ارزیابی پتانسیل واکنش زایی قلیایی – سیلیسی سنگدانه های بتن قطعه ۲ راه آهن میانه – اردبیل

شهرام شیرازی یان[۱]، نوشین رضایی[۲]، اسماعیل توکلی[۳]

۱- مدیر گروه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح مهندسان مشاور ایران استن(دکتری زمین شناسی ساختمانی)

۲- کارشناس گروه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح مهندسان مشاور ایران استن (کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی آب)

۳- کارشناس گروه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح مهندسان مشاور ایران استن (کارشناس زمین شناسی)

Email: sh_shirazian@yahoo.com

چکیده

امروزه در جهان تحقیقات گسترده ای بر روی پتانسیل واکنش زایی قلیایی - سیلیسی مصالح (ASR (Alkali- Silica Reaction) با سرطان بتن، به منظور تامین دوام دراز مدت سازه های بتنی و حیاتی در حال انجام می باشد. رایجترین آسیبی که این خاصیت مصالح سنگی به بتن در برگیرنده آن وارد می کند، ایجاد ترک های سطحی است که به مرور زمان تبدیل به ترک های عمقی می شوند. وجود سیلیس فعال (به اشکال اپال، کلسدونی، تری دیمیت و...) و ترکیب آن با هیدروکسید های قلیایی سیمان باعث ایجاد یک ژل سیلیکاتی در اطراف سنگدانه می گردد که به مرور زمان و در اثر جذب رطوبت باعث انبساط و ایجاد ترک در بتن خواهد شد.

در این پژوهش اقدام به ارزیابی پتانسیل واکنش زایی قلیایی - سیلیسی سنگدانه های بتن قطعه ۲ راه آهن میانه – اردبیل و ارائه راهکارهای بهبود کیفیت مصالح اعم از اختلاط مصالح غیر واکنشزا با مصالح واکنشزا، افزودن دوده سیلیس و افزودن سیمان پوزولانی ویژه گردیده است. در این راستا از روش های استاندارد بین المللی آزمایشات واکنش زایی قلیایی - سیلیسی همانند آزمایش شیمیایی (ASTM C۲۸۹)، منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) و منشور ملات تسریع شده در سیمانهای آمیخته (ASTM C۱۵۶۷) استفاده گردیده است. با عنایت به پتانسیل بالای واکنش زایی قلیایی -سیلیسی مصالح و انجام ۲۲ مورد آزمایش ارزیابی این واکنش زایی با نسبت های مختلف اختلاط مصالح و افزودنی ها، مشخص گردید استفاده از سیمان پوزولانی ویژه به همراه ۵٪ دوده سیلیسی می تواند گزینه برتر جهت کنترل قابلیت واکنش زایی قلیایی – سیلیسی سنگدانه های منطقه باشد.

کلمات کلیدی: واکنش زایی قلیایی-سیلیسی، دوده سیلیسی، سیمان پوزولانی ویژه، ژل سیلیکاتی، هیدروکسیدهای قلیایی

Commented [a۱]: اصلاح

Commented [S۲R۱]: اصلاح شد https://en.wikipedia.org/wiki/Alkali%E۲٪ ۸۰٪ ۹۳silica_reaction

Commented [a۲]: دوده سیلیس

Commented [S۲R۲]: در کل متن اصلاح شد

Commented [a۵]: این آزمون بر اساس ASTM C۲۸۹-۰۷ دیگر مورد استفاده قرار نمی گیرد و Witdrawn شده است

Commented [S۶R۵]: در ادامه مقاله اشاره شده است

۱. مقدمه

واکنش قلیایی-سیلیسی سنگدانها سبب خسارات گوناگونی به سازه ها در بسیاری از کشورها شده است . زمان ظاهر شدن اولین آسیب ها ازچند ماه تا چندین دهه پس از ساخت متغیر است . ترکها معمولا در طول زمان در جهت عرضی بزرگ شده و تعمیرات کارگاهی اغلب بی نتیجه اند . اولین بار در سال ۱۹۴۱ سازه ای واقع در یک پارک در آمریکا مبتلا به واکنش قلیایی-سیلیسی شناخته شد. گزارشهای ارائه شده از بسیاری از همایشهای بین المللی برگزار شده در کشورهای مختلف طی سالیان گذشته نیز بیانگر خطر توزیع جهانی واکنش قلیایی-سیلیسی سنگدانه ها در سازه های بتنی بوده است .پدیده واکنش قلیایی – سیلیسی براثر واکنش بین هیدروکسید قلیا در سیمان و مواد معدنی سیلیسی از نوع بی شکل(آمورف) موجود در سنگدانه ها رخ می دهد، که نتیجه آن تشکیل ژل سیلیکاتی قلیایی با قابلیت افزایش حجم می باشد[۱]. سیلیس فعال، بیشتر به صورت چرت های چسبیده به سنگدانه ها ظاهرمی شود که متداولترین شکل آن به صورت چرت های کلسدونی، سنگ آهک های دولومیتی، تری دیمیت، سنگ آهک سیلیسی ، ریولیت و توفهای ریولیتی، داسیت و توفهای داسیتی، آندزیت و توفهای آندزیت، فیلیت ها، زغال سنگ، ناخالصی های آلی، لای، رس چرت های اوپالینی، لیگنیت و برخی مواد معدنی است. هم ارز قلیایی در سیمان را به صورت مقدار واقعی Na_2O بعلاوه ۶۵۸ /۰ برابر مقدار موجود از K_2O کلینکر سیمان محاسبه می کنند. هیدروکسیدهای قلیایی موجود در سیمان که از مواد قلیایی موجود در سیمان نشأت می گیرد در زمان ساخت بتن با عناصر مضر سیلیس فعال ، واکنش شیمیایی داشته و نوعی ژل سیلیکاتی تولید می کند که در نتیجه، تغییراتی در مرزهای بین سنگدانه ها و سیمان به وجود می آید[۲و۳] .

با گذشت زمان ، این ژل در مجاورت رطوبت تمایل به تورم دارد و مقدار انبساط حاصل از ژل در بتن به حدود ۰/۱ درصد در سال می رسد. ژل متورم شده ، تنشهای فشاری داخلی تولید می کند که در نهایت موجب ترک خوردن بتن و از هم پاشیدن آن می شود. اندازه ذرات مواد سیلیس ، سرعت واکنش را تعیین می کند. ذرات بسیار ریز در مدت یک تا دو ماه انبساط ایجاد می کند اما ذرات درشت تر ، در سالهای اولیه پنهان بوده و پس از حدود ده سال اثر خود را نمایان می کند[۴]. مقدار انبساطی سیمان سیلیکاتی به پارامترهایی مانند درصد قلیایی های سیمان ، مقدار مواد مضر سیلیس فعال ، دمای محیط و مرطوب شدن بتن، آب غیرقابل تبخیر موجود در خمیر، نفوذپذیری ، جذب آب و عمر بتن بستگی دارد . با پیشرفت سرعت هیدراته شدن سیمان، قسمت قلیایی در فاز مایع متمرکز شده ، و کلیه کانیهای سیلیسی به صورت محلول در می آیند که معمولا این شرایط آب و هوایی و مصالح ، بر کشور ما بیشتر حکمفرما است. بنابراین پیش بینی مقدار اثر تخریبی ، به دلیل دخیل بودن پارامترهای متعدد بسیار مشکل و به بررسی سابقه عملکرد دانه های زیان آور، بیشتر متکی است . این ژل علاوه براثر تخریبی ، برای هیدراته شدن عادی سیمان نیز مزاحمت ایجاد می کند. بنابراین هیچ راه حل ساده ای برای تعیین نوع خاصی از سنگدانه ها که بر اثر ترکیب با قلیایی های سیمان موجب تولید ژل متورم می شود وجود ندارد . واکنش قلیایی – سیلیسی اغلب بعد از ۵ الی ۱۵ سال با توجه به شرایط محیطی ظاهر می شود[۵].

۲. تاریخچه مطالعات

ارجمند و رمضانیانپور (۱۳۸۴) در تحقیقی به بررسی "استعداد واکنش زایی برخی از سنگدانه های چند منطقه از جمله آذربایجان با استفاده از آزمایش هایی که در بالا ذکر شده" به بررسی این پدیده در برخی مناطق کشور پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که بر اساس آزمایش شیمیایی ASTM C۲۸۹ نمی توان به طور دقیق به مضر بودن سنگدانه ها از نظر واکنش قلیایی پی برد، بلکه نتایج این آزمایش همراه با نتایج آزمایش تسریع شده و دراز مدت قابل بررسی است. نتایج آزمایش ملات منشوری نشان می دهد، که سنگدانه ای که در آزمایش شیمیایی مضر تشخیص داده نشده، در این آزمایش مضر شناخته شده است. اگر نتایج آزمایش ملات منشوری تسریع شده میانگین درصد تغییر طول نمونه های مورد آزمایش را بین ۱۰/تا ۰/۲ درصد نشان دهد، آزمایش های مکمل از جمله آزمایش سنگ شناسی و برای اطمینان بیشتر، آزمایش دراز مدت مورد نیاز است . براساس نتایج آزمایش های واکنش زایی قلیایی انجام پذیرفته ملاحظه می شود که بیشتر سنگدانه های منطقه آذربایجان که در دامنه کوه های سهند وسبلان قرارگرفته ، مستعد واکنش قلیایی هستند . بنابراین درصورت اجرای پروژه های عمرانی در این منطقه کشور ، باید قبل از اجرای پروژه ، مصالح از نظر قابلیت واکنش قلیایی - سیلیسی بررسی شوند[۴].

بلوردی و حاجی آقابابایی (۱۳۸۸) در تحقیقی به بررسی "تاثیر دوده سیلیسی بر کاهش واکنش زایی قلیایی- سیلیسی سنگدانه های بتن در "سدهای شمیل و نیان" پرداختند. در این تحقیق به منظور تامین مصالح سنگدانه سازه های بتنی سدهای خاکی سنگریزه ای مذکور که در ۳۱ کیلومتری شمال شرقی بندرعباس و در شمال جاده بندرعباس به میناب احداث شده اند و فاصله دو ساختگاه سدهای مذکور از هم ۱۰ کیلومتر می باشد، مصالح معادن قرضه مختلفی بررسی گردیده است. از آنجایی که شناسایی مصالح و معادن قرضه مستعد واکنش زایی قلیایی-سیلیسی و جلوگیری از پدیده مذکور در بتن های سازه ای بسیار حائز اهمیت می باشد، بر روی سه معدن قرضه بستر رودخانه زندان، سهرابی واقع در شمال شرقی بندر عباس و مصالح حاصل از حفاری سرریز سد نیان

Commented [aV]: از نوع آمورف

Commented [SARV]: اصلاح شد

Commented [a۹]: در کنار رطوبت

Commented [S۱۰R۹]: اصلاح شد

Commented [a۱۱]: مرجع؟

Commented [S۱۲R۱۱]: اضافه گردید

Commented [a۱۳]: هیدراته شدن

Commented [S۱۴R۱۳]: اصلاح شد

Commented [a۱۵]: مرجع

Commented [S۱۶R۱۵]: اضافه گردید

Commented [a۱۷]: حاصل

Commented [S۱۸R۱۷]: اصلاح شد

Commented [a۱۹]: ؟

Commented [S۲۰R۱۹]: اصلاح شد

Commented [a۲۱]: واقع در؟

Commented [S۲۲R۲۱]: اصلاح شد

بررسی واکنش زایی قلیایی صورت گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که مطابق آزمایش های اولیه، معادن مذکور استعداد واکنش زایی قلیایی- سیلیسی داشتند. برهمین اساس با افزودن درصدهای مختلف دوده سیلیسی به مصالح معادن مذکور و انجام آزمایش کنترل واکنش زایی قلیایی به روش ملات منشوری تسریع شده واکنش زایی قلیایی مصالح و تاثیر دوده سیلیسی بر کاهش آن مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق نتایج بدست آمده از آزمایش های صورت گرفته، با افزودن درصدی دوده سیلیسی به مصالح هر معدن قرضه، میزان واکنش زایی قلیایی- سیلیسی مصالح کاهش یافته و کنترل گردیده است[۶].

زمانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان "بررسی اثرات مخرب واکنش قلیایی- سنگدانه ای در بتن در پروژه سد گتوند علیا"، به بررسی واکنش قلیایی- سیلیسی سنگدانه ها در این سد پرداختند. در این تحقیق، احتمال واکنش زایی سنگدانه های مصرفی در بتن پروژه سد گتوند علیا با استفاده از سنگدانه های مورد مصرف در بتن پروژه سد و انجام آزمایش های پتروگرافی و شیمیایی بر روی آن ها، احتمال واکنش پذیری این سنگدانه ها مورد بررسی قرار گرفت. با نمونه برداری از مصالح سنگی مصرفی جهت تهیه بتن مورد استفاده در پروژه سد و تهیه مقاطع میکروسکوپی، نوع و مقدارکانی های تشکیل دهنده آن ها تعیین گردید و سپس احتمال واکنش پذیری قلیایی- سنگدانه ای آن ها بر اساس آزمایش پتروگرافی تخمین و پیش بینی شد[۷].

Commented [a۲۲]: ؟

Commented [S۲۴R۲۳]: اصلاح شد

۳. بیان مسئله

با توجه به بازنگری طرح اختلاط های بتن در قطعه ۲ راه آهن میانه - اردبیل به دلیل اهمیت سازه های پیش رو از جمله پل های بزرگ و اهمیت دوام بتن مصرفی در پروژه، کارگروهی متشکل از کارشناسان مشاور و پیمانکار اقدام به انجام بازنگری در خصوص کیفیت مصالح مصرفی و طرح اختلاط جدید نمودند.در این پژوهش بررسی پتانسیل واکنش زایی قلیایی مصالح معادن قرضه رودخانه ای قزل اوزن در مجاورت قطعه ۲ راه آهن میانه- اردبیل با روشهای آزمون استاندارد روش شیمیایی (ASTM C۲۸۹) [۸]و روش منشور ملات تسریع شده (ASTM C۱۲۶۰) [۹]ارزیابی گردیده و راهکارهای حل مشکل این واکنش زایی با انجام آزمایش استاندارد منشور ملات تسریع شده با سیمان آمیخته (ASTM C۱۵۶۷) [۱۰] بر روی ترکیب مصالح سنگی، دوده سیلیسی و انواع سیمان های پوزولانی مورد بررسی قرار گرفته است.

۴. استانداردها و دستورالعمل ها

بر اساس زیربند ت بند ۴-۲-۲-۲ سنگدانه های درشت بتن مندرج در مشخصات فنی عمومی راه - نشریه ۱۰۱ -تجدید نظر دوم ، سه روش جهت ارزیابی این پتانسیل به شرح ذیل ارائه شده است:

۴-۱- **روش سنگ شناسی(پتروگرافی)** ASTM C۲۹۵

۴-۲- **روش شیمیایی** ASTM C۲۸۹

۴-۳- **روش منشور ملات تسریع شده** ASTM C۱۲۶۰

از میان سه روش مذکور به دلیل سهولت و ارزانی انجام آزمایش از روش شیمیایی به عنوان روش متداول در کشور استفاده می گردد که در این پروژه نیز پتانسیل واکنش زایی بر اساس روش شیمیایی (ASTM C۲۸۹) در گذشته انجام پذیرفته و نتایج به دست آمده حاکی از عدم دارا بودن پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی در سنگدانه های مصرفی پروژه بوده است(به نمودار ۱ الف و ب رجوع فرمائید).

Commented [a۲۵]: نیازی به ارائه نسخه لاتین نمی باشد

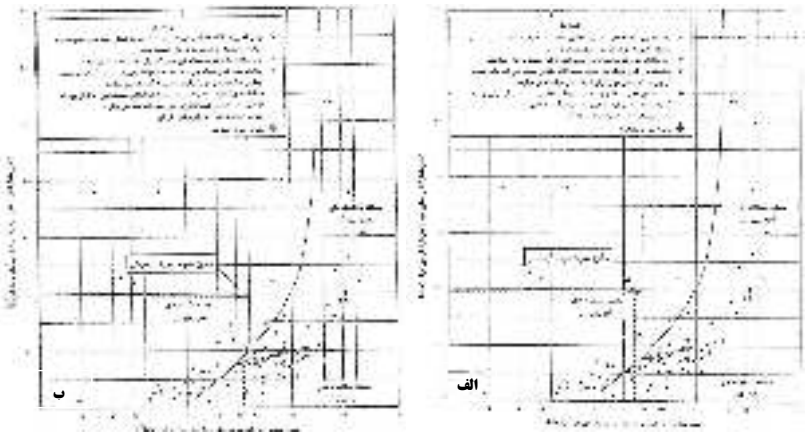
Commented [S۲۶R۲۵]: اصلاح شد

Commented [a۲۷]: بعید است!!!

Commented [S۲۸R۲۷]: به دلیل استناد نشریه ۱۰۱ ویرایش دوم در فصل چهارم بند ۴-۲-۲-۲ به استفاده از روش شیمیایی و عدم تجدید نظر نسخه جدید نشریه، استفاده از استاندارد ASTM C۲۸۹ در پروژه های راه سازی بسیار متداول می باشد و اکثر مشاورین از این آزمایش برای تایید منابع قرضه در ابتدای پروژه استفاده می نمایند.

Commented [a۲۹]: یکی از دلایل عدم انجام آن در دنیا به دلیل نتایج متناقضی است که می داده

Commented [S۳۰R۲۹]: صحیح است



نمودار ۱ – نمودار الف و ب نمونه ای از نتایج آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش شیمیایی(ASTM C۲۸۹) از مصالح منطقه

۵. بازنگری و ارزیابی های جدید مطالعات و استاندارد های بین المللی

بر اساس آخرین بروزرسانی انجام گرفته در سال ۲۰۱۶ از سوی سازمان استاندارد بین المللی ASTM، روش شیمیایی (ASTM C۲۸۹)، را بروزرسانی نکرده و آن را در زمره استانداردهای کنارگذاشته شده (Withdrawn) معرفی نموده است.

معتبرترین آزمایش جهت ارزیابی دقیق پتانسیل واکنش زایی قلیایی مصالح سیلیسی استفاده از روش آزمون ASTM C۱۲۹۳ می باشد که به دلیل زمانبر بودن این آزمایش(حداقل ۶ ماه)، در این مرحله از مطالعات انجام نپذیرفته است. به منظور دستیابی به نتایج واقعی پتانسیل واکنش زایی قلیایی - سیلیسی مصالح با انتخاب روش منشور ملات تسریع شده (ASTM C۱۲۶۰)که در حال حاضر رایجترین آزمون برای شناسایی این قابلیت در مصالح بتن می باشد، اقدام به ارزیابی سنگدانه های منطقه گردید. در پیوست استاندارد مذکور، حدود مشخصات واکنش زایی قلیایی مصالح به شرح جدول ۱ تعریف گردیده است.

جدول ۱- حدود مشخصات واکنش زایی قلیایی-سیلیسی مصالح به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰)

ردیف	درصد افزایش طول نسبت به طول اولیه(٪) در قرائت روز [1]۱۶ ام		
	حداقل	حداکثر	نتیجه
1	کمتر از ۰/۱۰	-	فاقد پتانسیل واکنش زایی قلیایی
2	۰/۱۰	۰/۲۰	می بایست سوابق واکنش زایی در منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد
3	-	بیش از ۰/۲۰	واکنش زا

[1] قرائت روز ۱۶ ام همان عدد قرائت شده روز ۱۴ در گزارشات می باشد. طبق استاندارد دو روز اول مربوط به آماده سازی نمونه است.

۶. روش انجام کار

در گام نخست برای ارزیابی کیفیت مصالح بتن نسبت به بررسی پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی مصالح بتن به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) توسط آزمایشگاه پیمانکار ، اقدام گردید. نتایج اولیه بدست آمده از روش فوق که درنمودار ۲ آورده شده است، حکایت از قابلیت بالای واکنش زایی قلیایی-سیلیسی مصالح رودخانه قزل اوزن دارد.

Commented [a۳۱]: ؟؟

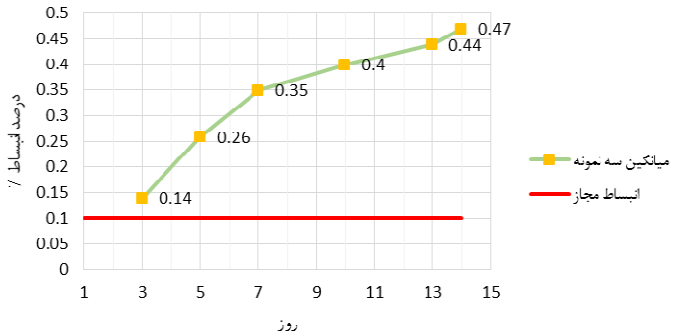
Commented [S۳۲R۳۱]: اصلاح شد

Commented [a۳۳]: بنابراین نیازی به ارائه نتایج فوق نمی باشد یا نیازی به توضیحات با جزئیات داده شده نمی باشد. می توان تنها به نتایج آن اشاره کرد

Commented [S۳۴R۳۳]: اصلاح شد

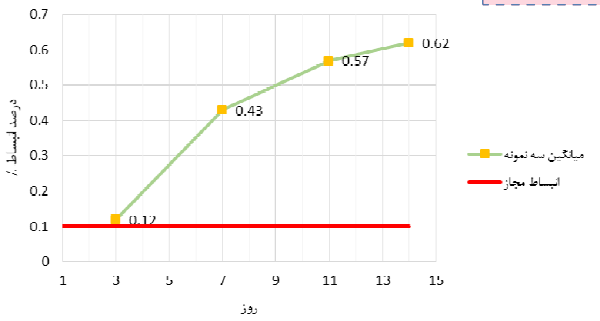
Commented [a۳۵]: روش انجام کار

Commented [S۳۶R۳۵]: اصلاح شد



نمودار ۲- آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) در آزمایشگاه پیمانکار

با عنایت به تفاوت شاخص نتایج بدست آمده از روش شیمیایی(ASTM C۲۸۹) که در گذشته انجام پذیرفته و نتایج بدست آمده از روش جایگزین منشور ملات تسریع شده (ASTM C۱۲۶۰) انجام شده توسط آزمایشگاه پیمانکار ، در گام بعدی اقدام به نمونه گیری مجدد و مشترک مشاور و پیمانکار و ارسال آن به آزمایشگاه امین کارفرما (آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک مرکز) گردید. نتایج بدست آمده از تکرار آزمایش که در نمودار ۳ آورده شده نیز تاییدی بر واکنش زایی قلیایی بالای مصالح منطقه دارد.



نمودار۳- تکرار آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

۷. بررسی و ارزیابی نتایج اولیه

به منظور ارزیابی دقیق مصالح رودخانه قزل اوزن و میزان پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی آن، از محل پایین دست رودخانه (در مجاورت قطعه ۲ الف) تا مصالح بالادست رودخانه (مجاور قطعه ۲ د) و همچنین از مصالح شکسته و شسته شده پشت بچینگ کارگاه قطعه ۲ الف با نسبت اختلاط بتن کارگاهی، نمونه مصالح مختلط تهیه و مورد آزمایش به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) واقع گردید که خلاصه نتایج آن در نمودارهای ۴ الی ۶(قطعه الف/ قطعه د/ مصالح پشت بچینگ) بیان شده است.

روش استاندارد ASTM C۱۲۶۰ : در این روش، سنگدانه ریز و یا درشتی که قرار است ارزیابی گردد، در صورت نیاز خرد و در اندازه های ۰,۱۵ میلی متر تا ۴,۷۵ میلیمتر دانه بندی شده و ه نسبت مشخصی طبق استاندارد باهم ترکیب می گردد. این سنگدانه را به نسبت ۲,۷۵ به ۱ با سیمانی که مطابق الزامات استاندارد[11] ASTM C۱۵۰ است و همچنین حداکثر انبساط آن در آزمایش اتوکلاو مطابق استاندارد[12] ASTM C ۱۵۱، معادل ۰,۲ درصد است ترکیب می کنند و با نسبت آب به سیمان ۰,۴۷۵، ملات نسبتا روانی تهیه می گردد. این ملات در منشورهایی به ابعاد ۲۵*۲۵*۲۸۵ میلیمتر که دوسر آن یک پین به منظور اندازه گیری دقیق طول منشور قرار داده شده است ریخته می شود. منشورهای ساخته شده بعد از یک روز از قالب خارج شده و در حمام آبی

[a۳۷] Commented: نمودار واضح تر ارائه گردد

[S۳۸R۳۷] Commented: کلیه نمودارها اصلاح شد

[a۳۹] Commented: نیازی به ارائه این جزئیات نیست

[S۴۰R۳۹] Commented: مطابق بنده ۲ شیوه نامه تهیه مقالات ، در مقالاتی که کار آزمایشگاهی دارد باید محل انجام آزمایش درج گردد

[a۴۱] Commented: اختلافات با قرائت قبلی زیاد است!!

[S۴۲R۴۱] Commented: دلیل آن برداشت از محل های مختلف رودخانه می باشد.

[a۴۳] Commented: در مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی در بخش مصالح مطالعات کاملی بر روی واکنش زایی مصالح این ناحیه از کشور انجام شده است

[S۴۴R۴۳] Commented: بله اتفاقا مقاله ای جنابعالی هم در خصوص واکنش زایی قلیایی سنگدانه های شهر تبریز هم مطالعه نموده ام.
تعیین پتانسیل واکنش زایی سنگدانه های اطراف شهر تبریز و راهکارهای کاهش اثرات منفی آن ها بر خواص بتن

مجله مهندسی ساختمان و علوم مسکن، دوره یازدهم، شماره۲۰

[a۴۵] Commented: استاندارد این اجازه را می دهد؟ توضیح کامل داده شود

[S۴۶R۴۵] Commented: مطابق بند ۸,۱,۱ استاندارد چنانچه شک داشته باشید که جنس مصالح درشت دانه با مصالح ریز دانه متفاوت می باشد و امکان دارد میزان پتانسیل واکنش زایی قلیایی را تغییر دهد میتوانید از مخلوط مصالح مورد نظر خرد نمایید و آزمایش انجام پذیرد. به همین منظور جهت تکمیل داده های آزمایشگاهیی ، آزمایش بر روی مخلوط مصالح نیز انجام پذیرفته است.

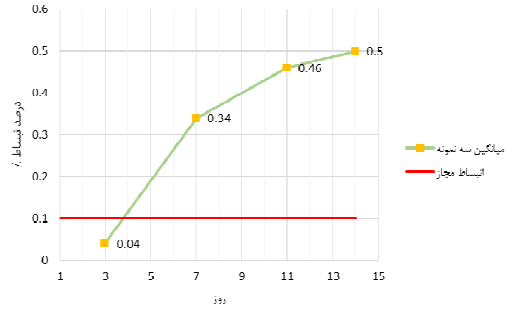
[a۴۷] Commented: روش انجام آزمون ۱۲۶۰ توضیح داده شود

[S۴۸R۴۷] Commented: روش آزمون اضافه گردید.

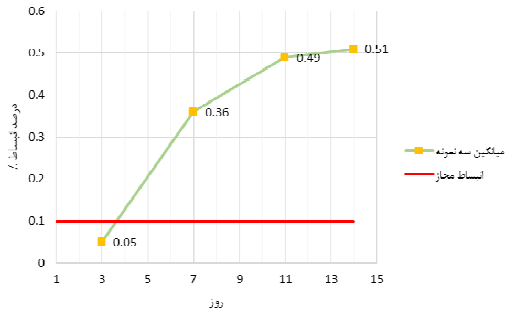
که دمای آن به طور تدریجی به ۸۰ درجه سانتیگراد رسانده می شود، قرار می گیرد.بعد از گذشت ۲۴ ساعت قرارگیری منشورها در حمام آب، طول آنها به عنوان طول اولیه قرائت می شود. منشورها در محلول سود(NAOH) یک نرمال قرار می گیرند. طول این منشورها در بازه های ۷،۳،۱۰،۱۴ و ۲۸ روز خوانده می شود و مقدار انبساط آن از رابطه (۱) اندازه گیری می گردد:

(۱) درصد انبساط منشور=[(طول اولیه(میلی متر)-طول ثانویه(میلی متر))/۲۵۰]*۱۰۰

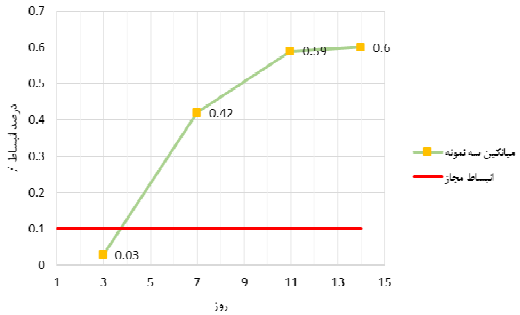
چنانچه درصد انبساط بعد از ۱۴ روز بیشتر از ۰,۲ درصد شود، سنگدانه ها پتانسیل واکنش زایی قلیایی- سیلیسی دارند و بهتر است روش های دیگر نیز برای اثبات این امر مورد استفاده قرار گیرد.



نمودار۴- آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) از مصالح قطعه ۲/ الف



نمودار۵- آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) از مصالح قطعه ۲/ د



نمودار۶- آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) از مصالح پشت بچینگ

نزدیکی نتایج بدست آمده بر روی هر دو مصالح پایین دست و بالادست، بیانگر واکنش زا بودن سنگ مادر مصالح آبرفتی نهشته شده در بستر رودخانه قزل اوزن می باشد که ناشی از ترکیب شیمیایی سنگ های آذرین و رسوبی سازندهای کرج و قرمز بالایی در منطقه می باشد، و هرگونه برداشت مصالحی در هر بخش این رودخانه از سر منشا تا انتها با پتانسیل بالای واکنش زایی قلیایی همراه خواهد بود، همچنین مصالح شسته و سرند شده نیز با درصدهای مختلف دانه بندی، قابلیت بالای واکنش زایی را دارا می باشند

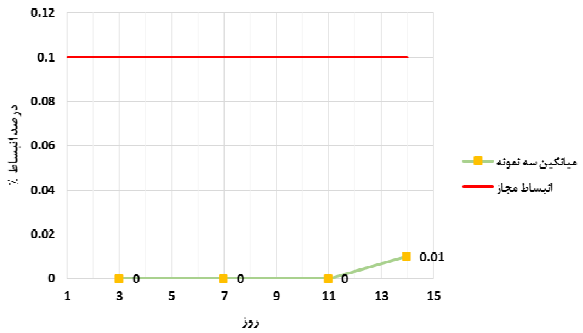
۸. راهکارهای موجود جهت کاهش انبساط مخرب

Commented [a۴۹]: راهکارهای موجود جهت کاهش انبساط مخرب

Commented [S۵۰R۴۹]: اصلاح شد

۸-۱- روش جایگزینی مصالح واکنش زا با مصالح آهکی

برپایه نتایج به دست آمده و اطمینان از واکنش زا بودن مصالح منطقه به توصیه آیین نامه بتن ایران، زیربند ۳-۴-۵ مواد زیان آور سنگدانه در تفسیر فصل سوم، مبنی بر جایگزین نمودن بخشی از مصالح واکنش زا با مصالح آهکی، در گام نخست نسبت به شناسایی سازند های آهکی منطقه بر روی نقشه های زمین شناسی و تصاویر ماهواره در شعاع ۵۰ کیلومتری پروژه اقدام گردید. در محدوده یاد شده، در منطقه تنها سازند آهکی رویت شده بر اساس پیمایش های صحرایی در ارتفاعات مشرف به روستای گوندوقدو در مجاورت رودخانه گرمی چای بود که به دلیل نوع آهک تشکیل یافته(آهک ریفتی)، سازند مذکور هم به لحاظ عدم کیفیت و جذب آب بالا(سازند متخلل) و هم حجم کم ذخیره معدنی، قابل بهره برداری نبود. در فواصل دورتر بر اساس اطلاعات میدانی گردآوری شده معدن آهکی در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری محل پروژه که منبع قرضه مصالح بتن پل آرپاچای از آن تامین می گردد، شناسایی گردید که طی بازدید به عمل آمده با توجه به فاصله حمل زیاد و صعب العبور بودن مسیر دسترسی و همچنین عدم میزان ذخیره معدن برای کل پروژه و مقرون به صرفه نبودن ،به عنوان گزینه برتر مورد نظر نمی باشد. به منظور تکمیل انجام مطالعات و ارزیابی سازند آهکی مربوطه، اقدام به نمونه برداری از معدن خلخال در فاصله حدود ۱۰۵ کیلومتری پروژه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی مصالح بتن به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) بر روی مصالح مذکور که در نمودار ۷ آورده شده است، مصالح آهکی معدن خلخال فاقد قابلیت واکنش زایی قلیایی شناخته شد.

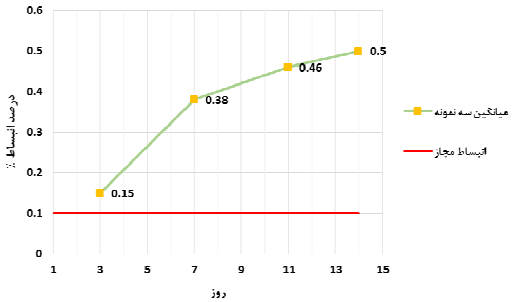


نمودار۷- آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) شن معدن خلخال(مصالح آهکی)

Commented [a۵۱]: آزمون واکنش زایی قلیایی-کربناتی انجام شده؟ بر اساس استوانه سنگی

Commented [S۵۲R۵۱]: خیر این معدن به دلیل فاصله دور(حدود ۱۱۰ کیلومتر) و صعب العبور بودن مسیر کلا به عنوان معدن جایگزین انتخاب نشد اما به درخواست کارفرما و تکمیل مطالعات نمونه سنگ ارائه شده مورد آزمایش قرارگرفته است.

همچنین به منظور کاهش هزینه های ناشی از تامین صد درصد مصالح از معدن اهکی خلخال، نسبت اختلاطی به میزان ۵۰٪ شن از معدن خلخال و ۵۰٪ ماسه از قطعه ۲/د نیز جهت آزمایش تهیه گردید که خلاصه آن در نمودار ۸ ارائه گردیده است .



نمودار۸- آزمایش واکنش زایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) شن معدن خلخال(مصالح آهکی) و ماسه قطعه ۲/د

۸-۲- روش استفاده از دوده سیلیسی

نظر به فعالیت پروژه و عدم امکان توقف عملیات تا بررسی نتایج و ارائه راهکار مناسب، براساس یافته های جدید اقدام به بررسی عملکرد دوده سیلیسی در کنترل میزان واکنش زایی مصالح قلیایی نمود.

نتایج به دست آمده در چندین نمونه ارسال شده به آزمایشگاه حکایت از انبساط بین حدود ۰/۴۷ تا ۰/۶۱ درصد مصالح سنگی موجود در منطقه دارد که مبین پتانسیل واکنش زایی بالا می باشد در این راستا مطابق پیشنهادات و یافته های جدید اقدام به ترکیب دوده سیلیسی با درصدهای متفاوت با سیمان و مصالح سنگی جهت دستیابی به بهترین ترکیب ممکن برای کنترل پتانسیل واکنش زایی گردید.

چنانچه افزودنی سومی علاوه بر سیمان و سنگدانه (مانند دوده سیلیسی، پوزولان، خاکستر بادی، سرباره کوره آهن گدازی) به ترکیب بتن اضافه گردد، انجمن استاندارد ASTM روش آزمون جایگزینی برای ارزیابی پتانسیل واکنش زایی قلیایی این مخلوط بتنی تحت عنوان استاندارد ASTM C۱۵۶۷ معرفی می نماید که استاندارد مذکور در سازمان ملی استاندارد ایران نیز تحت شماره ۱۷۱۰۶ با عنوان سنگدانه تعیین پتانسیل واکنش زایی- قلیایی -سیلیسی ترکیبات مواد سیمانی و سنگدانه(روش منشور ملات تسریع شده) منتشر شده است[۱۳].

بر پایه این استاندارد ، مصالح بتن و سیمان به همراه ۷،۵،۳ و ۱۰ درصد دوده سیلیسی مخلوط و مورد آزمایش قرار گرفت که خلاصه نتایج آن در جدول شماره ۲ ارائه گردیده است(به نمودارهای ۹ الی ۱۳ رجوع فرمائید).

جدول شماره ۲-خلاصه نتایج آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با درصد های مختلف دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷

ردیف	نام نمونه	درصد دوده سیلیسی	درصد انبساط در ۱۴ روز	روش آزمون
۱	نمونه شاهد	۰	۰،۴۷۱	ASTM C۱۲۶۰
۲	نمونه یک	۳	۰،۴۲۸	ASTM C۱۵۶۷
۳	نمونه دو	۵	۰،۲۰۷	ASTM C۱۵۶۷
۴	نمونه سه	۷	۰،۱۵۴	ASTM C۱۵۶۷
۵	نمونه چهار	۱۰	۰،۰۸۸	ASTM C۱۵۶۷

Commented [a5۲]: ادبیات نوشتاری بسیار ضعیف است

Commented [S5۲R5۳]: موضوع مشخص و شفاف نمی باشد. ادبیات نوشتاری تابع قلم نگارنده است و به صورت سلیقه ای قابل ارزیابی نمی باشد. همچنین ادبیات نوشتاری تغییری در ماهیت فنی پژوهش نخواهد داشت.

Commented [a5۵]: !!

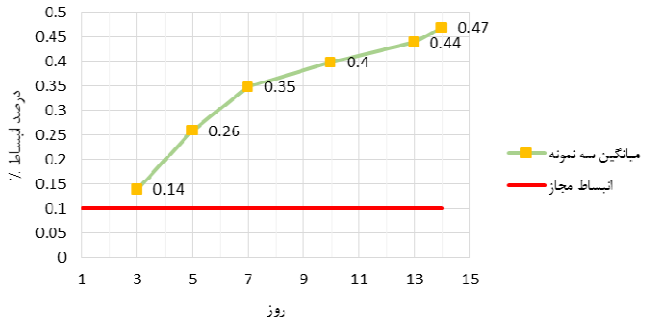
Commented [S5۶R5۵]: اصلاح شد

Commented [a5۷]: !!

Commented [S5۸R5۷]: اصلاح شد

Commented [a5۹]: !!

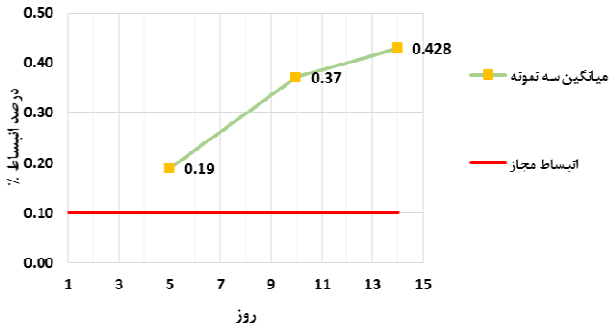
Commented [S۶۰R5۹]: اصلاح شد



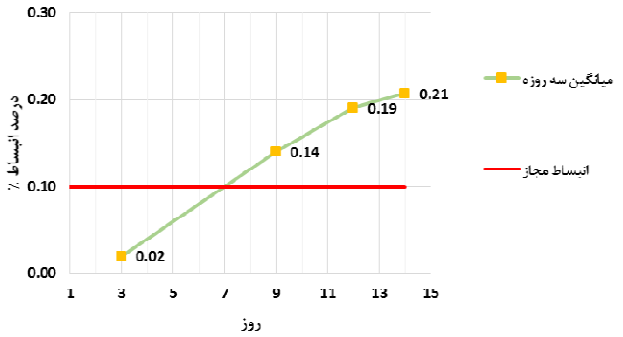
نمودار۹- آزمایش واکنش زایی قلیایی قلیایی-سیلیسی به روش منشور ملات (ASTM C۱۲۶۰) نمونه شاهد

Commented [a۶۱]: نمودارها شلوغ است

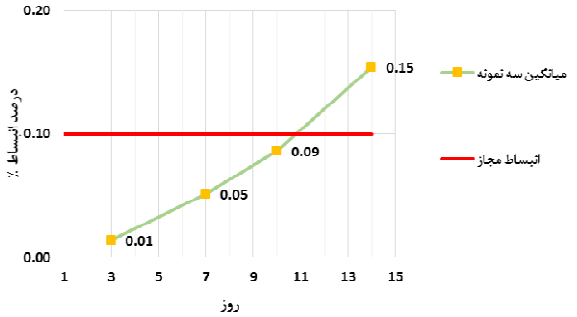
Commented [S۶۲R۶۱]: کلیه نمودارها خلاصه گردید.



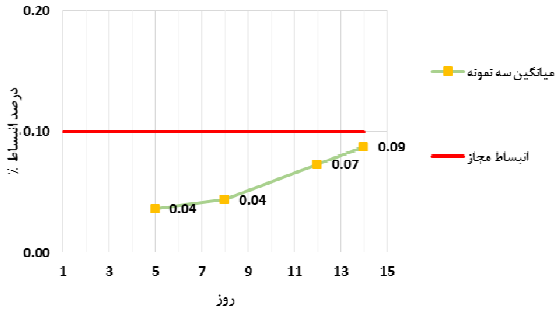
نمودار۱۰- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با ۳٪ دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷



نمودار۱۱- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با ۵٪ دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷



نمودار۱۲- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با ۷٪ دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷



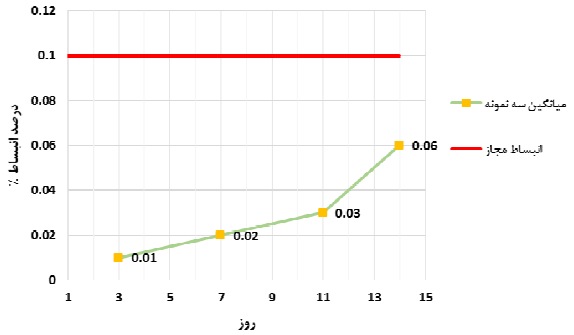
نمودار۱۳- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با ۱۰٪ دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷

مطابق با نتایج به دست آمده (نمودار ۱۳) با افزودن میزان ۱۰٪ دوده سیلیسی به مخلوط بتن، قابلیت واکنش زایی قلیایی مصالح مهار و در محدوده مجاز قرار می گیرد

به منظور کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از استفاده دوده سیلیسی، نمونه سیمان دوده سیلیسی دار (به میزان ۱۰٪) از کارخانه سیمان کردستان تهیه و جهت انجام آزمایش واکنش زایی به روش منشور ملات تسریع شده(ASTM C۱۵۶۷) به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آن در نمودار ۱۴ ارائه گردیده است.

Commented [a۶۲]: ادبیات مقاله نویسی رعایت گردد

Commented [S۶۲R۶۲]: اصلاح گردید



نمودار۱۴- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با سیمان کارخانه کردستان حاوی ۱۰٪ دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷

۸-۳- استفاده از سیمان پوزولانی

از آنجایی که بهاء افزودنی دوده سیلیسی بالا می باشد و افزودن ۱۰٪ از آن ، رئولوژی بتن را تحت تاثیر قرار می دهد و همچنین مطابق برخی مقالات اخیر ارائه شده در زمینه دوام بتن و واکنش زایی قلیایی مبنی بر عدم مقابله دایمی دوده سیلیسی با واکنش زایی قلیایی و صرفا به تعویق انداختن شروع واکنش زایی در بتن، اقدام به بررسی راهکار جدیدی تحت عنوان استفاده از پوزولان در سیمان مصرفی گردیده است. در این راستا اقدام به جمع آوری سوابق فعالیت های مشابه در منطقه گردید.

اولین مورد مطالعاتی مشابه در فرودگاه تبریز مشاهده شد که در زمان احداث به دلیل مشکل واکنش زایی از سیمان پوزولانی ویژه کارخانه سیمان صوفیان با میزان ۲۵٪ استفاده گردیده است. در فرودگاه تبریز به دلیل میزان واکنش زایی کمتر (درحدود ۰/۴ ٪) با استفاده از سیمان پوزولانی ویژه با میزان ۲۵٪ مشکل واکنش زایی مرتفع گردیده است.

گزینه مشابه دیگر در سد شهریار در مجاورت پروژه می باشد که طی پی گیری های انجام شده ، در زمان احداث سد از سیمان پوزولانی ویژه آبیک با میزان ۲۵٪ استفاده گردیده است. در این پروژه علاوه بر استفاده از سیمان پوزولانی از دوده سیلیسی نیز استفاده گردیده است.

با پیگیری های بعمل آمده دو کارخانه سیمان صوفیان و سیمان خمسه زنجان ، تولید سیمان پوزولانی ویژه با عیار حدود ۱۷ الی ۲۱ درصد پوزولان دارند. از دوکارخانه سیمان صوفیان و سیمان خمسه زنجان اقدام به تهیه دو نوع سیمان پوزولانی معمولی با عیار تقریبی ۱۱ الی ۱۴ درصد پوزولان و سیمان پوزولانی ویژه با با عیار تقریبی ۱۷ الی ۲۱ درصد پوزولان طبیعی تهیه و جهت انجام آزمایشات بعدی به آزمایشگاه وزارت راه ارسال گردید.

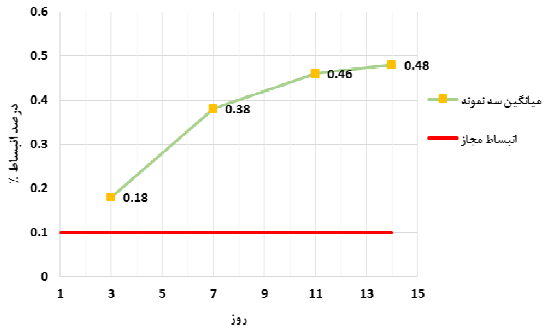
جهت ارزیابی سیمان های پوزولانی منطقه اقدام به انجام آزمایش واکنش زایی به روش منشور ملات تسریع شده(ASTM C1567) بر روی سیمانهای پوزولانی و پوزولانی ویژه کارخانه های سیمان صوفیان و خمسه زنجان که نتیجه آن در نمودارهای شماره ۱۵ الی ۱۷ ارائه گردیده است. همانگونه که در نتیجه آزمایشات در موعد ۱۴ روزه مشخص می باشد استفاده از سیمان پوزولانی و پوزولانی ویژه دوکارخانه به تنهایی با ترکیب سنگدانه های کارگاه(رودخانه قزل اوزن) به ترتیب درصد انبساطی برابر ۰،۴۸ ، ۰،۳۱ خواهد داشت که همچنان در محدوده واکنش زایی قلیایی می باشد.

Commented [a۶۵]: !!

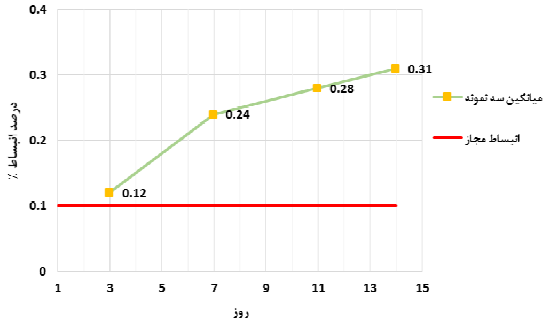
Commented [S۶۶R۶۵]: اصلاح شد

Commented [a۶۷]: نوع پوزولان؟

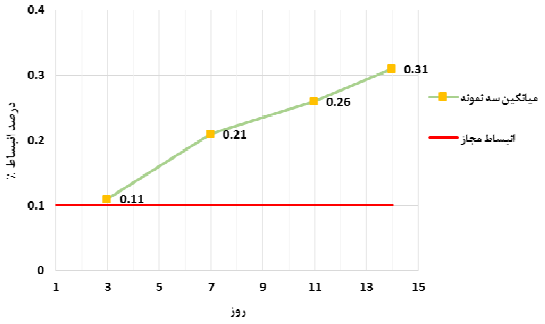
Commented [S۶۸R۶۷]: پزولان طبیعی



نمودار ۱۵- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با سیمان پوزولانی کارخانه صوفیان به روش ASTM C۱۵۶۷



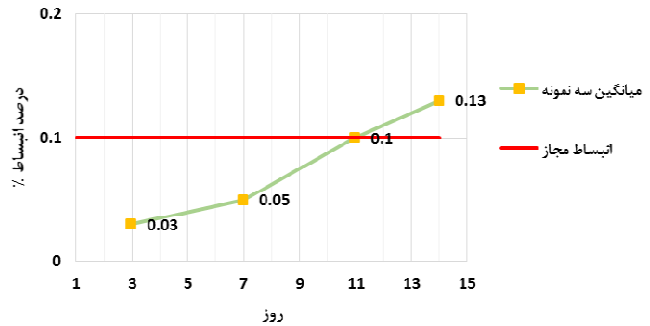
نمودار۱۶- آزمایش پتانسیل واکنش زایی نمونه ها با سیمان پوزولانی ویژه کارخانه صوفیان به روش ASTM C۱۵۶۷



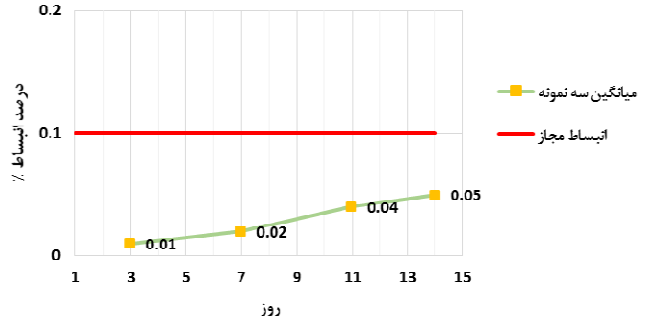
نمودار۱۷- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی نمونه ها با سیمان پوزولانی ویژه کارخانه خمسه زنجان به روش ASTM C۱۵۶۷

۸-۴- استفاده از سیمان پوزولانی ویژه به همراه دوده سیلیسی

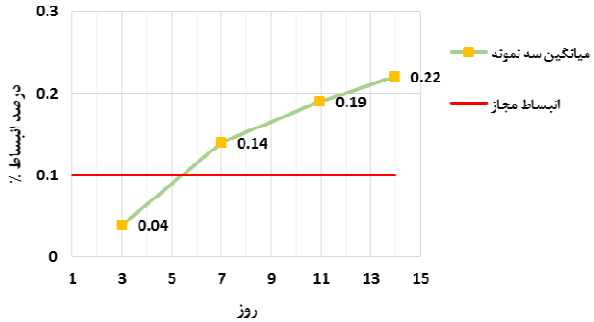
همانگونه که در بند ۸-۳ مشاهده گردید به دلیل واکنش زایی بالای مصالح منطقه، سیمان پوزولانی ویژه به تنهایی نمی تواند پاسخگوی رفع واکنش زایی قلیایی مصالح در بتن گردد، از سوی دیگر با افزایش عیار پوزولان در سیمان، بتن حاصله با کاهش مقاومت فشاری همراه خواهد بود، از این رو به منظور رفع قابلیت واکنش زایی قلیایی مصالح، جبران کاهش مقاومت فشاری ناشی از پوزولان و بهبود عملکرد بتن در مواجه با نفوذپذیری آب که خود عامل اصلی شروع فعالیت قلیایی- سیلیسی می باشد، به مخلوط سیمان پوزولانی ویژه و مصالح سنگی به نسبت های ۳ و ۵ درصد دوده سیلیسی اضافه گردید و مجددا مورد آزمایش قرار گرفت. خلاصه نتایج به دست آمده در نمودارهای ۱۸ الی ۲۱ ارائه گردیده است.



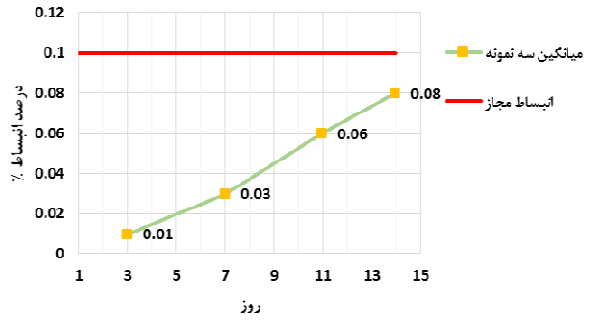
نمودار ۱۸- آزمایش پتانسیل واکنش زایی نمونه ها با سیمان پوزولانی ویژه صوفیان با ۳ درصد دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷



نمودار۱۹- آزمایش پتانسیل واکنش زایی نمونه ها با سیمان پوزولانی ویژه صوفیان با ۵ درصد دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷



نمودار۲۰- آزمایش پتانسیل واکنش زایی قلیایی-سیلیسی با سیمان پوزولانی ویژه خمسه زنجان با ۳٪ دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷



نمودار۲۱- آزمایش پتانسیل واکنش زایی با سیمان پوزولانی ویژه خمسه زنجان با ۵ درصد دوده سیلیسی به روش ASTM C۱۵۶۷

با توجه به نتایج به دست آمده از اختلاط ۳٪ دوده سیلیسی با سیمان پوزولانی ویژه کارخانه های صوفیان و خمسه زنجان به ترتیب درصد انبساط حاصل از واکنش زایی قلیایی –سیلیسی برابر ۰/۱۳ و ۰/۲۲ محاسبه گردید که در هر دو نتیجه امکان وقوع واکنش زایی قلیایی محتمل می باشد.

بر اساس طرح اختلاط ۵٪ دوده سیلیسی با سیمان پوزولانی ویژه کارخانه های صوفیان و خمسه زنجان به ترتیب درصد انبساط حاصل از واکنش زایی قلیایی –سیلیسی برابر ۰/۰۵ و ۰/۰۸ محاسبه گردید که در هر دو نتیجه امکان وقوع واکنش زایی قلیایی منتفی می باشد.

[a۶۹] Commented: مقاله با ارائه ریز تمامی نتایج خسته کننده است. اطلاعات باید خلاصه و تاثیر گذار باشد.

[SV۰R۶۹] Commented: با توجه به جامعیت طرح های انتخاب شده و تعداد بالای داده های آماری، در ارائه نتایج از حداقل توضیحات استفاده شده و عمدتا به صورت نمودار ارائه گردیده است. خلاصه تمامی نتایج در یک جدول در بخش نتیجه گیری ارائه شده است.

۸. نتیجه گیری

با عنایت به انجام روش های گوناگون ارزیابی مصالح و اختلاط مصالح سنگی، سیمان و دوده سیلیسی نتایج در جدول شماره ۳ خلاصه گردیده است.

جدول شماره ۳-خلاصه نتایج ارزیابی روش های گوناگون اختلاط مصالح سنگی، سیمان و دوده سیلیسی و میزان واکنش زایی قلیایی- سیلیسی

ردیف	شرح نمونه	روش آزمون	آزمایشگاه	درصد انبساط(٪)	نتیجه	توضیحات
۱	شن قطعه ۲ ب	ASTM C289	وزارت راه		غیر زیان آور	نتایج غیر قابل استناد
۲	ماسه قطعه ۲ ب	ASTM C289	وزارت راه		غیر زیان آور	
۳	ماسه قطعه ۳ الف	ASTM C1260	پیمانکار	۰.۴۷۱	واکنش زا	
۴	ماسه قطعه ۲ الف	ASTM C1260	وزارت راه	۰.۶۲	واکنش زا	
۵	مخلوط رودخانه ای قطعه ۲ الف	ASTM C1260	وزارت راه	۰.۵	واکنش زا	
۶	مخلوط رودخانه ای قطعه ۲ د	ASTM C1260	وزارت راه	۰.۵۱	واکنش زا	
۷	مخلوط بتن بچینگ	ASTM C1260	وزارت راه	۰.۶	واکنش زا	شن درشت ۴۹٪،شن ریز ۱۷٪،ماسه ۴۴٪
۸	شن معدن خلخال(اهکی)	ASTM C1260	وزارت راه	۰.۰۱	غیر واکنش زا	
۹	شن معدن خلخال(اهکی)- ماسه قطعه ۲ د	ASTM C1260	وزارت راه	۰.۵	واکنش زا	۵۰٪شن معدن خلخال- ۵۰٪ ماسه قطعه ۲ د
۱۰	ماسه قطعه ۲ د (نمونه شاهد)	ASTM C1260	پیمانکار	۰.۴۷۱	واکنش زا	
۱۱	ماسه قطعه ۲ د + ۳٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	پیمانکار	۰.۴۲۸	واکنش زا	
۱۲	ماسه قطعه ۲ د + ۵٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	پیمانکار	۰.۲۰۷	واکنش زا	
۱۳	ماسه قطعه ۲ د + ۷٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	پیمانکار	۰.۱۵۴	واکنش زا	
۱۴	ماسه قطعه ۲/ د با ۱۰٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	پیمانکار	۰.۰۸۸	غیر واکنش زا	شن قطعه ۲/د ۵۰٪+ ماسه قطعه ۲/د ۵۰٪
۱۵	شن و ماسه قطعه ۲/ د + سیمان ۱۰٪ میکروسیلیس دار کردستان	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۰۶	غیر واکنش زا	شن قطعه ۲/د ۵۰٪ + ماسه قطعه ۲/د ۵۰٪
۱۶	سیمان پوزولانی صوفیان با شن و ماسه قطعه ۲ د	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۴۸	واکنش زا	شن قطعه ۲ د ۵۰٪+ماسه قطعه ۲ د ۵۰٪
۱۷	سیمان پوزولانی ویژه صوفیان با شن و ماسه قطعه ۲ د	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۲۱	واکنش زا	شن قطعه ۲ د ۵۰٪+ماسه قطعه ۲ د ۵۰٪
۱۸	سیمان پوزولانی ویژه خمسه زنجان با شن و ماسه قطعه ۲ د	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۲۱	واکنش زا	شن قطعه ۲ د ۵۰٪+ماسه قطعه ۲ د ۵۰٪
۱۹	سیمان پوزولانی ویژه صوفیان با شن و ماسه قطعه ۲ د + ۳٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۰۳	واکنش زا	شن قطعه ۲ د ۵۰٪+ماسه قطعه ۲ د ۵۰٪
۲۰	سیمان پوزولانی ویژه صوفیان با شن و ماسه قطعه ۲/د + ۵٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۰۵	غیر واکنش زا	شن قطعه ۲/د ۵۰٪+ ماسه قطعه ۲/د ۵۰٪
۲۱	سیمان پوزولانی ویژه خمسه زنجان با شن و ماسه قطعه ۲ د + ۳٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۲۲	واکنش زا	شن قطعه ۲ د ۵۰٪+ماسه قطعه ۲ د ۵۰٪
۲۲	سیمان پوزولانی ویژه خمسه زنجان با شن و ماسه قطعه ۲/د + ۵٪ میکروسیلیس	ASTM C1567	وزارت راه	۰.۰۸	غیر واکنش زا	شن قطعه ۲/د ۵۰٪+ ماسه قطعه ۲/د ۵۰٪

۹. پیشنهادات و گزینه های برتر؛

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول شماره ۳ پیشنهادات به شرح ذیل ارائه می گردد:

در صورت امکان تامین سنگدانه های آهکی از معدن خلخال یا معدن مشابه، نسبت به جایگزینی مصالح آهکی با منابع شن و ماسه پیرامون پروژه اقدام گردد.

در صورت عدم امکان تامین مصالح آهکی از سیمان های پوزولانی ویژه به همراه ۵٪ دوده سیلیسی استفاده گردد. شایان ذکر است تصمیم گیری نهایی منوط به تهیه طرح اختلاط و ارزیابی مقاومت فشاری نمونه ها خواهد بود.

در صورت عدم تامین سیمان پوزولانی ویژه از ۱۰٪ دوده سیلیسی در بتن استفاده گردد.

نظر به کمبود منابع سنگی آهکی در فاصله نزدیک پروژه صعوبت حمل در مناطق کوهستانی ، **گزینه برتر استفاده از سیمان پوزولانی ویژه کارخانه صوفیان و یا خمسه زنجان به همراه ۵٪ دوده سیلیسی خواهد بود** .

۱۰. تقدیر و تشکر

در پایان جا دارد از مجری محترم راه آهن میانه – اردبیل جناب آقای مهندس بصیری به پاس حمایت ها و مساعدت های ایشان و همچنین همکاری و پی گیری های تیم مدیریت پروژه و دفتر فنی پیمانکار(شرکت توسار) جناب آقای مهندس معلمی تشکر و قدردانی گردد.

Commented [aV1]: از همان ابتدا می شد با ارائه جدول ذیل مطالب را بصورت خلاصه ارائه کرد. اگرچه ایرادات به اصل پروژه و زدن این همه طرح جهت جواب گرفتن همچنان به قوت خود باقیست. نویسندگان می توانستند با طرح های کمتر به جواب بهینه دست یابند.

Commented [SV2RV1]: در روند تهیه مقاله اشاره به روش کار و چگونگی دستیابی به طرح بهینه الزامی می باشد. لذا محل بیان جدول خلاصه دقیقا در قسمت نتیجه گیری خواهد بود.
انجام تعداد زیاد آزمایش در هیچ طرح مطالعاتی به عنوان ایراد تلقی نمی گردد بلکه آنچه محل ایراد است کمبود مطالعات می باشد. تهیه طرح های متفاوت جهت دستیابی به طرح بهینه نه تنها در مقرون به صرفه کردن پروژه تاثیر بسزایی دارد، بلکه بسیاری از طرح ها به دلیل مشکلات اجرایی و مسائل کارفرما در تامین مالی پروژه و یا محدودیت کارخانه های سیمان ، به صورت مرحله ای ابلاغ گردیده است که ماحصل آن انجام تعداد زیادی طرح و آزمایش بوده است.

۱۱. مراجع

[۱] Kawamura, M., Iwahori, K. (۲۰۰۴). "ASR gel composition and expansive pressure in mortars under restraint". Cement & Concrete Composites, ۲۶, pp. ۴۷-۵۶.

[۲] Diamond, S. (July ۱۹۷۵). "A review of alkali –silica reaction and expansion mechanisms. Alkalis in cement solution". Cement and Concrete Research, mad inconcerte pore۵, No. ۴, pp. ۴۵-۳29.

[۳] Brotschi, J., Mehta , P.K. (March ۱۹۷۸). "Test methods for determining alkali–silica reactivity in cements". Cement and Concrete Research, ۸, No. ۲, pp. ۹-۱۹۹.

[۴] ارجمند، م.، رمضانیانپور، ع. (۱۳۸۴) "ارزیابی سنگدانه های مستعد واکنش قلیایی در چند منطقه کشور ". نشریه فنی و مهندسی مدرس، شماره ۲۰ ، صص ۳و۴.

[۵] آموزیان، م،ساجدی، ف.(۱۳۹۵) "بررسی فرآیند پدیده واکنش قلیایی–سنگدانه ای در بتن"، دومین کنفرانس بین المللی نخبگان عمران،معماری و شهرسازی ، لندن، انگلستان، ۲۵ آبان

[۶] بلوردی، آ.، حاجی آقابابایی، م. (۱۳۸۸) " بررسی تاثیر دوده سیلیسی بر کاهش واکنش زایی قلیایی –سیلیسی سنگدانه های بتن سدهای شمیل و نیان "، .نخستین کنفرانس بین المللی تکنولوژی بتن، تبریز، ۷و۸ آبان.

[۷] زمانی، ح.، آلیانی، ف.، محجوب، م. (۱۳۹۰) "بررسی اثرات مخرب واکنش قلیایی –سنگدانه های بتن در پروژه سد گتوند علیا" ، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوای مخازن ذخیره آب شرب، گیلان،۴ تا ۶ خرداد.

[۸] ASTM C ۲۸۹. (۲۰۰۷). "Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (chemical Test Method)". Annual Book of ASTM Standard, ۰۴،۰۲, Concrete and Mineral Aggregates.

[۹] ASTM C ۱۲۶۰. (۲۰۰۷). "Standard Test Method for potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar – Bar Method)". Annual Book of ASTM Standard, ۰۴،۰۱, Concrete and Concrete Aggregates.

[۱۰] ASTM C۱۵۶۷. (۲۰۰۴). "Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)". Annual Book of ASTM Standard, ۰۴،۰۱, Concrete and Concrete Aggregates.

[۱۱] ASTM C۱۵۰. (۲۰۱۱). "Standard Specification for Portland Cement". Annual Book of ASTM Standard, 04,01, Concrete and Concrete Aggregates.

[۱۲] ASTM C۱۵۱. (۲۰۰۹). "Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement , ۰۴،۰۱, Concrete and Concrete Aggregates.

[۱۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۱۰۶،.(۱۳۹۲). " سنگدانه تعیین پتانسیل واکنش زایی- قلیایی –سیلیسی ترکیبات مواد سیمانی و سنگدانه (روش منشور ملات تسریع شده)"

Evaluation of the Alkali-Silica Reaction Potential of Concrete Aggregates Mianeh-Ardabil Railway (Part ۲)

SHAHRAM SHIRAZIAN[۱], NOUSHIN REZAEI[۲], ESMAEIL TAVAKKOLI[۳]

1-Geotechnical and strength of the material group manager in IRAN OSTON Consulting Engineers. (Ph.D. in Structural Geology)
2-Expert of Geotechnical department in IRAN OSTON Consulting Engineers. (M.S. of Civil Engineering-Water Engineering)
3-Expert of Geotechnical department in IRAN OSTON Consulting Engineers. (B.S. of Geology)

Author Email: sh_shirazian@yahoo.com

Abstract

In the world today, extensive research on the potential of Alkali-Silica Reaction (ASR) of material or Concrete Cancer is being carried out for long-term durability of concrete and vital structures. The most common damage that this property of stone material causes into concrete is the creation of superficial cracks, which over time becomes deeper cracks. The presence of active silica (Opal, Chalcedony, Tridymite) and its combination with cement alkali hydroxides creates a Silica Gel around the aggregate causing expansion and cracking in concrete over time and in moisture adsorption.

This research has been evaluated the potential of Alkali-Silica Reaction of Mianeh-Ardabil railways' aggregates and provides solutions to improve the quality of materials such as mixing non-reactive materials with reactive materials, adding silica fume and pozzolan cement. In this regard, the International Standard for testing Alkali-Silica Reaction have been used such as Chemical Test (ASTM C۲۸۹), Mortar-Bar Method (ASTM C ۱۲۶۰) and Accelerated Mortar-Bar Method (ASTM C ۱۵۶۷). According to the high potential of Alkali-Silica Reaction of materials and ۲۲ tests were conducted to evaluate this reactivity with different mixing ratios and additives, it has been determined that the use of pozzolan cement with ۵٪ silica fume can be superior option to improve the functionality of Alkali-Silica Reaction in the region.

Key words: Alkali-Silica Reaction, Silica Fume, Special Pozzolan Cement, Silica Gel, Alkali Hydroxides.