تحقیقات بتن
سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم
زمستان ۹۸
ص ۱۲۲ – ۱۱۱
تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۲

یادداشت پژوهشی

تاثیر نانو دی اکسید تیتانیوم بر روی نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن

حمیدرضا اسماعیلی
کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد.
علیرضا حاجیانی بوشهریان *
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.

چکیده

یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر دوام بتن، نفوذپذیری آن می‌باشد. علاوه بر آن پارامتر نفوذپذیری در سازه‌ایی نظیر مخازن و منابع بتنی نگهداری سیالات دارای اهمیت زیادی است. از طرف دیگر، نفوذ مواد مخرب در بتن باعث کاهش مقاومت بتن می‌گردد. بنابراین برای تخمین میزان دوام بتن، بهبود و اصلاح هر دو پارامتر مقاومت بتن در کنار نفوذپذیری دو عامل اساسی می‌باشند. امروزه استفاده از افزودنی‌های مختلف به جهت افزایش دوام بتن افزایش چشم‌گیری داشته است. مواد نانوساختار با توجه به ویژگی های رفتاری بارزی که از خود نشان داده‌اند مورد توجه بخش صنعت قرار گرفته‌اند. در این تحقیق تاثیر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر مقاومت فشاری و میزان نفوذپذیری آب در بتن مورد بررسی قرار گرفت. در روند تحقیق از یک طرح اختلاط با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۵ و عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شد. در ادامه با افزودن نانو ذرات با درصدهای مختلف به طرح اختلاط، مخلوط‌های بتنی جدید ساخته شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تا درصد بهینه‌ای به مخلوط بتن باعث افزایش چشمگیر مقاومت فشاری وکاهش میزان نفوذپذیری آن نسبت به طرح شاهد می‌شود. افزودن نانو ذرات بیشتر از درصد بهینه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن نسبت به مخلوط دارای درصد بهینه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **نفوذپذیری بتن، مقاومت فشاری بتن، نانو دی اکسید تیتانیوم.**

* نویسنده مسئول: ahajiani@gmail.com

۱- مقدمه

مسئله دوام از مهمترین مسائل پیش روی بتن است که توسط محققین زیاد مورد بررسی قرار گرفته است . مباحث توسعه پایدار نیز باعث شده است که عملکرد طولانی مدت بتن بیشتر اهمیت پیدا کند. در تعریف پایایی سازه بتنی و یا دوام بتن تعاریفی وجود دارد که در همه آنها بتن یا سازه بتنی باید در رده و شرایط کاربری موردنظر و در محیط مورد استفاده، حداقل به اندازه عمر پیش بینی شده، پایدار و قابل بهره برداری باشند [۱ و ۲]. مقاومت و نفوذپذیری بتن دو عامل مهم در پایایی بتن می باشد که به عوامل متعددی از جمله نوع مصالح سنگی، نوع سیمان، آب و...بستگی دارد. بدون تردید تغییر در نوع و میزان هریک از پارامترهای فوق، بر مقاومت و نفوذپذیری بتن و به طور کلی بر پایایی بتن تاثیرگذار است [۱و ۲]. اهمیت مسایل اقتصادی باعث شده است که در چند دهه اخیر مطالعات و تحقیقات زیادی دراین زمینه آغاز گردد و آزمایش‌های مختلفی برای بررسی دوام بتن انجام گیرد. بسیاری از این آزمایش‌ها بر اساس نفوذ ماده مضر به داخل بتن می‌باشند که سرعت این نفوذ را بر روی نمونه اندازه می کنند. نفوذ گازها، مایعات و یون‌ها به داخل بتن به خاطرفعل و انفعالات با اجزای تشکیل دهنده بتن و تغییر در ماهیت بتن و خرابی احتمالی سازه، اهمیت دارد.

از زمان معرفی نانوتکنولوژی توسط ریچارد[1] در سال ۱۹۵۹ به بعد پیشرفت‌های زیادی در علوم مختلف به وجود آمده که منجر به دستکاری مواد در مقیاس بسیار کوچک در حد نانو شده است. در سالهای اخیر نانو تکنولوژی در حد گسترده و با سرعت بالایی در تمامی زمینه ها و مواد به کار برده می شوند و توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است. زیرا این علم توانایی استفاده از ذرات در اندازه‌ی نانو ($۱۰^{-۹}$) را در اختیار محققین و صنایع قرار می دهد تا محصولات جدیدی تولید کنند. این نانو موادها در ترکیب با خمیر سیمان مصرفی در بتن خصوصیات فیزیکی و مکانیکی جدیدی به آن می‌دهند [۳]. در چند سال اخیر تحقیقات بسیاری بر روی کاربرد فناوری نانو در تکنولوژی بتن با کاربردهای مختلف از جمله روسازی‌های بتنی انجام شده‌است [۴]. این فناوری به سبب خواص ویژه ذرات در این فاز، طرفداران زیادی بین محققین علم مواد و بتن پیدا نموده‌است. در این نوع بتن، محققین زیادی اکسیدهای مختلفی با مقیاس نانو را برای بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام بتن استفاده نموده‌اند. از آن جمله می توان به نانو سیلیس ($Nano–SiO_2$)، نانو لوله‌های کربنی، نانو اکسید آلومینیوم ($Nano–Al2O_3$)، نانودی‌اکسید تیتانیوم ($Nano–TiO_2$)، نانواکسیدآهن ($Nano –Fe_2O$) و سایر موارد اشاره نمود. استفاده از این ذرات در بتن با توجه به ریزی، سطح مخصوص، واکنش پذیری و قابلیت فعال سازی بالای آنها و از طرفی ساختار متخلخل بتن و وجود حفراتی در ابعاد نانو، می‌تواند به بهبود خواص بتن کمک نماید. بکارگیری فناوری نانو در بتن به دو طریق انجام می گیرد [۵]:

الف-استفاده از نانو سیمان.

ب-استفاده از نانو افزودنی‌ها (نانو اکسیدتیتانیوم، نانو الیاف، نانو سیلیس و...).

با توجه به تاثیر افزایش نانو ذرات در بهبود خواص سیمان، استفاده از نانو سیمان‌ها نیز باعث بهبود خواص بتن می‌شود. تحقیقات نشان داده است که استفاده از بعضی نانو ذرات در بتن باعث کاهش نفوذپذیری آن در مقابل آب می‌شود. این موضوع خصوصاً در حالتی که سازه بایستی آب بند بوده و در مقابل هر نوع نفوذ آب از محیط خارج و یا داخل مانند مخازن زمینی و هوایی آب شرب، مقاوم باشد حائز اهمیت می‌باشد[۶].

نانو دی اکسید تیتانیوم از اکسیدهای فلزی است که در زندگی روزمره کاربرد فراوانی دارد. این ماده پودر سفید رنگی است که دارای سه فاز کریستالی آناتاس، روتایل و بروکیت است [۷]. پودر این ماده به عنوان رنگدانه سفید در صنعت استفاده می شود. دو خاصیت مهم این ماده که آن را در زندگی بسیار کارا و مفید می‌سازد، خواص فوتوکاتالیستی و فوق آب دوستی آن است. از این دو خاصیت برای تصفیه آب و فاضلاب‌ها، حذف آلودگی هوا و ساختمان ها، تسریع واکنش های فتوشیمیایی مانند تولید هیدروژن، ساخت سطوح و لایه‌های ضد مه و شیشه‌های خود تمیزشونده استفاده می‌شود [۸]. در تحقیقات صورت گرفته در رابطه با کاربرد نانو ذرات Tio_2 در ساخت بتن، عملکرد موثر این ذرات در ساختار بتن، قابل ملاحظه بوده است. در نتیجه این کاربرد، بهبود خصوصیات مقاومتی و دوامی بتن مشاهده گردیده است [۹].

[1] Richard

۲- تحقیقات انجام شده

در برخی تحقیقات انجام شده از نانو سیلیس به همراه دوده سیلیس و یا خاکستر بادی استفاده شده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در بتن‌های حاوی خاکستر بادی و نانو سیلیس مقاومت بیش از بتن های حاوی خاکستر بادی و با بتن های معمولی خواهد بود. روند کسب مقاومت در سه نوع بتن عادی با عیار سیمان یکسان، الف) بتن معمولی ب) بتن حاوی خاکستری بادی ج) بتن حاوی خاکستری بادی و نانو سیلیس را که طی آزمایشات لی و همکاران به دست آمده نشان می‌دهد که مقاومت نهایی نمونه‌ی بتنی که حاوی نانو سیلیس است، بیش از دو نوع دیگر است. از طرفی روند کسب مقاومت در بتن حاوی نانو سیلیس بسیار سریع از بتن حاوی خاکستر بادی تنهاست. مقاومت فشاری نمونه حاوی ۴٪ نانو سیلیس و ۵۰٪ خاکستر بادی ۸۱ درصد بیش از نمونه حاوی تنها ۵۰٪ درصد خاکستر بادی تنهاست. از سوی دیگر مقاومت نمونه های حاوی ۴٪ نانو سیلیس و ۵۰ خاکستر بادی تنها در ۵۶ روز اول کمتر از بتن معمولی است، بنابراین می توان گفت که استفاده از نانو سیلیس در بتن، نه تنها مقاومت فشاری آن را افزایش می دهد، بلکه روند افزایش مقاومت در بتن‌های حاوی خاکستر بادی را نیز افزایش می‌دهد [۱۰]. خجسته بند و همکاران، ویژگی‌های ملات سیمان حاوی نانو ذرات سیلیس مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. سیلیکای غیر کریستاله یا شیشه ای که جز اصلی یک پوزولان است با هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراتاسیون واکنش می‌دهد [۱۱]. شدت واکنش پوزولانی با میزان مساحت سطح قابل دسترسی برای واکنش متناسب است. بنابراین افزایش ذرات نانو سیلیس بالاتر ازملات هایی بود که حاوی دوده سیلیس در سنین ۷ و ۲۸ روز بودند. بنابراین ثابت می‌شود که نانوذرات در افزایش مقاومت نسبت به دوده سیلیس موثرتر هستند. مقاومت ملات‌ها با افزایش درصد نانو سیلیس از ۳٪ تا ۱۲٪ افزایش می‌یابد. براساس نتایج حاصله از آزمایش مقاومت فشاری، ملاحظه می‌گردد که نانو ذرات سیلیکا نه تنها به عنوان پرکننده برای بهبود زیر ساختار ملات سیمان عمل می کند، بلکه به عنوان بهبود دهنده واکنش پوزولانی نیز عمل می‌کند. نظری و ریاحی در تحقیق دیگری تاثیر نانو ذرات سیلیس (SiO_2) و آلومینا (AL_2O_3) را بر مقاومت بتن در برابر سایش و مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاربرد نانو ذرات در بتن با عث افزایش مقاومت گرده است [۱۲]. آنان از الیاف پلی پروپیلن با طول ۱۲ میلیمتر، قطر ۹۰ میکرومتر و نانو ذرات سیلیس استفاده کردند. مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در چرخه‌ی انجماد و ذوب با استفاده از روش تست سریع مورد آزمون قرار گرفت و نشان دهنده-ی افزایش مقاومت فشاری در اثر کاربرد نانو ذرات می‌باشد. جلال و همکاران در تحقیقات خود تاثیر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم را بر نفوذپذیری بتن خود متراکم در برابر یون کلرید، در صد جذب آب و جذب مویرگی (موییگی) مورد مطالعه قرار دارند. آنان بر اساس مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تا ۴ درصد وزنی سیمان بهترین تاثیر را داشته و به عنوان پرکننده‌های نانویی عمل کرده و مقدار خلل و فرج را کاهش می-دهند. این نتایج نشان می دهد که چگالی بتن افزایش می‌یابد و منافذ کوچکتر شده و ساختار منافذ بهبود یافته است که این امر باعث بهبود نفوذپذیری بتن در مقابل حملات یون کلرید و همچنین کاهش در صد جذب آب و موییگی می‌شود [۱۳]. ناجی‌گیوی و همکاران در تحقیقات خود تاثیر ذرات نانو سیلیس (SiO_2) را بر کارایی بتن و مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار دارند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مخلوط بتن دارای ذرات نانوسیلیس، بطور قابل توجهی مقاومت فشاری بالاتری در مقایسه بامخلوط بتن بدون ذرات نانو سیلیس دارد و طرح بهینه با جایگزین کردن ذرات نانو سیلیس حداکثر تا ۲ درصد وزن سیمان و عمل آوری بتن در محلول آب و آهک، دارای حداکثر مقاومت فشاری می باشد [۱۴].

عبدالزاهر و همکاران تاثیر نانو TiO_2 را بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خمیر سیمان سنگ آهکی بررسی کردند. ایشان متوجه شدند که این ماده می‌تواند باعث افزایش ۲۰ درصدی خمیر سیمان گردد [۱۵]. در پژوهشی دیگر بلبول و همکاران به تاثیر مثبت افزودن نانوتیتانیا بر خصوصیات مقاومتی خمیر سیمان ترکیب شده با ماسه‌ی سفید و سنگ آهک پی بردند [۱۶]. نظری و ریاحی تاثیر نانوذرات TiO_2 را بر خصوصیات مقاومتی، گرمایی و فیزیکی بتن بررسی کردند [۱۷]. ایشان پی بردند که افزایش نانو دی اکسید تیتانیوم بیش از ۳ درصد وزنی منجر به کاهش میزان مقاومت فشاری بتن می‌شود. استفاده از افزودنی نانو TiO_2 به صورت مجزا و در ترکیب با نانودی‌اکسید آهن و نانو دی‌اکسید آلومینیم منجر به افزایش قابل توجه در میزان مقاومت بتن و کاهش نفوذپذیری آن می گردد [۱۸]. از دیگر مطالعات انجام شده در تعیین میزان نفوذپذیری بتن می‌توان به پژوهشهای گلستان و حاجیانی بوشهریان، علی عبدو و همکاران و سان و همکاران اشاره کرد [۱۹ – ۲۱].

۳- مواد و روش ها

معمولاً بتن حاوی الیاف و نانو مواد همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط‌های بتن حاوی نانو TiO_2 و پلی پروپلین اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با این وجود، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت آنها و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلوله‌ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن بعمل آید [۲۲].

بهترین گزینه برای پخش نانوذرات تهیه مخلوط آبی با استفاده از هموژنایزرها و حمام اولتراسونیک می باشد. گاهی نیز از برخی جدا کننده های شیمیایی نیز استفاده می‌گردد. در صورت عدم وجود امکانات کافی در آزمایشگاه، نانو مواد به خاطر آسانی پخش بصورت خشک وارد مخلوط می‌شوند. در فرآیند ساخت باید از ایجاد پدیده گلوله‌ای شدن نانو مواد جلوگیری بعمل آید. این مشکل اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد نانو مواد بیش از ۲ درصد یا حتی ۱ درصد یا اضافه کردن خیلی سریع نانومواد به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد، بوجود می‌آید. در این پدیده نانومواد و الیاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارآیی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌شود [۲۳]. بطور کلی استاندارد و روش خاصی برای طرح اختلاط بتن‌های الیافی و نانوبتن‌ها پیش‌بینی نشده‌است و تنها از طریق اضافه‌نمودن درصدی از الیاف و نانومواد به طرح اختلاط بتن شاهد و با آزمون و خطا، امکان‌پذیر می‌باشد.

در این تحقیق جهت پی بردن به تأثیر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بر مقاومت فشاری و نفوذپذیری بتن، نانو TiO_2 معادل ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد از وزن سیمان و به بتن شاهد اضافه گردید. نانو TiO_2 استفاده شده در این نانو ذرات دی اکسیدتیتانیوم بکار رفته دراین مطالعه تولید شرکت تحقیقاتی نانو مواد هیوستون ایالات متحده (US Research Nanomaterials, Inc, Twing Leaflane, Houston, TX77084, USA) می‌باشد. قطر ذرات آن بین ۱۰ تا ۲۵ میلیمتر، سطح ویژه‌ی آن ۲۰۰ تا ۲۴۰ متر مربع بر گرم، چگالی ظاهری آن ۰/۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب و درصد خلوص آن بیش از ۹۹ می‌باشد.

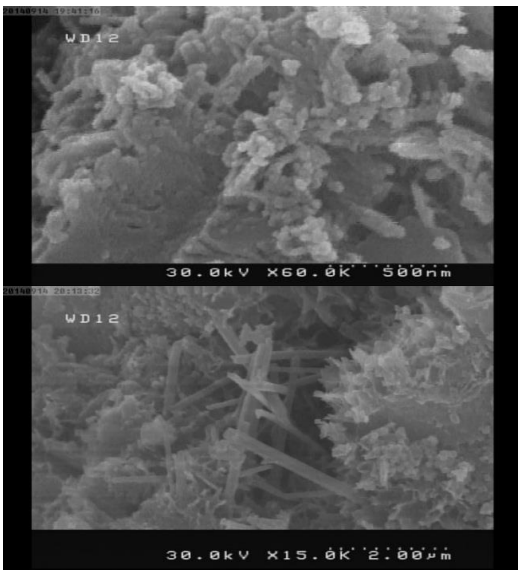
پس از انجام آزمایشات مصالح سنگی و مطابق با طرح اختلاطهای در نظر گرفته شده، پس از توزین مصالح و آماده‌سازی تجهیزات لازم، شروع به ساخت بتن شد. یک طرح اختلاط مطابق استاندارد ACI 211.1-91 با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و عیار سیمان ۴۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب بدون اضافه کردن نانو ذرات برای ساخت نمونه بتنی شاهد (با نماد C0) انجام شد. برای این منظور اوزان شن، ماسه و سیمان را به طور دقیق رعایت می‌گردید در حالیکه مقدار آب به صورت حدودی و براساس کنترل چشمی تعیین می‌شد. برای بهتر مخلوط شدن مصالح ابتدا نصف سنگدانه‌های درشت و ریز را در مخلوط کن ریخته و سپس نیمی از سیمان را با آن‌ها اضافه کرده و حدود ۱ دقیقه میکسر شروع به چرخش می‌نمود. پس از توقف آن، بقیه مصالح سنگی و سیمان را در مخلوط کن ریخته و اجازه داده می‌شد که ۱ دقیقه دیگر شروع به چرخش نماید. پس از آن آب به تدریج به مصالح اضافه شده و به صورت چشمی کنترل می‌شد. در هر مرحله که آب اختلاط اضافه می‌شد، مخلوط کردن آنقدر ادامه می‌یافت تا سطح همه دانه‌ها به طور همگن مرطوب شود.

برای ساختن نمونه های حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم پس از اوزان شن و ماسه، از وزن سیمان در طرح اختلاط کم می‌شد و به همان میزان نانودی اکسید تیتانیوم در مقدار آب طرح اختلاط حل می‌گردید. برای این منظور نانو دی اکسید تیتانیوم که به صورت پودر می‌باشد به آرامی در آب ریخته می‌شد و برای جلوگیری از کلوخه شدن آن در آب از همزن برقی استفاده می‌گردید و اینقدر فرایند همزدن ادامه پیدا می‌کرد تا نانو دی اکسید تیتانیوم کاملا در آب حل شده وبه صورت محلول تبدیل می‌شد. در ادامه همانند ساختن نمونه شاهد اجزای بتن باهم مخلوط می‌گردید و به جای آب خالص از محلول تهیه شده‌ی آب و نانو دی اکسید تیتانیوم،استفاده می‌شد. نمونه ها با درصد های یک، دو، سه، چهار و پنج از نانو دی اکسید تیتانیوم بر حسب وزن سیمان ساخته شده و به ترتیب T1، T2، T3، T4 و T5 نامگذاری شدند.

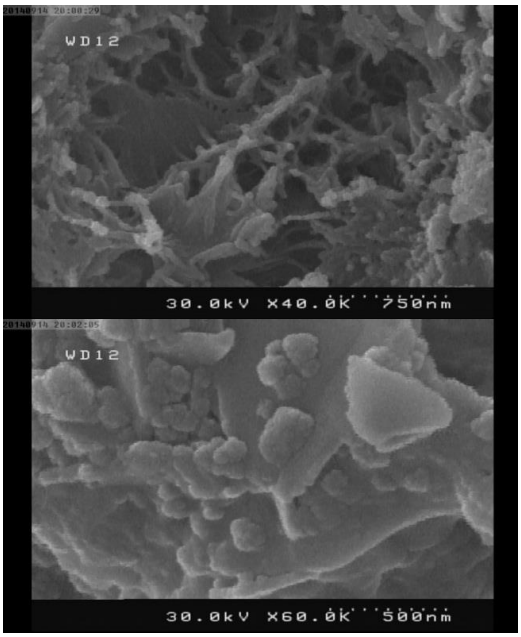
آزمایشات مقاومت فشاری و نفوذپذیری در ۶ طرح انجام گردید، به طوری که ۱ طرح آن به نمونه‌های بتنی شاهد (بدون نانو دی اکسید تیتانیوم) و ۵ طرح مربوط به نمونه‌های بتنی حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم می‌باشد. آزمایشات برای هر طرح اختلاط در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه بتن انجام شدند.

با توجه به طرح اختلاط انجام شده ۱۳۳ عدد نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتر براساس استاندارد BS 1881: Part 108 ساخته و کلیه نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از زمان ساخت از قالب خارج و تا سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه در محیط آزمایشگاه و در داخل

آب معمولی با دمای تقریبی ۲۰ درجه سانتیگراد براساس استاندارد BS 1881: Part111 عمل آوری شد [۲۴]. در این روش، بار محوری فشاری به نمونه‌های استوانه ای یا مکعبی با نرخی مشخص اعمال شده و تا گسیخته شدن نمونه ادامه می‌یابد. مقاومت فشاری از تقسیم حداکثر بار تحمل شده توسط نمونه بر سطح مقطع آن بدست می‌آید. این آزمایش برروی بتن سخت شده بر حسب توصیه آیین‌نامه در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روز انجام گرفته است.



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از بتن حاوی دو درصد نانو دیاکسید تیتانیوم(T2)



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از بتن حاوی چهار درصد نانو دی اکسید تیتانیوم (T4)

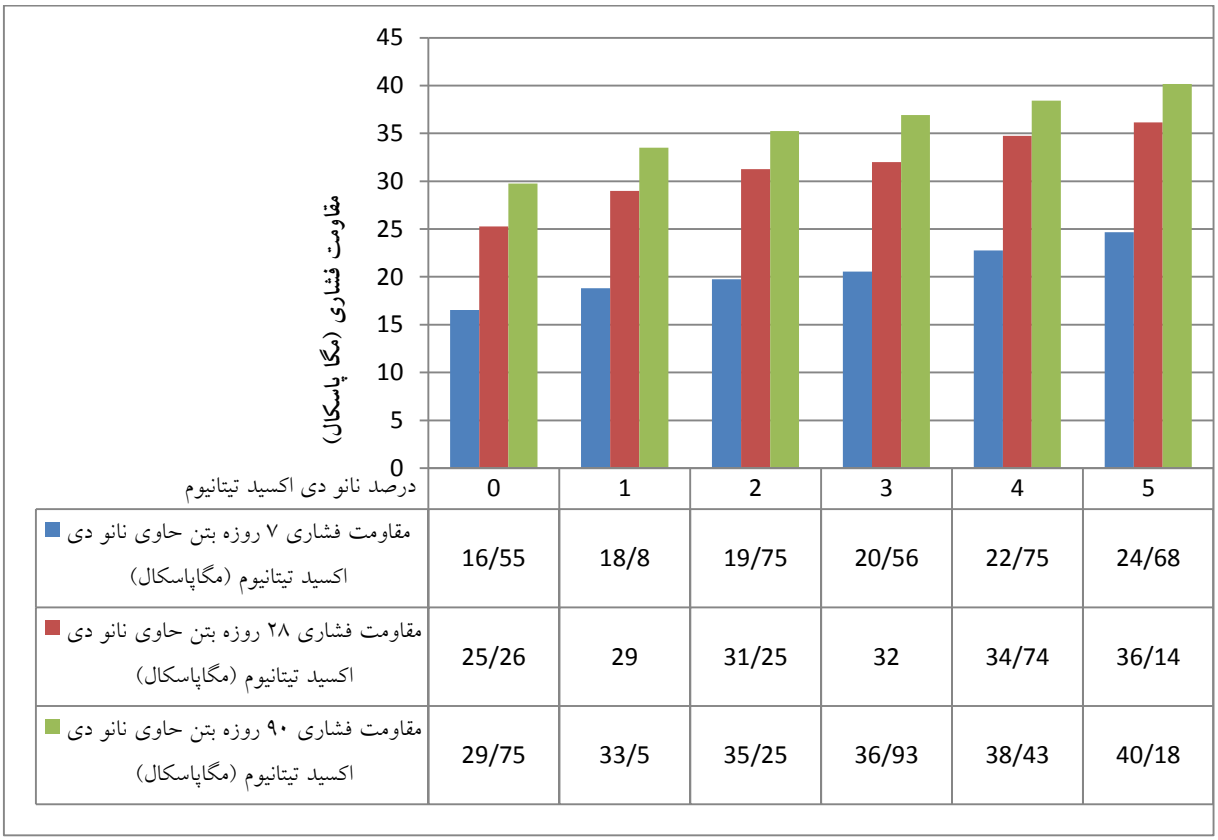
٤- نتایج و بحث

برای تعیین مقاومت فشاری، نمونه ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تحت آزمایش مقاومت فشاری با سرعت ۰/۳ نیوتن بر میلیمتر مربع در ثانیه طبق استاندارد BS 1881: Part 116 قرار گرفتند. نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقاومت فشاری نمونه شاهد در سن ۷ روز برابر ۱۶/۵۵ مگا پاسکال و در سن ۲۸ روزه برابر با ۲۵/۲۶ مگا پاسکال ودر سن ۹۰ روزه ۲۹/۷۵ مگاپاسکال می‌باشد که این مقدار معادل ۵۲/۶۲ درصد افزایش مقاومت نمونه شاهد ۲۸ روزه را نسبت به سن ۷ روز نشان می‌دهد. هم چنین مقاومت فشاری نمونه شاهد در سن ۹۰ روزه ۷۹/۷۵ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه و ۱۷/۷۷ درصد نسبت به نمونه ۲۸ روزه افزایش نشان می‌دهد. از طرفی دیگر مقاومت‌های فشاری نمونه‌های حاوی نانودی اکسید تیتانیوم ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد در سن ۲۸ روز به ترتیب معادل ۱۴/۸، ۲۳/۷۱، ۲۶/۶۸، ۳۷/۵۲ و ۴۷/۰۳ درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. همین افزایش در نمونه‌های ۷ روزه و ۹۰ روزه نیز تکرار می‌شود. به گونه‌ای که افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه بتن حاوی نانو TiO_2 با درصدهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نسبت به بتن شاهد به ترتیب برابر با ۱۳/۵۹، ۱۹/۳۳، ۲۴/۲۲، ۳۷/۴۶ و ۴۹/۱۲ درصد به دست آمده است. همچنین افزایش مقاومت فشاری بتن حاوی نانودی اکسید تیتانیوم ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد در سن ۹۰ روز به ترتیب معادل ۱۵/۵۱، ۱۲/۸، ۱۵/۴، ۱۰/۵۹، ۱۱/۱۷ درصد افزایش نسبت به سن ۲۸ روزه را نشان می دهد. این به آن معنی است که یک رابطه مستقیم بین افزایش درصد نانو TiO_2 و افزایش مقاومت فشاری وجود دارد.

می‌توان مشاهده کرد که با افزایش درصد نانودی اکسید تیتانیوم نیز میانگین جرم حجمی نمونه‌های حاوی نانو TiO_2 نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. افزایش میانگین جرم حجمی نمونه ها نسبت به نمونه شاهد و با توجه به درصدهای نانو TiO_2 تا ۲/۵ درصد می‌باشد. ملاحظه می‌شود که مقاومت فشاری آزمونه های ۷، ۲۸ و ۹۰ روز با درصدهای مختلف نانودی‌اکسید تیتانیوم، در تمامی حالات و با افزایش درصد نانو TiO_2، نسبت به مقاومت فشاری بتن شاهد افزایش می‌یابد.

جدول ۱- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری بتن در نانو دی اکسید تیتانیوم

ردیف	کد نمونه	سن نمونه (Day)	بار وارده (kg)	مقاومت فشاری (MPa)	جرم حجمی (kg/m^3)
۱	C0	۷	۳۷۲۴۰	۱۶/۵۵	۲۳۶۰
۲	T1	۷	۴۲۳۰۰	۱۸/۸۰	۲۳۷۰
۳	T2	۷	۴۴۴۰	۱۹/۷۵	۲۳۹۰
۴	T3	۷	۴۶۲۶۰	۲۰/۵۶	۲۴۰۰
۵	T4	۷	۵۱۱۹۰	۲۲/۷۵	۲۳۹۰
۶	T5	۷	۵۵۵۳۰	۲۴/۶۸	۲۴۲۰
۷	C0	۲۸	۵۶۸۳۵	۲۵/۲۶	۲۳۸۰
۸	T1	۲۸	۶۵۲۵۰	۲۹/۰۰	۲۴۰۰
۹	T2	۲۸	۷۰۳۱۵	۳۱/۲۵	۲۳۸۰
۱۰	T3	۲۸	۷۲۰۰۰	۳۲/۰۰	۲۴۲۰
۱۱	T4	۲۸	۷۸۱۶۵	۳۴/۷۴	۲۴۳۰
۱۲	T5	۲۸	۸۱۳۱۵	۳۶/۱۴	۲۴۲۰
۱۳	C0	۹۰	۶۶۹۴۰	۲۹/۷۵	۲۳۷۵
۱۴	T1	۹۰	۷۵۳۷۵	۳۳/۵۰	۲۳۹۰
۱۵	T2	۹۰	۷۹۳۲۵	۳۵/۲۵	۲۴۲۰
۱۶	T3	۹۰	۸۳۱۰۰	۳۶/۹۳	۲۴۱۰
۱۷	T4	۹۰	۸۶۴۵۰	۳۸/۴۳	۲۴۳۰
۱۸	T5	۹۰	۹۰۵۰۰	۴۰/۱۸	۲۴۳۵

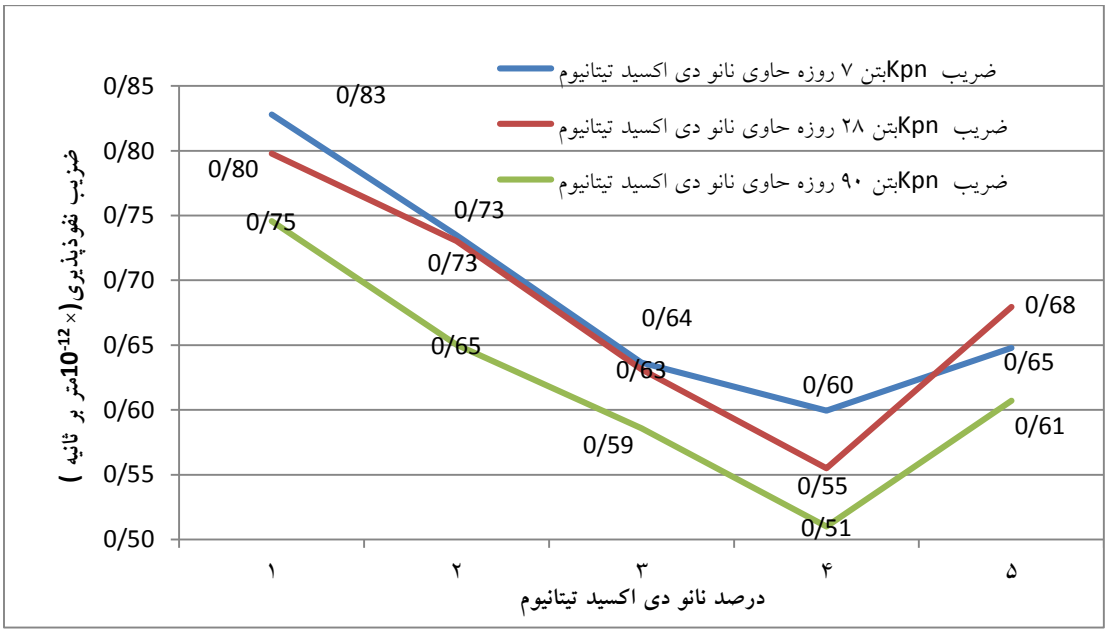


درصد نانو دی اکسید تیتانیوم	0	1	2	3	4	5
مقاومت فشاری ۷ روزه بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم (مگاپاسکال)	16/55	18/8	19/75	20/56	22/75	24/68
مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم (مگاپاسکال)	25/26	29	31/25	32	34/74	36/14
مقاومت فشاری ۹۰ روزه بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم (مگاپاسکال)	29/75	33/5	35/25	36/93	38/43	40/18

شکل ۳- مقایسه مقاومت فشاری طرح اختلاط حاوی نانو دی اکسیدتیتانیوم با درصدهای مختلف (مگاپاسکال)

برای تعیین میزان عمق نفوذ آب در بتن نمونه ها طبق استاندارد DIN1048- ISO 7031 در سنین ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روزه تحت آزمایش نفوذ پذیری با اعمال فشار ۱۰ بار قرار گرفتند. لازم به ذکر است که نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت، در دستگاه تست نفوذپذیری قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که عمق نفوذپذیری آب در بتن وضریب نفوذپذیری آن با افزودن نانو دی اکسید تیتانیوم تا ۴ درصد وزنی سیمان طرح اختلاط به صورت نزولی کاهش می‌یابد. اما افزودن ۵ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم به طرح اختلاط روند نزولی کاهش عمق نفوذپذیری آب در بتن وضریب نفوذپذیری آن متوقف می‌نماید.

عمق نفوذ آب در نمونه شاهد در سن ۷ روز برابر ۹۸ میلی متر و در سن ۲۸ روزه برابر با ۸۳ میلیمتر ودر سن ۹۰ روزه برابر۷۶ میلیمتر می‌باشد. این مقادیر معادل ۱۸/۰۷ درصدکاهش عمق نفوذ آب در نمونه شاهد ۲۸ روزه را نسبت به سن ۷ روز نشان می دهد. کاهش عمق نفوذ آب در نمونه های ۷، ۲۸ و۹۰ روزه بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم با درصدهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نسبت به بتن شاهد به ترتیب برابر با ۲۰/۹۸، ۲۸/۹۴، ۴۰/۰۰، ۵۸/۰۶ و ۴۶/۲۶ درصد و ۱۲/۱۶، ۲۲/۰۵، ۳۳/۸۷، ۴۳/۱۰ و ۳۱/۷۴ و همچنین ۱۶/۹۲، ۲۶/۶۶، ۴۰/۷۴، ۵۲/۰۰و ۳۵/۷۱ درصد به دست آمده است. این به آن معنی است که یک رابطه مستقیم و منظم بین افزایش درصد نانودی اکسید تیتانیوم و کاهش عمق نفوذ آب در نمونه های حاوی نانودی اکسید تیتانیوم تا ۴ درصد وزنی سیمان وجود دارد و با افزایش درصد نانو دی اکسید تیتانیوم بیشتر از ۴ درصد این رابطه مستقیم ومنظم از بین می رود.



شکل ۴- مقایسه نفوذپذیری بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم

عمق نفوذ آب در نمونه شاهد در سن ۹۰ روزه ۲۸/۹۴درصد نسبت به نمونه ۷ روزه و ۹/۲۱ درصد نسبت به نمونه ۲۸ روزه کاهش نشان می‌دهد. دیده می‌شود که عمق نفوذ آب درنمونه های حاوی نانودی اکسید تیتانیوم ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد در سن ۲۸ روز به ترتیب معادل ۹/۴۵، ۱۱/۷۶، ۱۲/۹۰، ۶/۸۹ و۱۵/۵۱ درصد کاهش نسبت به سن ۷ روز را نشان می‌دهد. همچنین کاهش عمق نفوذ آب در نمونه‌های بتن حاوی نانودی اکسید تیتانیوم ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد در سن ۹۰ روز به ترتیب معادل ۱۳/۸۴، ۱۳/۳۳، ۱۴/۸۱، ۱۶/۰۰، ۱۲/۵۰ درصد کاهش نسبت به سن ۲۸ روزه را نشان می-دهد. تغییرات ضریب نفوذپذیری با درصد نانون دی اکسید تیتانیوم برای نمونه‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نسبت به بتن شاهد در شکل ۵ ارائه شده است.

در نمودار ۵، ضریب نفوذپذیری بتن حاوی نانودی‌اکسید تیتانیوم براساس درصدهای مختلف نانو دی اکسید تیتانیوم وسن بتن مقایسه شده است. ضریب نفوذپذیری با استفاده از قانون دارسی (رابطه‌ی ۱)، که در وضعیت‌های جریان حالت ثابت پایدار می‌باشد، قابل

محاسبه است. براساس قانون دارسی، ضریب نفوذپذیری یک نمونه آزمایشی، با استفاده از معادله‌ی زیر بدست می‌آید [۲۵].

$$K = \frac{Q.L}{A.H.T} \quad (۱)$$

که در آن:

K: ضریب نفوذپذیری (متر بر ثانیه)

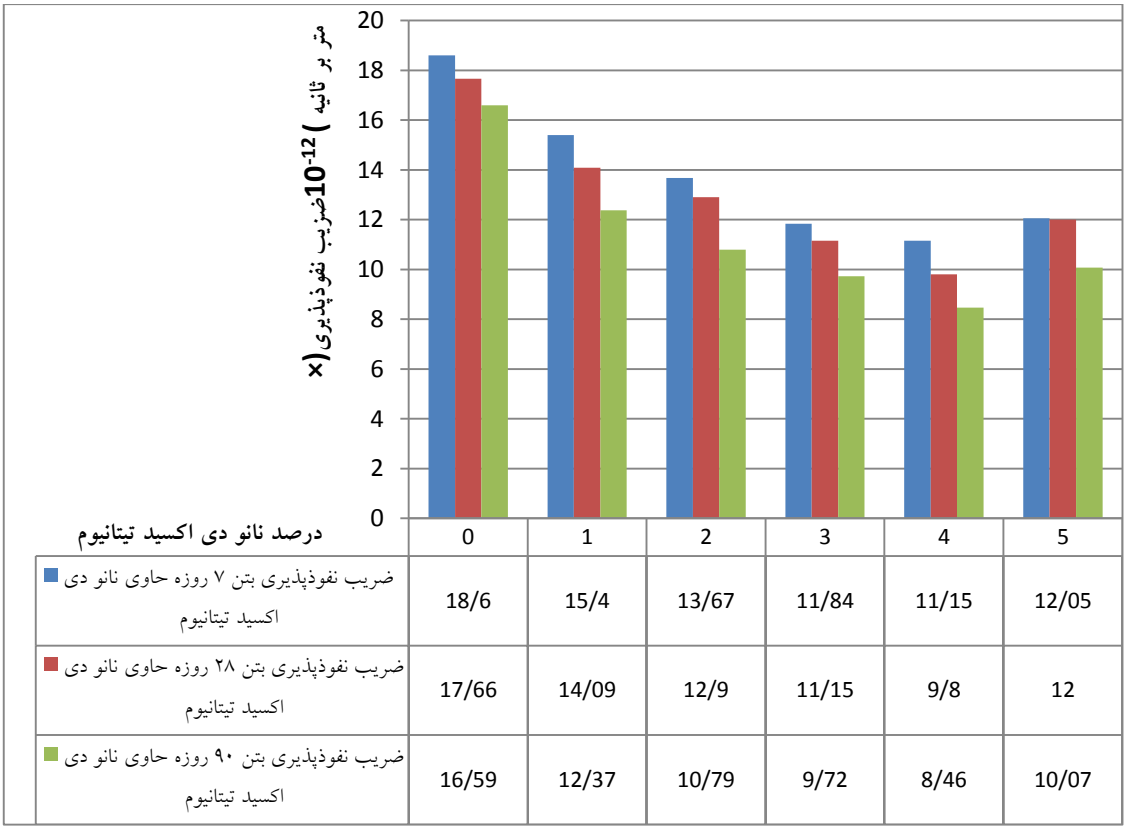
Q: میزان آب نفوذ کرده در نمونه در طول آزمایش (مترمکعب)

A: مساحت وجه نمونه که در معرض جریان آب قرار گرفته است (متر مربع)

H: فشار اعمالی بر سطح نمونه (متر)

T: طول مدت زمانی که تخلیه براساس آن اندازه‌گیری می‌شود (ثانیه)

طرح اختلاط شامل ۴ درصد نانو و در سن ۹۰ روز دارای کمترین مقدار و برابر $۰/۵۱\times۱۰^{-۱۲}$ متر بر ثانیه می‌باشد. بطور کلی بر اساس نمودار با افزایش نانو دی اکسید تیتانیوم تا ۴ درصد وزن سیمان وهمچنین افزایش سن بتن ضریب نفوذپذیری بتن حاوی دی‌اکسید تیتانیوم کاهش می‌یابد و در این مقدار بهینه می‌شود.



درصد نانو دی اکسید تیتانیوم	0	1	2	3	4	5
ضریب نفوذپذیری بتن ۷ روزه حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم	18/6	15/4	13/67	11/84	11/15	12/05
ضریب نفوذپذیری بتن ۲۸ روزه حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم	17/66	14/09	12/9	11/15	9/8	12
ضریب نفوذپذیری بتن ۹۰ روزه حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم	16/59	12/37	10/79	9/72	8/46	10/07

شکل ۵- مقایسه ضریب نفوذپذیری بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم نسبت به بتن بدون نانو دی اکسید تیتانیوم

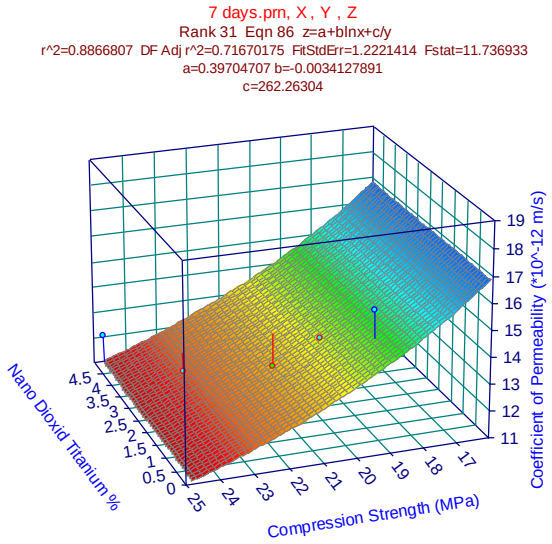
در شکل‌های ۶ الی ۸ نمودار سه بعدی مقایسه بین ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم به ترتیب ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روزه آورده شده است. در این شکلها K_p، ضریب نفوذپذیری بتن بر حسب متر بر ثانیه، F_c مقاومت فشاری بتن بر حسب مگاپاسکال و T، درصد نانو دی اکسید تیتانیوم اضافه شده به نمونه‌ی بتنی می‌باشد.

روابط ۲ تا ۴، با استفاده از نرم افزار Table Curve و بر مبنای بهترین و ساده‌ترین برازش، جهت پیش بینی ضریب نفوذپذیری بتن، برحسب درصد نانو دی‌اکسید تیتانیوم و مقاومت فشاری بتن ارائه شده است [۲۶].

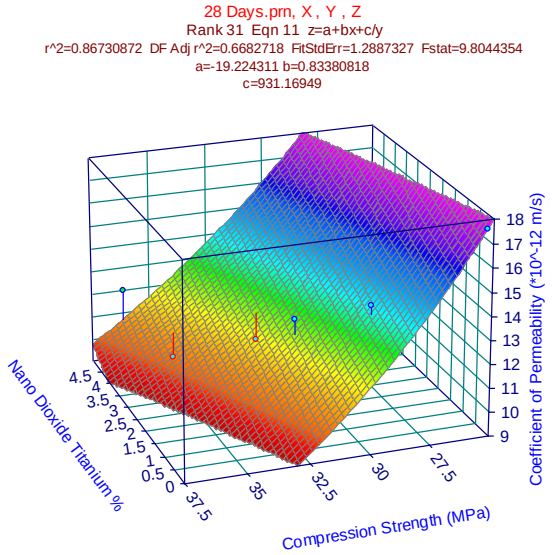
$$K_p = 0.4 + 0.003 + 352.86\ln T + \frac{262.3}{F_c} \quad (۲)$$

$$K_p = -19.22 + 0.83T + \frac{931.2}{F_c} \quad (۳)$$

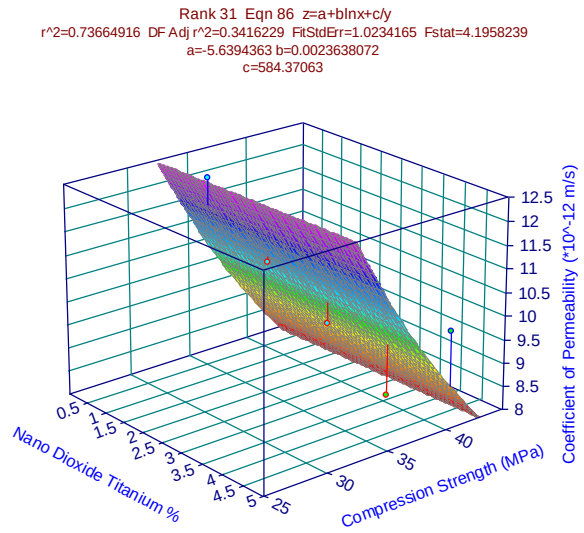
$$K_p = -5.64 + 0.002\ln T - \frac{584.4}{F_c} \quad (۴)$$



شکل ۶- تغییرات ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن ۷ روزه حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم



شکل ۷- تغییرات ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم



شکل ۸ - تغییرات ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن ۹۰ روزه حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از مصالح شن و ماسه معدن مرادی واقع در دوکوهک از توابع شهر شیراز استان فارس، سیمان تیپ ۲ فارس، نانودی اکسید تیتانیوم و آب آشامیدنی، نمونه‌های شاهد و حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم در ۶ طرح ساخته شد. سپس بر روی نمونه-های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر، تست مقاومت فشاری و تست نفوذپذیری در برابر آب در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد. به طور کلی نتایج آزمایشات نشان دادند که کاربرد نانودی اکسید تیتانیوم باعث بهبود خواص مقاومت فشاری و نفوذپذیری بتن می گردد که در ذیل به آنها اشاره می‌شود.

مقایسه بین نتایج بدست آمده از مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم نشان می‌دهد مقاومت فشاری تمامی نمونه ها دارای نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، دارای مقاومتی بیشتر از نمونه شاهد می‌باشند. طوری که بیشترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌ی T5 می‌باشد که در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب ۳۵، ۴۷/۰۳، ۴۹/۱۲ مگاپاسکال می‌باشد. دلیل بهبود رفتار و ویژگی‌های نانوذرات در ماتریس بتن را می‌توان به مکانیزم سه گانه تاثیر این مواد در ماتریس مصالح پایه سیمانی مرتبط دانست. این مکانیزم سه گانه را به صورت زیر می‌توان بیان داشت:

الف) وقتی مقدار کمی از نانو ذرات به صورت همگن در ملات یا خمیر سیمان پخش شوند نانوذرات با توجه به سطح ویژه بسیار بالایشان و در نتیجه‌ی ، انرژی سطحی بسیار زیاد به مانند هسته اتم عمل کرده و یک چسبندگی قوی با سیمان هیدراته شده ایجاد می‌کنند که به آن اثر هسته‌ای گویند. در نتیجه این اثر به دلیل واکنش پذیری بالا، روند هیدراته شدن ادامه می‌یابد و مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابند.

ب) نانو ذرات در بین محصولات هیدراسیون با کلسیم هیدروکسید $Ca(OH)_2$ واکنش داده و از رشد بیشتر این بلورها جلوگیری می کند. که در نتیجه این واکنش ژل متراکم کلسیم- سیلیکات- هیدرات (C-S-H) تولید گشته وملات و خمیر سیمان، ساختار متراکم تری پیدا خواهند کرد. این اثر شبیه به عملکرد پوزلان ها می‌باشد.

ج) خاصیت ریزپرکنندگی نانوذرات به مانند پوزولان‌ها که البته به دلیل ریزی بسیار زیاد این مواد نسبت به پوزولان ها، شدت بیشتری دارد.که در نتیجه این عمل نانوذرات خلل و فرج بتن و حتی خلل و فرجی که در ابعاد نانومتر است را پر می‌کنند که این مورد دوم از مزایای نانوذرات نسبت به پوزولان‌های معمولی می‌باشد .پس این روش نیز به ایجاد ساختاری متراکم‌تر در ملات و خمیر سیمان و در نتیجه افزایش مقاومت‌های مکانیکی آن از جمله مقاومت فشاری کمک شایانی می کند.

د) در تمامی نمونه‌ها ضریب نفوذ پذیری و همچنین عمق نفوذ آب در مقایسه با به نمونه شاهد کاهش یافته است.

ه) ضریب نفوذپذیری بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم تا ۴ درصد وزنی سیمان به صورت نزولی کاهش می‌یابد و بعد از این مقدار، روند نزولی آن متوقف می‌گردد. در سن ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بتن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم بیشترین ضریب نفوذپذیری مربوط به نمونه‌ی T4 و به ترتیب برابر با $۱۱/۱۵\times۱۰^{-۱۲}$ ، $۹/۸\times۱۰^{-۱۲}$ و $۸/۴۶\times۱۰^{-۱۲}$ متر بر ثانیه می‌باشد.

و) کاهش نفوذپذیری با افزایش نانو دی اکسید تیتانیوم تا ۴ درصد وزنی سیمان مربوط به کاهش ترک‌های ناشی از آب رفتگی بتن و پر شدن تخلخل هایی در ابعاد نانو میکرو بتن است.

٦- مراجع

[۱]. نویل، آدام، خواص بتن، مترجم هرمز فامیلی، انتشارات ابوریحان بیرونی، ۱۳۷۸.

[2]. DIN 1048, Concrete harden – Determination of the depth of penetration of water under pressure, German National Standard, 1991.

[۳]. اسدی، محمد، فهیم، جواد، منشی، احمد و جهانبخش سفیدی، محبوبه، بررسی تاثیر افزودنی نانو سیلیس بر خواص مکانیکی و ریز ساختاری خمیر سیمان پرتلند، ماهنامه علمی تخصصی سیمان، صفحه‌ی ۷۹-۸۴، ۱۳۹۰.

[۴]. بهادری، هادی و بوشهریان، عباس، کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در روسازی‌های بتنی در جهت بهبود ویژگی‌ها و ایجاد خاصیت فوتوکالیستی در بتن، سومین همایش تخصصی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۳۷۸.

[۵]. راستگوی حقی، سیده هدا و مظهر سرمدی، نسترن، فن آوری نانو و کاربرد آن در بهبود خواص بتن و فلزات، همایش ملی مقاوم سازی ایران، یزد، ۱۳۹۱.

[۶]. کالوندی، سید محسن، رضایی، مهلا، رهگذر، محمدرضا، بررسی برخی خواص مهندسی بتن معمولی حاوی نانوآلومینا و

نانوسیلیس، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل، دانشگاه نوشیروانی بابل، ۱۳۹۳.

[۷]. رضایی فر، امید، بوستانی، مریم و وکیلی، خدیجه، بررسی اثرات استفاده از بتن دارای دی اکسید تیتانیوم بر بهبود کیفیت هوا، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق، مکانیک ایران، گروه آموزش و پژوهش شرکت مهندسی بارو گستر پارس با همکاری آکادمی آکسفورد سرت انگلستان، گرگان، ۱۳۹۴.

[۸]. حیدری باغعوضی، سمیرا، کیانپور، محسن و شهرآبادی عباس، خواص فتوکاتالیستی و آب دوستی نانوذره دی اکسید تیتانیوم در تصفیه آب و بررسی روش های سنتز آن، اولین همایش ملی توسعه تکنولوژی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، موسسه علمی نفت پژوهان جنوب، اهواز، ۱۳۹۰.

[9]. Li, H., Zhang, M.H., and Ou. J.P., Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement. International Journal of fatigue 29(7), 1292-1301, 2007.

[۱۰]. گلابچی، محمود، تقی زاده، کتایون و سروش نیا، احسان، نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.

[۱۱]. خجسته بند، حامد، سهرابی، محمدرضا، صمیمی عبدالرضا، بررسی اثر نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۸.

[12]. Nazari, A., Riahi, Sh., Abrasion resistance of concrete containing SiO_2 and Al_2O_3 nanoparticles indifferent curing media. Energy and Buildings (43), 2939–2946, 2011.

[13]. Jalal, M., Fathi, M., Mohammad Farzad, M., Effects of fly ash and TiO_2 nanoparticles on rheological, mechanical, microstructural and thermal properties of high strength self compacting concrete. Mechanics of Materials (61), 11–27, 2013.

[14]. Najigivi, A., Khaloo A., and Abdul Rashid, S. Investigating the effects of using different types of SiO2 nanoparticles on the mechanical properties of binary blended concrete. Composites Part B: Engineering, (54), 52-58, 2013.

[15]. Abdelzaher, M. A., Asmaa S. Hamouda, Ibrahim M. Ismail, and M. N. El-Sheikh. Nano Titania Reinforced Limestone Cement: Physico-Mechanical Investigation. Key Engineering Materials 786 (2018).

[16]. Balboul, Basma AA, Mohamed Abdelzaher, Asmaa S. Hamouda, and A. H. Zaki. Nano Titania combined with micro silica reinforced limestone cement: Physico mechanical Investigation. Egyptian Journal of Chemistry (2019).

[17]. Nazari, Ali, and Shadi Riahi. The effects of TiO2 nanoparticles on physical, thermal and mechanical properties of concrete using ground granulated blast furnace slag as binder. Materials Science and Engineering: A 528, no. 4-5, 2085-2092, 2011.

[18]. Oltulu, Meral, and Remzi Şahin. Single and combined effects of nano-SiO_2, nano-Al_2O_3 and nano-Fe_2O_3 powders on compressive strength and capillary permeability of cement mortar containing silica fume. Materials Science and Engineering: A 528, no. 22-23 7012-7019, 2011.

[۱۹]. گلستان، احمدرضا و حاجیانی بوشهریان، علیرضا، بررسی کاربرد الیاف فلزی تولید داخل در بتنهای ویژه الیاف فلزی و تأثیر آن بر پارامترهای نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن، مجله‌ی تحقیقات بتن، سال نخم، شماره‌ی دوم، صفحه‌ی ۱۲۱-۱۱۱، ۱۳۹۵.

[20]. Aliabdo, Ali A., Abd Elmoaty M. Abd Elmoaty, and Ahmed M. Fawzy. Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials 193, 105-127, 2018.

[21]. Sun, Junbo, Junfei Zhang, Yunfan Gu, Yimiao Huang, Yuantian Sun, and Guowei Ma. Prediction of permeability and unconfined compressive strength of pervious concrete using evolved support vector regression. Construction and Building Materials 207, 440-449, 2019.

[۲۲]. مستوفی نژاد، داود، تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، ارکان، چاپ ششم، ۱۶۹ صفحه، ۱۳۸۲.

[۲۳]. رئیس قاسمی، امیرمازیار و پرهیزکار، طیبه، نانوتکنولوزی و کاربرد ذرات نانودی‌اکسید تیتانیوم در بتن با ملات، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

[24]. British Standard. Testing Concrete, Recommendations for the measurement of dynamic modulus of elasticity. BSI 881: Part 209: 1990.

[25]. Lampacher, B. J., and G. E. Blight. Permeability and sorption properties of mature near-surface concrete. Journal of materials in civil engineering 10, no. 1, 21-25, 1998.

[26]. Table Curve 3D, Microsoft Software Company, URL: http:/www.sasat.com/, 2002.

Effect of Nano Titanium Dioxide on the Permeability and Compression Strength of Concrete

Hamidreza Esmaeili
M.Sc. in Structural Enginering, Islamic Azad University, Boroujerd Branch.
Alireza Hajiani Boushehrian *
Assistant Professor, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Shiraz Branch.

Abstract

The improvement properties of concrete such as strength and durability are functions of number, type, size and the way of void connections in hardened cement paste. The permeability parameter has an important role in structures such as tanks and water concrete reservoirs. In the other side, seep the destructive materials into the concrete decrease the concrete compression strength. So for prediction the concrete durability are two basic properties. Nowadays utilization of various additives for increasing the durability and quality of concrete has been growth. Nanostructure materials, based on the special behavior characteristics, are widely used in industrial division. In this study the effect of Titanium dioxide Nano materials on the concrete compression strength and permeability has been investigated. The mix design utilized in tests has been prepared with the water-cement ratio equal to 0.5 and cement content value equal to 40 kg/m^3. In addition by adding the nanoparticles with various percent into mix design, new concrete mixtures have been produced. The experimental results indicate that adding the Titanium dioxide particles up o optimum percent into concrete, causes the significant increase in compression strength and noticeable decrease in concrete permeability with respect to evidence samples. Adding the particles more than optimum percent makes reduction in the concrete compression strength in comparison with the sample with optimum percent. Some applicable relationships have been presented in this study to predict the compression strength and permeability of concrete versus various Nano particles percent.

Keywords: Nano Titanium Dioxide, Concrete Permeability, Compression strength.

* Corresponding Author: ahajiani@gmail.com