

Effect of Iron Concentrate on Permeability and Compressive Strength of Concrete

*Reza Mohammadpour**

Assistant professor, of department of civil engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban

Shafi odin javadi

Department of civil engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban

Abstract

One of the most important issues in the design of concrete structures that are exposed to water is the reduction of permeability and water proofing. The innovation of this research is using iron concentrate as an inexpensive material for reduction of permeability. To determine permeability coefficient and compressive strength of concrete, 140 cubic samples with 7 mixing plan and different iron concentrate percentage (between 5 to 30%) have been studied in the laboratory. The results showed that the addition of iron concentrate has a significant effect on permeability reduction where for 5% to 10% iron concentrate, the permeability coefficient decreases from 78.76% to 96.44%, respectively. On the other hand, the compressive strength of concrete decreases with increasing iron concentrate. A comparison between the compressive strength and permeability diagrams showed that the optimal value of iron concentrate is between 5 to 15% by weight of cement. The failure results of the samples show that the percentage of iron concentrate has no effect on the failure of concrete.

Keywords: Iron Concentrate, Concrete Permeability, Compressive Strength, Hydraulic Structures, Penetration Rat

بررسی تاثیر کنسانتره آهن بر نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن

دریافت مقاله: ۲۶-۰۸-۱۳۹۹

پذیرش مقاله: ۰۱-۰۹-۱۴۰۰

رضا محمد پور*

استادیار گروه آب واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

Reza564@gmail.com

شفیع الدین جوادی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

چکیده

یکی از مسائل بسیار مهم در طراحی سازه‌های بتنی که در معرض آب قرار دارند کاهش نفوذپذیری و آب‌بند کردن بتن است. نوآوری این تحقیق استفاده از کنسانتره آهن به عنوان یک ماده ارزان قیمت جهت کاهش نفوذپذیری می باشد. جهت بررسی آزمایشگاهی ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن، تعداد ۱۴۰ نمونه مکعبی با ۷ طرح اختلاط و درصدهای مختلف کنسانتره بین ۵ تا ۳۰ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن کنسانتره تاثیر بسزایی در کاهش نفوذ پذیری بتن دارد و به ازاء ۵٪ الی ۱۰٪ کنسانتره، میزان ضریب نفوذپذیری به ترتیب ۷۶/۷۸٪ الی ۹۶/۴۴٪ کاهش می یابد. از طرفی، با افزایش کنسانتره، میزان مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد. مقایسه همزمان نمودارهای مقاومت فشاری و نفوذپذیری نشان داد که بهینه ترین میزان مصرف کنسانتره آهن بین ۵ الی ۱۵ درصد وزنی سیمان می باشد. نتایج شکست نمونه های نشان می دهد که میزان درصد کنسانتره تاثیری بر نحوه شکست بتن نخواهد داشت. واژه های کلیدی: کنسانتره آهن، نفوذ پذیری بتن، مقاومت فشاری، سازه های هیدرولیکی، نرخ نفوذ.

امروزه بتن به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین مصالح جهان و به‌عنوان ماده ساختمانی قرن بیست و یکم شناخته‌شده است. از سوی دیگر از مشکلات مهم در طراحی سازه‌های هیدرولیکی که عموماً بتنی بوده و در معرض آب قرار دارند، بحث نفوذپذیری و آب‌بند کردن بتن است. پرواضح است عمده مشکلات بتن از منظر دوام را می‌توان به نفوذپذیری در برابر گاز و آب نسبت داد. از این رو بدیهی است که با کنترل و کاهش نفوذ آب به درون بتن می‌توان تا حدود زیادی بتن را در برابر عوامل مخرب حفظ نمود. ضمن اینکه در برخی سازه‌ها با توجه به فشار هیدروستاتیکی بالا نیازمند بتن آب‌بند است و آب‌بند بودن بتن جزء اصول طراحی آن‌ها به‌شمار می‌آید. امروزه اضافه کردن مواد جدید به بتن جهت کاهش نفوذپذیری رواج چشمگیری داشته و بررسی اثر این مواد بر خواص بتن از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های آب‌بند کردن سازه‌های آبی استفاده از افزودنی‌های آب‌بندکننده و یا پرایمرها و پوشش‌های آب‌بندکننده است که معمولاً دارای هزینه‌های بالایی هستند. بنابراین، استفاده از موادی که هزینه آن‌ها پایین بوده و به راحتی در دسترس باشد، دارای اهمیت می‌باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش به بررسی تأثیر کنسانتره آهن بر نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن پرداخته‌شده است.

حسنى و آزادى [۱] جهت کاهش نفوذپذیری بتن غلتکی از دوده سیلیسی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که جایگزینی دوده سیلیس به جای سیمان باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتن غلتکی می‌گردد. باقری و بابایی [۲] به منظور بهبود دوام و خواص مقاومتی بتن پلاستیک به بررسی تأثیر کاربرد درصد‌های مختلف دوده سیلیسی پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که کاربرد دوده سیلیسی باعث افزایش مقاومت در بتن‌های پلاستیک و کاهش ضریب نفوذپذیری می‌شود. شیرگیر و همکاران [۳] در تحقیقی تأثیر نوع دانه بندی بر خواص فیزیکی و نفوذپذیری بتن متخلخل در روسازی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که نوع دانه بندی می‌تواند مقاومت فشاری را تا حدود ۳۳ درصد تغییر دهد و با کاهش قطر ذرات نفوذپذیری نیز کاهش می‌یابد. خوشروش و همکاران [۴] به بررسی عملکرد خاکستر لجن فاضلاب به همراه نانوذرات سیلیس در خواص مصالح پایه سیمانی خود تراکم پرداختند. آنها نشان دادند که با افزودن خاکستر لجن فاضلاب، خواص رئولوژیک و مکانیکی نمونه‌ها افت پیدا کرده و خواص دوامی آنها در حضور درصد‌های پایین این پزولان بهبود می‌یابد و با افزودن نانوسیلیس نیز خواص مکانیکی و دوامی نمونه‌ها بهبود می‌یابد. همچنین حضور نانوسیلیس در کنار ذرات خاکستر لجن باعث افزایش واکنش پذیری این پزولان شده و عملکرد این ماده را بهبود می‌بخشد. عازمی [۵] برای بهبود خواص دوام و مقاومتی دیوارهای آب‌بند بتن پلاستیکی اقدام به تغییر منابع کانی رس و درصد رس مصرفی کرد. این بررسی نشان داد که مقاومت فشاری نسبت مستقیم با زمان عمل‌آوری و نسبت عکس با درصد رس دارد. همچنین میزان عمق نفوذ آب معمولاً با افزایش زمان عمل‌آوری و عیار رس کاهش می‌یابد. محمدی و عزتی [۶] به بررسی تأثیر نانوسیلیس بر نفوذپذیری بتن خود متراکم در محیط سولفات‌ها پرداختند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بود که افزودن نانوسیلیس می‌تواند بر خواص مکانیکی بتن خود متراکم تأثیرگذار باشد و همچنین دوام بتن را در برابر عامل مخرب سولفات‌ها افزایش دهد. آنها نشان دادند که نانوسیلیس تخلخل در سیمان هیدراته را به وسیله ی پر کردن فضاهای خالی بین ذرات به حداقل رسانده و نفوذپذیری را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. آوریده [۷] به بررسی نفوذپذیری بتن با افزودنی پودر سنگ آهک در برابر یون کلر پرداخت و نشان داد افزودن ۱۵٪ پودر سنگ آهک تأثیر مطلوبی بر کاهش نفوذ یون کلرید و میزان جذب آب و عمق نفوذ آب دارد. صفایی [۸] به تأثیر الیاف پلی پروپیلن و سیلیکات سدیم بر نفوذپذیری و مقاومت تک محوری بتن پلاستیک پرداخت. در این تحقیق نشان داده شد که الیاف پلی پروپیلن و سیلیکات سدیم باعث افزایش مقاومت تک محوری و کاهش نفوذپذیری می‌شود. تحقیق مشابهی در خصوص تأثیر الیاف پلی پروپیلن توسط شیخ رشی [۹] انجام شد و نتایج مشابهی در خصوص تأثیر بر خواص دوام و

مقاومتی بتن حاصل گردید. مردان [۱۰] به تاثیر نانوسیلیس بر استحکام فشاری و نفوذپذیری و دوام بتن پرداخت و بیان کرد که تولید بتن با استفاده از میکروسیلیکا و نانوسیلیکا به عنوان جایگزین جزئی از سیمان امکان پذیر است و باعث بهبود خواص دوام و مقاومت فشاری آن می شود. در تحقیق دیگری موسوی و قره داغی [۱۱] به بررسی اثر نانوتیوب کربنی و ابروژل سیلیس بر مقاومت فشاری، دوام و انتقال حرارت بتن پرداختند و نتیجه گرفتند که ترکیبی از دو ماده نانوتیوب کربنی و ابروژل سیلیکا علاوه بر بهبود شرایط مقاومت و دوام، باعث کاهش ضریب انتقال حرارت در بتن می گردد. بهفرنیا و رستمی گله دار [۱۲] تاثیر نسبت محلول قلیایی به سرباره بر نفوذپذیری بتن قلیا فعال سرباره ای را مورد بررسی قرار دادند. آنان نشان دادند که نسبت های محلول قلیایی به سرباره برابر با ۰/۴۵ و ۰/۵ برای تولید بتن قلیا فعال سرباره ای از لحاظ دوام و نفوذپذیری مقادیر بهینه می باشند. قربانی و همکاران [۱۳] در تحقیق خود به بررسی مقاومت فشاری و نفوذپذیری در بتن های خود تراکم با و بدون رنگ پلی اورتان پرداختند و نشان دادند با افزایش این نانو مواد، مقاومت فشاری افزایش و نفوذپذیری کاهش می یابد.

کنسانتره آهن یکی از محصولات ثانویه تولید شده از سنگ آهن است و هدف از تولید آن پرعیارسازی سنگ آهن کم عیار و بی کیفیت است تا از این طریق سنگ آهن های باطله و بلا استفاده را مجدداً به چرخه تولید بازگردانند. کنسانتره به پودری اطلاق می شود که از سنگ آهن استحصال شده و کاملاً سیاه و در صنایع مختلف مرتبط با ذوب آهن بکار برده می شود و برای تولید انواع گندله آهن، آهن اسفنجی و یا سایر محصولات فلزی بکار می رود. کنسانتره آهن با بافتی ریز مشابه بافت بنتونیت و با پایه طبیعی قادر است منافذ ریز بتن را پر کرده و به دلیل عدم چسبندگی زیاد از لخته شدن سیمان در بتن جلوگیری کند و به صورت یکنواخت همراه با سیمان در سراسر بتن پخش شود. در نتیجه انتظار می رود میزان نفوذ پذیری بتن را به مقدار بسیار زیادی کاهش دهد.

بررسی تحقیقات پیشین نشان می دهد که تاکنون تحقیقی در رابطه به تاثیر کنسانتره آهن صورت نگرفته لذا بررسی تاثیر آن بر میزان نفوذ پذیری و مقاومت فشاری بتن بسیار حائز اهمیت می باشد. از طرفی در پژوهش هایی که هدف آنها تولید بتن آب بند بوده معمولاً از بتن پلاستیک استفاده شده است که دارای مقاومت فشاری چندانی نمی باشد. لذا استفاده از بتنی که علاوه بر مقاومت فشاری کافی دارای ضریب نفوذ پذیری کمی باشد در پروژه هایی آبی بسیار ضروری می باشد.

در این تحقیق، برای بررسی میزان تاثیر کنسانتره آهن به عنوان فیلر بر ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری یکسری مطالعه آزمایشگاهی انجام شده است. مجموعاً تعداد ۱۴۰ نمونه مکعبی با ۷ طرح اختلاط متفاوت و درصد های متفاوت کنسانتره مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. در انتها تاثیر درصد های متفاوت کنسانتره بر میزان نفوذپذیری و مقاومت فشاری بصورت نمودار ارائه شده تا میزان بهینه مصرف کنسانتره بدست آید.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱- معرفی مصالح مصرفی و طرح اختلاط بتن

در این تحقیق ۷ نوع طرح اختلاط مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت که در تمامی طرح اختلاط ها مقدار کنسانتره تغییر پیدا کرده است. همچنین تغییر درصد استفاده از کنسانتره آهن بر ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱ نمونه ای از کنسانتره آهن و دیپوی آن در کارخانه تولید کنسانتره آهن نشان داده شده است.

جهت طرح اختلاط بتن از سیمان تیپ ۲ کرمان، آب آشامیدنی شهر سیرجان، شن و ماسه شهر ریزاب قطرویه و کنسانتره آهن تولید شده در شرکت سنگ آهن گهر زمین سیرجان استفاده شده است. طرح اختلاط مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. در کلیه طرح های اختلاط، مقدار سیمان ثابت و برابر 400 Kg/m^3 و همچنین نسبت آب به سیمان برابر با ۰/۴۲ برای حصول مقاومت فشاری C25 در نظر گرفته شده است. کنسانتره آهن همان

طور که در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به بافت بسیار ریز و خواص خمیری آن که فاقد PI می باشد به عنوان فیلر با درصدهای مختلف به بتن افزوده شد. آزمایشات فوق در محل آزمایشگاه خاک و بتن پروژه خط ۳ کنسانتره گهرزمین انجام گرفت.



شکل ۱- کنسانتره آهن: الف) نمونه کنسانتره آهن ب) دیو کنسانتره آهن در کارخانه

جدول ۱- طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق

نمونه	کنسانتره	جذب آب	آب	کنسانتره آهن	سیمان	ماسه شسته	شن بادامی	شن نخودی
	(%)	(Lit)	(Lit)	(Kg)	(Kg/m ³)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
C0	۰	۳۰.۱۶	۱۶۸	۰/۰۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸
C5	۵	۳۰.۶۸	۱۶۸	۲۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸
C10	۱۰	۳۱.۲	۱۶۸	۴۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸
C15	۱۵	۳۱.۷۲	۱۶۸	۶۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸
C20	۲۰	۳۲.۲۴	۱۶۸	۸۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸
C25	۲۵	۳۲.۷۶	۱۶۸	۱۰۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸
C30	۳۰	۳۳.۲۸	۱۶۸	۱۲۰	۴۰۰	۹۹۰	۳۸۸	۳۸۸

جدول ۲- مشخصات توزیع دانه بندی کنسانتره تولیدی شرکت گهرزمین سیرجان

مشخصات دانه بندی (mic)	درصد وزنی تجمعی عبوری از سرنده ((%) passing)	درصد وزنی مواد باقی مانده روی سرنده ((%) .Wt)	سایز دهانه سرنده (Screen) (Size(mic))
d₉₇=182	۵۸.۹۸	۴۲.۱	۲۱۲
	۲۸.۹۵	۲۹.۳	۱۵۰
	۱۰.۸۸	۱۹.۷	۱۰۶
d₈₀=81	۹۸.۷۷	۱۲.۱	۷۵
	۵۴.۷۱	۴۵.۶	۶۳
	۳۸.۶۵	۱۶.۶	۵۳
	۹۵.۵۸	۴۳.۶	۴۵
d₅₀=35	۶۸.۵۲	۲۷.۶	۳۸
	۷۹.۴۱	۸۹.۱	۲۵
	۰	۷۹.۴۱	-۲۵

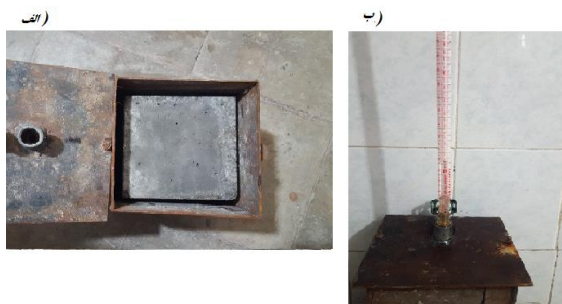
با توجه به اینکه در هر آزمایش احتمال خطا وجود دارد بنابراین تعداد نمونه های مکعبی ساخته شده در هر طرح اختلاط برابر با ۱۰ عدد می باشد. تعداد ۳ عدد از این نمونه ها برای بررسی میزان نفوذپذیری و تعداد ۷ نمونه باقی مانده ارزیابی مقاومت فشاری مورد استفاده قرار گرفته است. به این ترتیب که برای تعیین مقاومت فشاری نمونه های ۷ و ۲۸ روزه، از میانگین نتایج سه نمونه و برای نمونه ۹۰ روزه، تنها از نتایج یک نمونه استفاده شده است. در این تحقیق تعداد آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه ها ۱۴۰ عدد بوده که تعداد ۹۸ عدد برای آزمایش مقاومت فشاری (جدول ۳) و ۴۲ عدد جهت بررسی نفوذپذیری می باشد. شکل ۳ مراحل نمونه گیری و نمونه های مکعبی نهایی را نشان می دهد. لازم به توضیح است که جهت بررسی میزان نفوذ پذیری از نمونه های ۹۰ روزه استفاده شده است.



شکل ۲- (a) نمونه گیری بتن؛ (b) نمونه ها مکعبی در پایان نمونه گیری

۲-۲- آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری

روش کار جهت بررسی تاثیر کنسانتره آهن بر نفوذپذیری بتن، آزمایش بار افتان طبق استاندارد BS1377 و بدست آوردن ضریب نفوذپذیری می باشد که رابطه مستقیم با مقدار نفوذپذیری دارد. روش آزمایش بدین گونه است که نمونه ها را در حوضچه بتن جهت حفاظت و عمل آوری به مدت نود روز کاملاً غرق آب کرده تا نمونه به صورت کامل عمل آوری و اشباع گردد. سپس نمونه را داخل قالب دستگاه بار افتان گذاشته و بوسیله قیر آب بند کرده و بعد از شش ساعت قیر کاملاً سرد و جامد شده سپس قالب دستگاه در جای خود قرار داده و سپس با قیر منافذ آن را بسته تا هیچ گونه روزه ای برای فرار آب وجود نداشته باشد. سپس شیر آب را باز کرده و با استفاده از شیر هواگیری دستگاه کاملاً هواگیری می شود. در مرحله بعد نمونه را حدود هفت روز تحت گرادیان هیدرولیکی قرار داده و میزان تغییرات لوله پیرومتری را مورد بررسی قرار داده تا از اشباع بودن نمونه کاملاً مطمئن شده و از هر گونه خطایی جلوگیری شود (شکل ۳). سطح آب را درون لوله پیرومتر اندازه گیری کرده و ثبت می گردد، این بازه زمانی حدود سه هفته است. سپس با توجه به داده های بدست آمده و فرمول بار افتان ضریب نفوذ پذیری بدست می آید.



شکل ۳- (الف) نمای داخل دستگاه تست نفوذپذیری (ب) نمونه در حال آزمایش

فرمول بار افتان برای بدست آوردن ضریب نفوذپذیری به صورت رابطه (۱) است:

$$K = \frac{a \times l \times \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)}{A \times (T_2 - T_1)} \quad (1)$$

که در آن K (m/s) = ضریب نفوذپذیری؛ a (cm²) = سطح مقطع لوله پیژومتر؛ A (cm²) = سطح مقطع نمونه؛ l (m) = طول نمونه؛ T_1 (s) و T_2 (s) = به ترتیب زمان قرائت اول و دوم؛ H_1 (cm) و H_2 (cm) = اختلاف سطح آب مخزن خروجی و لوله پیژومتر به ترتیب در زمان T_1 و T_2 .

در این تحقیق برای بیان میزان کاهش مقاومت فشاری از دو پارامتر درصد کاهش مقاومت نسبت به نمونه اولیه (Rf) و درصد نرخ کاهشی (N) از روابط زیر استفاده شده است:

$$Rf = \frac{Fc_n - Fc_f}{Fc_f} \times 100 \quad (2)$$

$$N = \frac{Fc_{n-1} - Fc_n}{Fc_n} \times 100 \quad (3)$$

در این روابط Fc_f = مقاومت فشاری نمونه اولیه (بدون کنسانتره)؛ Fc_n = مقاومت فشاری نمونه مورد بررسی؛ Fc_{n-1} = مقاومت فشاری نمونه قبل.

۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

در این تحقیق آزمایش های مقاومت فشاری جهت کنترل میزان تغییرات مقاوت فشاری قبل و بعد از افزودن کنسانتره به بتن انجام شده است. بدین صورت که پس از گذشت زمانهای عمل آوری ذکر شده (۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه) بتن ها از آب بیرون آورده و در حالت اشباع سطح خشک درآمدند. سپس نمونه ها جهت تعیین وزن مخصوص وزن شده و در نهایت زیر جک بتن شکن جهت تعیین مقاومت فشاری قرار گرفتند.

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

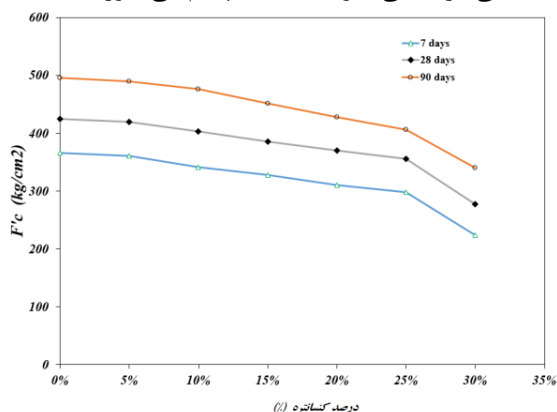
۳-۱- بررسی تاثیر افزودن کنسانتره آهن بر مقاومت فشاری بتن

در این قسمت به بررسی تاثیر کنسانتره آهن بر مقاومت فشاری بتن پرداخته شده است. همانطور که قبلا ذکر شد، کنسانتره آهن با درصدهای متفاوت برابر با ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی سیمان مورد استفاده قرار گرفته است. جهت آزمایش مقاومت فشاری، برای هر طرح اختلاط هفت نمونه مکعبی ساخته شده و جهت به حداقل رساندن خطای احتمالی، تعداد نمونه گیری ها متفاوتی در هر مرحله انجام شد که نتایج آنها در جدول ۳ نشان داده شده است. همانگونه که در این جدول نشان داده شده است، برای تعیین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، هر مرحله شامل میانگین نتایج سه آزمون (۳*۷*۲*۸۴) و جهت تعیین مقاومت فشاری ۹۰ روزه، هر مرحله شامل یک آزمون (۷*۲*۱۴) می باشد. بطور کلی مجموع آزمایشهای مقاومت فشاری برابر با ۹۸ عدد بوده است.

جدول ۳- مقاومت فشاری نمونه ها و میانگین آنها

نمونه	آزمایش	درصد کنسانتره آهن						
		۰%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
۷ روزه	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	369	362	339	332	310	302	228
	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	363	360	344	324	312	294	220
	میانگین مرحله اول و دوم	366	361	341.5	328	311	298	224
۲۸ روزه	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	426	424	400	380	374	359	288
	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	424	416	407	392	366	352	267
	میانگین مرحله اول و دوم	425	420	403.5	386	370	355.5	277.5
۹۰ روزه	مرحله اول (یک آزمون)	499	490	472	453	433	401	345
	مرحله دوم (یک آزمون)	492	490	480	450	422	411	335
	میانگین مرحله اول و دوم	495.5	490	476	451.5	427.5	406	340

در شکل ۴ مقایسه میانگین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه نمونه بتن با وجود درصد های کنسانتره متفاوت نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود با افزایش درصد کنسانتره آهن، مقاومت فشاری میانگین با یک روند نزولی کاهش می یابد. این روند کاهشی در تمامی نمونه های به چشم می خورد.

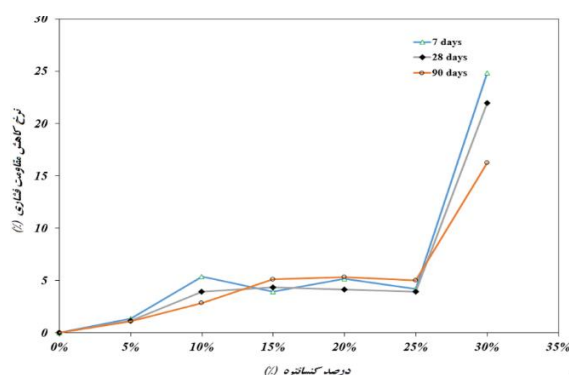


شکل ۴: مقایسه میانگین مقاومت فشاری بتن بر حسب درصدهای متفاوت کنسانتره

در جدول ۴ و شکل ۵ میزان نرخ کاهشی مقاومت فشاری با تغییر مقدار کنسانتره آهن نشان داده شده است. با افزایش میزان کنسانتره نرخ کاهش مقاومت فشاری، افزایش می یابد. نتایج نشان بیانگر آن است که نرخ کاهشی مقاومت فشاری برای ۱۰ الی ۲۵ درصد کنسانتره تقریباً برابر با ۵ درصد می باشد. این در حالی است که میزان نرخ کاهشی برای مقدار ۳۰٪ کنسانتره از مقادیر ماقبل آن بسیار بیشتر می باشد. بطور مثال برای مقاومت فشاری ۹۰ روزه، با افزایش میزان کنسانتره از ۲۰ به ۲۵ درصد، مقاومت فشاری به ترتیب از $427/5 \text{ kg/cm}^2$ به 406 kg/cm^2 خواهد رسید که میزان افت مقاومت برابر با $21/5 \text{ kg/cm}^2$ می باشد. این در حالی است که با افزایش میزان کنسانتره از ۲۵ به ۳۰ درصد مقاومت فشاری به ترتیب از 406 kg/cm^2 به 340 kg/cm^2 رسیده که حاکی از میزان افتی برابر با 66 kg/cm^2 می باشد.

جدول ۴: میانگین و درصد نرخ کاهش مقاومت فشاری

نمونه	درصد کنسانتره (%)	میانگین مقاومت فشاری (kg/cm ²)	نرخ درصد کاهش مقاومت فشاری (نمونه ۷ روزه (%))	میانگین مقاومت فشاری (kg/cm ²)	نرخ درصد کاهش مقاومت فشاری (نمونه ۲۸ روزه (%))	میانگین مقاومت فشاری (kg/cm ²)	نرخ درصد کاهش مقاومت فشاری (نمونه ۹۰ روزه (%))
C0	0	366	0	425	0	495.5	0
C5	5	361	1.37	420	1.18	490	1.11
C10	10	341.5	5.40	403.5	3.93	476	2.86
C15	15	328	3.95	386	4.34	451.5	5.15
C20	20	311	5.18	370	4.15	427.5	5.32
C25	25	298	4.18	355.5	3.92	406	5.03
C30	30	224	24.83	277.5	21.94	340	16.26

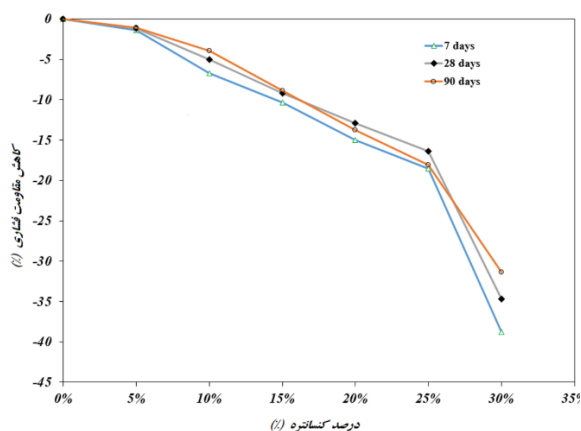


شکل ۵: نرخ تغییرات مقاومت فشاری بر حسب درصد کنسانتره

در جدول ۵ و شکل ۶، میانگین درصد کاهش مقاومت فشاری برای نمونه های ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه بر حسب درصد های متفاوت کنسانتره ارائه شده است. نتایج نشان می دهند که با افزودن ۵٪ کنسانتره به بتن، میزان مقاومت فشاری به مقدار کمی یعنی حدود ۱٪ کاهش می یابد. این در حالی است که با افزایش بیشتر کنسانتره، مقاومت فشاری به شدت کاهش می یابد و در بازه بین ۲۵ الی ۳۰ درصد، این کاهش به مقدار حداکثر خود خواهد رسید. بطور مثال در بتن با مقاومت ۹۰ روزه، با افزایش ۵٪ کنسانتره مقدار مقاومت فشاری ۱/۱۱ درصد کاهش مییابد (کاهش از $495/5 \text{ kg/cm}^2$ به مقدار 490 kg/cm^2 ، جدول ۴)، در حالیکه با افزایش مقدار کنسانتره به ۳۰٪ مقاومت فشاری از $495/5 \text{ kg/cm}^2$ به 340 kg/cm^2 می رسد و بعبارت دیگر مقاومت فشاری به میزان ۳۱/۳۸٪ کاهش می یابد.

جدول ۵: درصد کاهش مقاومت فشاری بتن بر حسب درصدهای مختلف کنسانتره

درصد کنسانتره	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
درصد کاهش میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه نسبت به نمونه فاقد کنسانتره	0	-1.37	-6.69	-10.38	-15.03	-18.58	-38.8
درصد کاهش میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به نمونه فاقد کنسانتره	0	-1.18	-5.06	-9.18	-12.94	-16.35	-34.71
درصد کاهش میانگین مقاومت فشاری ۹۰ روزه نسبت به نمونه فاقد کنسانتره	0	-1.11	-3.94	-8.88	-13.72	-18.06	-31.38



شکل ۶: کاهش مقاومت فشاری بتن بر حسب مقادیر متفاوت کنسانتره

۳-۲- بررسی تاثیر کنسانتره آهن بر ضریب نفوذپذیری بتن

همانطور که ذکر شد یکی از اهداف این تحقیق بررسی تاثیر کنسانتره بر نفوذپذیری بتن می باشد. جهت ارزیابی نفوذپذیری از بتن ۹۰ روزه استفاده شده و برای مقادیر مختلف کنسانتره دو مرحله (مرحله اول و دوم) آزمایش صورت گرفته است. لازم به توضیح است که در هر مرحله، سه نمونه مختلف تحت آزمایش قرار گرفته و میانگین آنها در جدول ۶ ارائه شده است. جزییات پارامترهای این جدول در رابطه (۱) توضیح داده شده است.

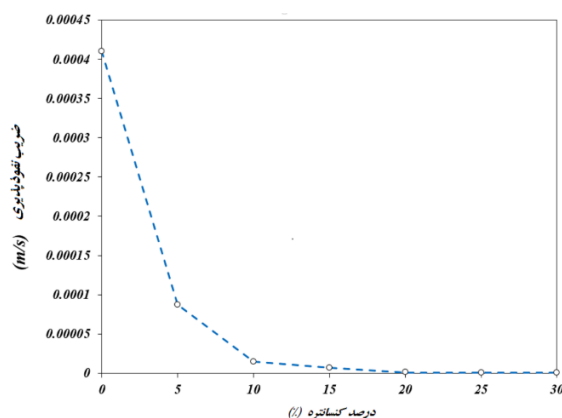
جدول ۶: نتایج اولیه آزمایشهای مربوط به ضریب نفوذپذیری بتن

T2 (s)	T1 (s)	L (m)	A (cm ²)	A (cm ²)	H2 (cm)	H1 (cm)	مرحله آزمایش	درصد کنسانتره
5.10	0	0.15	225	0.785	40	2090	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	0
5.00	0	0.15	225	0.785	40	2090	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	
24.36	0	0.15	225	0.785	40	2090	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	5%
23.21	0	0.15	225	0.785	40	2090	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	
205.76	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	10%
107.73	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	
290.21	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	15%
285.79	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	
1887.76	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	20%
1853.74	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	
2506.28	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	25%
2552.92	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	
3990.02	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله اول (میانگین ۳ آزمون)	30%
3987.45	0	0.15	225	0.785	40	2040	مرحله دوم (میانگین ۳ آزمون)	

در جدول ۷ میزان ضریب نفوذ پذیری هر نمونه، میانگین آنها و همچنین درصد کاهش نفوذپذیری به ازای مقادیر مختلف کنسانتره ارائه شده است. نتایج بیانگر آن است که با افزودن کنسانتره آهن ضریب نفوذپذیری به شدت کاهش می یابد. در شکل ۷ میزان ضریب نفوذ پذیری بر حسب درصدهای مختلف کنسانتره ارائه شده است. همانگونه که در این شکل نشان داده شده است با افزایش ۵٪ و ۱۰٪ کنسانتره، میزان ضریب نفوذپذیری به شدت کاهش می یابد؛ اما، پس از آن با افزایش درصد کنسانتره، میزان تغییرات ضریب نفوذپذیری ناچیز می باشد.

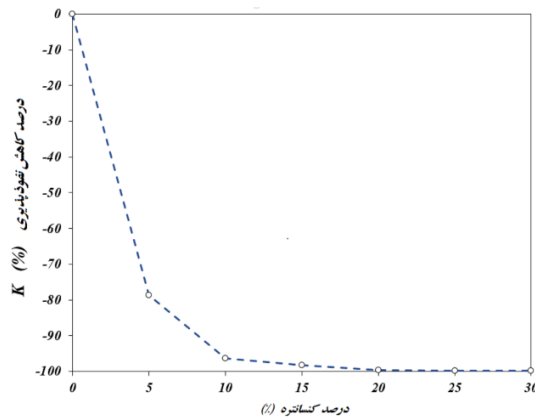
جدول ۷: میانگین و درصد کاهش ضریب نفوذپذیری

درصد کنسانتره (%)	ضریب نفوذپذیری مرحله اول (m/s)	ضریب نفوذپذیری مرحله دوم (m/s)	میانگین ضریب نفوذپذیری (m/s)	درصد کاهش ضریب نفوذپذیری میانگین (%)
0	4.06E-04	4.14E-04	4.10E-04	0
5	8.50E-05	8.92E-05	8.71E-05	-78.76
10	1.00E-05	1.91E-05	1.46E-05	-96.44
15	7.09E-06	7.20E-06	7.15E-06	-98.26
20	1.09E-06	1.11E-06	1.10E-06	-99.73
25	8.21E-07	8.06E-07	8.14E-07	-99.8
30	5.15E-07	5.15E-07	5.15E-07	-99.87



شکل ۷: میانگین ضریب نفوذپذیری بتن برحسب درصدهای مختلف کنسانتره آهن

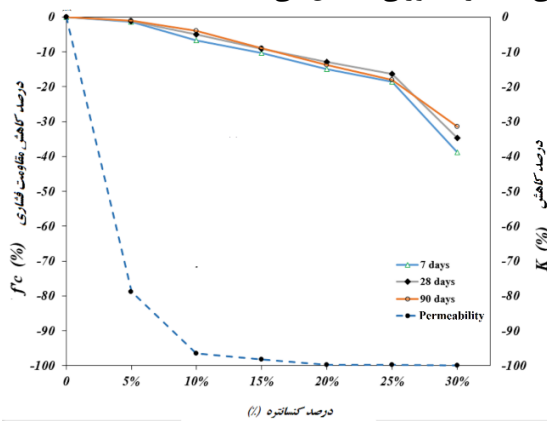
شکل ۸ درصد کاهش ضریب نفوذپذیری بتن بازاء مقادیر مختلف کنسانتره آهن را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که میزان کاهش نفوذپذیری به ازاء ۵ درصد کنسانتره آهن برابر با ۷۶/۷۸٪ می باشد. این در حالی است که با افزایش کنسانتره از ۵ به ۱۰ و ۱۵ درصد، میزان کاهش ضریب نفوذپذیری به ترتیب برابر با ۴۴/۹۶٪ و ۲۶/۹۸٪ خواهد بود. نتایج نشان میدهد که با افزایش میزان کنسانتره به ۲۰٪ میزان نفوذپذیری ۹۹/۷۳٪ کاهش خواهد یافت و با افزایش بیشتر کنسانتره آهن تغییر محسوسی در میزان کاهش نفوذپذیری بوجود نخواهد آمد. همانگونه که این شکل نشان داده شده است، بیشترین شیب کاهش نفوذپذیری به ترتیب مربوط به ۵٪ و ۱۰٪ کنسانتره آهن می باشد و پس از آن شیب نمودار تقریباً افقی بوده که بیانگر عدم تغییر محسوس نفوذپذیری می باشد.



شکل ۸: درصد کاهش ضریب نفوذپذیری بتن بر حسب میزان کنسانتره

۳-۳- ارزیابی تاثیر همزمان مقاومت فشاری بتن و ضریب نفوذپذیری بتن

شکل ۹ مقایسه ای بین درصد کاهش مقاومت فشاری و ضریب نفوذپذیری بر حسب مقادیر مختلف کنسانتره را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که با افزایش کنسانتره، درصد کاهش نفوذپذیری بسیار بیشتر از کاهش مقاومت فشاری بتن می باشد. بطور مثال برای بتن ۹۰ روزه، مقدار کاهش نفوذپذیری و مقاومت فشاری با افزودن ۵٪ کنسانتره به ترتیب برابر با ۷۸/۷۶ و ۱/۱۱ درصد می باشد. این در حالی است که مقادیر ذکر شده برای ۱۰٪ کنسانتره به ترتیب برابر با ۹۶/۴۴ و ۳/۹۴ درصد و برای ۱۵٪ کنسانتره ۹۸/۲۶ و ۸/۸۸ درصد می باشد. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است با افزایش میزان کنسانتره بیش از ۱۵٪ میزان نفوذ پذیری کاهش چندانی نخواهد داشت اما مقدار مقاومت فشاری به شدت کاهش می یابد. بنابراین می توان نتیجه گرفت جهت کاهش میزان نفوذ پذیری، بهینه ترین میزان مصرف کنسانتره آهن بین ۵ الی ۱۵ درصد وزنی سیمان می باشد.

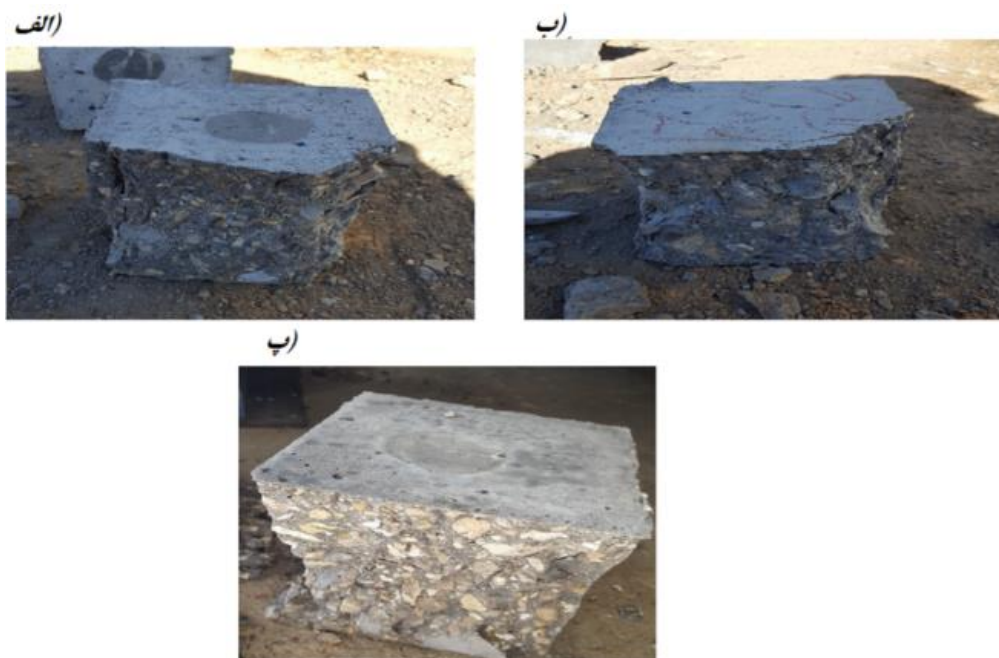


شکل ۹) مقایسه درصد کاهش ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن بر حسب مقادیر مختلف کنسانتره

۳-۴- اثر افزودن کنسانتره آهن بر نحوه شکست نمونه ها

افزودن کنسانتره آهن به بتن با توجه به حالات و خواص خمیری کنسانتره باعث می شود که هنگام اختلاط با سیمان به خوبی و به طور یکنواخت مخلوط گردد. بعبارت دیگر کنسانتره به همراه خمیر سیمان در بین سنگدانه های بتن قرار گرفته و باعث نرمی و خمیری شدن بتن می شود که این موضوع در زمان پرداخت بتن بسیار حائز اهمیت است. پس از تهیه نمونه های آزمایشگاهی و عمل آوری آنها و انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها از لحاظ نحوه شکست

مورد بررسی قرار گرفتند. همان طور که در شکل های ۱۰ قابل مشاهده است، تفاوت خاصی در نحوه و چگونگی شکست نمونه ها با درصدهای مختلف کنسانتره وجود ندارد. این موضوع به دلیل آن است که کنسانتره آهن به صورت یکنواخت در مخلوط بتن پخش گردیده و به عنوان فیلر با پر کردن خلل و فرج ریز بتن، همچون یک بتن معمولی با کسب مقاومت مشخصه طرح شکست طبیعی و نرمال داشته است. با توجه به دانه بندی ارائه شده از کنسانتره آهن در جدول ۱ که نشان دهنده بافت بسیار ریز کنسانتره آهن می باشد خود گواهی بر این کاهش نفوذپذیری بسیار عالی بتن است، با این نگاه که استفاده بیش از حد از فیلر به دلیل کاهش چسبندگی سیمان باعث تشدید کاهش مقاومت بتن می شود.



شکل ۱۰: نحوه شکست نمونه بتن با (الف) صفر درصد کنسانتره آهن؛ (ب) ۱۰ درصد کنسانتره آهن؛ (پ) ۲۰ درصد کنسانتره آهن

۴- نتیجه گیری

عموما در پروژه های آبی استفاده از بتنی که علاوه بر مقاومت فشاری کافی دارای ضریب نفوذ پذیری کمی باشد بسیار ضروری می باشد. استفاده از پرایمرها و پوشش های آب بند معمولا دارای هزینه های بالایی هستند، بنابراین استفاده از موادی که هزینه آنها پایین بوده و به راحتی در دسترس باشد دارای اهمیت می باشد. نوآوری این پژوهش استفاده از کنسانتره در بتن معمولی بوده که به علت بافت بسیار ریز قادر است منافذ درون بتن را پر کند و میزان نفوذ پذیری را کاهش دهد. برای بررسی میزان تاثیر کنسانتره آهن بر ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری، یکسری مطالعه آزمایشگاهی با استفاده از ۱۴۰ نمونه مکعبی با ۷ طرح اختلاط متفاوت انجام شد. آزمایشهای مقاومت فشاری بر روی بتن در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه با مقادیر متفاوت کنسانتره برابر با ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی سیمان انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که افزودن کنسانتره آهن به عنوان فیلر تاثیر بسزایی در کاهش نفوذ پذیری بتن دارد. این نتایج نشان می دهد که با اِزاء ۵٪ و ۱۰٪ کنسانتره، میزان ضریب نفوذپذیری به ترتیب ۷۶٪/۷۸ و ۴۴٪/۹۶ کاهش می یابد. بیشترین شیب کاهش نفوذ پذیری مربوط به مقادیر ذکر شده می باشد و پس از آن با افزایش میزان کنسانتره بیش از ۱۵٪، شیب نمودار تقریبا افقی بوده که بیانگر عدم کاهش محسوس نفوذ پذیری بتن می باشد. لازم به توضیح است که با افزودن ۵٪ کنسانتره به بتن، میزان مقاومت فشاری به مقدار کمی یعنی حدود

۱٪ کاهش می یابد. این در حالی است که با افزایش کنسانتره، مقاومت فشاری به شدت کاهش یافته و در بازه بین ۲۵ الی ۳۰ درصد، این کاهش به مقدار حداکثر خود خواهد رسید. مقایسه همزمان نمودارهای مقاومت فشاری و نفوذپذیری نشان داد که بهینه ترین میزان مصرف کنسانتره آهن بین ۵ الی ۱۵ درصد وزنی سیمان می باشد، در این شرایط برای بتن ۹۰ روزه علاوه بر کاهش مناسب نفوذپذیری، میزان کاهش مقاومت فشاری ناچیز (۱/۱۱ الی ۸/۸۸ درصد) خواهد بود. نتایج بدست آمده از آزمایشهای شکست نشان داد که درصد کنسانتره تأثیری بر نحوه و چگونگی شکست بتن نداشته و شکست نمونه ها مشابه با بتن طبیعی و نرمال می باشد.

تشکر و قدردانی

در انتها نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان به خاطر حمایت های این واحد تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

- [1]-Hasani, A. and Azadi, A. 2005. laboratory study of permeability and compressive strength of roller compacted concrete mixes with silica fume. *modares technical and engineering (In presian)*.
- [2] Bagheri, A.R., Alibabae M. and Babaie. 2006. Resuction in permeability of plastic concrete for cut-off walls through utilization of silica fume. *Amirkabir Journal*. P35-44(In presian).
- [3] Shirgir, B., Hhasany, Aa. & Alizadeh goodarzi, H. 2011. The Influence of Aggregate Gradation on the Permeability and Mechanical Properties of Porous Concrete. *Modares Civil Engineering journal*, 11, (In presian).
- [4] Kkshoshvash, A., Bahadori, H. and Manafpour, A. R. 2014. the effect of using sewage sludge ash with and without nano silica particles on properties of self-compacting cement based materials. *water and wastewater*, 25 (In presian).
- [5] Azami, S. 2015. Plastic concrete cut-off walls in earthen dams. From the perspective of clay mineral resources in arid areas, Master thesis, Sirjan university, Iran(In presian).
- [6] Mohammadi, Y. and Ezzati, S. 2016. Effect of Nanosilica on The permeability of Self Compacting Concrete in Sulfate Environment. *Concrete Research*, 8, 47-60(In presian).
- [7] Avarideh, S. and Hosseini, S. 2016. Investigation of concrete permeability with the addition of limestone powder against chlorine ion, National conference of practical researches in modern horizons of civil engineering and architectural, Busher, Iran (In presian).
- [8] Safei, M. 2016. Experimental study of the effect of polypropylene and sodium silicate fibers on the permeability and uniaxial strength of plastic concrete for use in dam cut-off walls. 2016. Master thesis, Estahban University (In presian).
- [9] Sheykh rashi, R. Effect of polypropylene fibers on mechanical properties, permeability, strength and thermal resistance of concrete, 2016. 2nd international conference on new research achievements in civil engineering, architecture & urban management. Tehran. Iran (In presian).
- [10] Mardan, P. and Fakher ghaleh jough M. 2016. Investigation of the effect of nanosilica on compressive strength, permeability and durability of concrete. 2nd international conference on civil engineering, architecture & crisis management. Alameh majlesi university, Tehran, Iran(In presian).
- [11] Mousavi, S. and Gharedaghi, F. 2019. Effect of Carbon Nanotube and Silica Aerogel on Compressive Strength, Durability and Thermal Conductivity of Concrete. *Concrete Research*, 12, 71-79 (In presian).
- [12] Behfarnia, K. and Rostami Galehdar, M. 2018. The Effect of Alkaline Solution-to-Slag Ratio on Permeability of Alkali Activated Slag Concrete. *journal of civil engineering (journal of school of engineering)*, 31(In presian).
- [13] Ghorbani, A., Ghorbani, A. & Shokati, F. 2019 Investigation of compressive strength and permeability in self-compacting concrete with and without polyurethane paint. *Civil and Project Journal*, 1, 68-79 (In presian).