶۳/۱۴
MgO	۰/۶۹
SO_3	۱/۱۵
Na_2O	۰/۵۲
K_2O	۰/۴۳
افت حرارتی	۱/۶۵
C_3A	۱/۵۸
C_4AF	۱۷/۱۹

جدول (۱) نتایج تجزیه شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲.

تجزیه شیمیایی	درصد
SiO_2	۲۲/۰۵
Al_2O_3	۳/۹۹
Fe_2O_3	۳/۵۹
CaO	۶۲/۱۸
MgO	۲/۱۸
SO_3	۱/۹۶
Na_2O	۰/۴۷
K_2O	۰/۵۰
افت حرارتی	۳/۴۱
C_3A	۴/۵۱
C_4AF	۱۰/۹۳

جدول (۳) نتایج تجزیه شیمیایی میکروسیلیس.

تجزیه شیمیایی	درصد	محدوده استاندارد (درصد)
SiO2	۹۰/۴	۷۵-۹۸
Fe2O3	۱/۱۶	۰/۰۶-۴/۲۴
Al2O3	۱/۵۶	۰/۰۳-۵/۷۸
CaO	۱/۲۹	۰/۰۱-۰/۸۳
MgO	۰/۶۶	۰/۳۴-۰/۵۲
Na2O	۰/۲۶	۰/۱۷-۰/۲۳
K2O	۱/۳۱	۱/۱۵-۲/۰۲
TiO2	۰/۰۲	-
درصد رطوبت	۰/۵۴	-

مشخصات مخلوط‌های بتن و ملات

۱ـ مشخصات مخلوط‌های ملات مصرفی در آزمایشات CAN/CSA A23.2-25A و اتوکلاو لاوال بدین شرح است:

نسبت سیمان به سنگدانه: ۱ به ۲/۲۵

نسبت آب به سیمان: ۰/۴۴

مصالح سنگی، ریزدانه و از سنگدانه فعال بوده که پیش از مصرف با آب شسته و در معرض هوای آزاد خشک شده‌اند. پس از تهیه مخلوط در دستگاه ملات ساز، ملات حاصله در قالبها ریخته شده و طبق جزئیات تعیین شده در استاندارد آزمایش‌ها متراکم گردید. پس از قالب برداری، نمونه‌ها براساس هریک از روش‌های آزمایش مورد مطالعه قرار گرفتند.

۲ـ مشخصات مخلوط‌های بتن در آزمایش CAN/CSA A23.2-14A بدین شرح است:

سیمان مصرفی: ۳۱۰ کیلوگرم در متر مکعب

نسبت آب به سیمان: ۰/۵

نسبت مصالح درشت دانه به ریز دانه: ۳ به ۲

میزان قلیای محلول در آب مخلوط معادل ۱/۲۵٪ اکسید سدیم، مصالح سنگی درشت دانه از نظر واکنش قلیایی غیرفعال و مصالح ریزدانه از نوع فعال و با دانه‌بندی مشابه آزمایش سری قبل بوده است. جهت بدست آوردن کارآئی مناسب از ۱٪ فوق روان کننده نیز استفاده شده است. پس از آماده کردن بتن در دستگاه اختلاط، بتن در قالبها ریخته شده و بر روی میز ویبره

متراکم گردید. بعد از قالب برداری، نمونه‌ها به داخل محفظه‌های هوابند محتوی محلول سود ۱ نرمال در داخل اتاقک گرما منتقل شدند. نتایج از تغییرطول نمونه‌ها درفاصله زمانی۶ ماه ثبت گردید

در جدول‌ها و شکل‌ها، نماد MWO برای نمونه‌های فاقد فوق روان کننده در آزمایش ملات منشوری، MW برای نمونه‌های حاوی فوق روان‌کننده در آزمایش ملات منشوری، C برای نمونه‌های بتن در آزمایش منشور بتنی تسریع شده و AL برای نمونه‌های ملات در آزمایش اتوکلاو لاوال می‌باشد.

نتایج آزمایشات

آزمایش پتروگرافی

جهت انجام این آزمایش نمونه‌هائی از مصالح معدن انتخاب و بررسی لازم بر روی آنها صورت گرفت. نتایج بررسی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی سنگدانه مورد آزمایش بشرح زیر می‌باشد:

- این سنگدانه از منطقه فیروزکوه واقع در شمال شهرتهران و از معادن ماسه سیلیسی این منطقه تهیه شده است.
- سنگدانه مورد بررسی کنگلومرای کوارتزی با بافت ریزدانه بوده و بر این اساس نوعی سنگ رسوبی محسوب می‌شود. اکثر ریزدانه‌های قابل روئیت درسنگ از جنس کوارتز بوده‌اند.
- در بررسی مقطع نازک تهیه شده از سنگ و در زیر میکروسکوپ نوری کانیهای زیر قابل تشخیص بوده‌اند:

کوارتز (بلوری) در حدود ۹۰-۹۵ درصد

اکسیدهای آهن شامل مگنتیت و هماتیت در حدود ۲- ۲/۵ درصد

انواع کانیهای رسی به میزان کم

آزمایش ملات منشوری تسریع شده CAN/CSA A23.2 - 25A

نتایج آزمایش ملات منشوری بر روی نمونه‌های ساخته شده با سیمان‌های تیپ ۲ و ۵، با استفاده از مقادیر مختلف پودر میکروسیلیس بترتیب برابر با ۰، ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد وزنی سیمان و بدون مصرف فوق روان کننده درشکل ۱ و جدول ۴ ارائه شده‌اند. همانطور که دیده می‌شود:

۱- استفاده از میکروسیلیس در مورد هر دو نوع سیمان مصرفی در کاهش انبساط مؤثر بوده به طوریکه بازای مصرف ۷٪ میکروسیلیس این کاهش به حدود ۳۰-۲۷٪ و بازای ۱۴٪ میکروسیلیس به حدود ۸۵-۷۸ درصد رسیده است.

۲- مقدار انبساط در نمونه شاهد - فاقد میکروسیلیس - ساخته شده با سیمان تیپ ۲ کمتر از مقدار انبساط در نمونه حاوی سیمان تیپ ۵ است (در حدود ۱۱٪).

۳- با مصرف میکروسیلیس و افزایش مقدار آن در مخلوط، روند کاهش انبساط در سری MWO5 سریعتر از سری MWO2 رخ می‌دهد (با مصرف حدود ۱۰ درصد میکروسیلیس میزان انبساط در هر دو سری یکسان شده و بتدریج و در درصدهای بالاتر میکروسیلیس، نمونه‌های حاوی سیمان نوع ۵ کاهش انبساط بیشتری از خود نشان می‌دهند). این امر نشان می‌دهد که کاربرد میکروسیلیس همراه با سیمان نوع ۵ می تواند کمی درکاهش انبساط ASR موثرتر باشد.

جدول (٤) اثر میکروسیلیس در کاهش انبساط نمونه‌های سری MWO2 و MWO5 در آزمایش ملات منشوری تسریع شده.

میزان مصرف میکروسیلیس(درصد)	میزان انبساط پس از ۱۴ روز (درصد)		کاهش انبساط (درصد)	
	MWO2	MWO5	MWO2	MWO5
۰	۰/۳۹۸	۰/۴۴۲	-	-
۷	۰/۲۸۷	۰/۳۰۷	۲۷/۹	۳۰/۵
۱۴	۰/۰۸۵	۰/۰۶۸	۷۸/۶	۸۴/۶
۲۱	۰/۰۳۶	۰/۰۲۱	۹۱/۰	۹۵/۲

MWO2 مربوط به ملات منشوری از سیمان نوع ۲

MWO5 مربوط به ملات منشوری از سیمان نوع ۵

در مرحله دیگری از این آزمایش، نمونه‌هائی با همان مشخصات سری قبل تهیه گردید، با این تفاوت که با کاهش میزان آب مصرفی، اسلامپ مخلوط به کمک فوق روان کننده تنظیم شد. نتایج آزمایش این نمونه‌ها در شکل ۲ و جدول ۵ ارائه شده اند. همانگونه که مشاهده می‌شود:

۱- در این سری از نمونه‌ها نیز استفاده از میکروسیلیس، درمورد هر دو نوع سیمان مصرفی در کاهش انبساط مؤثر بوده بطوریکه به ازای مصرف ۷٪ میکروسیلیس این کاهش به حدود ۳۵-۳۱٪ و بازای ۱۴٪ میکروسیلیس به حدود ۸۶-۸۰ درصد رسیده است. با مقایسه این اعداد با اعداد مربوط به نمونه‌های فاقد فوق روان کننده، میزان کاهش بیشتری در انبساط نمونه‌ها دیده می‌شود.

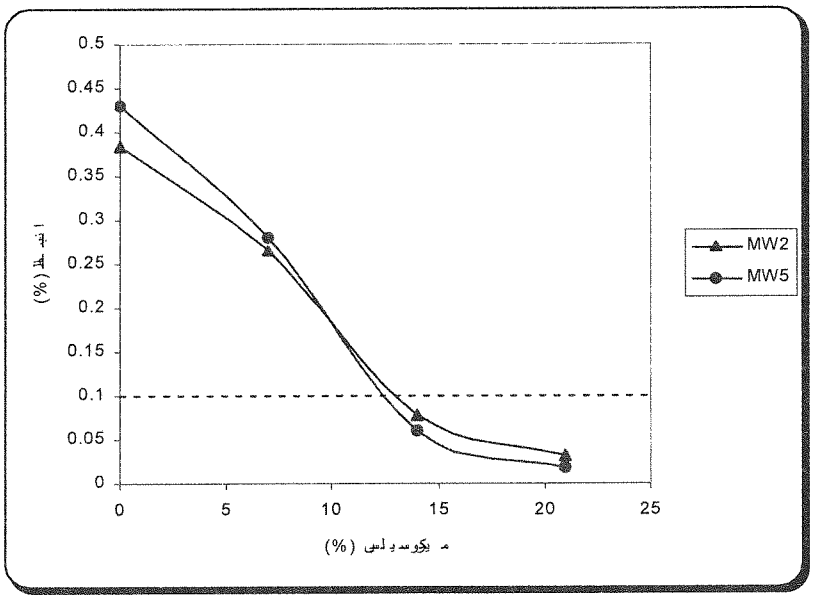
۲- مشابه نمونه‌های فاقد فوق روان کننده، مقدار انبساط در نمونه‌های شاهد ـ فاقد میکروسیلیس ـ ساخته شده با سیمان تیپ ۲ کمتر از مقدار انبساط نمونه‌های حاوی سیمان تیپ ۵ است.

۳- مشابه نتایج آزمایش سری قبل، در اینجا نیز با مصرف میکروسیلیس و افزایش مقدار آن در مخلوط، روند کاهش انبساط در سری MW5 سریعتر از سری MW2 رخ می‌دهد. این امر بیانگر آن است که کاربرد میکروسیلیس همراه با سیمان نوع ۵ در کاهش انبساط ASR کمی موثرتر است.

۴- در این مرحله نیز بمنظور محدود کردن انبساط ASR به حد تعیین شده استاندارد ۰/۱٪ ، مصرف بیش از ۱۵٪ میکروسیلیس مناسب و کافی به نظر می‌رسد.

جدول (۵) اثر میکروسیلیس در کاهش انبساط نمونه‌های سری MW2 و MW5 در آزمایش ملات منشوری تسریع شده.

میزان مصرف میکروسیلیس(درصد)	میزان انبساط پس از ۱۴ روز (درصد)		کاهش انبساط (درصد)	
	MW2	MW5	MW2	MW5
۰	۰/۳۸۵	۰/۴۳	-	-
۷	۰/۲۶۴	۰/۲۸۱	۳۱/۴	۳۴/۷۰
۱۴	۰/۰۷۷	۰/۰۶۰	۸۰/۰	۸۶/۰
۲۱	۰/۰۳۲	۰/۰۱۸	۹۱/۷	۹۵/۸



شکل (۲) اثر میکروسیلیس در کاهش انبساط نمونه‌های سری MW2 و MW5 پس از ۱٤ روز.

روش منشور بتنی تسریع شده CAN/CSA A23.2 - 14A

نـتایج بدسـت آمـده از ایـن روش بـر روی نمونه‌های منشور بتنی پس از مدت زمان ۱۸۰ روز نگهداری نمونه‌ها در شرایط آزمایش در شکل ۳ و جدول ۸ منعکس شده است. با رجوع به آنها موارد زیر مشخص می‌شود:

۱ـ اسـتفاده از میکروسـیلیس در مـورد هـر دو نـوع سـیمان مصـرفی در کاهش انبساط مؤثر بوده به طوریکه بازای مصرف ۷٪ میکروسیلیس این کاهش به حدود ۳۰٪ و به ازای ۱۴٪ میکروسیلیس به حدود ۸۰-۷۵ درصد رسیده است.

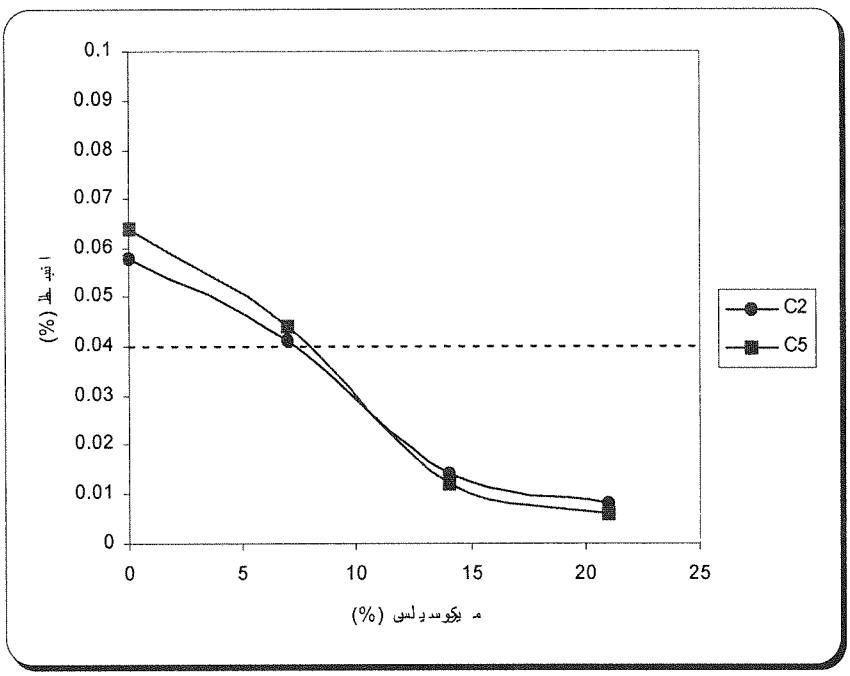
۲ـ مقـدار انبساط در نمونه شاهد ـ فاقد میکروسیلیس ـ باسیمان تیپ ۲ کمتر از نمونه باسیمان تیپ ۵ است (در حدود ۱۰٪). که با نتایج آزمایشات قبلی نیز مطابقت می‌نماید.

۳ـ تاثـیر میکروسیلیس در کاهش انبساط حاصل از واکنش قلیائی در نمونه‌های با سیمان تیپ ۵ بیشتر از نمونه های با سیمان تیپ ۲ است، که این امر با نتایج آزمایش ۱۴ روزه بر روی ملات‌های منشوری همخوانی دارد.

۴ـ جهـت محـدود کـردن انبساط ASR به زیر حد تعیین شده استاندارد (۰/۰۴٪) مصرف حدود ۱۵٪ میکروسیلیس مطمئن و کافی به نظر می‌رسد. مصرف بیش از ۱۵٪ میکروسیلیس تاثیر قابل ملاحظه‌ای در روند کاهش انبساط ندارد.

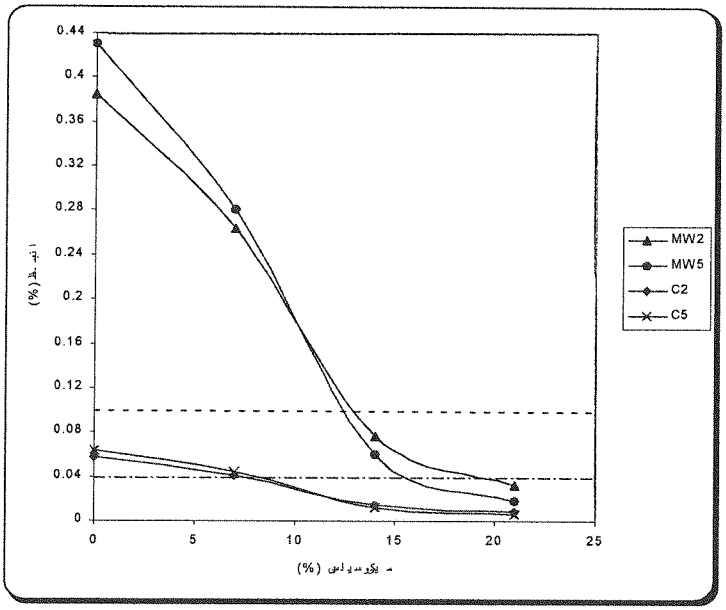
جدول (۸) اثر میکروسیلیس بر کاهش انبساط نمونه‌ها در آزمایش دراز مدت منشور بتنی.

میزان مصرف میکروسیلیس(درصد)	میزان انبساط پس از ۱۸۰ روز(درصد)		کاهش انبساط (درصد)	
	C2	C5	C2	C5
۰	۰/۰۵۸	۰/۰۶۴	-	-
۷	۰/۰۴۱	۰/۰۴۴	۲۹/۵	۳۱/۹
۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۷۶/۵	۸۰/۸
۲۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۸۶/۷	۹۰/۷



شکل (۳) اثر میکروسیلیس در کاهش میزان انبساط نمونه‌های منشور بتنی حاوی سیمانهای تیپ ۲ و ۵ پس از ۱۸۰ روز.

جهت مقایسه روش های ملات منشوری تسریع شده و منشور بتنی، نتایج بدست آمده درشکل ۴ ارائه شده اند. در این شکل ـ ـ ـ ـ نشان داده شده مربوط به حد مجاز انبساط تعیین شده در روش استاندارد CAN/CSA A23.2 - 25A برابر ۰/۱٪ وخط نقطه مربوط به حد مجاز تعیین شده در روش CAN/CSA A23.2 - 14A برابر ۰/۰۴٪ است. با مقایسه منحنی ها مشخص می گردد که روند کاهش انبساط به علت مصرف میکروسیلیس در مورد هر دو نوع سیمان مصرفی با هر دو روش فوق، فرم یکسانی داشته و مصرف ۱۵٪ میکروسیلیس به میزان مؤثری انبساط ناشی از ASR را زیر حد مجاز استاندارد کاهش می دهد. با مصرف میکروسیلیس بیش از حدود ۱۵٪ تاثیر میکروسیلیس در کاهش انبساط قابل ملاحظه نمی باشد.



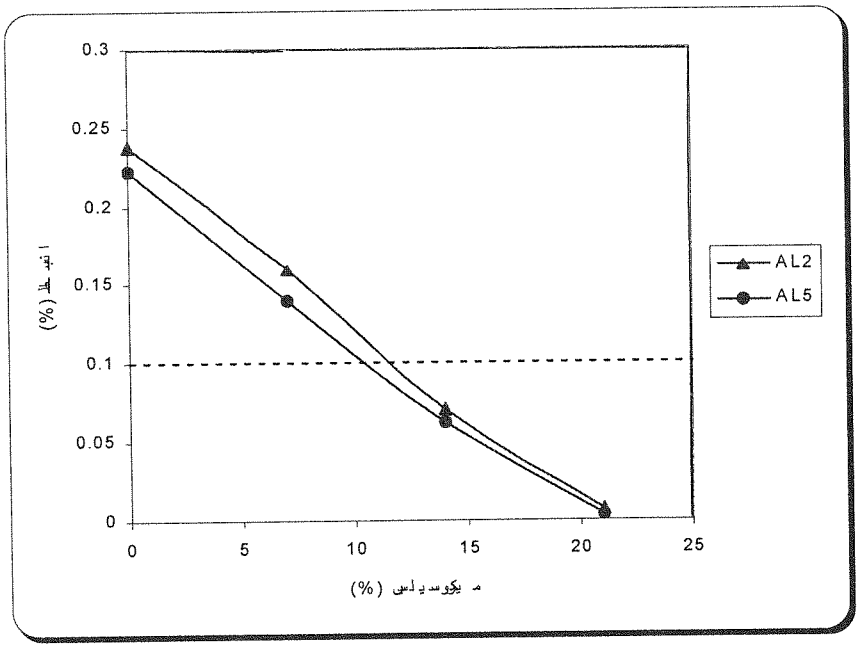
شکل (٤) مقایسه میزان انبساط نمونه‌های سری MW وC
بترتیب پس ا ز ١٤ و١٨٠روز.

روش ملات منشوری فوق سریع اتوکلاو Laval

نتایج آزمایشات صورت گرفته با این روش برروی نمونه‌های ملات منشوری با سیمان‌های موجود و با استفاده از درصدهای مختلف پودر میکروسیلیس در شکل ۵ وجدول ۹ دیده می‌شود. خط پر نشان داده شده در شکل معرف حد انبساط پیشنهادی Fournier و همکارانش (۷) در مورد سنگدانه‌های معدنی سیلیسی ارزیابی شده توسط این روش می‌باشد، به طوری که انبساط‌های بیش از آن بیانگر بروز فعل و انفعال شدید قلیائی ـ سیلیسی در مخلوط است. جهت مقایسه بین روش ملات منشوری تسریع شده و روش فوق سریع اتوکلاو لاوال نتایج بدست آمده در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. در این شکل خط چین‌ها مربوط به نمونه‌های حاوی سیمان نوع ۲ و خطوط پر مربوط به نمونه‌های ساخته شده با سیمان نوع ۵ می‌باشد. با دقت در شکل‌ها مشاهده می‌شود که:

جدول (۹) میزان انبساط نمونه‌ها در آزمایش فوق سریع اتوکلاو لاوال.

میزان مصرف میکروسیلیس(درصد)	میزان انبساط پس از ۵ ساعت (درصد)		کاهش انبساط (درصد)	
	AL2	AL5	AL2	AL5
۰	۰/۲۲۳	۰/۲۳۸	-	-
۷	۰/۱۳۹	۰/۱۶۰	۳۷/۷	۳۲/۸
۱۴	۰/۰۶۲	۰/۰۷۰	۷۲/۲	۷۰/۶
۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۹۸/۲	۹۷/۱



شکل (۵) اثر میکروسیلیس در کاهش انبساط نمونه‌های حاوی سیمانهای تیپ۲ و ۵ در آزمایش اتوکلاو Laval پس از ۵ ساعت.

۱- تاثیر کاربرد پودر میکروسیلیس در کاهش انبساط سری نمونه‌های فوق کاملا مشخص است (به ازای مصرف ۷ تا ۲۱ درصد میکروسیلیس میزان کاهش انبساط حدودا بین ۳۲ تا ۹۸٪ بوده است). در این قسمت نیز مصرف حدود ۱۵٪ میکروسیلیس به اندازه مؤثری انبساط ناشی از ASR را به زیر حد استاندارد (۰/۱٪) کاهش می‌دهد.

۲- مشابه آزمایش ملات منشوری تسریع شده، در این آزمایش نیز مقدار انبساط نمونه‌های شاهد دارای سیمان تیپ ۵ بیش از مقدار انبساط نمونه‌های دارای سیمان تیپ ۲ است (حدود ۶٪). لیکن بر خلاف آزمایش ملات منشوری، با مصرف میکروسیلیس تغییری در این روند بوجود نیامده است.

۳- نکته قابل توجه در مورد هر دو سری نمونه‌های MW وAL اینکه گرچه مشخصات هندسی منشورهای آزمایش اتوکلاو با نمونه‌های آزمایش ملات منشوری تسریع شده دقیقا یکسان می‌باشند، لیکن میزان انبساط بوجود آمده در دو سری آزمایش با یکدیگر تفاوت دارند (شکل ۶). در عین حال هر دو روش نحوه تاثیر میکروسیلیس را در کاهش انبساط ناشی از ASR تقریبا یکسان ارزیابی می‌کنند.

نتیجه گیری

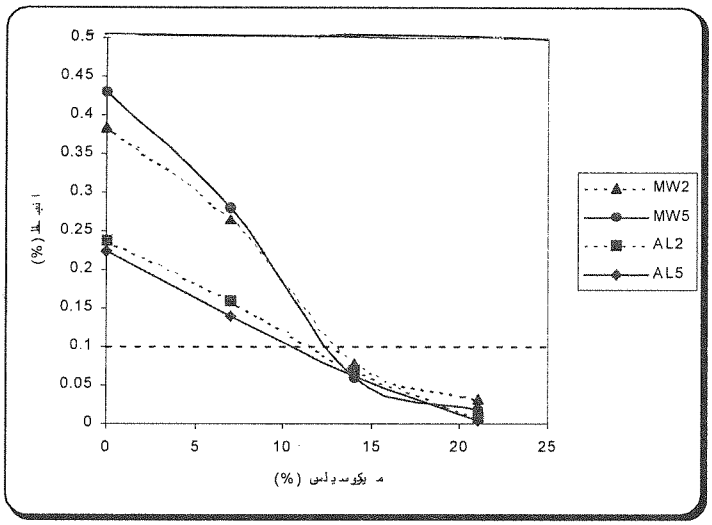
در این تحقیق واکنش قلیایی سیمان سنگدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر نوع آزمایش، نوع سیمان و افزودنی‌های میکروسیلیس و فوق روان کننده بر واکنش مذکور با انجام آزمایش روی ۱۰۴ نمونه ملات منشوری و منشور بتنی مطالعه گردید. نتایج مطالعه به شرح زیر است.

۱- مقادیر اندازه‌گیری شده انبساط ناشی از ASR نشان می‌دهند که تطابق خوبی بین روش طولانی مدت CAN/CSA A23.2-14A بر روی منشورهای بتنی با مدت زمان ۶ ماه وروش کوتاه مدت CAN/CSA A23.2 - 25A بر روی منشورهای ملات سیمان با مدت زمان ۱۴ روز وجود دارد. نتایج حاصله از آزمایش فوق سریع اتوکلاو لاوال که در مدت زمان بسیار کوتاه ۵ ساعت بدست می‌آیند، تفاوت‌هایی با نتایج روش‌های طولانی مدت AN/CSA A23.2 - 14A و کوتاه مدت CAN/CSA A23.2 - 25A نشان می‌دهند. در عین حال در ارزیابی اثر میکروسیلیس بر کاهش انبساط ناشی از ASR ، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج سه روش وجود ندارد.

۲- جایگزینی پودر میکروسیلیس بصورت وزنی بجای سیمان مصرفی دربتن و ملات، در کاهش انبساط حاصل از پدیده ASR مؤثر است. میزان میکروسیلیس مصرفی جهت تقلیل انبساط به اندازه کافی زیر حد مجاز حدود ۱۵٪ می‌باشد. به ازای

مصرف بیش از ۱۵٪ میکروسیلیس اگر چه مقدار انبساط به مقدار بیشتری کاهش می‌یابد لیکن شدت کاهش قابل ملاحظه نمی‌باشد. مصرف میکروسیلیس در نمونه‌های محتوی سیمان تیپ ۵ تاثیر بیشتری در کنترل واکنش قلیائی سنگدانه‌های فعال نسبت به نمونه‌های ساخته شده با سیمان تیپ ۲ داشته است.

۳ـ بکاربردن همزمان فوق روان کننده و میکروسیلیس تاثیر بیشتری در کنترل انبساط ناشی از واکنش قلیائی (تا حدود ۱۰٪) سنگدانه‌ها در مقایسه با مصرف میکروسیلیس به تنهائی داشته است. این امر بستگی به نوع سیمان مصرفی در مخلوط نداشته و در مورد هردو سیمان نوع ۲ و ۵ جواب‌ها تقریبا یکسان بوده است.



شکل (٦) مقایسه نتایج حاصل از آزمایشات ملات منشوری تسریع شده و اتوکلاو لاوال.

مراجع

[1] Diamond, S., "A Review of Alkali-Silica Reaction and Expansion Mechanisms, Reactive Aggregates, " Cement and Concrete Research, 6, No. 4, pp. 549-560 (1976).

[2] Hanna, W. C., "Unfavorable Chemical Reactions of Aggregate in Concrete and a Suggested Corrective," Proceedings, ASTM, V. 47, Philadelphia, pp. 986-1009, (1947).

[3] Rogers, C. A., "Alkali-Aggregate Reaction in Ontario," Proceedings, Seventh International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 5-9. (1987)

[4] Davies, G. and Oberholster, R. E., "An Inter-laboratory Test Program on the NBRI Accelerated Test to Determine the Alkali-Reactivity of Aggregates, "Special Report BOU 92-1987, National Building Research Institute, CSIRO, Pretoria, South Africa, 16 pp., (1987).

[5] Hobbs, D. W., "Effect of Mineral and Chemical Admixtures on Alkali-Aggregate Reaction," Proceedings, Eight International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, pp. 173-186, (1989).

[۶] پرهیزگار؛ طیبه، رمضانیانپور، علی اکبر و مظفری، نرگس؛ اثر میکروسیلیس در کاهش واکنش قلیائی سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت برخی از سدهای ایران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۹.

[7] Fournier, B. and Berube, M. A., "Testing for Alkali-Aggregate Reactivity, Part B: Accelerated Test Method," In: Course Manual of Petrography and Alkali-Aggregate Reactivity, Ottawa, Ontario, pp. 161-195, (1993).