

بتن دوام محور و چالش های آن در سازه های هیدرولیکی

علیرضا ستوده¹، آرزو وطن پور²

1- رئیس کارگاه پروژه احداث تصفیه خانه آب قم

2- رئیس دفتر فنی پروژه تونل های مستغرق مترو شیراز

arsetoodeh@gmail.com

چکیده

بتن یکی از مصالح پر کاربرد در پروژه های بزرگ و صنعتی کشور به خصوص در حوزه سازه های آبی و هیدرولیکی است. از آنجاییکه این نوع پروژه ها با فرض طول عمر زیاد طراحی می شوند، لذا دوام بتن به کاررفته در این پروژه ها در طول دوره بهره برداری بسیار پر اهمیت می باشد. استفاده از بتن به دلیل در دسترس بودن و صرفه اقتصادی و قابلیت قالب گیری آن، در قرن حاضر رواج بسیار زیادی پیدا نموده است. بتن علاوه بر مزایای زیادی که در ساخت ابر سازه های آبی و هیدرولیکی دارد، در صورتی که با مطالعه دقیق اجزا تشکیل دهنده آن و بررسی کلیه شرایط حاکم بر آن تولید نشود، می تواند آثار مخربی نیز داشته باشد و هزینه های گزافی را به پروژه تحمیل نماید. یکی از نکات قابل توجه که بایستی در ابتدای هر پروژه به خوبی بررسی شود، دوام بتن تولیدی است. مساله دوام بتن به مسائل مختلفی از جمله جنس سنگدانه ها، نوع و شیمی سیمان مصرفی، افزودنیها و میزان آب مصرفی و همچنین کاربری و موقعیت قرار گیری سازه دارد. مجموع عوامل ذکر شده در تولید بتنی دوام محور موثر می باشند. در این مقاله چالش های بتن دوام محور پروژه هیدرولیکی و آزمایش های انجام شده بر روی سنگدانه ها و سیمان مصرفی بررسی شده است و در نهایت مراحل عملی انتخاب مصالح مناسب جهت تولید بتنی دوام محور مورد تحقیق قرار گرفته است

کلمات کلیدی: بتن دوام محور، واکنش قلیایی، سازه های هیدرولیکی

1. مقدمه

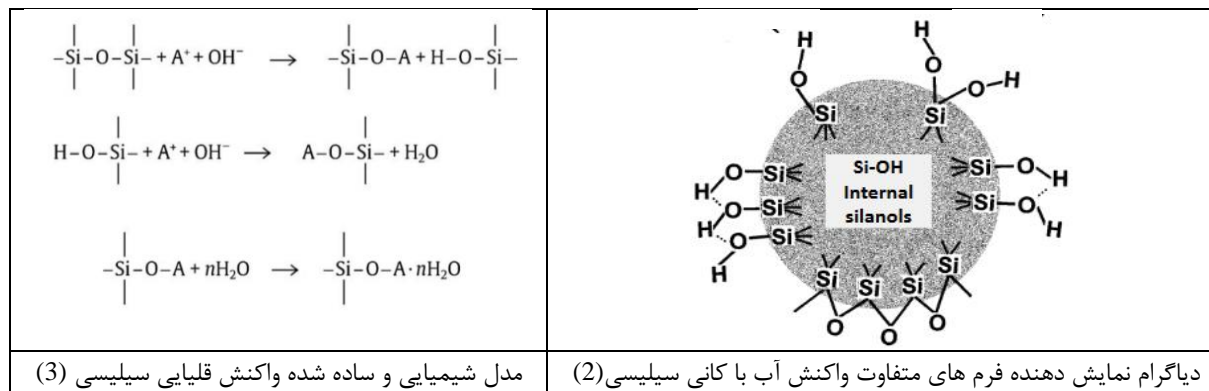
درایامی نه چندان دور بتن به عنوان مصالحی سه عاملی متشکل از مصالح سنگی، سیمان و آب تلقی می شد و عملکرد آن به عنوان مصالحی غیر هموزن و غیر ایزوتروپ و با مقاومت فشاری خوب تلقی می گردید. تدریجا با پیشرفت صنعت و ورود علم شیمی به حوزه صنعت عمران، دیدگاه و افق دید مهندسی به بتن نیز تغییر نمود. همانگونه که برای افزایش عمر سازه های فلزی از دیر باز پوشش و رنگ های مختلف استفاده می شود، برای افزایش عمر سازه بتنی نیز بایستی تمهیداتی اندیشیده شود. مقاله حاضر به یکی از موضوع های مهم بتن یعنی دوام و پایایی بتن که یکی از دغدغه های روز صنعت و تکنولوژی بتن در برخورد با شرایط محیطی خورنده و مستغرق است می پردازد. این مقاله حاصل سالها تجربه عملی در زمینه طراحی، تکنولوژی بتن و اجرای سازه هایی چون تونل های مستغرق در محیط خورنده و همچنین ابرسازه های هیدرولیکی است. در این مقاله فرآیندهای مختلف تاثیر گذار بر بتن شناسایی شده اند و مهمترین و اثر گذارترینشان که اثر تخریبی طولانی مدت دارد و در سازه های هیدرولیکی نقش موثری دارد مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیند مخرب مورد بحث، واکنش قلیایی است. ابتداتشکیل فرآیند مخرب بتن به دلیل واکنش قلیایی و همچنین اهمیت آن در سازه های هیدرولیکی شرح داده شده است و تاثیر هر کدام از پارامترهای بتن نظیر مصالح دانه ای، سیمان، افزودنی و آب مصرفی بررسی شده است. پس از آن روش بررسی مصالح قابل دسترس برای امکان ایجاد واکنش قلیایی و مراحل عملی انتخاب مصالح مناسب و آزمایش های مربوطه جهت تولید بتنی دوام محور مطالعه و تحقیق گردیده است.

2. تشریح فرآیند مخرب

به طور کلی فرآیندهای متعددی می تواند باعث تخریب یا کاهش دوام بتن شود. از جمله این عوامل می توان به مواردی همچون 1- نمکها؛ 2- اسیدها؛ 3- گاز هایی نظیر گاز کربنیک؛ 4- پوشش نا کافی بتن بر روی فولاد؛ 5- کیفیت پایین عمل آوری بتن؛ 6- بار اضافی؛ 7- آب و رطوبت؛ 8- فرایند یخبندان؛ 9- خوردگی میکروبی (SRB)؛ 10- باکتری های اکسید کننده گوگرد و 11- واکنش قلیایی مصالح، اشاره نمود. مهمترین فرآیند اثر گذار در تخریب بتن سازه های هیدرولیکی مانند تصفیه خانه های آب عبارتند از واکنش قلیایی در اثر تشکیل ژل سیلیکاتی، زیرا مابقی موارد را می توان با توجه به موقعیت و کاربری سازه تخمین زد و با موارد مختلفی از جمله افزودنی های متفاوت فرآیندهای مخرب را کنترل نمود. در خصوص واکنش قلیایی به دلیل اینکه زمان مشخص شدن فرآیند مخرب طولانی است، لذا نمی توان به راحتی تخمین زد و بایستی با آزمایش های مختلف موجود این کار انجام شود.

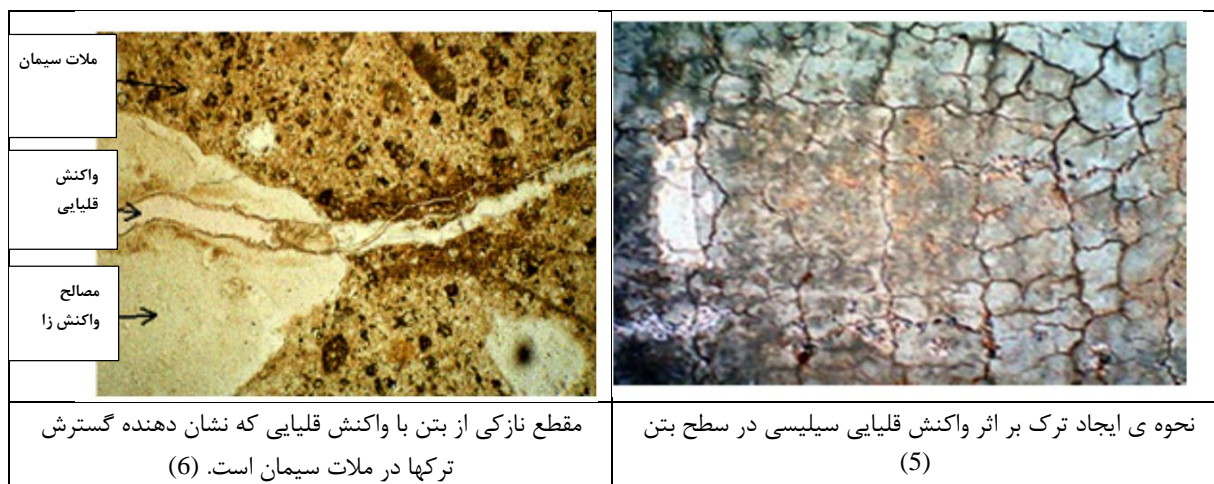
فرآیند واکنش قلیایی به این صورت است که با تشکیل ژل سیلیکاتی باعث به وجود آمدن فشار داخلی فزاینده در بتن میشود، این فشار داخلی در تمامی جهات و به طور یکسان به بتن تنش کششی وارد می کند و تا وقتی که این تنش از مقاومت کششی بتن تجاوز نکند، توسط بتن تحمل می شود. ولی به محض اینکه تنش از مقاومت کششی بتن بیشتر شد، بتن اطراف ژل ترک خورده و با افزایش فشار داخلی ترک ها گسترش یافته و تا سطح بتن ادامه می یابد. (1)

نکته قابل توجه در این فرآیند این است که صرفاً سیلیس آمورف در واکنش شیمیایی مخرب شرکت می کند در صورتی که سیلیس غیر آمورف ظرفیت آزادی برای شرکت در فرآیند شیمیایی ندارد این موضوع در شکل شماره 1 نمایش داده شده است. واکنش مذکور در شکل شماره 1 نمایش داده شده است.



شکل 1- فرآیند مخرب واکنش قلیایی کانیهای سیلیسی

به طور کلی علائم مشترک در تشخیص واکنش قلیایی سنگدانه‌ها را می‌توان به دو دسته علائم اولیه و نهایی تقسیم نمود. در ابتدای وقوع این پدیده مخرب، علائمی چون ترک‌های نقشه‌ای، سفیدک، ایجاد یک پوسته سخت روی بتن و حلقه‌های سفید رنگ در اطراف ذرات سنگدانه بروز می‌کند. پس از تداوم این واکنش، علائمی دیگر نظیر ترک‌های شدید و کاهش مقاومت بروز می‌کند. (4)



شکل 2- فرآیند مخرب واکنش قلیایی بتن در سطح و درون بتن

در سازه های هیدرولیکی جلوگیری از ایجاد این فرآیند مخرب اهمیت بیشتری پیدا می کند زیرا ایجاد ترک باعث نفوذ و عبور آب می شود. در این سازه ها به دلیل اینکه سیال موجود عمدتاً حاوی مواد خورنده دیگری از جمله کلر و اسیدهای آلی و غیر آلی می باشد ، نفوذ این مواد تاثیر خوردگی را چندین برابر میکند مجاورت سلیس آمورف در مجاورت آب نیز از عوامل افزایش واکنش زایی و ایجاد فرآیند مخرب است.

3. مطالعه مصالح دانه ای بتن برای مشخص نمودن استعداد واکنش قلیایی¹ (Alkali)

ایده ال ترین حالت در جهت تولید بتن دوام محور، انتخاب مصالح غیر واکنش زا² و به طور خاص فاقد کانیهای سیلیسی و کربناتی است. سوال اینجاست که آیا شرایط پروژه ها و منابع محدود تامین مصالح سنگی این آزادی انتخاب را به متخصص تیم تولید بتن می دهد؟ قطع یقین چنین شرایط ایده آلی وجود نخواهد داشت و معادن در دسترس و با امکان بهره برداری مصالح به دلایل مختلف زیست محیطی و یا فاصله معدن از محل اجرای پروژه، شرایط ایده آل ذکر شده را نخواهند داشت. در چنین شرایطی، آیین نامه ها روش های مختلفی را برای رویارویی با این مشکل ارائه می نماید.

سنگدانه ها یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده بتن می باشند که نقش اصلی تامین مقاومت بتن را به عهده دارند. بنابراین بررسی خواص واکنش زایی آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برخی از سنگدانه ها در شرایط مرطوب، پتانسیل ایجاد واکنش قلیایی با سیمان را دارا میباشند که در این مجموعه واکنش به علت افزایش حجم در دراز مدت باعث ایجاد ترک هایی در بتن می شود. (7) یکی از روشهای ابتدایی و میکروسکوپی جهت شناسایی پتانسیل واکنش پذیری سیلیسی و کربناتی سنگدانه ها، آزمایش پتروگرافی به روش استاندارد ASTM- C295 می باشد. (8)

واکنش قلیایی سنگ و کانیهای موجود در مصالح سنگی را می توان به سه دسته عنوان شده در جدول شماره 1 تقسیم نمود.

¹ Alkali-Aggregate Reaction ,ARR

² Non Reactive

جدول 1- انواع واکنشهای قلیایی سنگدانه

انواع واکنش	اجزا واکنش	مشکل	مدت زمان تقریبی شروع واکنش	استاندارد آزمایش جهت شناسایی
واکنش قلیایی کربناتی ^۲	یون هیدروکسید+ سنگ آهک + بعضی از دولومیتها	ترک در بتن	5 سال	ASTM(C586) ASTM(C1105)
واکنش قلیایی سیلیسی ^۴	یون هیدروکسید موجود در سیمان+ کانی سیلیسی	تورم و ترک بتن (ایجاد ژل سیلیکاتی قابل انبساط با سیلیس آمورف موجود در سنگ)	10 سال	ASTM(C1260)
واکنش سیلیکاتی	کوارتز	انبساط سنگدانه های درشت + ترک بتن	20 سال	-

به طور کلی فرآیند واکنش قلیایی سنگدانه ها را می توان به سه مرحله 1-مرحله نهفتگی، 2-مرحله ایجاد ترک و 3-مرحله تثبیت تقسیم نمود. (1) استاندارد ASTM (C-1778) برای تعیین واکنش زا بودن مصالح سنگی روند زیر را پیشنهاد می نماید:

- 1- استفاده از اطلاعات سازه های احداث شده در منطقه با مصالح مورد نظر که عمری بیش از 15 سال داشته باشند.
- 2- انجام آزمایش پتروگرافی برای ارزیابی واکنش زایی مصالح بر اساس استاندارد ASTM (C295)
- 3- انجام آزمایش کوتاه مدت بر روی نمونه استوانه ای ملات بر اساس استاندارد ASTM(C1260).
- 4- انجام آزمایش دراز مدت بر روی منشور بتنی بر اساس استاندارد ASTM (C1293).
- 5- انجام آزمایش واکنش زایی کربناتی بر اساس استاندارد ASTM (C1105)

پس از بررسی وضعیت محل و به دلیل اهمیت سازه های هیدرولیکی، برای تعیین واکنش زایی مصالح در اولین قدم از آزمایش پتروگرافی مطالعات آغاز گردید. انجام آزمایش سنگ نگاری (پتروگرافی) بر اساس استاندارد ASTM (C295) مربوطه، اولین قدم برای بررسی احتمال واکنش زایی مصالح معدن انتخابی است. آزمایش ذکر شده یک آزمایش فیزیکی در مقیاس میکروسکوپی است.

پس از انجام آزمایش پتروگرافی بر اساس استاندارد ASTM (C295) وجود سنگدانه های (کانیهای کربناتی و سیلیکاتی) که می توانند با قلیایی سیمان (Na₂O , K₂O) (هیدرو اکسید سدیم و هیدرو اکسید پتاسیم) وارد واکنش شوند، مشخص می گردد. در صورتی که نتایج پتروگرافی دال بر وجود کانیهای سیلیسی باشد، لازم است با استفاده از آزمایش کوتاه مدت ASTM(C1260) بر روی نمونه منشور استوانه ای ملات، استعداد این کانیهای سیلیسی در واکنش زایی و یا به عبارت عامیانه، زیانباری یا عدم زیانباری را بررسی نمود. انواع مختلفی از کانیهای سیلیسی وجود دارد که درجه مشارکت آنها در فعالیت های قلیایی متفاوت است. جدول شماره 2 کانیهای سیلیسی را به ترتیب کاهش در واکنش زایی نمایش می دهد. ملاحظه می شود که سیلیس آمورف بیشترین مشارکت را در واکنش قلیایی دارد و نقش کوارتز خالص که به صورت کامل کریستالی شده باشد تقریباً ناچیز می باشد.

جدول 2- کانیهای سیلیسی به ترتیب کاهش در واکنش زایی (9)

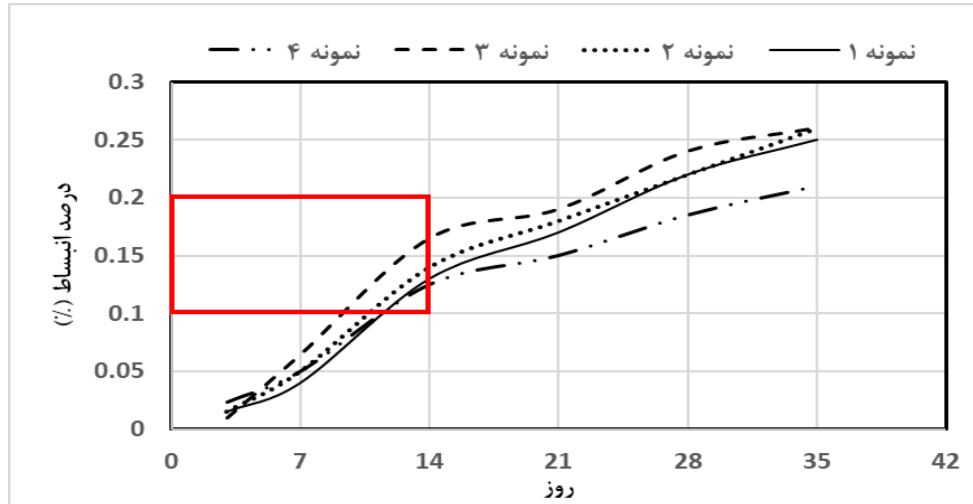
ردیف	عنوان
1	سیلیس آمورف (رسوبها یا شیشه های آتشفشانی که تبلور مجدد پیدا کرده و ممکن است هنوز فعال باشند)
2	اوپال
3	سیلیس بلوری ناپایدار (تریدیمیت و کریستوبالیت)
4	چرت
5	کالسدونی
6	دیگر اشکال سیلیس مخفی بلور
7	دانه های دگرگون شده و کوارتزهایی که دارای ساختمان منظم نیستند
8	کوارتزهای تنش دیده
9	کوارتزهایی که به طور کامل کریستالی نشده اند
10	کوارتز خالص که به صورت کامل کریستالی شده است

برای بررسی وضعیت سنگدانه های یک پروژه و بررسی و تعیین واکنش زایی آن 4 نمونه مختلف در بازه های زمانی متفاوت از معدن شناسایی شده برداشت شد. پس از تهیه استوانه منشوری ملاتی مطابق با استاندارد ASTM C1260 و انجام آزمایش انبساط، نمودار درصد

³ Alkali-Carbonate Reaction, ACR

⁴ Alkali-Silica Reaction, ASR

انبساط نمونه های مربوطه تا 35 روز قرائت و ترسیم گردید. بر اساس این نمودار درصد انبساط 14 روزه نمونه ها بین عدد 0.1 الی 0.2 قرار می گیرند. این آزمایش یک آزمایش کوتاه مدت است.



شکل 2- میزان انبساط نمونه های استوانه ای منشوری ملاتی مطابق با استاندارد ASTM C1260

بر اساس تفسیر استاندارد ASTM C1260 که در جدول شماره 3 ذکر شده است، به دلیل قرار گیری مقدار انبساط اندازه گیری شده در بازه 0.1 تا 0.2، نتیجه گیری می شود که برای نمونه های ذکر شده بایستی آزمایش های تکمیلی انجام گردد.

جدول 3- تفسیر استاندارد ASTM C 1260 در خصوص انبساط منشور استوانه ای 14 روزه (10) (11)

تفسیر نتایج	میزان انبساط منشور استوانه ای 14 روزه
آزمایش ها به دلیل غیر زیانبار بودن کانیها متوقف می شود	کمتر از 0.1%
نشان دهنده ی زیانبار بودن کانیهاست	بیشتر از 0.2%
بایستی از آزمایش های تکمیلی که در ادامه شرح داده می شود، استفاده نمود	بین 0.1% و 0.2%

مطابق دسته بندی ارائه شده در جدول شماره 4 بر اساس استاندارد ASTM C1778 مصالح مورد آزمایش در رده بندی R1 قرار می گیرند و بایستی آزمایش های تکمیلی دراز مدت انجام شود. به همین منظور انجام آزمایش دراز مدت مطابق استاندارد ASTM (C1293) در دستور کار قرار گرفت.

جدول 4- جدول دسته بندی میزان واکنش زایی مصالح دانه ای بر اساس استاندارد ASTM C 1778 (12)

Aggregate-Reactivity Class	Description of Aggregate Reactivity	1-Year Expansion in Test Method C1293, %	14-Day Expansion in Test Method C1260, %
R0	Non-reactive	<0.04	<0.10
R1	Moderately reactive	≥0.04, <0.12	≥0.10, <0.30
R2	Highly reactive	≥0.12, <0.24	≥0.30, <0.45
R3	Very highly reactive	≥0.24	≥0.45

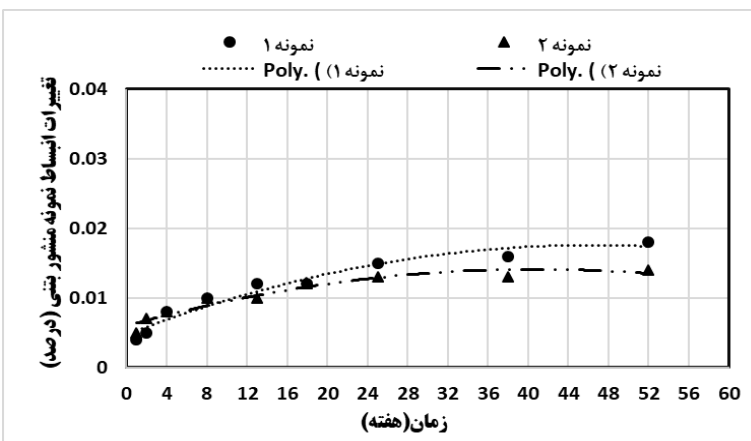
آزمایش ذکر شده در فوق همگی آزمایش بر روی سنگدانه و منشور ملات استوانه ای بود. در صورتی که این آزمایش های کوتاه مدت و میان مدت، نتایج غیر قطعی و شک آمیز را در بر داشت، ارجح است به عنوان آخرین مرحله جهت ارائه اظهار نظر قطعی، از آزمایش ASTM (C1293) و ترجیحاً از نوع اصلاح شده استفاده نمود. (13) لازم به ذکر است در استاندارد ذکر شده اصلاحی بایستی از منشور استوانه ای بتنی با مشخصات مشابه بتن تولیدی پروژه، استفاده گردد. اما با توجه به اینکه در زمان مطالعه مصالح سنگی ممکن است منابع تامین سیمان به قطعیت نرسیده باشد، نتایج آزمایش ASTM(C1293) با سیمان استاندارد نیز نتایج قابل قبولی را در بر خواهد داشت.

پس از تهیه منشور استوانه ای بتنی و انجام آزمایش مربوطه، میزان انبساط نمونه در طول 52 هفته (یکسال) اندازه گیری می شود می شود. برای اینکه میزان واکنش قلیایی سنگدانه مطابق استاندارد ASTM C1293 ناچیز باشد و مصالح برای استفاده در پروژه (در این مرحله) قابل قبول باشد، بایستی میزان انبساط منشور بتنی تولید شده از سنگدانه های مشکوک کمتر از 0.04% در طول سال باشد. این

سوال پیش می آید که آیا اگر نتایج قطعی استاندارد C1293 حاکی از استعداد متوسط و یا زیر متوسط سنگدانه ها در شرکت در واکنش های قلیایی باشد، نباید از این سنگدانه ها استفاده نمود؟ پاسخ این سوال منفی است و می توان از راهکارهای دیگری استفاده نمود که در بندهای بندی توضیح داده شده است.

پس از انجام آزمایش کوتاه مدت بر اساس استاندارد C1260 و قرار گرفتن 4 نمونه برداشت شده از معدن در در بازه 0.1 الی 0.2 ، آزمایش تکمیلی دراز مدت بر اساس استاندارد ASTM C1293 بر روی مصالح معدن مذکور انجام شد. شکل شماره 3 منحنی نتایج آزمایش واکنش قلیایی ASTM C1293 برای این مصالح را نمایش می دهد.

تغییرات انبساط نمونه منشور بتنی (%)		
زمان (هفته)	نمونه ۲	نمونه ۱
۱ هفته	۰.۰۰۵	۰.۰۰۴
۲ هفته	۰.۰۰۷	۰.۰۰۵
۴ هفته	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸
۸ هفته	۰.۰۱	۰.۰۱
۱۳ هفته	۰.۰۱	۰.۰۱۲
۱۸ هفته	۰.۰۱۲	۰.۰۱۲
۲۵ هفته	۰.۰۱۳	۰.۰۱۵
۳۸ هفته	۰.۰۱۳	۰.۰۱۶
۵۲ هفته	۰.۰۱۴	۰.۰۱۸



شکل 3- نمودار تغییرات انبساط نمونه منشوری بتن نسبت به زمان بر اساس استاندارد ASTM C1293

نمودار شکل شماره 3 انبساط نمونه منشوری بتن را در طول یک سال را برای دو نمونه آزمایش شده نمایش می دهد. بیشترین انبساط ثبت شده در پایان دوره برای این نمونه مصالح عدد 0.018٪ است که از میزان 0.04٪ تعیین شده در استاندارد کمتر است و می توان نتیجه گرفت که مصالح فوق فاقد استعداد واکنش زایی قلیایی است و بتن دچار ترک خوردگی نمی شود.

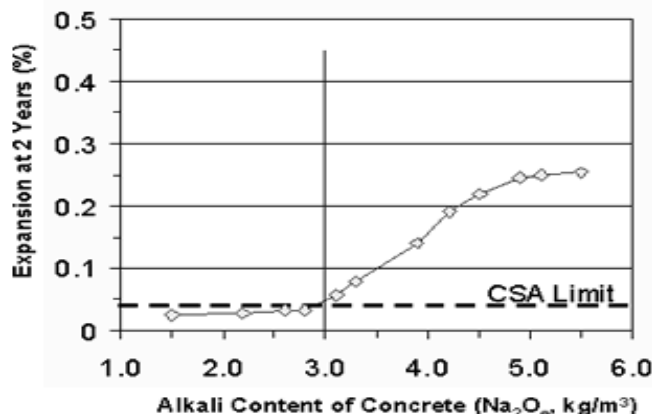
پس از بررسی مصالح برای شناسایی میزان پتانسیل واکنش زایی قلیایی سیلیسی ، نوبت به تعیین پتانسیل واکنش زایی قلیایی کربناتی است. این واکنش نخستین بار توسط Swenson در سال 1950 کشف شد. (14) تا کنون در کشورهای کانادا، آمریکا، عراق، بحرین، انگلستان و چین مشاهده شده است. (15) در سازه های متأثر از این واکنش، ترک خوردگی در عرض 5 سال از عمر سازه مشاهده می شود. (16)

در صورتی که نتایج پتروگرافی دال بر وجود کانیهای کربناتی باشد، لازم است با استفاده از آزمایش میان مدت بر روی نمونه منشور استوانه ای ملات ، استعداد این کانیهای کربناتی در واکنش زایی و یا به عبارت عامیانه، زیانباری یا عدم زیانباری را بررسی نمود. برای این منظور ابتدا بایستی نمونه ها بر اساس استاندارد ASTM (C586) آماده شوند. (17) پس از آن بر اساس استاندارد ASTM (C1105) انبساط نمونه ها در سنین 3 و 6 ماه قرائت و بررسی می شود. (18) چنانچه میانگین انبساط 6 نمونه در آزمایش واکنش زایی ASTM (C1105) در سنین 3 و 6 ماه به ترتیب بزرگتر یا مساوی 0.15٪ و 0.25٪ باشد، سنگدانه پتانسیل واکنش قلیایی کربناتی خواهد داشت در بعضی موارد در آزمایش بررسی واکنش زایی کربناتی ممکن است توسط برخی عوامل طرح مراجعه به نتایج سنین بالاتر توصیه شود. این مساله با توجه به تجربیات حاصله، به نظر جز اتلاف وقت نتیجه اثر گذاری نخواهد داشت.

4. مطالعه سیمان برای تعیین میزان شراکت⁵ در واکنش قلیایی (Alkali)

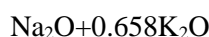
پس از مطالعه سنگدانه ها و تعیین میزان قلیایی آنها بایستی میزان قلیایی سیمان نیز مشخص گردد. یکی از راهکارهای امکان پذیر برای استفاده از سنگ دانه های با استعداد واکنش متوسط و کم و به موازات آن دستیابی به بتنی با دوام، محدود نکه داشتن قلیایی کل بتن می باشد. آیین نامه های مختلف پیشنهاد هایی در این زمینه ارائه داده اند. به صورتی که بازه عددی 2.5 تا 3.5 کیلوگرم بر متر مکعب را به عنوان درجه قلیایی کل مناسب بتن ارائه نموده اند (19). تجارب عملی در سازه های هیدرولیکی ، سعی در محدود نمودن درجه قلیایی کل بتن به حدود عدد 3 را دارد. شکل شماره 4 نمودار میزان قلیایی کل بتن نسبت به درصد انبساط 2 ساله نمونه منشوری را نمایش می دهد که بر اساس محدوده مشخص شده این عدد به 3 محدود شده است.

⁵ Participated role



شکل 4- نمودار میزان قلیایی مجاز کل بتن نسبت به انبساط 2 ساله (6) (after Thomas, 2002)

در صورت اصرار و الزام استفاده از مصالح مستعد واکنش متوسط یا زیر متوسط، که بتوان به مخلوط بتن مناسب دست یافت، بهترین راهکار کاهش عیار سیمان مصرفی بتن و یا استفاده از سیمان کم قلیا⁶ می باشد. پارامتر قلیایی سیمان به صورت فرمول شماره 1 تعریف می شود.



(1)

عمده سیمانهای تولیدی کارخانه های ایران دارای درجه قلیایی 1 به بالا می باشد اما کارخانه های محدودی، تولیداتی به عنوان سیمان ویژه کم قلیا دارند که درجه قلیایی این سیمانها بین 0.5 تا 0.6 می باشد. با توجه به این مساله می توان به عنوان راه حلی مناسب از این سیمان بهره برد. جدول شماره 6 نتایج آزمایش قلیایی سیمان ویژه کم قلیا یکی از کارخانه های ایران را نمایش می دهد.

جدول 6- نتایج آزمایش پارمتر قلیایی سیمان کم قلیا (20)

نمونه	تیپ سیمان	نوع آزمایش	مقدار برای نمونه (درصد)
نمونه 1	تیپ 2	کل قلیایی برحسب Na ₂ O	0.48
نمونه 2	تیپ 2	کل قلیایی برحسب Na ₂ O	0.49

برای شفاف شدن بیشتر موضوع مثالی ارائه می گردد. چنانچه بتنی با رده C30 با عیار سیمان حدود 350 کیلوگرم بر متر مکعب استفاده گردد و سیمان استفاده شده نیز دارای درجه قلیایی 0.6% باشد، آنگاه سهم سیمان در درجه قلیایی کل بتن عبارت خواهد بود از $2.1 = 350 * (0.6/100)$ کیلوگرم بر متر مکعب. مطابق پیشنهاد آیین نامه عدد قابل قبول را بین 2.5 تا 3.5 می باشد، بنابراین عدد به دست آمده در محدوده قابل قبول قرار می گیرد. تفسیر این عدد به اینگونه است که میزان درجه قلیایی کل بتن مورد آزمایش که عمده آن ناشی از سیمان می باشد، به اندازه ای نیست که بتواند با سنگدانه ها وارد واکنش شده و اثرات مخرب داشته باشد.

5. مطالعه افزودنیها برای تعیین میزان شراکت در واکنش قلیایی (Alkali)

یکی از راهکارهای عرف و رایج مواجهه با مصالح واکنش زا و به موازات آن تولید بتن های با دوام، استفاده از افزودنیهای سیمان از قبیل پوزولان، خاکستر بادی⁷ و سایر سرباره ها می باشد.

استفاده از مواد پوزولانی که به صورت ریز آسیاب باشند می تواند نقش موثری در کاهش خرابی بتن ناشی از ASR داشته باشد. پوزولانها بلافاصله بعد از حمله سنگدانه های فعال به قلیایی سیمان وارد واکنش شده و فعل و انفعالات انجام می شود. بنابراین می توان با استفاده از سیمان پوزولانی این تغییر را تا حد زیادی کاهش داد. (21)

از دیگر راهکارهای کاهش خرابی بتن در اثر واکنش ذکر شده، استفاده از مواد افزودنی حباب زا است. این افزودنی با ایجاد منافذ در بتن از خرابی های شدید و انبساط مخرب در ملات و بتن جلوگیری و یا روند آن را کاهش می دهد. این روش در ACR ها موثر نمی باشد. (21)

⁶ Low Alkali

⁷ Fly Ash

6. مطالعه آب بتن برای تولید بتن دوام محور

آب مصرفی در بتن با توجه به الزامات آیین نامه ای معمولاً دارای PH نزدیک به خنثی بوده و در نتیجه نقشی در قلیایی بتن ندارد اما مقدار آب استفاده شده در بتن یا به عبارتی نسبت آب به سیمان (W/C) می تواند نقش موثری در دوام بتن داشته باشد. محدود نمودن این پارامتر باعث محدود نمودن آب آزاد موجود در بتن می گردد. تجارب عملی بتنی با حدود W/C کنترل از 0.38 را برای بتن های دوام محور پیشنهاد می نماید. رسیدن به این عدد به دلیل کاهش شدید در کارایی بتن جز با استفاده از افزودنیهای فوق روان کننده میسر نمی باشد.

7. نتیجه گیری

- 1- تضمین عملکرد صحیح بتن در طول عمر مفید سازه یکی از اصلی ترین خواسته های هر طراح میباشد و در این مسیر مهمترین پارامتر جهت تضمین آن تولید بتنی دارای دوام مناسب است. اصلی ترین پارامتر در تولید بتنی با دوام ایده آل، انتخاب سنگدانه های فاقد استعداد شرکت در واکنش شیمیایی با قلیایی سیمان است. لذا هرچه بیشتر در ابتدای شروع هر پروژه زمان و هزینه صرف مطالعات در این زمینه گردد نتایجی بهتر را در خواهد داشت.
- 2- آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های گرفته شده از معدن مشخص، این موضوع را تبیین نمود که در صورتی که انبساط نمونه ها در آزمایش کوتاه مدت، در بازه حد وسط قرار گیرد، می توان با آزمایش دراز مدت، میزان انبساط نمونه و امکان استفاده از مصالح معدن را بررسی نمود و در صورتی که با این آزمایش نیز امکان تشخیص قطعی وجود نداشت، می توان میزان قلیایی کل بتن را با استفاده از سیمان با قلیایی پایین کنترل نمود.
- 3- مکانیزم واکنش قلیایی سیلیسی و کربناتی از جمله فرآیندهای مخرب طولانی مدت بتن می باشد که در بخش های داخلی بتن شروع می شود و به همین دلیل شناسایی آن زمانی امکان پذیر می شود که تخریب و انبساط بتن انجام پذیرفته است و لذا سازه به مرحله بهسازی و ترمیم می رسد. فرآیند ترمیم سازه های بتنی به خصوص سازه های هیدرولیکی در چنین شرایطی فرایندی پیچیده، زمانبر و با تحمیل هزینه اقتصادی زیاد به پروژه امکان پذیر می گردد.
- 4- مطالعه اولیه و انجام آزمایش های لازم ذکر شده بر روی سنگدانه ها برای شناسایی امکان واکنش زایی قلیایی بتن، می تواند در جلوگیری از تخریب سازه و صرف زمان و هزینه بسیار موثر باشد.
- 5- با توجه به محدودیت های موجود برای انتخاب معادن سنگدانه های مصرفی، لذا بایستی قبل از انتخاب گزینه رد کردن معدن، حتی الامکان روشهای پیشگیرانه و تمهیدات لازم برای جلوگیری از شروع واکنش قلیایی را بررسی نمود.
- 6- اصلاح سیمان مصرفی و استفاده از سیمان کم قلیا یکی از موثرترین روش های جلوگیری از بروز واکنش مخرب قلیایی بتن است که بایستی از آن بهره برد.
- 7- در صورت واکنش زا بودن مصالح سنگی با توجه به محدودیت های احتمالی برای استفاده از معدن، می توان با استفاده از گزینه ای دیگری همچون استفاده از سیمان پوزولانی، سیمان کم قلیا و یا استفاده از مواد حباب زا، مقدار قلیایی ماتریس بتن را در حد مورد قبول آیین نامه نگه داشت.
- 8- یکی از راهکارهای دیگر بالا بردن دوام بتن محدود نمودن پارامتر W/C بتن است که باعث محدود شدن آب آزاد موجود در بتن می گردد.
- 9- در برخی موارد که نتایج حاصل از آزمایش کوتاه مدت نشان دهنده احتمال ایجاد واکنش قلیایی را نشان می دهد، بایستی از آزمایش بلند مدت برای دریافت نتیجه نهایی استفاده نمود.
- 10- در سازه های هیدرولیکی، وجود ترک و به وجود آمدن آن از عوامل مضر برای سازه است و بایستی حتی الامکان از آن اجتناب شود.
- 11- در سازه های هیدرولیکی به دلیل مجاورت بتن با سیال هایی که عمدتاً حاوی مواد خورنده از جمله کلر و اسیدهای آلی و غیر آلی میباشد، احتمال خوردگی بخش های مختلف سازه به دلیل نفوذ این مواد چندین برابر می شود، لذا جلوگیری از ایجاد ترک در این نوع سازه از اهمیت بیشتری برخوردار است.

8. مراجع

- [1] حاجی قاسمعلی، س.، مشعوف، م. (1393). "بررسی واکنش قلیایی سنگدانه ها در بتن با استفاده از روش عناصر محدود". سالنامه تخصصی سیمان و بتن.
- [2] Meral, C. (2012). "The Study of Disorder in Amorphous Silica, Alkali-Silica Reaction Gel and Fly Ash". Doctor of Philosophy University of California, Berkeley.
- [3] Ichikawa, T. (2009). "Alkali-silica reaction, pessimum effects and pozzolanic effect". Cement & Concrete.
- [4] حاجی قاسمعلی، س.، (1386) "بررسی اثر واکنش قلیایی سیلیسی سنگدانه ها بر روی رفتار خمشی تیرهای بتن مسلح تحت بار دراز مدت". رساله دکتری دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- [5] Johnson Robert, C. (2011) "Accelerated test methods for evaluating alkali-silica reactivity of recycled concrete aggregates". Theses and dissertations. Ryerson University.
- [6] Federal Highway Administration Research and Technology. (2016). "Alkali-Silica Reaction". www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/03047/02.cfm.
- [7] صالحی، ا.، قوچی اصل، م. (1390). "اهمیت انجام آزمایش پتروگرافی بر روی مصالح سنگی و تعیین پتانسیل واکنش زایی آنها قبل از تهیه طرح اختلاط بتن". اولین همایش ملی زمین شناسی ایران.
- [8] ASTM C295. (2012) "Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete". International, American Society for Testing and Materials.
- [9] Hollis, N. Walker, H.N. (1991) "Petrographic Method of Examining Hardend Concrete: A Petrographic Manual". Dept. of Transportation's Federal Highway Administration Research.
- [10] استاندارد ملی ایران. (1394). "سنگدانه های بتن - ویژگی".
- [11] ASTM C1260. (2012). "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)". American Society for Testing and Materials.
- [12] ASTM C1293. (2015). "Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction". American Society for Testing and Materials.
- [13] ASTM C1778. (2016). "Reducing the Risk of Deleterious Alkali-Aggregate Reaction in Concrete". American Society for Testing and Materials.
- [14] Wikipedia. (2017). "Alkali-carbonate reaction"
- [15] پارسا، س. (1389). "تجزیه و تحلیل اثرات واکنش قلیایی-کربناتی بر سدهای بتنی ایران". پایان نامه.
- [16] کلینیک فنی و تخصصی بتن. (1395). "واکنش قلیایی سنگدانه ها AAR". <http://clinicbeton.com/>
- [17] ASTM C586. (2012). "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method)". American Society for Testing and Materials.
- [18] ASTM C 1105. (2016). "Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction". American Society for Testing and Materials.
- [19] Dunster, A.M. Kawano, H. Nixon, P.J., (2006). "The Effect of Silica Fume to Reduce Expansion Due to Alkali-Silica Reaction in Concrete". Durability of Building Materials and Components.
- [20] اسناد فنی پروژه. (1396).
- [21] یوسفی، م. (1390) "اثر مخرب سنگدانه های حاوی مواد واکنش دار قلیایی و ماده معدنی لمونات بر بتن دریایی و راهکارهای آن". ششمین کنگره ملی مهندسی عمران.