Archive of SID

نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶، شماره ۴، سال ۱۳۹۸، صفحه ۹۵ تا ۱۱۰

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

بررسی مقایسه‌ای سیمان پوزولانی اردبیل و سیمان تیپ ۲ صوفیان از دیدگاه مقاومت فشاری و ارائه راهکار بهبود

یوسف زندی *[۱] مهدی علایی [۲]

۱ استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز،ایران

۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز،ایران

چکیده

در این پژوهش به بررسی چگونگی و امکان‌سنجی جایگزینی سیمان تیپ ۲ پوزولانی اردبیل به جای سیمان تیپ ۲ صوفیان از دیدگاه مقاومت فشاری در پروژه‌های سدسازی پرداخته شده است. آزمایش بر روی نمونه‌های شاهد نشان می‌دهد که امکان استفاده از سیمان پوزولانی اردبیل به تنهایی در پروژه‌های بتن‌ریزی سازه‌ای امکان‌پذیر نمی‌باشد و برای نیل به این هدف نیازمند اندیشیدن تمهیداتی هستیم که در میان مشخصات مکانیکی مقاومت فشاری بتن های ساخته شده با سیمان تیپ ۲ پزولانی اردبیل شاهد افت شدیدی می باشد.از مهمترین اولویت های استفاده از مواد افزودنی در دسترس بودن مصالح در کنار بحث های اقتصادی است . بدین منظور در این پژوهش از چهار ماده افزودنی جایگزین سیمان استفاده شده است که عبارتند از: پودر سنگ، نرمه ماسه، میکروسیلیس و خاکستر بادی. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که خاکستر بادی در دراز مدت مقاومت فشاری بتن را افزایش داده و در روزهای نخست مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. میکروسیلیس برای ۸ و ۱۱٪ از ابتدا مقاومت را افزایش می‌دهد ولی برای درصد جایگزینی ۵ منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. نرمه ماسه نیز باعث کاهش جزئی مقاومت فشاری می‌گردد؛ و در نهایت جایگزینی پودر سنگ در دراز مدت منجر به افزایش مقاومت فشاری بتن می‌گردد.

کلمات کلیدی: سیمان پوزولانی اردبیل، سیمان تیپ ۲ صوفیان، خاکستر بادی، میکروسیلیس، پودر سنگ.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi: 10.22065/jsce.2018.117984.1454
۱۳۹۶/۱۱/۱۵	۱۳۹۶/۰۱/۲۵	۱۳۹۷/۰۲/۲۷	۱۳۹۷/۰۲/۲۷	۱۳۹۸/۱۰/۱	https://10.22065/jsce.2018.117984.1454

*نویسنده مسئول: یوسف زندی

پست الکترونیکی: zandi_engineer@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Comparison of Ardabil Pozzuoli Cement and Type 2 Sufyan Cement Compressive Strength Viewpoints and Improvement Solutions

yousef zandi [1*] mehdi Alayi [2]

1 Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2 Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

ABSTRACT

In this research, we investigate the possibility and possibility of replacing Ardabil type 2 Pozzuoli cement instead of Sufian type 2 cements from the standpoint of compressive strength in dam construction projects. Experiment on samples shows the possibility of just using Ardebil's pozzolan cement is not possible in concrete projects .In order to achieve this, we need to think about the measures. In order to achieve this, we need to think about the measures.Among the mechanical properties of the compressive strength of the concrete made with cement type 2 pesulani of Ardebil, there is a severe drop.The most important priorities for using additives are the availability of materials along with economic discussions. For this purpose, four cement substitute additives were used in this study: stone powder, sand, microsilica, and fly ash. The results of the experiments show that the fly ash in the long run increases the compressive strength of the concrete and in the first days reduces the compressive strength. Microsilica for 8% and 11% increases resistance initially, but for replacement percentage 5, it reduces the compressive strength of the concrete. The fine sand also causes a slight reduction in compressive strength; ultimately, the replacement of stones in the long run will increase the compressive strength of the concrete

ARTICLE INFO

Receive Date: 04 February 2018
Revise Date: 14 April 2018
Accept Date: 17 May 2018

Keywords:
Ardebil Pozzuoli cement,
Type 2 Sufyan cement,
Fly ash,
Microsilica,
Stone powder

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.117984.1454

*Corresponding author: yousef zandi
Email address: zandi_engineer@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

دستیابی به خواص ایده‌آل بتن و ارتقاء پارامترهای فیزیکی و مکانیکی آن، سبب شده است تا امروزه پوزولان‌ها جایگاه ثابتی در میان اجزا تشکیل دهنده بتن پیدا کنند. ضرورت استفاده بهینه از سیمان در بتن و افزایش دوام آن از اهمیت خاصی در خصوص کاهش آلودگی محیط زیست و مصرف بهینه انرژی برخوردار می‌باشد. چرا که در فرآیند تولید هر تن سیمان، حدودا یک تن گاز کربن‌دار وارد محیط زیست و بیش از ۱۲۵ لیتر سوخت فسیلی (مازوت و یا گاز طبیعی) در کنار ۱۱۰ کیلو وات ساعت برق مصرف می‌شود (موسوی، ۱۳۹۰). بنابراین با استفاده از پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی در سیمان، علاوه بر صرفه‌جویی عظیم اقتصادی، به داشتن محیط زیست سالم نیز کمک خواهیم نمود. از این رو ضرورت استفاده از سیمان‌های پوزولانی کاملا آشکار است.

کارخانه سیمان اردبیل نسبت به سایر کارخانه¬های سیمان کشور، مجموعه‌ای نو پا به شمار می‌رود و همین امر موجب شده است که مشاوران طرح‌های مهندسی آب در خصوص کیفیت سیمان پوزولانی اردبیل با احتیاط برخورد نموده و استفاده از سیمان تیپ ۲ صوفیان را توصیه نمایند. این امر همه ساله هزینه‌های خرید و حمل قابل توجهی به پروژه‌های آبی استان تحمیل می¬نماید.

از طرفی طی سال‌های اخیر کمتر کسی را می‌توان یافت که در استان اردبیل با سیمان و بتن سر و کار داشته باشد و از سیمان پوزولانی اردبیل از لحاظ پارامترهای مکانیکی و به ویژه مقاومت فشاری رضایت داشته باشد. به طوری که این موضوع در سال‌های اخیر در الویت‌های پژوهشی اداره آب منطقه‌ای استان اردبیل قرار گرفته و نارضایتی از این محصول بومی را در سطح کلان مطرح نموده است.

با توجه به مصرف انبوه سیمان در پروژه‌های آبی اعم از سدها و کانال‌ها، انتظار می‌رود که با استفاده از محصولات بومی استان علاوه بر توسعه پایدار، موجبات رعایت ملحوظات اقتصادی و زیست محیطی را نیز فراهم آوریم. با تهیه گزارش‌های میدانی از سایر پیمانکاران و شرکت‌های مشاور و آزمایشگاه بتن، بر این امر صحه گذاشته شد که بتن‌های حاصل از سیمان پوزولانی اردبیل به ندرت و تنها تحت شرایط آزمایشگاهی قابلیت استفاده در اجزای سازه‌ای به ویژه در بدنه سد را دارا است.

پرواضح است که تا کنون بر روی سیمان پوزولانی اردبیل و بهبود کیفیت آن، پژوهش جامع و درخور توجهی ارائه نگردیده است و از این رو به بررسی کارهای مشابه می‌پردازیم.

از آنجا که علاوه بر پوزولان، ویژگی‌های سایر اجزا تشکیل دهنده بتن نیز بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن اثرگذار است، از این رو مطالعه و بررسی تاثیر متقابل پوزولان‌ها و ویژگی‌های سایر جزا تشکیل دهنده بتن بر خواص آن ضروری است (یزدان دوست و یزدانی، ۱۳۹۳، پری و گیلوت ، ۱۹۹۵، نویل ، ۱۹۹۷).

در این راستا مطالعات بسیاری در زمینه تاثیر ویژگی‌های پوزولان‌ها بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن صورت گرفته است. سریونر و همکاران (۱۹۸۸) با مقایسه مقاومت فشاری بتن حاوی میکروسیلیس و خمیر سیمان حاوی میکروسیلیس دریافتند که استفاده از میکروسیلیس باعث بهبود مقاومت پیوستگی بین سنگدانه و خمیر سیمان می‌شود. میکروسیلیس علاوه بر افزایش مقاومت خمیر، از طریق بهبود کیفیت اتصال بین خمیر و سنگدانه باعث افزایش مقاومت بتن می‌شود.

برخی محققان دریافته‌اند که میکروسیلیس مقاومت بتن در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روز را بهبود می‌بخشد و اثر عمده این ماده در مقاومت فشاری بین ۳ تا ۲۸ روز اتفاق می‌افتد (مظلوم و رمضانیان‌پور، ۱۳۸۳، دتویلر و همکاران، ۱۹۹۸، جلسن و همکاران، ۱۹۹۹)

استفاده وسیع از پوزولان‌های مصنوعی به عنوان جایگزین سیمان در کاربردهای مختلف، به دلیل صرفه اقتصادی، کاهش حرارت‌زایی بتن، کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت شیمیایی است. هرچند ممکن است کاهش مقاومت در سنین اولیه را در پی داشته باشد (قریسی و همکاران، ۲۰۰۷).

نیلی و صالحی (۱۳۸۹) طی مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که جایگزینی خاکستر بادی و پوزولان طبیعی در کوتاه مدت باعث کاهش مقاومت اولیه می‌شود. این روند کاهش مقاومت، با افزایش مقدار جایگزینی بیشتر شده است.

در پژوهشی مشخص گردید که کرنش ناشی از خزش و جمع¬شدگی در نمونه‌های بتنی با درصد کمتر میکروسیلیس، بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج حاصل بیان‌گر آن است که استفاده از میکروسیلیس بر روی مقاومت فشاری، کششی و مدول ارتجاعی بتن خودمتراکم تاثیرگذار بوده و با افزایش مقدار آن خواص مکانیکی بتن بهبود می‌یابد (سنگی و همکاران، ۱۳۹۲).

www.SID.ir

Archive of SID

سلوامونی و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر انواع متفاوت افزودنی‌ها را به صورت انفرادی و توام بر روی کارایی بتن مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که اثر ترکیبی افزودنی‌ها نظیر خاکستر بادی و خاکستر پوسته برنج به حالت منفرد استفاده از هریک باعث بهبود کارایی بتن می‌گردد.

تورک و همکاران (۲۰۱۰) با افزایش ۵ درصد وزنی میکروسیلیس تا ۲۰ درصد در نمونه‌های ساخته شده از بتن خودمتراکم و بررسی مقاومت آن‌ها دریافتند که با افزایش درصد میکروسیلیس، پارامترهای مقاومتی و مدول ارتجاعی بتن مذکور به مقدار قابل توجی افزایش می‌یابد.

آتان و آوانگ (۲۰۱۱) اثر خاکستر پوسته برنج و دومون (۲۰۰۷) و فلک اغلو و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر نسبت آب به سیمان را بر روی مقاومت کوتاه مدت بتن خودمتراکم مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر این بعضی محققین رفتار بتن‌های سبک و مقاومت بالا را تحت تاثیر افزودنی‌های مختلف بررسی کردند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰، هوبرتوا و هلا ، ۲۰۰۷).

مطالعات انجام شده توسط کابررا و کلایس (۱۹۹۰) و هاکو (۱۹۹۶) نشان می‌دهد که استفاده از میکروسیلیس در بتن، سبب کاهش ترک‌های ناشی از جمع شدگی و کاهش نفوذپذیری بتن می¬شود.

در راستای بررسی تاثیر میکروسیلیس بر پیوستگی بین بتن و آرماتور، مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده میکروسیلیس سبب افزایش پیوستگی بتن با آرماتور می‌شود (بورگ ، ۱۹۸۲، جورو و همکاران، ۱۹۹۰).

در نهایت هدف از این تحقیق بررسی چگونگی و امکان‌سنجی جایگزینی سیمان پوزولانی اردبیل به جای سیمان تیپ ۲ صوفیان از دیدگاه مقاومت فشاری در پروژه‌های سدسازی است.

۲- مواد و روش‌ها

تحقیق و بررسی پیرامون کاربرد بتن به عنوان مصالح ساختمانی و نحوه تهیه آن در شرایط آب و هوایی مختلف و همچنین چگونگی استفاده از این ماده در بخش‌های مختلف ساختمان و مصرف روزافزون آن از اهمیت بالایی برخوردار است. تکنولوژی مربوط به آزمایش‌های گوناگون برای پی بردن به مشخصات مختلف بتن در هنگام تهیه و پس از کاربری و زیر بار قرار گرفتن، همچنان در حال پیشرفت است.

از آنجا که کارهای آزمایشگاهی و بخصوص تحقیقاتی، بسیاری از آزمایش‌ها را در بر دارند، لذا آگاهی یافتن از تاثیر روش‌های آزمایش بر مشخص شدن کیفیت بتن، مفید خواهد بود. آزمایش‌ها را می‌توان برای مقاصد مختلفی انجام داد ولی هدف کلی و اساسی از این آزمایش‌ها، دست‌یابی به کنترل کیفیت و رعایت ویژگی‌های تعیین شده است.

مقاومت فشاری بتن به عنوان یکی از مهمترین خواص بتن در نظر گرفته می‌شود. مقاومت بتن معمولا شمای کلی از کیفیت بتن را بدست می‌دهد و علت این امر آن است که مقاومت، مستقیما به ساختمان خمیر سیمان بستگی دارد. به دلیل سهولت در انجام آزمایش مقاومت فشاری و با توجه به اینکه بسیاری از خواص مطلوب بتن نظیر مدول ارتجاعی، مقاومت در برابر سایش و سایر مشخصات بتن، مرتبط به مقاومت آن می‌باشد. لذا رایج‌ترین آزمایش برای بتن سخت شده بحساب می‌آید.

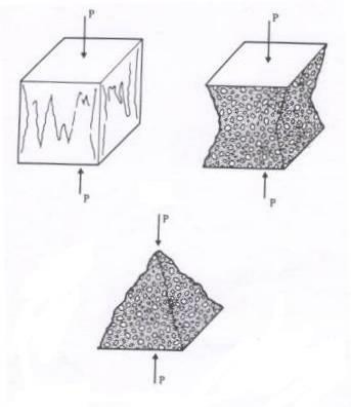
در این پژوهش به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری، نمونه‌ها در قالب‌های پلاستیکی ریخته می‌شوند. قالب‌ها به ابعاد ۱۵۰ میلیمتر می‌باشند. قالب‌ها باید با شکل و ابعاد تعیین شده و مسطح بودن با رواداری‌های کمی منطبق باشند. بهتر است قالب‌ها از نظر نشت و جلوگیری از نشست متعاقب کنترل گردند (رمضانیان‌پور و شاه‌نظری، ۱۳۶۹).

آزمایش فشار در واقع سیستم پیچیده‌ای از توزیع تنش را ایجاد می‌کند. زیرا در سطوح انتهایی نمونه بتنی و صفحات فولادی دستگاه آزمایش نیروهای جانبی به وجود می‌آید. این نیروها بر اثر تمایل بتن به انبساط جانبی (اثر پواسون) و مقید بودن آن توسط صفحات فولادی که دارای سختی به مراتب بیشتر و انبساط حجمی خیلی کمتری است به وجود می‌آید. تاثیر مقید شدن بتن توسط صفحات در حالت‌هایی از گسیختگی که در شکل ۱ نشان داده شده است. تاثیر برش اگر چه به طرف مرکز مکعب کاهش می‌یابد، اما همیشه وجود دارد. در شکل ۲ نیز نمونه‌های پس آزمایش و حالت گسیختگی استاندارد و رضایت‌بخش دیده می‌شود. مصالح مورد استفاده در این پروژه، شامل سیمان

www.SID.ir

Archive of SID

پرتلند تیپ ۲ صوفیان و سیمان پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان اردبیل، پودر سنگ، نرمه ماسه، میکروسیلیس، خاکستر بادی، شن، ماسه و آب می‌باشد کـه خصوصیات آنها به شرح زیر است.



شکل۱: شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های مکعبی آزمایش طبق BS881 (۱۹۸۶)

شکل ۲: حالت رضایت‌بخش گسیختگی نمونه‌های مورد آزمایش

سیمان

سیمان‌هایی که در کلیه آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، سیمان‌های پرتلند تیپ ۲ صوفیان و سیمان پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان اردبیل و از نوع کیسه‌ای می‌باشد. نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی سیمان‌های مورد استفاده در این پروژه در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

مصالح سنگی

مصالح سنگی اگر چه به عنوان مواد بی اثر در بتن در نظر گرفته می‌شوند ولی بین ۶۰ تا ۸۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می‌دهند. خصوصیات مصالح سنگی اثرات مهمی در تعیین نسبت اختلاط اجزا و قیمت تمام شده بتن دارد. مصالح سنگی مصرف شده در این پروژه به طور مشروح ذکر شده است.

شن

مصالح سنگی که در این پروژه به عنوان شن مورد استفاده قرار گرفته است، شامل شن‌های ریز و درشت کارخانه شن‌آویز نمین می‌باشد که بعد از دانه‌بندی و مورد قبول بودن آن در محل آزمایشگاه دپو گردیده و در تمامی آزمایش‌ها از آنها استفاده شده است. نمودار دانه‌بندی شن بادامی و نخودی به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

ماسه

www.SID.ir

Archive of SID

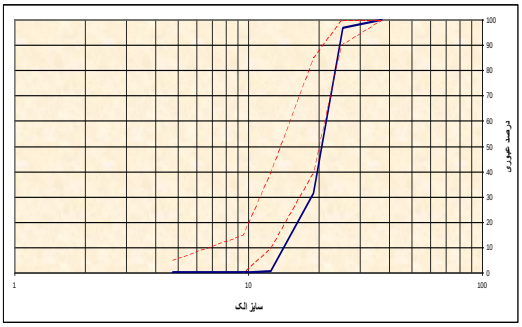
مصالحی که به عنوان ریزدانه (ماسه) مورد استفاده قرار گرفته است، ماسه کارخانه شن‌آویز نمین بوده که مشخصات دانه‌بندی آن قابل قبول می‌باشد. منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی سیمان پوزولانی اردبیل و سیمان تیپ ۲ صوفیان

نوع سیمان	سطح مخصوص (بلین) cm^2/gr	باقیمانده نامحلول در اسید	گیرش (دقیقه)		آب مصرفی برای غلظت نرمال
			ابتدایی	انتهایی	
پوزولانی اردبیل	۲۸۵۰	۱/۰۳	۱۷۸	۲۶۵	۲۲/۷
تیپ ۲ صوفیان	۳۰۴۹	۰/۷۱	۱۵۴	۱۸۱	۲۴/۸
حد استاندارد	حداقل ۲۸۰۰	حداکثر ۰/۷۵	حداقل ۴۵	حداکثر ۳۶۰	-

جدول ۲: مشخصات شیمیایی سیمان پوزولانی اردبیل و سیمان تیپ ۲ صوفیان

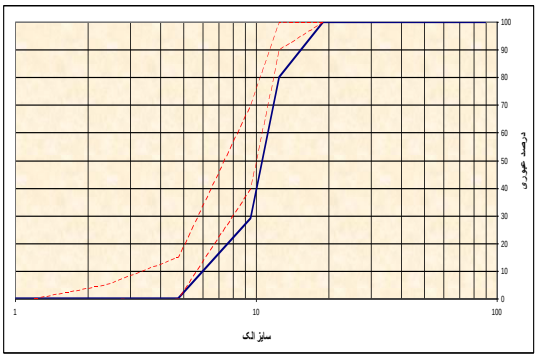
اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان	درصد اکسیـــــدهـــا		حد استاندارد (٪)
	سیمان تیپ ۲ صوفیان	سیمان پوزولانی اردبیل	
SiO_2	22.05	17.2	حداقل ۲۰
CaO	64.59	56.29	حداقل ۵۰
$Al2O_3$	5.04	7.1	حداکثر ۶
Fe_2O_3	3.47	4.32	حداکثر ۶
SO_3	2.64	1.73	حداکثر ۳



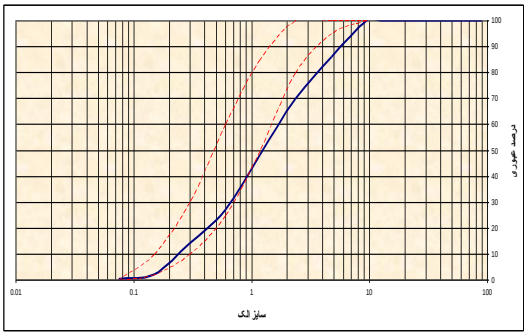
شکل ۳: نمودار دانه‌بندی شن بادامی مورد استفاده در این پروژه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤: منحنی دانه‌بندی شن نخودی مورد استفاده در این پروژه



شکل ٥: منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در این پروژه

پودر سنگ

کربنات کلسیم یا همان پودر سنگ که بر پایه پرکننده معدنی است به منظور بهبود خواص رئولوژیکی بتن، مناسب هستند (افنارس[1]، ۲۰۰۵).

پودر سنگ شامل گرانیت، آهک، مرمر، بازالت، کوارتز و انواع دیگر است که پودر سنگ آهک معمول‌ترین و فراوان‌ترین نوع آن می‌باشد که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است (نشریه ۷۰۶، ۱۳۹۳).

پودر سنگ به عنوان یک ماده پرکننده سبب افزایش سرعت هیدراتاسیون، افزایش شکل‌پذیری و پایداری بتن تازه خود تراکم می‌گردد. تحقیقات نشان داده است که پودر سنگ آهک در اندازه بسیار ریز سبب افزایش مقاومت بتن، افزایش تراکم و کاهش نفوذپذیری بتن، افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان، چسبندگی و اجتناب از جداشدگی دانه‌ها، کاهش آب انداختگی بتن و کاهش نسبت مصرف فوق روان-کننده در بتن می‌گردد (به طوری که سیمان نسبت به پودر سنگ به فوق‌روان‌کننده بیشتری نیاز دارد) (گیبس[2] و همکاران، ۲۰۰۰، ژو[3] و گیبس، ۲۰۰۵). مقدار متعارف مصرف پودر سنگ در بتن از ۱۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن، بسته به شرایط، پیشنهاد شده است (کاربرد بتن خودتراکم، ۱۳۹۴).

نرمه ماسه

همان‌گونه که می‌دانیم هرچه بتن توپر باشد مقاومت فشاری بیشتر و نفوذپذیری کمتری خواهد داشت. در توصیف این جمله همین کافی است که بتن خوب را طوری میشناسیم که به موقع گسیختگی دانه‌های سنگی بتن شکسته شوند نه اینکه در صفحه گسیختگی دانه-

[1] EFNARC
[2] Gibbs
[3] Zhu

www.SID.ir

Archive of SID

های سنگی صرفا از هم جدا شوند. از این رو و در یک گام ابتکاری از نرمه ماسه به عنوان افزودنی استفاده گردید.

نرمه ماسه به دانه‌هایی اطلاق می‌شود که در کارخانه ماسه‌شویی در پای تسمه نقاله‌های انتقال ماسه می‌ریزد و در نهایت جز ضایعات محسوب می‌گردد. خصوصیات فیزیکی نرمه ماسه به ترتیبی است که بافت بسیار ریزدانه ماسه بدون چسبندگی را شامل می‌شود. در این پژوهش از نرمه ماسه نیز به عنوان جایگزین استفاده می‌شود.

خاکستر بادی

ذرات خاکستر بادی به علت شکل کروی و صاف می‌توانند مانند غلتک عمل کنند و سبب بهبود کارایی و اسلامپ شوند. خاکستر بادی به عنوان یک ماده مضاف موثر برای تولید بتن و کاهش حساسیت آن به تغییرات آب است. اگرچه میزان بالای استفاده از خاکستر بادی، یک خمیر با چسبندگی بالا ایجاد می‌کند که در مقابل جریان بتن مقاومت می‌کنند.

در این پژوهش از خاکستر بادی معمولی نوع F با مشخصات فیزیکی جرم حجمی $2.22\ gr/cm^3$، سطح ویژه $4095\ cm^2/gr$ و ۱۲ درصد مانده روی الک ۳۲۵ و تجزیه شیمیایی مطابق جدول ۳ مورد استفاده قرار گرفته است. خاکسترهای بادی شامل آهک زنده، سولفات کلسیم و لارنیت هستند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که می‌توان از خاکسترهای بادی سولفوکلسیک در تولید سیمان‌های ارزان قیمت و پوزولانی ضدسولفات استفاده نمود (صدرممتازی، ۱۳۸۳).

حضور خاکستر بادی باعث به تاخیر افتادن هیدراتاسیون C3S در مراحل اولیه می‌شود (جاود و اسکانلی[4]، ۱۹۸۱، یوچیکاوا و یوچیدا[5]، ۱۹۹۵) اما این واکنش در مراحل بعد سریع‌تر انجام خواهد شد (نیلی و صالحی، ۱۳۹۰).

جدول ۳: مشخصات شیمیایی خاکستر بادی مورد استفاده

ترکیب (٪)	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3
خاکستر بادی	60.5	0.9	32.40	4.83	0.0

میکروسیلیس

میکروسیلیس با سطح بالای ریزدانه و به ویژه سطح کروی ذرات آن منجر به چسبندگی خوب و بهبود مقاومت در برابر جداشدگی می‌شود. با توجه به مطرح بودن میکروسیلیس به عنوان یکی از متداول‌ترین پوزولان‌های استفاده شده در صنعت بتن و با در نظر داشتن تاثیرگذاری همزمان مشخصات میکروسیلیس (شامل نسبت وزنی، خواص فیزیکی و شیمیایی و ...) و ویژگی‌های سایر اجزای تشکیل دهنده بتن (شامل جنس سنگدانه، دانه‌بندی مصالح سنگی، مدول نرمی مصالح سنگی، نسبت آب به سیمان، خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان و ...) بر روند تغییرات پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن، تاثیر گذار است (نشریه ۰۲۴، ۱۳۸۴). میکروسیلیس استفاده شده در این پژوهش، تولید کارخانجات ازنا با وزن مخصوص ۲۱۰۰ Kg/m3 و سطح ویژه بلین ۲۰/۲ m2/gr می‌باشد که به صورت درصدهای مختلفی از وزن سیمان خشک بـه مخلوط اضافه شده است. خواص شیمیایی میکروسیلیس در جدول ۴ آمده است.

جدول ٤: مشخصات شیمیایی میکروسیلیس مورد استفاده

ترکیب (٪)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O
میکروسیلیس	94	1	0.9	1.5	0.5

[4] Jawed & Skanly
[5] Uchikawa & Uchida

www.SID.ir

Archive of SID

آب مصرفی در بتن

طبق آیین نامه بتن ایران، آب مصرفی در ساخت بتن باید تمیز و صاف باشد. بطور کلی آب آشامیدنی برای ساختن بتن رضایت بخش تلقی می‌شود.

۳-آزمایش تعیین مقاومت فشاری و نتایج آن

برای آزمایش مقاومت فشاری مخلوط‌های مختلف بتن، اقدام به ساخت ۳۸۴ نمونه مکعبی به ابعاد ۱۵X۱۵X۱۵ سانتیمتر (۳ نمونه برای هر یک از سنین ۷، ۱۱، ۲۸، ۴۲ روزه و برای ۳۲ طرح اختلاط) گردیده است. اختلاط‌های طراحی شده در جدول ۵ ارائه شده است. متوسط سه مقاومت بدست آمده در جدول ۶ درج گردیده است. گزیده‌ای از نمودارهای تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف بتنی بـــرای مخلوط‌های مختلف برحسب زمان نیز در شکل‌های ۶ تا ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۵: مقادیر طرح اختلاط بتن (وزن مصالح سنگی در حالت اشباع با سطح خشک می‌باشد)

ردیف	نوع سیمان مصرفی	W/C	نوع افزودنی	درصد جایگزینی	سیمان (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	نام اختصاری طرح اختلاط
۱	تیپ ۲ صوفیان	0.4	-	-	۳۵۰	۷۶۵	۹۴۰	T2-40
		0.5			۳۰۰	۷۹۰	۹۷۰	T2-50
۲	پوزولانی اردبیل	0.4	-	-	۳۵۰	۷۶۵	۹۴۰	P-40
		0.5			۳۰۰	۷۹۰	۹۷۰	P-50
۳	پوزولانی اردبیل	0.4	میکروسیلیس	٪۵	۳۳۲/۵	۷۶۵	۹۴۰	PM5-40
		0.5			۲۸۵	۷۹۰	۹۷۰	PM5-50
۴	پوزولانی اردبیل	0.4	میکروسیلیس	٪۸	۳۲۲	۷۶۵	۹۴۰	PM8-40
		0.5			۲۷۶	۷۹۰	۹۷۰	PM8-50
۵	پوزولانی اردبیل	0.4	میکروسیلیس	٪۱۱	۳۱۱/۵	۷۶۵	۹۴۰	PM11-40
		0.5			۲۶۷	۷۹۰	۹۷۰	PM11-50
۶	پوزولانی اردبیل	0.4	خاکستر بادی	٪۵	۳۳۲/۵	۷۶۵	۹۴۰	PF5-40
		0.5			۲۸۵	۷۹۰	۹۷۰	PF5-50
۷	پوزولانی اردبیل	0.4	خاکستر بادی	٪۸	۳۲۲	۷۶۵	۹۴۰	PF8-40
		0.5			۲۷۶	۷۹۰	۹۷۰	PF8-50
۸	پوزولانی اردبیل	0.4	خاکستر بادی	٪۱۱	۳۱۱/۵	۷۶۵	۹۴۰	PF11-40
		0.5			۲۶۷	۷۹۰	۹۷۰	PF11-50
۹	پوزولانی اردبیل	0.4	پودر سنگ	٪۵	۳۳۲/۵	۷۶۵	۹۴۰	PP5-40
		0.5			۲۸۵	۷۹۰	۹۷۰	PP5-50
۱۰	پوزولانی اردبیل	0.4	پودر سنگ	٪۸	۳۲۲	۷۶۵	۹۴۰	PP8-40

www.SID.ir

Archive of SID

		0.5			۲۷۶	۷۹۰	۹۷۰	PP8-50
۱۱	پوزولانی اردبیل	0.4	پودر سنگ	٪۱۱	۳۱۱/۵	۷۶۵	۹۴۰	PP11-40
		0.5			۲۶۷	۷۹۰	۹۷۰	PP11-50
۱۲	پوزولانی اردبیل	0.4	نرمه ماسه	٪۵	۳۳۲/۵	۷۶۵	۹۴۰	PS5-40
		0.5			۲۸۵	۷۹۰	۹۷۰	PS5-50
۱۳	پوزولانی اردبیل	0.4	نرمه ماسه	٪۸	۳۲۲	۷۶۵	۹۴۰	PS8-40
		0.5			۲۷۶	۷۹۰	۹۷۰	PS8-50
۱۴	پوزولانی اردبیل	0.4	نرمه ماسه	٪۱۱	۳۱۱/۵	۷۶۵	۹۴۰	PS11-40
		0.5			۲۶۷	۷۹۰	۹۷۰	PS11-50
۱۵	پوزولانی اردبیل	0.4	میکروسیلیس و خاکستر بادی	٪۸	۲۹۴	۷۶۵	۹۴۰	PMF-40
		0.5			۲۵۲	۷۹۰	۹۷۰	PMF-50
۱۶	پوزولانی اردبیل	0.4	پودر سنگ و نرمه ماسه	٪۸	۲۹۴	۷۶۵	۹۴۰	PPS-40

جدول٦: مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی نگهداری شده در آب در سنین مختلف

ردیف	طرح اختلاط	مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/cm^2)	مقاومت فشاری ۱۱ روزه (Kg/cm^2)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/cm^2)	مقاومت فشاری ۴۲ روزه (Kg/cm^2)
۱	T2-40	239	252	291	325
۲	T2-50	217	235	271	305
۳	P-40	120	131	185	231
۴	P-50	102	114	165	215
۵	PM5-40	115	128	181	227
۶	PM5-50	98	109	158	210
۷	PM8-40	126	139	199	259
۸	PM8-50	112	125	180	239
۹	PM11-40	135	152	213	285
۱۰	PM11-50	119	131	191	258
۱۱	PF5-40	109	132	191	239
۱۲	PF5-50	91	113	169	221
۱۳	PF8-40	118	137	201	248

www.SID.ir

Archive of SID

۱۴	PF8-50	92	115	178	230
۱۵	PF11-40	124	141	212	264
۱۶	PF11-50	94	119	189	245
۱۷	PP5-40	121	135	191	242
۱۸	PP5-50	100	117	169	221
۱۹	PP8-40	119	137	199	241
۲۰	PP8-50	101	119	181	225
۲۱	PP11-40	115	137	209	248
۲۲	PP11-50	98	117	195	234
۲۳	PS5-40	119	129	189	221
۲۴	PS5-50	103	116	161	210
۲۵	PS8-40	115	121	179	217
۲۶	PS8-50	99	107	150	201
۲۷	PS11-40	109	119	158	211
۲۸	PS11-50	95	101	137	186
۲۹	PMF-40	137	149	211	281
۳۰	PMF-50	109	118	171	225
۳۱	PPS-40	111	122	190	229
۳۲	PPS-50	98	108	171	211

۴- بحث و نتیجه گیری

همانطور که مشاهده می‌شود تفاوت فاحشی بین مقاومت بتن ساخته شده از سیمان پوزولانی اردبیل و سیمان تیپ ۲ صوفیان ملاحظه می‌گردد؛ همان عاملی که موجبات نارضایتی پیمانکاران، کارفرمایان و مهندسان درگیر با سیمان پوزولانی اردبیل را فراهم نموده است. در نمونه‌هایی که نسبت آب به سیمان آنها ۰/۴ و ۰/۵ است، حتی بعد از گذشت ۴۲ روز مقاومت‌ها سیمان پرتلند پوزولانی به سیمان پرتلند تیپ ۲ نرسیده است و اختلاف فاحشی دارد. ملاحظه می‌شود که حتی با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی اردبیل به مقاومت سیمان تیپ ۲ صوفیان نمی‌رسد.

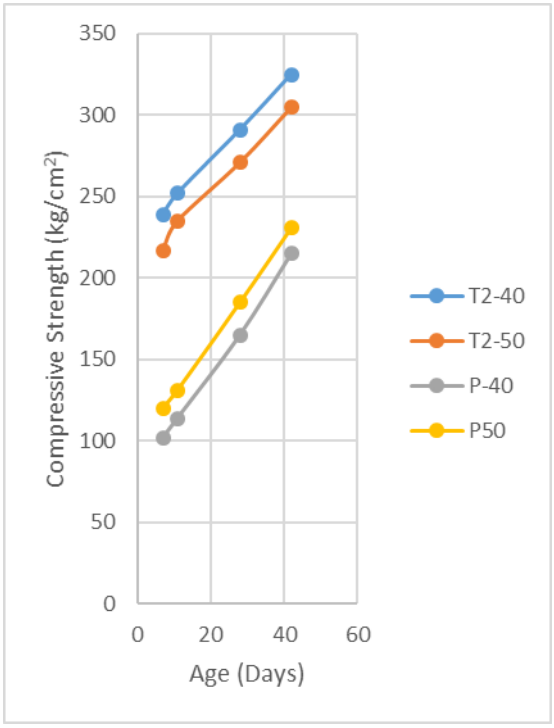
از این رو برای بهبود این نقیصه فاحش بتن‌های ساخته شده از سیمان پوزولانی اردبیل تمهیداتی اندیشیده شد که مطابق آن از دو افزودنی طبیعی (پودر سنگ و نرمه ماسه) و دو افزودنی مصنوعی (میکروسیلیس و خاکستر بادی) به عنوان جایگزین بخش سیمانی بتن استفاده شده است.

همان‌طوری که از شکل‌های زیر پیداست حتی اضافه کردن ۴ افزودنی پیشنهادی در این پژوهش نیز نمی‌تواند مقاومت فشاری بتن ساخته شده از سیمان پوزولانی اردبیل را به حد بتن‌های ساخته شده از سیمان تیپ ۲ صوفیان برساند ولی تا حدودی مقاومت آن را بهبود

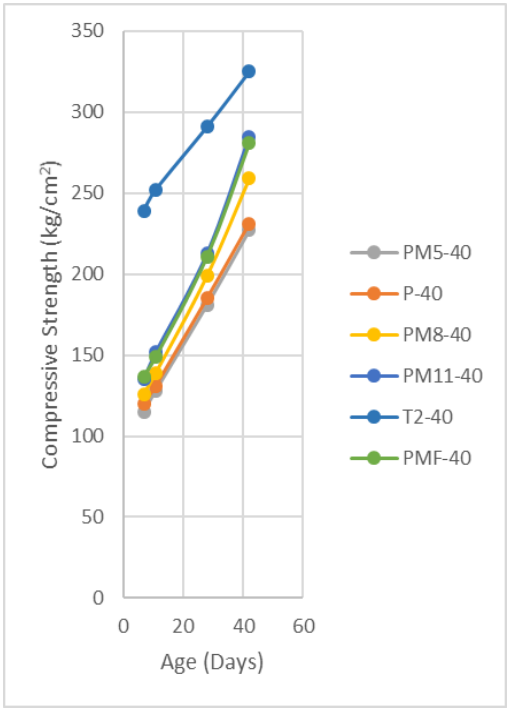
www.SID.ir

Archive of SID

داده است که بتواند در بتن‌ریزی سازه‌هایی همچون سدها با اطمینان کامل مورد استفاده قرار گیرد.



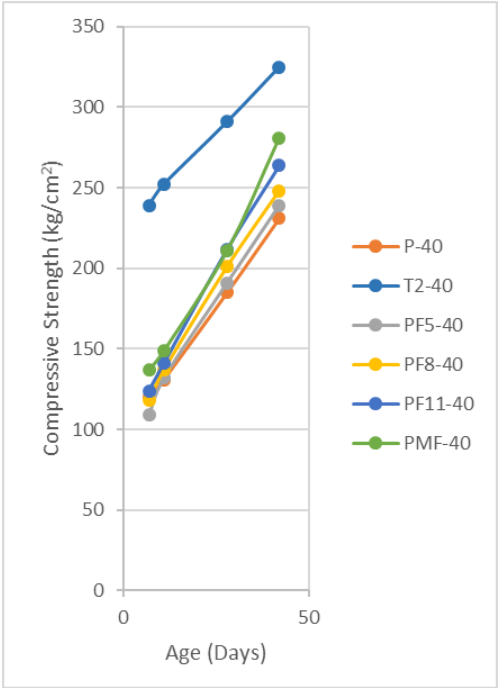
شکل ٦: نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی بر حسب روز برای طرح اختلاط‌های **T2-40, T2-50, P-40, P-50**



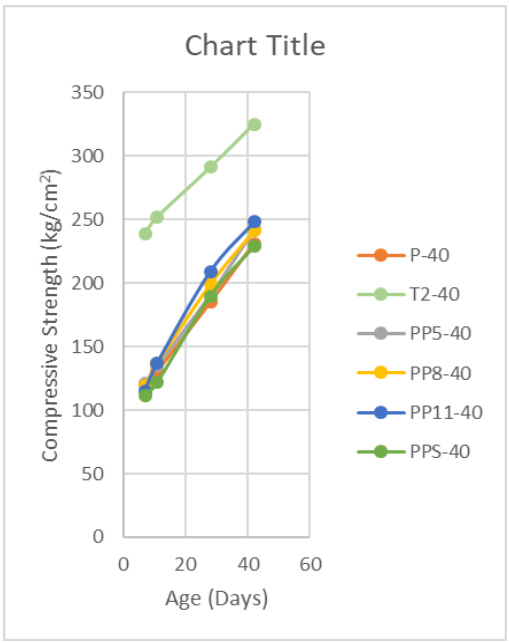
شکل ۷: نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی بر حسب روز برای طرح اختلاط‌های **PM5-40, P-40, PM8-40, PM11-40, T2-40, PMF-40**

www.SID.ir

Archive of SID



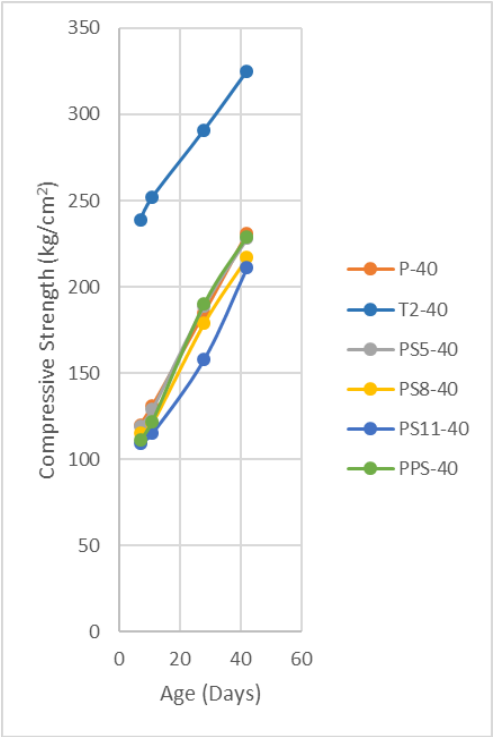
شکل ۸: نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی بر حسب روز برای طرح اختلاط‌های **P-40, T2-40, PF5-40, PF8-40, PF11-40, PMF-40**



شکل ۹: نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی بر حسب روز برای طرح اختلاط‌های **P-40, T2-40, PP5-40, PP8-40, PP11-40, PPS-40**

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰: نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی بر حسب روز برای طرح اختلاط‌های P-40, T2-40, PS5-40, PS8-40, PS11-40, PPS-40

۵- نتیجه گیری

همانگونه که از بررسی نتایج استنتاج می‌شود، کاربرد سیمان پوزولانی کارخانه سیمان اردبیل بدون استفاده از افزودنی نمی‌تواند در ساخت بتن‌های با مقاومت قابل قبول برای بتن‌ریزی سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه نتایج حاصل از این مطالعه جامع به شرح ذیل و به صورت موردی بیان می‌گردد.

- مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده با سیمان پـــرتلند تیپ ۲ کارخانه صوفیان بسیار بیشتر از نمونه‌های مشابه با سیمان پرتلند پوزولانی اردبیل می‌باشد و با کاهش نسبت آب به سیمان این روند تغییر چندانی نمی‌کند.
- خاکستر بادی در دراز مدت مقاومت را افزایش می‌دهد در حالی که منجر به کاهش مقاومت روزهای ابتدایی مـــی‌گـــردد.
- میکروسیلیس برای ۵٪ جایگزینی و برای هر دو نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۴ مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد ولی برای ۸ و ۱۱٪ جایگزینی منجر به افزایش مقاومت می‌شود که این افزایش برای ۱۱٪ جایگزینی چشمگیرتر است.
- پودر سنگ در روزهای ابتدایی هیچ تاثیری بر مقاومت فشاری نداشته (نه افزایش و نه کاهش) ولی در دراز مدت منجر به افزایش مقاومت فشاری می‌گردد که البته این افزایش در مقایسه با میکروسیلیس کوچکتر است.
- نرمه ماسه باعث کاهش جزئی مقاومت فشاری می‌گردد و هرچه درصد جایگزینی بیشتر می‌شود، کاهش مقاومت نیز بیشتر می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Mele, E. Sarno, L. De Luca, A. (2004). Seismic Behaviour of Perimeter and Spatial Steel Frames. Journal of Earthquake Engineering, 8(3), p. 457-496.

[2] Allen, J. Richard, R. Partridge, J. (1998). Seismic connection designs for new and existing steel moment frame structures. Journal of Constructional Steel Research, 46(1-3), p. 454-462.

۱- رمضانیان‌پور، ع. و شاه‌نظری، م.، (۱۳۸۹)، "تکنولوژی بتن"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

۲- سنگی، م.، نوائی‌نیا، ب. و حسینعلی بیگی، م.، (۱۳۹۲)، "تاثیر میکروسیلیس بر رفتار دراز مدت بتن خودمتراکم"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۳، شماره ۲، ص ۸۳- ۹۴.

۳- مجموعه استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران، (۱۳۹۳)، نشریه ۷۰۶، "دستورالعمل و مشخصات فنی بتن خودتراکم"، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

۴- مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، (۱۳۹۴)،" کاربرد بتن خودتراکم در پروژه‌های عمرانی شهری".

۵- ترجمه مظلوم، م.، رمضانیان‌پور، ع.، (۱۳۸۳)، "بتن‌های توانمند و کاربرد آن‌ها"، انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

۶- مقصودی، ع.، مقیمی، ر. و علمدار باغینی، آ.، (۱۳۹۰)، "مقایسه تاثیر دوده سیلیسی بر فاز خمیری و مقاومت فشاری ابر بتن خودمتراکم و بتن سبک متراکم"، سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ایران.

۷- موسوی، ح.، (۱۳۹۰)، "عوامل موثر بر مقاومت فشاری بتن"، ماهنامه علمی تخصصی فن‌آوری سیمان، شماره ۴۵، ص ۶-۱.

۸- نشریه شماره ۰۲۴، (۱۳۸۴)، "راهنمای اجرای بتن ویژه صنعت نفت"، معاونت مهندسی و ساخت داخل، وزارت نفت.

۹- نیلی، م. و صالحی، الف.، (۱۳۸۹)، "تاثیر پوزولان طبیعی، خاکستر بادی و میکروسیلیس بر روند کسب مقاومت فشاری و جذب آب حجمی در بتن‌های دارای مقاومت بالا"، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره دهم، شماره ۴، ص ۷۱-۸۳.

۱۰- نیلی، م.، و صالحی، الف.، (۱۳۹۰)، "چه نوع پوزولان و به چه میزان در بتن‌های حجیم با مقاومت زیاد به کار ببریم؟"، مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دوره ۴۵، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۵۶.

۱۱- یزداندوست، م. و یزدانی، م.، (۱۳۹۳)، "بررسی تاثیر متقابل نسبت وزنی میکروسیلیس، مدول نرمی سنگدانه و نسبت آب به سیمان بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن"، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره چهاردهم، ص ۱۸۳-۱۹۶.

12 - Atan, M. N. & Awang, H., (2011), "Mechanical Properties of Self-Concrete Incorporating Raw Rice Husk Ash" European Journal of Scientific Research, 60, 166-176.

13- British standard institution, (1986), Guide to use of non-destructive methods of test for hardened concrete, BS 881, Part 201.

14- T.A. Bürge, (1982), "Densified Cement Matrix Improves Bond with Reinforcing Steel", Bond in Concrete, Applied Science Publishers, London, 273–281.

15- J.G. Cabrera & P. A. Claisse, (1990), "Measurement of Chloride Penetration into Silica Fume Concrete", Cement and Concrete Composition, 12, 157–161.

16- Detwiler R. J., Bhatty J. I. & Bhattacharja S., (1998), "Supplementary Cementing Materials for Use in Blended Cements", Portland Cement Association, Research and development bulletin RD112T.

17- Domone, P. L., (2007), "A Review of the Hardened Mechanical Properties of Self Compacting Concrete", Cement and Concrete Composites, 29 (1), 1-12.

18- EFNARC, (2005), "The European Guideline for self-compacting concrete specification", Production and Use, EFNARC, UK.

19- Felekoglu, B., Turkel, S. & Baradan, B., (2006), "Effect of Water/Cement Ratio on the Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete", Bulding and Environment, 42 (4), 1795-1802.

20- Ghrici M., Kenai S. & Said-Mansour M., (2007), "Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements", Cement & Concrete Composites, 29 (7) 542–549.

21- M.N. Haque, (1996), "Strength Development and Drying Shrinkage of High-Strength Concretes", Cement and Concrete Composition, 18, 333–342.

www.SID.ir

Archive of SID

22- Hubertova, M. & Hela, R., (2007), "Effect of Metakaolin and Silica Fume on the Properties of Light Weight Self Consolidating Concrete", Special publication in ACI, April.
23- Jawed, I. & Skanly, J., (1981), "Effect of fly ash incorporation in cement and concrete", MRS Symposium Proceedings.
24- Kjellsen K. O., Wallevik O. H. & Hallgren M., (1999), "On the compressive strength development of high performance concrete and paste-effect of silica fume", Materials and Structures, 32, 63-69.
25- Neville A. M., (1997), "Aggregate Bond and Modulus of Elasticity of Concrete", ACI Materials Journal, V. 94, No. 1, pp. 71-74.
26- Perry C, Gillott J. E., (1995), "The Influence of Silica Fume on the Strength of the Cement-Aggregate Bond", ACI Materials Journal, V. 156, pp. 191-212.
27- K. L. Scrivener, A. Bentur and P. L. Pkatt, (1988), "Quantitative characterization of the transition zone in High Strength Concrete", Advances in Cement research, 1, No.4, PP.230-237.
28- Selvamony, C., Ravikumar, M. S., Kannan, S. U. & Basil Gnanappa, S., (2010), "Investigation on Self-Compacted Self-Curing Concrete Using Limestone Powder and Clinkers", Journal of Engineering and Applied Sciences, 5 (3), 1-6.
29- Turk, K., Turgut, P., Karatas, M. & Benli, A., (2010), "Mechanical Properties of Self-compacting Concrete with Silica Fume/Fly Ash", the 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 27-30 September.
30- Uchikawa, H. & Uchida, S., (1995), "Influence of pozzolana on the Hydration of C3A", Proceedings of the 7th International congress on the cement chemis.

www.SID.ir