

Investigation of mechanical properties and durability of concrete samples containing nanosilica in acidic flooded condition

بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس در شرایط اسیدی در حالت غرقابی

Mohammad Fallahshirvani

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Saeb Higher Education Institute, Abhar, Iran.

Omid Bamshad

M.Sc. Student, Faculty of Technical & Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Mahdi Mahdikhani *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

Roya Sharifi

PhD Student, Department of Civil Engineering, Saeb Higher Education Institute, Abhar, Iran.

محمد فلاح شیروانی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی صائب، ابهر، ایران

امید بامشاد

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهدی مهدی‌خانی*

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

رویا شریفی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی صائب، ابهر، ایران

*Corresponding author's email address:

mahdikhani@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۵

Abstract

Under acid rain conditions, physical and chemical reactions occur in the concrete structure, which leads to a change in pH. As these reactions continue, the concrete begins to lose its mechanical strength, leading to cracking, weight loss, and eventual structural damage. Since the control of acid rain and its effects on the environment is inevitable in some cases, researchers have done many studies on this topic and have proposed solutions to eliminate or control its effects. One of the new solutions in this field is the use of nanoparticles. In recent years, studies have focused on silica nanoparticles, with the aim of using this material to further enhance the properties of concrete. The addition of nanosilica to concrete reduces the water permeability of the concrete as well as higher resistance to chemical attacks. In this paper, the mechanical properties and durability of nanosilica-containing concrete including weight loss, compressive strength, electrical resistance and water absorption under acidic conditions are investigated. By increasing nanosilica to concrete under normal conditions, the mechanical properties of concrete are improved, but according to the observed results, when the samples are placed in acidic conditions, the nanosilica in the samples reacts with acid and the performance of nanosilica improves the properties. The mechanical properties of the concrete deteriorate due to the mechanical replacement of the percentage of cement with nanosilica.

Keywords

Nanosilica, electrical resistance of concrete, compressive strength of concrete, water absorption, acidic conditions

چکیده

در شرایط باران اسیدی واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در سازه بتنی رخ می‌دهد که منجر به تغییر pH می‌شود. زمانی که این واکنش‌ها ادامه می‌یابند بتن شروع به از دست دادن مقاومت مکانیکی خود می‌کند که به ترک خوردگی، کاهش وزن و نهایتاً تخریب سازه منجر می‌گردد. از آنجایی که در مواردی کنترل بارش اسیدی و اثرات آن بر محیط اطراف اجتناب‌ناپذیر است، تا بحال محققین مطالعات زیادی بر روی این مقوله انجام داده‌اند و راه‌کارهایی برای حذف یا کنترل اثرات آن ارائه داده‌اند. یکی از راه‌کارهای نوین در این زمینه استفاده از نانوذرات می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعات بر روی نانوذرات سیلیس متمرکز شده، با این هدف که بتوان با استفاده از این ماده، مشخصات بتن را بیش از پیش افزایش داد. افزودن نانو سیلیس به بتن موجب کاهش نفوذپذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله‌های شیمیایی می‌شود. در این مقاله به بررسی مشخصات مکانیکی و دوام بتن حاوی نانوسیلیس از جمله میزان کاهش وزن، مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی و میزان جذب آب تحت شرایط اسیدی پرداخته می‌شود. با افزایش نانوسیلیس به بتن در شرایط معمولی، مشخصات مکانیکی بتن بهبود می‌یابد، اما با توجه به نتایج مشاهده شده، هنگام قرارگیری نمونه‌ها در شرایط اسیدی، نانوسیلیس موجود در نمونه‌ها با اسید واکنش داده و عملکرد نانوسیلیس در راستای بهبود خواص مکانیکی مختل می‌شود و به دلیل جایگزینی درصدی از سیمان با نانوسیلیس، مشخصات مکانیکی بتن افت می‌یابد.

کلمات کلیدی

نانو سیلیس، مقاومت الکتریکی بتن، مقاومت فشاری بتن، جذب آب، شرایط اسیدی



4 (4), 2019

دوره ۴، شماره ۴

زمستان ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران

بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس در شرایط اسیدی در حالت غرقابی

۱- مقدمه

تحت اثر شبیه ساز باران اسیدی قرار بگیرند، اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که عمق خنثی، پارامتری تأثیرگذار در زمان مجاورت با باران اسیدی، افت میزان CaO و کاهش نرخ افزایش مقاومت با یون H⁺ و کاهش آن با افزایش غلظت SO₄-2 در باران اسیدی شبیه سازی شده است [۷]. شنگویان و همکاران (۲۰۱۲) مقاومت بتن در برابر سایش اسید را بوسیله آزمایش استهراق ۱۵۰ روزه بررسی کردند. زمانیکه مقدار pH محلول برابر ۲/۵ است، عمق سایش حداکثر است [۸].

۲- مصالح مصرفی

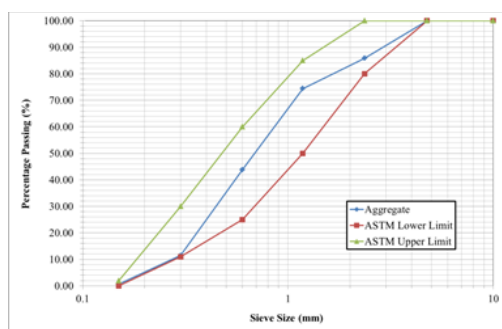
۲-۱- سنگدانه ها

در این پروژه، سنگدانه‌های مصرفی برای ساخت نمونه ها، از شرکت شن و ماسه دنیای شن واقع در استان قزوین تهیه گردیدند. وزن مخصوص این ماسه که گردگوشه می باشد، بر اساس استاندارد ASTM C128-88 در حالت SSD (اشباع با سطح خشک)، ۲۵۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. مصالح ریزدانه (ماسه) از نوع طبیعی کاملاً شسته و مصالح درشت‌دانه (شن) از نوع شکسته می‌باشند. درصد جذب آب شن بر اساس استاندارد ASTM C127-88 برای رسیدن به حالت SSD، ۱/۸۳٪ و درصد جذب آب ماسه بر اساس استاندارد ASTM C128-88 برای رسیدن به حالت SSD، ۲/۵۶٪ محاسبه شد. مشخصات فیزیکی سنگدانه ها در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱ مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها

سنگدانه	نوع مصرف	وزن مخصوص gr/cm ³	جذب آب %SSD
شن	بتن معمولی	۲/۵۸۴	۱/۸۳
ماسه	بتن معمولی	۲/۵۵۱	۲/۵۶

در آزمایش‌های اولیه‌ای که در این پروژه و به منظور بررسی دانه‌بندی فوق صورت گرفت، عملکرد مطلوب این دانه‌بندی از حیث خواص بتن تازه مورد تأیید قرار گرفت. نمودار (۱) معرف وضعیت دانه‌بندی انتخاب شده برای این مصالح سنگی می‌باشد.



نمودار ۱ منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها

۲-۲- سیمان تیپ II

سیمان تیپ II مصرفی در این پروژه، محصول کارخانه سیمان آبیگ می‌باشد که خواص فیزیکی آن در جدول (۲) آمده است. همچنین نحوه دپوی سیمان مصرفی نیز در شکل (۱) نشان داده شده است.

بتن نزدیک به دو قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقرون به صرفه بودن، وجود منابع فراوان مواد متشکل، سازگاری با محیط و مقاومت مناسب از ویژگی‌هایی است که بتن را برای انواع کاربردها مطلوب می‌کند. با وجود پیشینه کاربرد، تا قبل از چند دهه گذشته دوام بتن مورد توجه طراحان و سازندگان آن نبوده است. در سال‌های اخیر در کشورهای صنعتی بیش از ۵۰ درصد بودجه‌های عمرانی صرف برطرف نمودن مسائل ناشی از خوردگی سازه‌های بتنی شده است. پدیده باران اسیدی در سال‌های پایانی دهه ۱۸۰۰ در انگلستان کشف شد، اما پس از آن تا دهه ۱۹۶۰ به دست فراموشی سپرده شد. اسمیت در سال ۱۸۷۳ واژه باران اسیدی را برای اولین بار مطرح کرد. او پی برد که ترکیب شیمیایی باران تحت تأثیر عواملی چون جهت وزش باد، شدت بارندگی و توزیع آن، تجزیه ترکیبات آبی و سوخت می‌باشد. این محقق متوجه اسید سولفوریک در باران شد و عنوان نمود که این امر، برای گیاهان و اشیا واقع در سطح زمین خطرناک است [۱].

نانو فناوری رویکردی جدید است که در زمینه‌های مختلف دانش و فن وارد شده و تغییراتی را در دیدگاه‌ها و روش‌ها ایجاد کرده است. بخشی از تغییرات ایجاد شده به صورت بهبود شرایط فناوری‌های موجود بوده و بخشی دیگر، که تا کنون کمتر نمود داشته، به ایجاد تغییرات اساسی و دگرگون‌کننده و تغییر فناوری‌های موجود منجر خواهد شد. در فناوری بتن هم در سال‌های اخیر، با ورود فناوری نانو دیدگاه‌های جدیدی ایجاد شده است [۲]. مطالعات انجام گرفته در ایران در مورد تأثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی مصالح پایه سیمانی در سالیان اخیر همسو با خارج کشور مطالعات متعددی نیز در داخل در مورد تأثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی مصالح پایه سیمانی صورت پذیرفته است. گام‌های اولیه در این زمینه را می‌توان در مطالعات مدنی (۱۳۸۳) و هورنهاد (۱۳۸۴) جستجو نمود. در این مطالعات برای قوام دهی مناسب به بتن خودتراکم شونده از جایگزینی مقدار ۰/۵ درصد وزنی سیمان، سل سیلیس دارای سطح مخصوص ۸۰ متر مربع بر گرم و غلظت ۵۰ درصد استفاده شده است. در مطالعه مدنی (۱۳۸۳) گزارش شده که استفاده اندک از سل سیلیس تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری و انقباض بتن‌های خودتراکم شونده در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز نداشته است [۳،۴].

صدر ممتازی و همکاران (۱۳۸۷) مشاهده نموده‌اند که سل نانوسیلیس با سایز ذره ۵۰ نانومتر روند کسب مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی را تسریع می‌نماید و در سن ۹۰ روز مقاومت‌های تقریباً برابر با ملات‌های کنترل برای درصد‌های جایگزینی سیمان با ۱ تا ۳ درصد سل سیلیس فراهم می‌آورد [۵]. آکوچی و همکاران (۲۰۰۰) روند تخریب سازه‌های بتنی ناشی از رسوب اسید تحت شرایط محل و آزمایشگاه را بررسی کردند. آزمایش نشان داد مقدار هیدرات کلسیم محلول، که جزء اصلی در ملات بود، با افزایش اسیدیته محلول باران اسیدی شبیه سازی شده و کاهش سرعت جریان افزایش یافته است [۶]. ژو و همکاران (۲۰۰۴) روند تخریب بتن سیمانی تحت اثر باران اسیدی را شبیه سازی کردند. عمق خنثی، مقاومت فشاری و ترکیبات شیمیایی، قبل و بعد از اینکه نمونه‌ها

جدول ۲ خواص فیزیکی سیمان مصرفی

سیمان نوع II	نوع آزمایش
186	زمان گیرش اولیه (دقیقه)
276	زمان گیرش نهایی (دقیقه)
3200	سطح مخصوص (بلین) (cm ² /gr)



شکل ۱ نحوه دپوی سیمان مصرفی

۲-۵- فوق روان کننده

در این تحقیق از فوق روان کننده‌ای بر پایه پلی کربوکسیلات‌های بهینه شده و با نام تجاری SuperPlastisizer163 محصول شرکت نامیکاران استفاده شده است که میزان مصرف آن در بتن‌های معمولی (بر اساس توصیه سازنده) بین ۰/۸ تا ۱/۵ درصد وزن سیمان می‌باشد. این ماده مطابق با ASTM C 494- 81 Type F و استاندارد ۲۹۳۰ ایران می‌باشد. همچنین وزن مخصوص این فوق روان کننده ۱/۲۰ کیلوگرم بر لیتر و رنگ آن قهوه‌ای می‌باشد. (شکل (۳))

۳- طرح اختلاط و نحوه ساختن نمونه‌ها

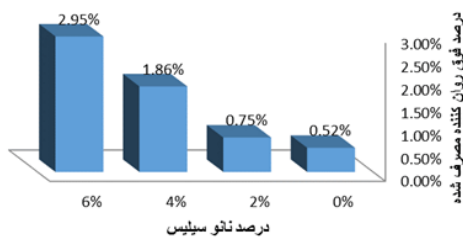
شکل (۴) مراحل ساخت نمونه‌های بتنی و جدول (۲) و نمودار (۲) طرح اختلاط‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۳ فوق روان کننده مصرفی



شکل ۴ مراحل ساخت نمونه های بتنی



نمودار ۲ درصد فوق روان کننده مصرف شده بر حسب درصد نانو سیلیس

۴- آزمایشات انجام گرفته و نتایج

آزمایش‌های نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸، ۵۶، ۹۰ روز بر روی نمونه انجام شد. نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری بتنی تا ۲۴ ساعت با استفاده از گونی مرطوب عمل‌آوری شده و طبق استاندارد مورد آزمایش قرار گرفتند.

۴-۱- آزمایش اسلامپ^۱

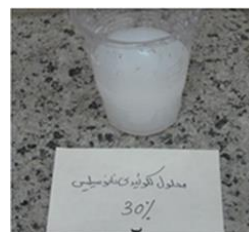
در این آزمایش سعی شده است تا اسلامپ بتن ثابت و برابر با ۹ سانتی‌متر نگه داشته شود. شکل (۵) نحوه انجام آزمایش اسلامپ را نشان می‌دهد.

۲-۳- آب

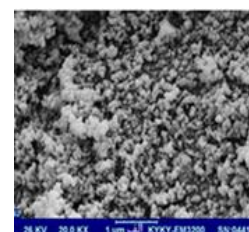
آب مصرفی در پروژه، آب شرب شهر قزوین می‌باشد.

۲-۴- نانو سیلیس

در انتخاب نانو سیلیس مصرفی حساسیت مضاعفی به کار رفته است تا با داشتن تمامی خصوصیات مواد مصرفی امکان توجیه نتایج وجود داشته باشد. به همین منظور فهرستی از شرکت‌های تولیدی یا وارد کننده نانو سیلیس و دوده سیلیس آماده شد که نتایج مناسبی ارائه کرده‌اند. از بین تمامی نمونه‌های اخذ شده از این شرکت‌ها، بهترین آنها از نظر کیفیت نانو سیلیس کلونیدی تولیدی و میزان پایداری آن انتخاب گردید؛ این ماده که محصول شرکت صنایع نانو سیلیس ایساتیس با نام تجاری Colloidal nano silica می‌باشد، محلولی کلونیدی با غلظت ۳۰٪ نانو سیلیس و خلوص ۹۹/۹٪ می‌باشد. در شکل (۲)، تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات نانو سیلیس و نمونه نانو سیلیس مصرفی در پروژه نشان داده شده است.



شکل ۲- ب محلول کلونیدی نانو سیلیس ۳۰٪ مصرفی



شکل ۲- الف تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات نانو سیلیس

جدول (۲) طرح اختلاط‌های مورد استفاده برای ساخت نمونه‌های بتنی

NO	Mixture Code	W/C	NS (%)	Admixture (kg/m ³)	Cement (Kg/m ³)	NS (kg/m ³)	Water (L/m ³)	Aggregate (Kg/m ³)
1	J0	0.5	0	2.391	350	0	227.71	1885.71
2	J2	0.5	2	3.414	350	30.400	206.42	1885.71
3	J4	0.5	4	8.485	350	60.800	177.53	1885.71
4	J6	0.5	6	13.428	350	91.200	163.85	1885.71
5	C0	0.5	0	2.391	350	0	227.71	1885.71
6	C2	0.5	2	3.414	350	30.400	206.42	1885.71
7	C4	0.5	4	8.485	350	60.800	177.53	1885.71
8	C6	0.5	6	13.428	350	91.200	163.85	1885.71
9	M0	0.5	0	2.391	350	0	227.71	1885.71
10	M2	0.5	2	3.414	350	30.400	206.42	1885.71
11	M4	0.5	4	8.485	350	60.800	177.53	1885.71
12	M6	0.5	6	13.428	350	91.200	163.85	1885.71
13	K0	0.5	0	2.391	350	0	227.71	1885.71
14	K2	0.5	2	3.414	350	30.400	206.42	1885.71
15	K4	0.5	4	8.485	350	60.800	177.53	1885.71
16	K6	0.5	6	13.428	350	91.200	163.85	1885.71

نانو سیلیس، مقاومت فشاری ۱۰/۳ درصد افزایش داشته است. با توجه به نمودارها مشخص است که روند کسب مقاومت نمونه‌ها تا سن ۲۸ روز بیشترین مقدار و با افزایش سن نمونه‌ها کاهش یافته است، به طوری که حدود ۹۴ درصد مقاومت در سن ۲۸ روز حاصل شده است.

۴-۲- آزمایش مقاومت فشاری^۲

در آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی، باید از کالیبره بودن دستگاه مقاومت فشاری اطمینان حاصل شود. نکات مهم در این آزمایش اطمینان از سرعت بارگذاری یکسان برای تمام نمونه‌ها و نیز قرارگیری دقیق نمونه در مرکز فک دستگاه می‌باشد. (شکل (۶))



شکل ۶ آزمایش مقاومت فشاری، (الف) قرار دادن نمونه در جک بتن-شکن، (ب) بتن کسته شده، (ج) اندازه‌گیری ابعاد نمونه، (د) مانیتور جک بتن‌شکن در حال بارگذاری



شکل ۵ آزمایش اسلامپ بتن تازه
الف) نحوه اندازه‌گیری عدد اسلامپ،
ب) قرارگیری اسلامپ در کنار بتن تازه

۴-۳- آزمایش جذب آب مؤئینه^۳

برای انجام این آزمایش نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری استفاده شده است که تا هنگام آزمایش (در سنین ۲۸، ۵۶، ۹۰ روزه) در محیط اسیدی به صورت غرقاب نگهداری شدند. در این پژوهش برای آزمایش تعیین درصد جذب آب نمونه‌ها، پس از ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها به وسیله گونی مرطوب به مدت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، خشک شدند.

آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی-متری در سنین ۲۸، ۵۶، ۹۰ روزه با شکستن سه نمونه از هر طرح انجام گرفت. همانطور که از نتایج مشخص است مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی نانوسیلیس در همه سنین از نمونه شاهد کمتر بوده و با افزایش درصد جایگزینی نانوسیلیس، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. به طور میانگین مقدار کاهش مقاومت فشاری در اثر افزایش نانوسیلیس به میزان شش درصد، برابر با ۸/۴۵ مگاپاسکال بوده است. همچنین می‌توان از نتایج در حالت کلی دریافت که با افزایش درجه اسیدی محیط، میزان مقاومت فشاری بتن روند نزولی داشته است. به طوری که با تغییر pH از ۲/۵ به ۴ در سن ۹۰ روز با شش درصد

جدول ۳ مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی تحت شرایط اسیدی در سنین مختلف

آزمایش مقاومت فشاری		28 days	56 days	90 days	
غرقاب	pH=2.5	NS=0%	55.57	53.03	53.66
		NS=2%	49.07	47.07	48.16
		NS=4%	47.70	47.40	44.33
		NS=6%	31.90	44.60	40.76
	pH=4	NS=0%	48.37	52.33	53.46
		NS=2%	50.10	52.63	54.33
		NS=4%	47.73	50.10	51.86
		NS=6%	44.30	44.43	44.96
	pH=5.5	NS=0%	46.73	50.07	56.20
		NS=2%	43.60	47.53	53.10
		NS=4%	45.30	51.03	54.13
		NS=6%	40.70	43.47	44.73
pH=7	NS=0%	47.50	48.77	50.46	
	NS=2%	49.03	48.27	52.20	
	NS=4%	47.10	49.43	47.96	
	NS=6%	46.07	47.47	48.73	

جدول ۴ درصد جذب آب نمونه‌های بتنی تحت شرایط اسیدی در سنین مختلف

آزمایش درصد جذب آب مؤئینه		28 days	56 days	90 days	
غرقاب	pH=2.5	NS=0%	0.40	0.52	1.55
		NS=2%	0.51	0.68	1.86
		NS=4%	0.55	0.68	1.97
		NS=6%	0.63	0.80	2.13
	pH=4	NS=0%	-0.19	-0.12	-0.08
		NS=2%	-0.15	0.01	0.06
		NS=4%	-0.08	0.01	0.08
		NS=6%	-0.17	-0.04	-0.01
	pH=5.5	NS=0%	-0.42	-0.23	-0.14
		NS=2%	-0.45	-0.27	-0.16
		NS=4%	-0.57	-0.37	-0.33
		NS=6%	-0.60	-0.37	-0.38
pH=7	NS=0%	-0.60	-0.68	-0.73	
	NS=2%	-0.77	-0.89	-0.93	
	NS=4%	-0.65	-0.77	-0.82	
	NS=6%	-0.56	-0.67	-0.72	



شکل ۷ آزمایش جذب آب مؤئینه

با توجه به نتایج نشان داده شده مشخص می‌شود که به دلیل افزایش تخریب نمونه‌ها در اثر افزایش درجه اسیدی محیط، میزان جذب آب نمونه‌ها افزایش یافته است. همچنین با افزایش مقدار درصد نانوسیلیس، به دلیل کاهش تخلخل بتن، نفوذ آب بیشتر شده است.

۴-۴- آزمایش مقاومت الکتریکی بتن^۴

یون‌هایی که به داخل بتن نفوذ کرده‌اند، از میان منافذ موجود در ساختار بتن حرکت می‌کنند. به علت حرکت یون‌ها داخل محیط بتن، بتن دارای هدایت الکتریکی می‌باشد.

سپس نمونه‌ها از آون خارج شده و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد (W_1). برای تعیین درصد جذب آب نمونه‌ها، نمونه‌ها در اسید با چهار pH مختلف قرار گرفته و پس از ۲۸، ۵۶، ۹۰ روز، از آب خارج شده و وزن آن‌ها در حالت اشباع با سطح خشک (W_2)، ثبت شد (شکل (۷)). در پایان درصد جذب آب نمونه‌ها مطابق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$waterabsorption(\%) = 100 \times \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (1)$$

$$a_i = \frac{M_i - M_0}{A} \quad (2)$$

$$a_i = c + s\sqrt{t} \quad (3)$$

که در آن M_0 و M_i به ترتیب وزن ثانویه و وزن اولی در زمان t و A و s نیز به ترتیب سطح مقطع و ضریب جذب آب نمونه است.

جدول (۵) مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی در شرایط اسیدی در سنین مختلف

آزمایش مقاومت الکتریکی	28 days		56 days		90 days		
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	
pH=2.5	NS=0%	۰.۲۶	۰.۳۲	۰.۲۷	۰.۳۲	۰.۳۳	۰.۳۹
	NS=2%	۰.۲۲	۰.۲۷	۰.۲۴	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۳۳
	NS=4%	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۲۲	۰.۲۷	۰.۲۸	۰.۳۳
	NS=6%	۰.۲۶	۰.۳۱	۰.۲۷	۰.۳۲	۰.۳۴	۰.۴۰
pH=4	NS=0%	۰.۲۹	۰.۳۷	۰.۳۰	۰.۳۶	۰.۳۴	۰.۴۰
	NS=2%	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۲۷	۰.۳۳	۰.۳۱	۰.۳۷
	NS=4%	۰.۲۷	۰.۳۴	۰.۲۷	۰.۳۳	۰.۳۲	۰.۳۶
	NS=6%	۰.۳۲	۰.۳۹	۰.۳۱	۰.۳۷	۰.۳۶	۰.۴۲
pH=5.5	NS=0%	۰.۳۶	۰.۴۴	۰.۳۴	۰.۳۹	۰.۴۰	۰.۴۶
	NS=2%	۰.۳۴	۰.۴۸	۰.۳۲	۰.۳۷	۰.۳۸	۰.۴۳
	NS=4%	۰.۲۹	۰.۳۶	۰.۳۴	۰.۴۱	۰.۳۸	۰.۴۴
	NS=6%	۰.۳۲	۰.۳۹	۰.۳۵	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۴۴
pH=7	NS=0%	۰.۳۱	۰.۳۵	۰.۴۹	۰.۵۰	۰.۶۸	۰.۷۵
	NS=2%	۰.۳۲	۰.۳۷	۰.۴۹	۰.۶۱	۰.۸۵	۱.۰۰
	NS=4%	۰.۲۹	۰.۳۶	۰.۴۵	۰.۵۶	۰.۷۱	۰.۹۳
	NS=6%	۰.۳۳	۰.۳۶	۰.۴۴	۰.۵۲	۰.۸۲	۰.۸۹

خرقابی

جدول (۶) درصد کاهش وزن نمونه‌های بتنی در شرایط اسیدی در سنین مختلف

آزمایش کاهش وزن	28 days	56 days	90 days	
pH=2.5	NS=0%	0.4	0.52	1.55
	NS=2%	0.51	0.68	1.86
	NS=4%	0.55	0.68	1.97
	NS=6%	0.63	0.8	2.13
pH=4	NS=0%	-0.19	-0.12	-0.08
	NS=2%	-0.15	0.01	0.06
	NS=4%	-0.08	0.01	0.08
	NS=6%	-0.17	-0.04	-0.01
pH=5.5	NS=0%	-0.42	-0.23	-0.14
	NS=2%	-0.45	-0.27	-0.16
	NS=4%	-0.57	-0.37	-0.33
	NS=6%	-0.6	-0.37	-0.38
pH=7	NS=0%	-0.6	-0.68	-0.73
	NS=2%	-0.57	-0.89	-0.93
	NS=4%	-0.65	-0.77	-0.82
	NS=6%	-0.56	-0.67	-0.72

خرقابی



4 (4) , 2019

دوره ۴، شماره ۴

زمستان ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران



شکل ۸ دستگاه مورد استفاده برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بتن

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سطحی بتن از دستگاه ساخته شده طبق استاندارد استفاده شده است. ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش، بتن‌های مکعبی ۱۵ سانتی‌متری بودند و در دو جهت عمود بر هم، مقاومت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شد. برای هر طرح اختلاط از دو نمونه در سنین ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه استفاده گردید و در انتها از نتایج حاصل میانگین‌گیری شد (شکل ۸)). با توجه به نتایج حاصل

مقدار مقاومت الکتریکی بتن بستگی مستقیم به نفوذپذیری بتن و شرایط محیطی بتن (مقدار یون‌های نفوذی و رطوبت بتن) دارد و مسلماً هرچه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد، یون‌ها به راحتی و با سرعت بیشتری می‌توانند به داخل محیط بتن راه یابند. هرچه مقادیر یون‌های نفوذی بیشتر باشد، مقاومت الکتریکی بتن کمتر خواهد بود، لذا بتن‌هایی که دارای مقاومت الکتریکی بالایی هستند، در برابر نفوذ یون‌ها و شروع خوردگی عملکرد بهتری خواهند داشت. با تعیین مقاومت الکتریکی میتوان نرخ خوردگی احتمالی را در سازه تعیین کرد. از آنجا که بتن نقش الکترولیت داشته و جریان یون‌ها در این الکترولیت صورت می‌گیرد، ساختار بتن نقش اساسی در مقاومت الکتریکی آن دارد. به عبارت دیگر میزان مقاومت الکتریکی بتن به نفوذپذیری و رطوبت بتن بستگی داشته با افزایش میزان رطوبت و یا نفوذپذیری مقاومت الکتریکی بتن کاهش می‌یابد.

از آزمایش، با افزایش درجه اسیدی محیط، به دلیل تخریب بیشتر نمونه‌ها، مقاومت الکتریکی افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش سن نمونه‌ها مقدار مقاومت الکتریکی نمونه‌ها بیشتر شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نانوسیلیس از ۲ درصد تا شش درصد، مقاومت الکتریکی نمونه‌ها افزایش یافته است؛ به عنوان مثال با افزودن ۶ درصد نانو سیلیس به بتن در حالت غرقابی، مقاومت الکتریکی به مقدار میانگین ۵/۴ درصد در pH های مختلف تا سن ۹۰ روز افزایش یافته است.

۴-۵- آزمایش کاهش وزن

در این آزمایش هدف محاسبه میزان کاهش وزن نمونه بتنی در اثر قرارگیری در شرایط اسیدی است که به دو صورت غرقاب و باران اسیدی انجام شده است. به این منظور نمونه‌ها پس از ساخته شدن و عمل‌آوری به وسیله گونی مرطوب، در شرایط اسیدی به صورت غرقاب و باران اسیدی قرار گرفته و پس از ۲۸، ۵۶، ۹۰ روز، به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای آزاد قرار داده شدند و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد و با توجه به وزن اولیه، درصد کاهش وزن نمونه‌ها بدست آمد.

با توجه به نتایج نشان داده شده مشخص می‌شود که به دلیل افزایش تخریب نمونه‌ها در اثر افزایش درجه اسیدی محیط، میزان درصد کاهش وزن نمونه‌ها افزایش یافته است. همچنین با افزایش مقدار درصد نانوسیلیس، نفوذپذیری میزان درصد کاهش وزن نمونه‌ها افزایش یافته است. با مقایسه نتایج حاصل از آزمایش در ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش سن نمونه‌ها، به دلیل زمان قرارگیری بیشتر در معرض اسید، درصد کاهش وزن نمونه‌ها نیز افزایش یافته است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله و بر اساس پژوهش‌های مطالعه شده موارد زیر به عنوان نتیجه قابل استخراج می‌باشد:

- در شرایط باران اسیدی واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در سازه بتنی رخ می‌دهد که منجر به تغییر pH می‌شود. زمانی که این واکنش‌ها ادامه می‌یابند بتن شروع به از دست دادن مقاومت

مکانیکی خود می‌کند که به ترک خوردگی، کاهش وزن و نهایتاً تخریب سازه منجر می‌گردد.

- در این چون مجبور به ثابت نگه داشتن pH بودیم، عدم عمل‌آوری با آب آهک اشباع باعث پدیده لیچینگ شده و شاهد تاثیر بر نتایج بودیم.
- با افزایش نانوسیلیس به بتن در شرایط معمولی، مشخصات مکانیکی بتن بهبود می‌یابد، اما هنگام قرارگیری نمونه‌ها در شرایط اسیدی، نانوسیلیس موجود در نمونه‌ها با اسید واکنش داده و عملکرد نانوسیلیس در راستای بهبود خواص مکانیکی مختل می‌شود و به دلیل جایگزینی درصدی از سیمان با نانوسیلیس، شاهد افت مشخصات مکانیکی بتن بودیم.

۶- قدردانی

آقایان مهندسین ترابی، فلاح‌نژاد و سرکار خانم مهندس تقوی و سرکار خانم مهندس نظری و سرکار خانم مهندس کارگرفر و دوستان عزیز آقایان زراعت‌جو، خورشیدی و برادران فلاح

۷- مراجع

- [1] Quinn, M. L. (1989). Early smelter sites: a neglected chapter in the history and geography of acid rain in the United States. *Atmospheric Environment* (1967), 23(6), 1281-1292.
- [2] A. M. Neville, "Properties of Concrete", Published by Pitman Publishing 13/11/1973 (1973).
- [۳] مدنی، ح. "بتن خود تراکم، خصوصیات و مقایسه آن با بتن توانمند معمولی"، پروژه تخصصی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۳.
- [۴] هورنهاد، ه. "طراحی، ساخت و بررسی خواص مکانیکی بتن‌های خودتراکم"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۴.
- [۵] صدر ممتازی، ع.، قاضی، ع.، میرگذار لنگرودی، م.ع.، "استفاده از نانو سیلیس برای بهبود خواص سیمان‌های کامپوزیت حاوی دوده سیلیسی"، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۸.
- [6] Okochi, H., Kameda, H., Hasegawa, S. I., Saito, N., Kubota, K., & Igawa, M. (2000). Deterioration of concrete structures by acid deposition an assessment of the role of rainwater on deterioration by laboratory and field exposure experiments using mortar specimens. *Atmospheric Environment*, 34(18), 2937-2945.
- [7] Xie, S., Qi, L., & Zhou, D. (2004). Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory. *Atmospheric Environment*, 38(27), 4457-4466.
- [8] Shengyuan, Y., Zhigang, S., Xiang, L., & Yunchuan, Z. (2012). Comparative Study on Theory Model and Test Result for Dilute sulfuric Acid to Erode Concrete. *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, 188-197.

1 Slump test
2 Compressive strength test
3 Capillary water absorption test
4 Electrical Resistance test