نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

بررسی مقاومت فشاری و نفوذپذیری در بتن‌های خودتراکم با و بدون رنگ پلی اورتان

علی قربانی [1*]، امین قربانی [2]، فاطمه شوکتی گورابی [3]

۱-استادیار،گروه مهندسی عمران،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران

پست الکترونیکی:

ghorbani@pnu.ac.ir

۲-استادیار،گروه مهندسی عمران،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران

پست الکترونیکی:

aghorbani@pnu.ac.ir

۳-کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت ساخت،،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران

پست الکترونیکی:

fshokati۵۹@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۹۸/۰۵/۰۶، تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۸/۰۵/۲۷

چکیده

در این تحقیق هدف بررسی مقاومت فشاری و نفوذپذیری در بتن‌های با و بدون رنگ پلی اورتان حاوی متاکائولن و میکروسیلیس می‌باشد. مقاومت فشاری کلیه طرح‌های ساخته شده با افزایش سن بتن نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است .با افزایش درصد نانوسیلیس این روند افزایش حفظ شده و در ۲ درصد به بیشترین مقدار افزایش می‌رسد. همچنین در طرح‌های حاوی نانومس شاهد افزایش مقاومت در ۱ درصد جایگزینی هستیم .هرچند در طرح‌های جایگزینی ۳ درصد نانوسیلیس و ۳ درصد نانو مس در سن ۹۰ روزه کاهش مقاومت نسبت به نمونه کنترل بدست آمده است. نتایج آزمایش نفوذپذیری نشان می‌دهد که در سن ۲۸ روزه نانو مس تا ۲ درصد و نانو سیلیس تا ۳ درصد، جایگزینی بهتر بوده و با افزایش سن بتن به ۹۰ روزه نانو مس عملکرد بهتری دارد. در نمونه‌های بدون رنگ عمق نفوذپذیری بیشتر از نمونه‌های با رنگ می‌باشد و با افزایش سن بتن، در نمونه‌های با رنگ پلی اورتان شاهد کاهش بسیار بیشتر نفوذپذیری در عمق می‌باشیم.

کلمات کلیدی: ***بتن خودتراکم ،پلی اورتان، نفوذپذیری***

www.SID.ir

۱- مقدمه

با پیشرفت بتن خودتراکم به عنوان یک پیشرفت در ساخت بتن در دهه اخیر معرفی شد. با اینکه در آغاز توسعه این بتن نیروی کار متخصص برای آن بسیار کمیاب بود اما با این حال امتیازات اقتصادی بسیار زیادی را به اثبات رساند. در ابتدا تکنولوژی ساخت بتن خودتراکم در کشور ژاپن توسعه پیدا کرد و امکان ساخت آن با رشد و توسعه فوق روان کننده‌ها به سرعت فراهم شد. هم اکنون بتن خودتراکم در سرتاسر اروپا مورد استقبال قرار گرفته و هم برای کارهای ساختمانی و هم ساخت قطعات پیش ساخته استفاده فراوان دارد. ژاپنی‌ها از سال ۱۹۹۰ به بعد از بتن خودتراکم که نیاز به هیچ ویبرهای نداشت و به تراکم کامل می‌رسید در ساخت پل‌ها، تونل‌ها و ساختمان‌ها استفاده کرده‌اند[۹ ،۱]. بتن خودتراکم به نحوی تعریف شده است که احتیاج به هیچ ویبره داخلی و خارجی ندارد و با وزن خود، خود را متراکم می‌نماید و زمانی که در قالب جاری میشود بهطور کامل هواگیری می‌گردد و فقط با استفاده از نیروی جاذبه قالب را پر نموده و آرماتورهای موجود را پوشانده و همزمان یکنواختی خود را حفظ می‌نماید.

مهمترین و ارزشمندترین ویژگی بتن، مقاومت آن است. از انواع مقاومت بتن، می‌توان عمدتاً به مقاومت‌های فشاری و خمشی اشاره نمود. در بتن‌های معمولی این مقاومت‌ها به مقاومت ملات سیمان و چسبندگی بین ملات و سنگدانه‌ها بستگی دارند. مقاومت سنگدانه‌ها نیز بر مقاومت بتن معمولی موثر است ولی عموماً مقاومت سنگدانه‌ها بیشتر از مقاومت ملات سیمان می‌باشد، در نتیجه در این نوع بتن‌ها چسبندگی بین ملات و سنگدانه‌ها، سقف مقاومت بتن ساخته شده و خصوصاً مقاومت خمشی را تعیین خواهد کرد .در بتن‌های پرمقاومت، مقاومت ملات و سنگدانه‌ها بستگی خواهد داشت و مقاومت سنگدانه‌ها و چسبندگی آن‌ها با ملات سیمان، سقف مقاومت بتن حاصل را تعیین خواهد کرد[۲].

مقاومت بتن یکی از مهمترین خواص بتن می‌باشد. البته این درحالی است که در عمل در خیلی از مواقع مشخصات دیگری مانند دوام و نفوذپذیری و پایداری حجمی نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. مقاومت بتن بستگی به عوامل مختلفی دارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به نسبت سیمان، سنگدانه‌های درشت و ریز، آب و افزونی‌ها اشاره نمود .نسبت آب به سیمان را می‌توان مهمترین عامل در مقاومت بدن دانست. اگرچه مقاومت سیمان مستقیماً نشان دهنده میزان دوام بتن نیست اما شدیداً به نسبت آب به سیمان بستگی دارد . هر چه میزان آب به سیمان کمتر باشد مقاومت بتن نیز بیشتر می‌باشد.

لی و همکارانش (۲۰۰۵) به بررسی تاثیر ذرات نانو سیلیکا بر مقاومت فشاری، خمشی و سایشی رویه های بتنی و مقایسه‌ی آن با تاثیر الیاف پلی‌پروپیلن پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود از نانوسیلیس به میزان ۱ و ۳ درصد وزنی سیمان و به‌عنوان جایگزین سیمان و نمونه‌های الیافی حاوی ۰/۶و ۰/۹ کیلوگرم الیاف بر مترمکعب بتن و نسبت آب به سیمان ۰/۴۲ استفاده کردند.

www.SID.ir

نتایج آزمایشات مقاومت فشاری، خمشی و سایشی و بر روی نمونه‌ها به‌صورت زیر بیان گردید:

الیاف پلیپروپیلن مقاومت فشاری و خمشی بتن را بهبود می‌بخشند. با افزایش میزان الیاف، مقاومت فشاری و خمشی بیشتری حاصل می‌شود.نانو سیلیکا مقاومت فشاری بتن را بهبود می بخشد، میزان این بهبود با افزایش درصد نانو از ۱ به ۳ درصد، از ۱۲ به حدود ۳/۵ درصد، کاهش می‌یابد. استفاده از نانو سیلیکا در درصد پایین مانند ۱ درصد، به بهبود مقاومت خمشی کمک می‌کند. در حالی که جایگزینی ۳ درصد سیما یا نانو سیلیس، باعث کاهش مقاومت خمشی بتن نسبت به نمونه‌ی شاهد می‌شود .

الیاف پلی پروپیلن در افزایش مقاومت خمشی بتن، تاثیر بهتری نسبت به ذرات نانو دارند .ذرات نانو سیلیس در بهبود مقاومت سایشی بتن بسیار مؤثرند و تأثیر بیش تری نسبت به الیاف پلیپروپیلن دارند .رنگ پلی اورتان یک محصول دو جزئی است که بر پایه رزین پلی اورتان تهیه شده و دارای مدت زمان خشک شدن بسیار کوتاه است .رنگ های پلی اورتان مقاومت بسیار بالایی در برابر انواع اشعه‌های نور خورشید و همچنین باران اسیدی دارند .این رنگ (رنگ پلی اورتان) به دلیل داشتن مقاومت بالا در برابر رطوبت و چسبندگی عالی بر روی انواع سطوح و پوشش‌ها به عنوان لایه نهایی برای پوشش سطوحی که در معرض مستقیم نورخورشید و شرایط سخت آب و هوایی قرار دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. رنگ‌های دو جزئی پلی اورتان ظاهر بسیار زیبا و چشم نوازی دارند و از هرگونه مشکل پوست پرتغالی بودن که یکی از معضلات بزرگ رنگ‌های پودری می‌باشد عاری هستند.

در این تحقیق هدف بررسی مقاومت فشاری و نفوذپذیری در بتن‌های با و بدون رنگ پلی اورتان حاوی متاکائولن و میکروسیلیس می‌باشد.

۲-روش‌کار

در این پروژه برای تولید بتن از فوق روان کننده بهره گرفته شده است و نسبت آب به مواد سیمانی در همه‌ی طرح‌ها ثابت و برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است. ساخت بتن در میکسر با ظرفیت ۰/۱ متر مکعب انجام شد(در این تحقیق از آب شرب شهرستان رشت جهت ساخت بتن استفاده گردید که با توجه به مصرف آشامیدنی آن برای ساخت بتن بدون مشکل است).

برای این کار ابتدا مصالح مورد نیاز توزیه گردیده و سپس وارد مرحله ساخت شده‌اند. برای ساخت ابتدا شن و ماسه وارد میکسر شد و پس از یک ربع مخلوط شدن، نصف آب اختلاط به مخلوط اضافه گردید و بعد از چند دقیقه مصالح سیمانی (اعم از سیمان و میکرو سیلیس، متاکائولن، نانو سیلیس و نانو مس بسته به طرح مورد نظر) به مخلوط اضافه شده و سپس فوق روان کننده که با مابقی آب اختلاط مخلوط شده وارد مخلوط بتن گردید. پس از رسیدن بتن به حالت مناسب، ابتدا آزمایشات بتن تازه به عمل می‌آید و پس از تایید آن، مخلوط در قالب‌های مورد نظر ریخته شد و بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از قالب بیرون آورده شده و در دمای اتاق به مدت مورد نظر در حوضچه‌های آب نگهداری شده تا در روز مورد نظر آزمایش از حوض‌ها خارج شوند. برای هر طرح ۳ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰

www.SID.ir

سانتی‌متری برای آزمایش فشار و ۳ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری برای آزمایش جذب آب با رنگ پلی اورتان پوشیده که به مدت ۴۸در فضای بیرون خشک شده و سپس در آب قرار می‌دهیم و ۶ نمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ نفوذپذیری که ۳ نمونه با رنگ پوشیده شده و ۳ نمونه به صورت معمول می باشد. در ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزگی و ۳ نمونه استوانه ای۳۰×۱۵ سانتی‌متر برای آزمایش کششی ۲۸ روزه ساخته شد. در هر روز نمونه‌های موردنظر برای انجام آزمایش از حوضچه‌ها خارج شده و پس از خشک شدن سطح آن‌ها در فضای باز، برای انجام آزمایش استفاده شدند. در تمامی طرح‌ها نمونه‌های مکعبی به منظور اندازه‌گیری چگالی پس از خشک شدن در فضای باز توزین شدند.

در این مطالعه از آزمایش مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ASTM C۳۹-۸۶ استفاده شد. آزمایش‌های مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰۰ میلی متر انجام شده است. در آزمایش مقاومت فشاری، مکعب‌ها به نحوی در دستگاه فشاری قرار داده شدند که دو سطح مقابلی که در موقع بتن ریزی مجاور قالب بودند، در تماس با رکاب‌های فوقانی و تحتانی دستگاه باشند. تنش فشاری مکعبی حاصل نیز با تقسیم این نیرو بر سطح مقطع نمونه به دست می‌آید:

$$F = \frac{p}{A}$$

بتن خودتراکم درون قالب های مکعبی با ضلع ۱۰۰ میلیمتر ریخته شد و با یک پارچه مرطوب و یک ورقه پلاستیکی پوشانده می‌شود و در یک محل خشک با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد نگهداری شده است. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و تا زمان آزمایش در مخزن آبی با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. برای حالت خشک نیز نمونه‌ها تا زمان آزمایش در محیط خشک آزمایشگاه با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. نمونه ها در سنین ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روز آزمایش شدند و میانگین نتایج ۳ نمونه به عنوان نتیجه نهایی در تحلیل ها استفاده شد.

۳-تجزیه و تحلیل

۳-۱-مقاومت فشاری

پس از انجام آزمایش های بتن خودتراکم تازه و اطمینان از مناسب بودن آن مطابق استاندارد بتن خودتراکم درون قالب‌های مکعبی با ضلع ۱۰۰ میلیمتر ریخته شد و با یک پارچه مرطوب و یک ورقه پلاستیکی پوشانده شد و در یک محل خشک با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد نگهداری شد. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و تا زمان آزمایش در مخزن آبی با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز آزمایش شدند و میانگین نتایج ۳ نمونه به عنوان نتیجه نهایی در تحلیل‌ها استفاده شد.نتایج به دست آمده از میانگین، شکست نمونه‌های مکعبی در جدول(۱) نشان داده شده است.

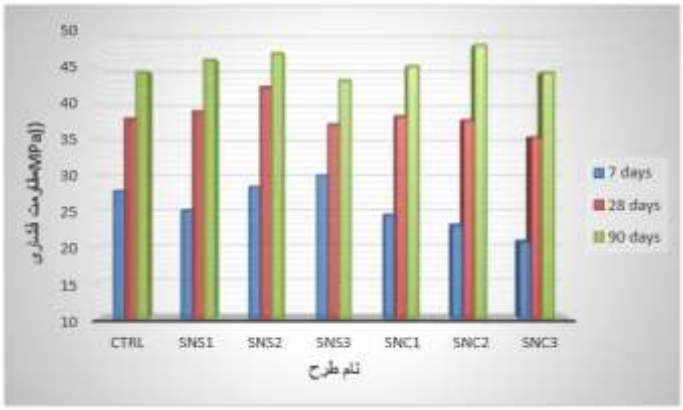
www.SID.ir

جدول ۱؛ نتایج مقاومت فشاری

MIX CODE	مقاومت فشاری		
	7 days	28 days	90 days
Ctrl	27/8	37/9	44/4
SNS1	25/1	38/9	46/1
SNS2	28/4	42/3	47
SNS3	30	37/1	43/2
SNC1	24/4	38/2	45/2
SNC2	23	37/7	48/1
SNC3	20/7	35/3	44/3

۳-۲-بررسی تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی نانو

در اختلاط‌های این مطالعه نسبت آب به سیمان و مقدار مصالح چسباننده در تمامی مخلوط‌ها یکسان می‌باشد .لذا تاثیر این عوامل در تمامی بتن‌ها یکسان بوده و عامل متغییر در این مطالعه میزان جایگزینی نانوسیلیس و نانومس در سیمان است. مقدار ترکیبی میکروسیلیس و متاکائولن در سیمان به میزان ۱۰٪ نیز ثابت در نظر گرفته شده تا خصوصیات بتن در تاثیر این ۲ ماده افزودنی نیز ثابت فرض شود. در نمودار(۲و۱) به بررسی تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی نانوسیلیس و نانومس پرداخته می‌شود.



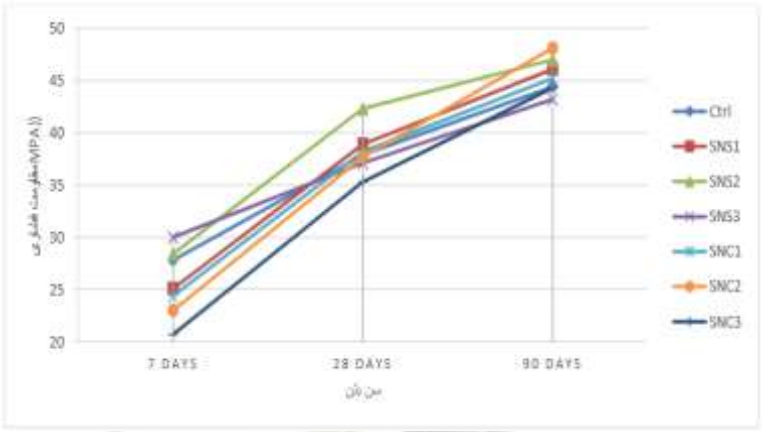
نمودار ۱؛ تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی نانوسیلیس و نانومس

نتایج مقاومت فشاری طرح‌های حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد جانشینی نانو به جای سیمان در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه در نمودار(۱) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار ملاحظه می‌گردد که درصدهای مختلف جانشینی نانوسیلیس به جای سیمان، باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود .جانشینی ۲ درصد نانو مس، بیشترین افزایش مقاومت فشاری را در بین طرح‌های حاوی درصدهای مختلف نانوسیلیس از خود نشان داده است .برای مثال نسبت افزایش مقاومت طرح حاوی ۲ درصد جانشینی نانوسیلیس به طرح شاهد در سن ۲۸ روز در حدود ۱۲ درصد می‌باشد و همچنین با افزودن۱ درصد نانوسیلیس به طرح شاهد افزایش مقاومت فشاری به مقدار ۷ درصد در سن

www.SID.ir

۲۸ روزه میباشیم .با افزودن نانو مس به نمونه به میزان ۲ درصد شاهد بیشترین افزایش مقاومت در نمونه را می باشیم. با افزایش مقدار نانو مس به نمونه های به میزان ۳ در صد کاهش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد در سن ۲۸ روزه می باشیم.

در راستای بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی نانو آهن یزدی و همکارانش نشان دادند افزودن ۳ درصد نانو آهن در بین بتن‌های حاوی ۱، ۳ ۵ درصد مقاومت بالاتری را دارا هستند. همچنین Meral و همکاران به بررسی اثر ۰/۵، ۱/۲۵ و۲/۵ درصد نانو آهن بر روی مقاومت فشاری بتن‌های حاوی خاکستر بادی پرداختند و گزارش کردند که مقاومت فشاری این نمونه‌های در سنین اولیه (۳و ۷ روز) مقاومت کمتری در قیاس با نمونه شاهد را دارا هستند اما در سنین بالاتر (۲۸ و ۹۰ روزه) مقاومت فشاری آن‌ها افزایش یافته و نمونه حاوی ۰/۵ درصد نانو آهن بالاترین مقاومت را داراست[۸].



نمودار۲ ؛ بررسی تغییرات مقاومت‌فشاری در سنین مختلف

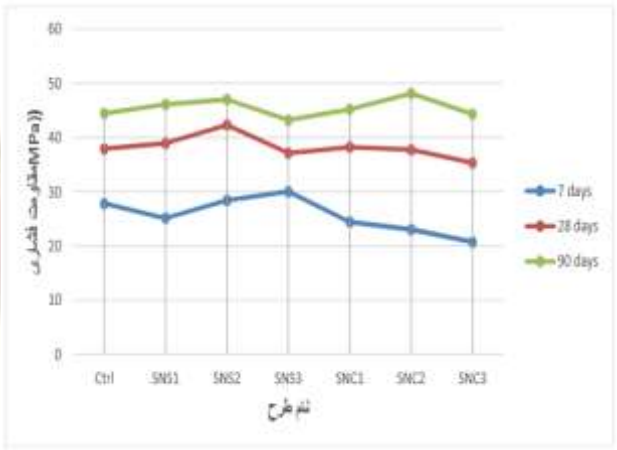
در این تحقیق مشاهده می‌شود که با افزایش نانو مس با افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه کنترل رو به رو هستیم و از طرفی دیگر با وجود اضافه کردن نانوسیلیس می‌توان مقاومت تا حدود بسیاری افزایش داد. برای تامین همگنی کافی مورد نیاز به منظور داشتن پیوند مناسب با آرماتورها، عملکرد سازهای، مقاومت و دوام لازم است. طرح اختلاط بتن خود تر اکم، با پایداری بالا طراحی می‌شود. بیشترین افزایش مقاومت در سن ۹۰ روزه مربوط به طرح حاوی ۲درصد نانو مس می باشد.

در همین راستا مرتضی بیگی و همکاران به بررسی اثر نانو سیلیس بر روی ویژگی‌های مکانیکی، رئولوژیکی و دوام بتن خودتراکم با افزودن ۲، ۴ و۶ درصد نانو ذرات سیلیس پرداختند و نمونه حاوی ۴ درصد نانو سیلیس را به عنوان نمونه با مقاومت فشاری بهینه تایید کردند[۷]. همچنین Meral و همکاران به بررسی اثرات نانوسیلیس، نانوآلومینیوم و نانو آهن بر مقاومت فشاری ملات‌های حاوی ۰/۵، ۱/۲۵و ۲/۵ درصد نانو ذرات پرداختند و نشان دادند مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱/۲۵ درصد نانوسیلیس مقاومت بیشتری در مقایسه با

www.SID.ir

دیگر نمونه‌ها دارا بوده است[۸]. علی نظری و همکارانش تصریح کردند افزودن ۴ درصد نانو سیلیس به بتن خود تراکم اثر بهینه‌ای در بین مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۱تا ۵ درصد نانو سیلیس را دارا هستند[۴].

پایداری، توانایی مخلوط بتن خودتراکم در حفظ توزیع همگن همه مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن، در حین عملیات بتن‌ریزی تا جایگزینی کامل و اتمام بتن‌ریزی است. سابق بر این بر پایداری دینامیکی اشاره می شد اما بعد از آن به پایداری استاتیکی اشاره می‌شود[۵].



نمودار ۳؛ بررسی تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف نمونه های نانو

همانطور که در نمودار(۳) مشاهده می‌شود. با افزایش میزان استفاده از نانو مس در یک سن ۷ روزه، مقاومت فشاری بتن نسبت به نمونه کنترل کاهش می‌یابد. و این کاهش در جایگزینی ۳ درصد نانو بسیار مشهود می‌باشد. ناپایداری دینامیکی می‌تواند به دلیل ورود هر گونه انرژی ارتعاشی به سیستم در طی انتقال مواد یا جایگزینی آن‌ها ایجاد شود[۳]. به عبارت دیگر پایداری استاتیکی ، توانایی بتن در مقاومت در برابر آب انداختگی، جدا شدگی و ته نشین شدن است که می‌تواند متاثر از وزن و زمان باشد[۶].

Su و همکارانش در تحقیقی در زمینه روش‌های طرح اختلاط بتن خود تراکم اشاره داشته‌اند که سنگدانه‌ها چیزی در حدود ۶۰٪ حجم بتن خودتراکم را به خود اختصاص می‌دهند. به علت حجم بالای اشغال شده، سنگدانه‌ها تأثیر عمده‌ای در مشخص کردن خواص بتن خودتراکم می‌گذارند و همچنین می‌توان انتظار داشت بر خواص دیگری چون مقاومت فشاری نیز تأثیر مهمی داشته باشند. بنابراین زمان اختلاط یک عامل مهم تاثیرگذار بر خواص تاز ه بتن بخصوص در بتن‌های با روانی بالا می‌باشد. کارایی پایین یک بتن می‌تواند مشکلات متعددی در جایگزینی و تراکم ایجاد کرده که دلیل آن هم افزایش حفرات و به دنبال آن کاهش مقاومت و دوام است[۱۰].

۳-۳-آزمایش نفوذ پذیری

آزمایش نفوذپذیری بتن سخت شده مطابق استاندارد BSEN ۱۲۳۹۰-۸ :۲۰۰۹ انجام می‌شود. در این آزمایش نمونه بتن سخت شده در ابعاد ۱۵ سانتی در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه در مدت ۲±۷۲ ساعت به وسیله پمپ تحت فشار آب به نمونه بتنی تزریق می کند.

www.SID.ir

نفوذپذیری بتن معمولا از طریق محاسبه مقدار آب تحت فشار که برای جریان یافتن به درون یک نمونه بتنی داخل می‌شود، در یک فاصله زمانی مشخص تعیین می‌شود. با اندازه‌گیری عمق نفوذ آب پس از شکستن نمونه‌ها می‌توان به معیاری برای نفوذپذیری بتن دست یافت. در تعیین مقدار نفوذ آب در نمونه‌ها سعی شد تا عدد معرفی شده، میانگینی از مقادیر مختلف نفوذ آب در طول ۱۵سانتیمتری بعد نمونه باشد. در این آزمایش نمونه‌ها ابتدا به مدت ۲۸ و ۹۰ روز در محیط حوضچه عمل‌آوری شده و نمونه‌های دارای رنگ بعد از ۲۴ ساعت اولیه خشک شدن در قالب با رنگ پلی اورتان پوشیده شده و به مدت ۶ روز بیرون حوضچه نگهداری شده تا به مرحله خشک نهایی برسد، بعد از آن در محیط حوضچه نگهداری شده و سپس به آزمایش نفوذپذیری پرداخته می‌شود. متعاقب آن نمونههای تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته و عمق نفوذ آب در بتن تخریب شده اندازه‌گیری می‌شود.

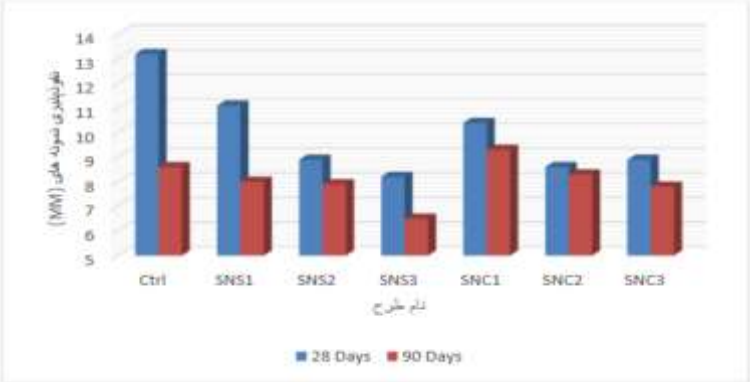
جدول ۲؛ نتایج آزمایش نفوذ پذیری نمونه‌های مکعبی(mm)

نام طرح	بدون رنگ پلی اورتان		با رنگ پلی اورتان	
	نفوذپذیری نمونه های ۹۰ روزه (mm)	نفوذپذیری نمونه های ۲۸ روزه (mm)	نفوذپذیری نمونه های ۹۰ روزه (mm)	نفوذپذیری نمونه های ۲۸ روزه (mm)
Ctrl	8/6	13/2	8/4	12
SNS1	8	11/1	7/6	10/4
SNS2	7/9	8/9	7/1	9/2
SNS3	6/5	8/2	7/7	8/4
SNC1	9/3	10/4	6/7	10/1
SNC2	8/3	8/6	6/1	9/1
SNC3	7/8	8/9	5/7	7/3

با توجه به جدول ۱۴-۴به طور کلی می‌توان گفت که نفوذپذیری تمامی نمونه‌ها در برابر آب بر اساس استاندارد DIN در ردهٔ "نفوذپذیری کم "قرار گرفته‌اند. جدول(۲) نتایج عمق نفوذ آب در نمونه‌های بتنی عمل‌آوری شده با و بدون رنگ پلی اورتان را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنیم با افزایش درصد نانوسیلیس نفوذپذیری کاهش می‌یابد که این درصد کاهش تقریبا ۱۵ درصد در سن ۲۸ روزه می‌باشد، و همچنین با افزودن نانومس شاهد کاهش کمتری در سن ۲۸ روزه در حدود ۱۰ درصد می‌باشم. با توجه به نمودار(۴) با افزایش سن نمونه‌ها نیز نفوذپذیری کاهش می‌یابد که در نمودار (۵) به وضوح روشن است. وجود نانوسیلیس و نانو مس، دوام بتن خودتراکم را افزایش داده و مانع افزایش نفوذپذیری می‌گردد و با وجود نانومس نفوذپذیری در بلند مدت کاهش می‌یابد. نتایجی که خاویر پوینتس و همکاران در بررسی نفوذپذیری بتن خودتراکم حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس بدست آوردند به نظر می‌رسد که مشابه نتایجی که در این تحقیق آزمایشگاهی بدست آمد با افزودن نانوسیلیس از تخلخل بتن کاهش یافته و نفوذپذیری نیز کاهش می‌یابد و تفاوت در عمل‌آوری نمونه‌ها در محیط‌های مختلف است که در مقاله‌های قبلی بیشتر در محیط عادی بررسی شده بود ولی در این تحقیق آزمایشگاهی عمل‌آوری نمونه‌ها در درصدهای مختلف سولفات منیزیم مورد بررسی قرار گرفتند که در کل می‌توان اینگونه

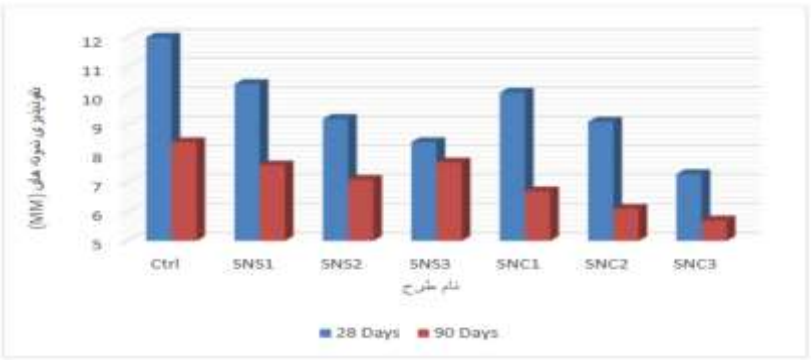
www.SID.ir

نتیجه‌گیری کرد که روند کاهش نفوذپذیری در تحقیقات قبلی و این تحقیق با افزودن نانوسیلیس تقریبا مشابه بودند و تنها تفاوت در تاثیر سوء محیط مخرب سولفاتی در روند افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری بر روی نمونه‌های بتنی بوده است.



نمودار ۴؛ مقایسه نفوذپذیری نمونه های بتن خودتراکم بدون رنگ پلی اورتان

همانطور که در نمودار(۴) مشاهده می‌شود، با افزودن نانوسیلیس و نانومس به طرح شاهد کاهش میزان نفوذپذیری می‌باشیم. با افزایش سن بتن این کاهش بیشتر قابل مشاهده می‌باشد. در طرح حاوی ۳ درصد نانوسیلیس بیشترین کاهش در سن ۹۰ روزه به وجود آمده است.



نمودار ۵؛ مقایسه نفوذپذیری نمونه‌های بتن خودتراکم با رنگ پلی اورتان

با افزودن رنگ پلی اورتان به نمونه باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود که این کاهش با افزایش سن بتن بیشتر می‌شود. در نمونه‌های حاوی مس در سن ۹۰ روزه در نمونه حاوی ۳ درصد، نفوذپذیری کمتری را نسبت به نانوسیلیس می‌توان دید.

با توجه به نمودار(۵) با افزودن رنگ پلی اورتان به نمونه باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود که این کاهش با افزایش سن بتن بیشتر می‌شود. در نمونه‌های حاوی مس در سن ۹۰ روزه در نمونه حاوی ۳ درصد، نفوذپذیری کمتری را نسبت به نانوسیلیس می‌توان دید.

www.SID.ir

نمودار ۶؛ مقایسه نفوذپذیری نمونه های بتن خودتراکم با و بدون رنگ پلی اورتان در سن ۲۸ روزه

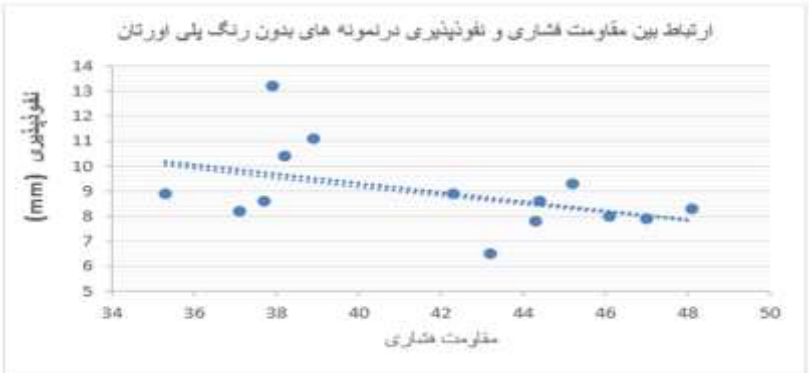
نمودار ۷؛ مقایسه نفوذپذیری نمونه های بتن خودتراکم با و بدون رنگ پلی اورتان در سن ۹۰ روزه

همانطور که در نمودار(۶، ۷) مشاهده می‌شود، نفوذپذیری نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی رنگ پلی اورتان در سن ۹۰ روزه در بیشتر طرح‌ها، کمتر از نمونه‌های بدون رنگ می‌باشد. این اختلاف در طرح حاوی ۳ درصد نانومس به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

۳-۴-ارتباط بین مقاومت فشاری و نفوذپذیری

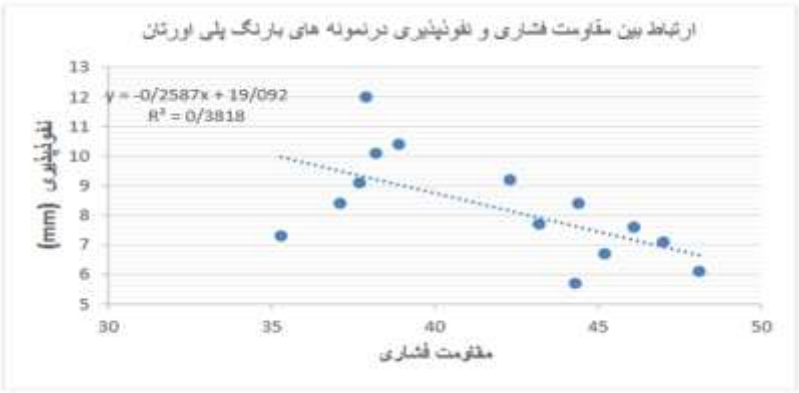
با توجه به رشد مقاومت در نمونه‌ها با توجه به سن آن‌ها و میزان مواد نانو مصرفی و همچنین کاهش نفوذپذیری با افزودن نانو مواد شاهد شیب منفی در ارتباط بین این دو خواهیم بود. همچنین با افزودن رنگ پلی اورتان به نمونه‌ها شاهد کاهش و شیب تندتر این ارتباط می‌باشیم.

www.SID.ir



نمودار۸؛ ارتباط بین مقاومت فشاری و نفوذپذیری درنمونه های بدون رنگ پلی اورتان

با توجه به نمودار(۸) می‌توان به این مطلب پی برد که با افزایش مقاومت فشاری نفوذپذیری نیز کمتر می‌شود. هر چند ضریب همبستگی بین مقاومت فشاری و نفوذپذیری قابل ملاحظه نمی‌باشد ولی شیب منفی نمودار گواه این کاهش بر اثر افزایش مقاومت می‌باشد.



نمودار ۹؛ ارتباط بین مقاومت فشاری و نفوذپذیری درنمونه های بارنگ پلی اورتان

با توجه به نمودار(۹) شیب بیشتر نمودار بر این علت می‌تواند باشد که هماهنگی بیشتر در ارتباط با افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری در نمونه‌های حاوی رنگ پلی اورتان وجود دارد.

۳-۵-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مقاومت فشاری کلیه طرح‌های ساخته شده با افزایش سن بتن نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است .با افزایش درصد نانوسیلیس این روند افزایش حفظ شده و در ۲ درصد به بیشترین مقدار افزایش می‌رسد. همچنین در طرح‌های حاوی نانومس شاهد افزایش مقاومت در ۱ درصد جایگزینی هستیم .هرچند در طرحهای جایگزینی ۳ درصد نانوسیلیس و ۳ درصد نانو مس در سن ۹۰روزه کاهش مقاومت نسبت به نمونه کنترل بدست آمده است.

www.SID.ir

نتایج آزمایش نفوذپذیری نشان می‌دهد که در سن ۲۸ روزه نانو مس تا ۲ درصد و نانو سیلیس تا ۳ درصد، جایگزینی بهتر بوده و با افزایش سن بتن به ۹۰ روزه نانو مس عملکرد بهتری دارد. در نمونه‌های بدون رنگ عمق نفوذپذیری بیشتر از نمونه های با رنگ می‌باشد و با افزایش سن بتن، در نمونه‌های با رنگ پلی اورتان شاهد کاهش بسیار بیشتر نفوذپذیری در عمق می‌باشیم.

۴-پیشنهادات

۱. بررسی تأثیر حرارت‌های بالا در بتن حاوی نانوسیلیس و نانومس

۲. بررسی ترکیب نانوسیلیس و نانومس و مقایسه تاثیر استفاده همزمان آن‌ها

۳. بررسی استفاده از ضایعات ساختمانی بر روی نفوذپذیری

۴. بررسی تاثیر اپوکسی بر روی سطح بتن جهت جلوگیری از نفوذ مواد شیمیایی

۵. مقایسه تأثیر استفاده از مصالح سبک مانند لیکا و اسکوریا در بتن خود تراکم با تحقیق حاضر

۶. بررسی تأثیر نسبت‌های آب به سیمان متفاوت در بتن خودتراکم حاوی نانوسیلیس و نانومس

۷. بررسی خواص مهندسی بتن خودتراکم حاوی نانوسیلیس و نانومس با حضور الیاف شیشه

مراجع و منابع

۱. یاسر ملاح" بررسی تجربی مشخصات مکانیکی بتن خود تحکیم و رفتار خمشی تیرهای بتن آرمه ساخته شده از "SCC ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران ۱۳۸۴.

۲. ACI Committee ۲۲۱,۲۰۰۱. Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete.

۳. ACI ۲۳۸,۱R-۰۸. Report on measurements of workability and rheology of fresh concrete. Farmington Hills (MI): American Concrete Institute; ۲۰۰۸.

٤. Ali Nazari , Shadi Riahi “The effects of SiO_2 nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete” Composites: Part B ٤٢ pp. ٥٧٠–٥٧٨ (٢٠١١).

٥. Newman J, Choo BS. Advanced concrete technology processes. Elsevier Ltd.; ۲۰۰۳.

٦. El-Chabib H, Nehdi M. Effect of mixture design parameters on segregation of self consolidating concrete. ACI Mater J ۲۰۰٦;۱۰۳(٥):۳۷٤–۸۳.

۷. Morteza H. Beigi, Javad Berenjian, Omid Lotfi Omran , Aref Sadeghi Nik , Iman M. Nikbin “An experimental survey on combined effects of fibers and nanosilica on the mechanical, rheological, and durability properties of self-compacting concrete” Materials and Design ٥٠ pp. ١٠١٩–١٠٢٩ (٢٠١٣)

۸. Oltulu .M, Sahin .R “Effect of nano-SiO_2, nano-Al_2O_3 and nano-Fe_2O_3 powders on compressive strengths and capillary water absorption of cement mortar containing fly ash” Energy and Buildings ٥٨ pp. ٢٩٢–٣٠١ (٢٠١٣)

۹. Skarendahl , A ; Peterson, O : self compacting concrete. State of the art report of RILEM Technical committee۱۷٤. RILEM Report No ۲۳, (۲۰۰۰).

۱۰. Soroka I, Ravina D. Hot weather concreting with admixtures. Cement Concr Compos ۱۹۹۸;۲۰(٤):۱۲۹–۳٦.

www.SID.ir