

بررسی خوردگی اسیدی خمیر سیمان حاوی پوزولان‌های مختلف

عطیه فراهانی*، امیرمسعود المظهری^۱، علی دوستی^۱

مسعود ریحانی^۱، محمد شکرچی‌زاده^۱

۱. انستیتو مصالح ساختمانی، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Email: a_farahani87@ut.ac.ir

چکیده

امروزه سازه‌های بتنی نقش بسیار مهمی در زیرساخت‌های هر جامعه‌ای دارند. بنابراین شرایط و عملکرد این سازه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر تعداد زیادی از سازه‌های بتنی در مناطق صنعتی و پتروشیمی کشورهای مختلف دنیا دچار آسیب‌دیدگی و یا خرابی زودرس شده‌اند. تخریب بتن در محیط‌های اسیدی از جمله رایج‌ترین این خرابی‌ها در سازه‌های بتن آرمه بوده و یکی از مهمترین مشکلاتی است که مهندسان عمران امروزه در نگهداری سازه‌های بتن آرمه با آن مواجه می‌باشند.

در مطالعه حاضر به بررسی نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمایش‌های افت وزن و افت مقاومت فشاری نمونه‌های سیمانی مستغرق در محلول‌های اسید نیتریک و نیترات آمونیوم بر روی پنج طرح اختلاط شامل پوزولان‌های خاکستر بادی، ژئولیت، دوده سیلیس و نمونه شاهد به همراه روباره پرداخته شده است. در نهایت مشاهده شده است که در محلول‌های اسید نیتریک و نیترات آمونیوم، طرح حاوی روباره نسبت به بقیه طرح‌ها از شرایط مناسب‌تری برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی:

اسید نیتریک، پوزولان، خوردگی اسیدی بتن، نیترات آمونیوم

کد: D.

کد انجمن: 410-7F

Acidic Corrosion of Hydrated Cement-based Materials with Different Pozzolans

Atiye Farahani^{1*}, Amir Masoud Almotahari¹
Ali Dousti¹, Masoud Reyhani¹, Mohammad Shekarchizadeh¹

1. Construction Materials Institute, School of Civil Engineering, College of
Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: a_farahani87@ut.ac.ir

Today, concrete structures have a crucial role in the infrastructure of society. The condition and performance of these structures is important. In recent years, a number of concrete structures in petrochemical industrial areas and different countries have suffered damage or premature failure. Concrete degradation in the acidic environment is the most common failures of reinforced concrete structures and an important problem for civil engineers which today they are faced with the maintenance of them.

In this study five cement paste mixtures with different pozzolanic materials containing Fly Ash, Zeolite, Silica Fume, Ordinary Portland Cement (OPC) and Slag were designed. After 28 days of curing, the samples were immersed into nitric acid and ammonium nitrate solutions for two months. The changes in weight loss and compressive strength values for each acid solution within the test period were recorded. In result observed that the rate of corrosion in nitric acid and ammonium nitrate solutions for Slag was less than other mixtures.

Keywords:

Ammonium nitrate, Acidic corrosion of concrete, Pozzolan , Nitric acid.

Code : 410-7F.

۱. مقدمه

بتن یکی از مصالح ارزان و پایا در محیط‌های صنعتی و شیمیایی می‌باشد که می‌توان با قالب‌بندی آن را به هر شکل هندسی موردنظر درآورد. اما در بعضی موارد به دلایل طراحی ضعیف، ضعف در اجرا، کیفیت نامرغوب مصالح و شرایط محیطی لحاظ‌نشده در طراحی و یا ترکیبی از این عوامل، سازه بتن آرمه ساخته شده کارایی موردنظر را در دوره عمر مفید خود نخواهد داشت به طوری که در سال‌های اخیر تعداد زیادی از سازه‌های بتنی در محیط‌های اسیدی و شیمیایی در اثر این عوامل دچار آسیب‌دیدگی یا خرابی زودرس شده‌اند و از مشکلات دوام رنج می‌برند [۱]. از طرفی، سالانه هزینه بسیار زیادی صرف تعمیر، نگهداری و تقویت سازه‌های موجود می‌گردد و افزایش هزینه‌ها در آینده نیز قابل پیش بینی است. درصد بسیار زیادی از این هزینه‌ها به علت دوام ناکافی سازه‌های بتنی می‌باشد که می‌تواند اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست و سرمایه‌های جامعه داشته باشد.

برای حل این معضل علاوه بر روش‌های جلوگیری از آسیب‌دیدگی بتن باید به دنبال روش‌هایی بود که با استفاده از آن بتوان عمر مفید سازه‌های موجود و در حال ساخت را با توجه به مشخصات مصالح به‌کاررفته و شرایط محیطی تعیین کرد تا از میان روش‌های موجود بهترین و اقتصادی‌ترین راه‌حل را برای جلوگیری از تخریب زودرس سازه‌ها انتخاب نمود.

مطالعه حاضر که به بررسی خوردگی خمیر سیمان با پوزولان‌های مختلف در محیط اسیدی شامل محلول‌های اسید نیتریک و نیترات آمونیوم می‌پردازد، در راستای اهداف مذکور می‌باشد. بطور معمول خمیر سیمان هیدراته شده در معرض محیط‌های اسیدی و شیمیایی، به شدت دچار آسیب‌دیدگی و تخریب زودرس می‌شود و در اثر خوردگی اسیدی، لایه ای از محصولات خوردگی روی سطح نمونه سیمانی تشکیل خواهد شد. در ادامه به تفسیر فرآیند تخریب بتن در محلول‌های اسید نیتریک و نیترات آمونیوم پرداخته خواهد شد.

۲. بتن در محیط‌های اسیدی

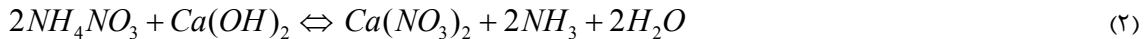
محلول‌های اسیدی محیط‌های بسیار خورنده برای بتن هستند. بتن‌های ساخته شده از سیمان پرتلند در برابر حملات اسیدی بسیار آسیب‌پذیر بوده و خورده می‌شوند. در حقیقت تمامی ترکیبات سیمان هیدراته شده باعث می‌شوند که محیط بتن به صورت یک محیط قلیایی عمل کند و در صورت برخورد با محیط اسیدی وارد واکنش شود. ترکیبات سیمان پرتلند در pH های کم غیر پایدار می‌شوند. واضح است که وقتی pH محلول کاهش می‌یابد، جزء اصلی سیمان سخت شده پایداری خود را از دست می‌دهد. عمده‌ترین مشکل ما در حملات اسیدی در بتن کلسیم زدایی می‌باشد یعنی اینکه با توجه به نوع اسید وقتی که اسید با سیمان پرتلند هیدراته شده واکنش می‌دهد تعدادی نمک‌های کلسیم قابل حل و غیر قابل حل تشکیل می‌دهد. مثلاً در مقادیر کم pH کم سیلیکات کلسیم هیدراته و آلومینات کلسیم هیدراته و سایر ترکیبات هیدراتاسیون، کلسیم زدایی شده و این باعث می‌شود که بتن تضعیف شود. اجزای دیگر سیمان سخت شده که معمولاً یک لایه با حلالیت کم در سطح بتن ایجاد می‌کنند عمدتاً دی اکسید سیلیکون، آهن و هیدروکسید آلومینیوم می‌باشند. پروسه خوردگی خمیر سیمان یا بتن در محلول اسید، در ابتدا بسیار سریع بوده ولی در ادامه با انتشار محلول مهاجم در سطح بتن و تشکیل لایه خورده شده در سطح آن، این لایه به عنوان لایه محافظ برای انتقال یون‌ها و مواد خورنده در سطح بتن عمل می‌کند و فرآیند انتشار را به صورت محسوسی کنترل می‌کند. به این ترتیب سرعت خوردگی در بتن کاهش پیدا می‌کند. در صورتی که بتن با محیط اسیدی برخورد کند و در سطح آن ترک ایجاد شود، با توجه به این که لایه ذکر شده در سطح یک لایه متخلخل می‌باشد اسید مهاجم به سمت عمق بتن پیشروی می‌کند. حال چنانچه بتن مسلح باشد، بعد از مدتی اسید از پوشش روی آرماتورها عبور کرده و زمانی که به آرماتورها می‌رسد باعث زنگ زدگی، پوسته شدن و ترک در فولاد می‌شود که این نیز به نوبه خود یکی از آسیب‌های اسید مهاجم در بتن است.

فرآیند تخریب بتن در محلول اسید نیتریک (HNO_3): وجود ترکیبات سیمان هیدراته شده در خمیر سیمان، آن را به یک محیط قلیایی تبدیل کرده است و در اثر تماس خمیر سیمان با محیط اسیدی، خوردگی اسیدی رخ می‌دهد. اسید نیتریک یکی از اسیدهای قوی صنعتی می‌باشد که قدرت حلالیت زیادی دارد. زمانی که خمیر سیمان در مجاورت اسید نیتریک قرار می‌گیرد، این اسید می‌تواند با هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$) که یکی از محصولات هیدراتاسیون سیمان است، واکنش دهد. طبق رابطه (۱) محصول واکنش اسید نیتریک با $Ca(OH)_2$ یک نمک کلسیم یا به عبارتی نیترات کلسیم می‌باشد. این واکنش باعث می‌شود

که کلسیم موجود در محصولات هیدراتاسیون که ضامن پایداری بتن است، به راحتی از سطح نمونه شسته شده و از آن جدا می‌شود که این امر باعث خوردگی خمیر سیمان خواهد شد [۱ و ۲].



فرآیند تخریب بتن در محلول نیترات آمونیوم (NH_4NO_3): از آنجائیکه محلول نیترات آمونیوم یکی از محیط‌های مهاجم برای تخریب مواد با پایه سیمانی محسوب می‌شود، در اثر تماس خمیر سیمان با محلول نیترات آمونیوم، بلور $Ca(OH)_2$ حاصل از فرآیند هیدراتاسیون سیمان پرتلند، شکسته شده و کلسیم‌زدایی تدریجی از ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) حاصل از فرآیند هیدراتاسیون سیمان پرتلند، صورت می‌گیرد. حلالیت $Ca(OH)_2$ که به عنوان یک جز اصلی در خمیر سیمان مطرح است، باعث کاهش مقاومت و افزایش تخلخل در نمونه‌های ساخته شده از سیمان پرتلند می‌شود. به طوریکه افت خواص مکانیکی بتن ناشی از شکستگی $Ca(OH)_2$ بسیار بیشتر از کلسیم‌زدایی C-S-H می‌باشد. طبق رابطه (۲) از واکنش نیترات آمونیوم با $Ca(OH)_2$ ، نمک نیترات کلسیم و نیترو آمونیوم کلسیم به همراه گاز آمونیاک و آب حاصل می‌شود که گاز آمونیاک و آب به راحتی بتن را ترک می‌کنند و با توجه به اینکه نیترو آمونیوم کلسیم انحلال‌پذیری کمی دارد، تنها نمک کلسیم در سطح بتن رسوب می‌کند [۲].



۳. مطالعات انجام شده در خصوص خوردگی در محیط اسیدی

محققان بر اساس مطالعات و تحقیقات گسترده در خصوص خوردگی در محیط‌های اسیدی نشان داده اند، شدت خوردگی بتن در محیط‌های اسیدی به پارامترهای متعددی همچون نوع اسید، مقدار آن، نوع سیمان و مواد پوزولانی، مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان و غیره وابسته است. برای بررسی تاثیر نوع اسید و غلظت آن بر شدت خوردگی مخلوط‌های سیمانی، Pavlik اثر محلول‌های اسید نیتریک و اسید استیک با غلظت‌های مختلف را بر شدت خوردگی نمونه‌ها مورد مطالعه قرار داد و در نهایت رابطه‌ای بین غلظت محلول اسیدی، زمان و عمق خوردگی بدست آورد. ایشان مشاهده کرد که شدت خوردگی نمونه‌ها در محلول اسید نیتریک در مدت سه سال اول دو تا چهار برابر (بسته به غلظت محلول اسیدی) بیشتر از محلول اسید استیک می‌باشد [۳]. Turkel و همکارانش نیز در مطالعه خود به منظور بررسی تاثیر نوع اسید در خوردگی اسیدی، نمونه‌هایی را با نسبت آب به سیمان ۰/۵ به همراه دو نوع سیمان پوزولانی و سیمان پرتلند درون سه محلول اسید نیتریک، اسید هیدروکلریک و اسید سولفوریک به مدت ۱۲۰ روز قرار دادند و نهایتاً مشاهده کردند که میزان تخریب نمونه‌ها توسط اسید هیدروکلریک و اسید نیتریک مشابه یکدیگر می‌باشد، در حالیکه افت وزن نمونه‌ها در محلول اسید سولفوریک به دلیل تشکیل گچ و حلالیت کم آن نسبت به کلرید کلسیم و نیترات کلسیم، کمتر از بقیه گزارش شده است [۴].

Pavlik در مطالعه دیگری به بررسی تاثیر نسبت آب به سیمان بر شدت خوردگی مخلوط‌های سیمانی در محلول‌های اسیدی پرداخته است. ایشان در این تحقیق مشاهده کرد که شدت خوردگی با افزایش مقدار سیمان در واحد حجم مخلوط‌های سیمانی کاهش یافته و در ادامه رابطه‌ای میان نسبت آب به سیمان، عمق خوردگی، زمان و غلظت محلول اسیدی تعریف نمود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که شدت خوردگی با افزایش عیار سیمان به دو علت کاهش می‌یابد، (۱) افزایش گنجایش خنثی‌سازی محیط اسیدی توسط قلیایی سیمان و (۲) افزایش نفوذناپذیری لایه خورده‌شده [۵].

Shi و Stegemann به منظور بررسی تاثیر پوزولان‌ها بر روی خوردگی اسیدی، با مطالعه بر روی خمیر سیمان حاوی سیمان پرتلند، سیمان سربراه‌ای و خاکستر بادی در محلول‌های اسیدی مختلف از جمله محلول اسید نیتریک با $pH=3$ مشاهده کردند که خمیر سیمان پرتلند سریع‌تر از خمیر سیمان حاوی خاکستر بادی و سیمان سربراه‌ای دچار خوردگی می‌شود [۶]. همچنین در مطالعه دیگری مشاهده شد که افزودن دوده سیلیس موجب کاهش شدت خوردگی خواهد شد [۷].

در خصوص خوردگی بتن در محلول نیترات آمونیوم Schneider و Chen رفتار بتن معمولی و بتن پر مقاومت در غلظت‌های مختلف نیترات آمونیوم را طی ۱۰ سال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که خوردگی بتن در محلول

نیترا ت آمونیم به پارامترهایی همچون غلظت محلول، عمق خوردگی و زمان استغراق در محلول وابسته است بطوریکه عمر مفید بتن با افزایش غلظت نیترا ت آمونیم کاهش خواهد یافت [۸]. از سوی دیگر به منظور بررسی تاثیر نمونه‌های ملات حاوی سیمان‌های پوزولانی مختلف در محلول نیترا ت آمونیم، Rodrigues و Goncalves منشورهایی از ملات حاوی پنج نوع سیمان شامل سیمان پرتلند معمولی، سیمان پوزولانی، سیمان سرباره‌ای و سیمان پر آلومین را تهیه کرده و درون محلول نیترا ت آمونیم با غلظت‌های بین صفر تا ۵۰٪ قرار دادند. پس از قرائت تغییرات طولی و وزنی نمونه‌ها طی ۱۴ سال مشاهده شده که سیمان پر آلومین و پس از آن سیمان سرباره‌ای بهترین مقاومت را در برابر خوردگی ناشی از نیترا ت آمونیم از خود نشان داده اند [۹].

در مطالعه حاضر به منظور بررسی تاثیر نوع پوزولان ها بر میزان خوردگی در برابر محلول‌های اسیدی، آزمون‌هایی سیمانی به همراه درصد بهینه ای از پوزولان های مختلفی همچون دوده سیلیس، خاکستر بادی، زئولیت و روبره ساخته شد و طی مدت زمان دو ماه درون محلول اسید نیتریک (با میزان pH برابر یک) و نیترا ت آمونیم (با میزان pH برابر شش) قرار داده شدند. در انتها پس از انجام آزمایش‌های مختلف (افت وزن و افت مقاومت فشاری) نتایج ارزشمندی مشاهده گردید که در ادامه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت.

۴. روند آزمایشگاهی

۴-۱. مصالح مصرفی

- نوع سیمان: با توجه به رفتار مناسب سیمان پرتلند نوع دو در مقابل حملات اسیدی به منظور ساخت آزمون‌ها از سیمان پرتلند نوع دو تهران استفاده شد. آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده در طرح‌های اختلاط در جدول ۱ مشاهده می‌گردد.
- مواد افزودنی: به منظور بررسی تاثیر اثر نوع پوزولان‌ها در خمیر سیمان به منظور مقاومت در برابر حملات اسیدی از ۸ درصد دوده سیلیس (SF)، ۱۵ درصد خاکستر بادی (FA)، ۱۰ درصد زئولیت (ZE) و ۲۰ درصد روبره (SL) به عنوان مقادیر بهینه استفاده شد. آنالیز شیمیایی هر یک از مواد پوزولانی نامبرده در جدول ۱ مشاهده می‌گردد.
- نسبت آب به سیمان: مقدار نسبت آب به سیمان در تمامی طرح‌های اختلاط برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند و مواد پوزولانی

| SL (%) | ZE (%) | FA (%) | SF (%) | سیمان (%) | |
|--------|--------|--------|--------|-----------|---|
| ۳۶/۸ | ۱/۶۸ | ۴ | - | ۴۶/۷ | اکسید کلسیم (CaO) |
| ۳۴/۹ | ۶۷/۷۹ | ۵۹/۴۴ | ۹۳/۱۶ | ۲۷/۳ | دی اکسید سیلیسیم (SiO ₂) |
| ۱۳/۹ | ۱۳/۶۶ | ۳۴/۰۴ | ۱/۱۳ | ۴/۶ | اکسید آلومینیوم (Al ₂ O ₃) |
| ۰/۵۲ | ۱/۴۴ | ۰/۵۲ | ۰/۷۲ | ۲/۷ | اکسید آهن (Fe ₂ O ₃) |
| ۱۰/۶ | ۱/۲ | ۱/۴۶ | ۱/۶ | ۳/۵ | اکسید منیزیم (MgO) |
| ۰/۵۸ | ۰/۵ | ۰/۴۲ | ۰/۰۵ | ۲/۰۴ | تری اکسید سولفور (SO ₃) |
| - | ۱/۴۲ | - | - | ۰/۵۲ | اکسید پتاسیم (K ₂ O) |
| - | ۲/۰۴ | - | - | ۰/۳۴ | اکسید سدیم (Na ₂ O) |
| ۲/۱۰ | ۱۰/۲۳ | ۰/۷۳ | ۱/۵۸ | ۴/۸۴ | افت وزنی در اثر حرارت (LOI) |

۴-۲. ساخت آزمون‌ها

به منظور اندازه‌گیری میزان کاهش وزن و مقاومت فشاری آزمون‌ها از هر طرح اختلاط، ۱۶ نمونه استوانه‌ای با قطر ۵ cm و ارتفاع ۱۰ cm ساخته شد و پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز در آب آهک اشباع عمل‌آوری شدند. بعد از عمل‌آوری برای هر طرح اختلاط ۶ عدد از نمونه‌ها به مدت دو ماه در محلول اسید نیتریک با مقدار pH برابر یک (غلظت ۰/۷ مولار) و ۶ عدد نمونه دیگر در محلول نیترا ت آمونیم با مقدار pH برابر شش (غلظت ۰/۶ مولار) قرار داده شدند. در طول مدت زمان قرارگیری نمونه‌ها

درون محلول در بازه‌های زمانی مختلف میزان افت وزن نمونه‌ها و کاهش مقاومت آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. همچنین می‌بایست در تمام مدت میزان pH محلول‌ها همواره ثابت نگه داشته شود.

۵. نتایج آزمایش‌ها به همراه تجزیه و تحلیل آن‌ها

۵-۱. وضعیت ظاهری نمونه‌ها به لحاظ خوردگی

اسید نیتریک یکی از اسیدهای قوی صنعتی می‌باشد که قدرت حلالیت زیادی دارد. وقتی خمیر سیمان در مجاورت اسید نیتریک قرار می‌گیرد، این اسید می‌تواند به راحتی با هیدروکسید کلسیم که یکی از محصولات هیدراتاسیون سیمان است واکنش داده و تولید نمک‌های کلسیم نماید. این نمک‌ها به راحتی از سطح بتن شسته شده و از آن جدا می‌شوند [۲]. از لحاظ وضعیت ظاهری مطابق شکل ۱ مشاهده می‌شود که سطح نمونه‌های موجود در محلول اسید نیتریک خورده شده و به آسانی پودر می‌شود بطوریکه از سطح جدا شده و همواره ترک‌های ریز و درشتی نیز در سطح نمونه مشاهده می‌شود که نفوذ اسید به عمق‌های بیشتر را تسهیل می‌کند.



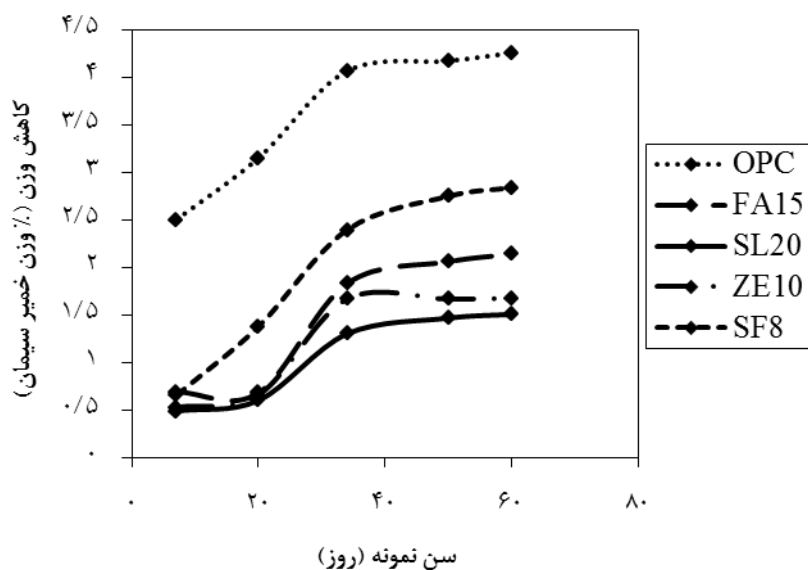
شکل ۱- وضعیت ظاهری نمونه‌های خمیر سیمان پس از قرارگیری در محلول اسید نیتریک

۵-۲. آزمایش اندازه‌گیری مقدار افت وزن

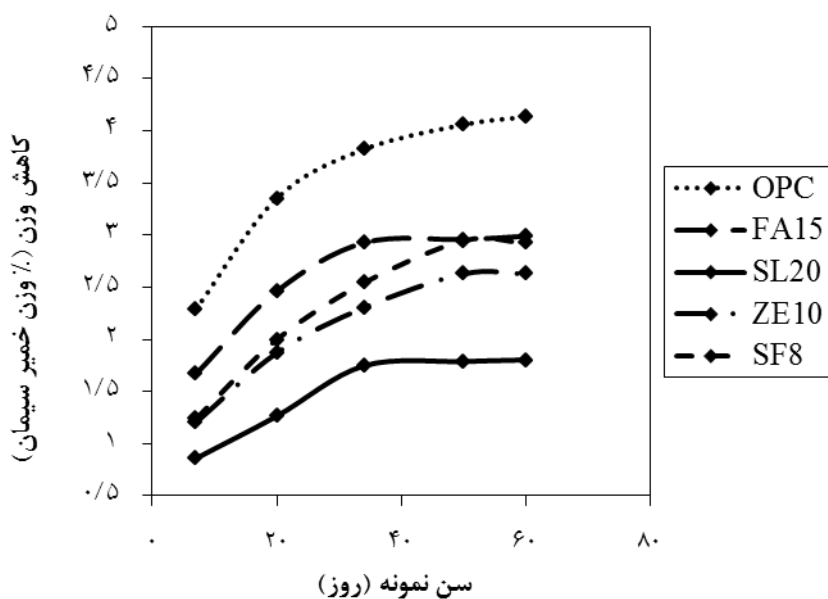
در این آزمایش برای هر طرح اختلاط ۴ عدد استوانه با قطر ۵ و ارتفاع ۱۰ سانتی متر تهیه شده است. دو نمونه در هر طرح اختلاط درون محلول اسید نیتریک و دو نمونه دیگر درون محلول نیترات آمونیوم با pH های به ترتیب ۱ و ۶ قرار داده شدند. قابل ذکر است که همواره در طول مدت قرارگیری نمونه‌ها در محلول‌ها می‌بایست pH مخازن بطور مرتب کنترل شود تا در صورت تغییر pH مخزن، میزان غلظت محلول‌ها در مقدار ذکر شده ثابت گردد. در ادامه نمونه‌ها طی دو ماه در چند نوبت، از محلول‌ها خارج شده و توزین گردیدند.

در نهایت پس از گذشت دو ماه، میزان افت وزن هر پنج طرح مذکور در محلول اسید نیتریک مطابق شکل ۲ و در محلول نیترات آمونیوم مطابق شکل ۳ ترسیم شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود پس از گذشت مدت زمان دو ماه از قرارگیری آزمایش‌ها در محلول اسید نیتریک، طرح حاوی ۲۰ درصد روبراره و ۱۰ درصد ژئولیت کاهش وزن یکسانی (حدود ۱/۵ درصد) از خود نشان می‌دهند. این در حالیست که کمترین افت وزن پس از دو ماه مربوط به نمونه خمیر سیمان حاوی ۲۰ درصد روبراره و بیشترین افت وزن مربوط به نمونه شاهد (سیمان معمولی) در حدود ۴/۲ درصد (حدود ۲/۸ برابر طرح روبراره) می‌باشد. بعد از نمونه شاهد طرح‌های حاوی دوده سیلیس با حدود ۲/۷ درصد و خاکستر بادی با حدود ۲/۲ درصد افت وزن، نسبت به نمونه شاهد عملکرد بهتری از خود نشان دادند. همچنین مطابق شکل ۲ نرخ افت وزن نمونه‌ها را می‌توان در طول زمان به سه دسته تقسیم بندی نمود: (۱) طی ۲۰ روز اول که در این مدت نرخ افت وزن کم می‌باشد (۲) بین ۲۰ تا ۴۰ روز که طی این مدت نرخ افت وزن نمونه‌ها به شدت افزایش یافته است (۳) دسته سوم از ۴۰ تا ۶۰ روز است که در این مدت دوباره نرخ افت وزن نمونه‌ها نسبت به دسته دوم کاهش یافته اما ثابت نشده است.



شکل ۲- میزان افت وزن نمونه‌های خمیر سیمان با پوزولان‌های مختلف پس از دو ماه قرارگیری در اسید نیتریک



شکل ۳- میزان افت وزن نمونه‌های خمیر سیمان با پوزولان‌های مختلف پس از دو ماه قرارگیری در نیترات آمونیوم

برای نمونه‌های در معرض نیترات آمونیوم، مطابق شکل ۳، طی دو ماه قرارگیری نمونه‌ها در این محلول، طرح حاوی ۲۰ درصد روباره با حدود ۱/۷ درصد کاهش وزن، کمترین افت وزن و نمونه شاهد با حدود ۴/۲ درصد کاهش وزن بیشترین افت وزن را نشان می‌دهد. بعد از طرح حاوی ۲۰ درصد روباره، طرح حاوی ۱۰ درصد ژئولیت مشابه شکل ۲ کمترین افت وزن در اثر مجاورت با محلول مهاجم نیترات آمونیوم را تجربه می‌کند. طرح‌های حاوی ۸ درصد دوده سیلیس و ۱۵ درصد خاکستر بادی با مقداری حدود ۳ درصد افت وزن رفتاری شبیه به هم دارند. در این حالت بر خلاف رویارویی با اسید نیتریک نرخ افت وزن نمونه‌ها در ابتدا زیاد و سپس کاهش یافته است.

بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که در هر دو حالت روبرویی، طرح حاوی روبراره نسبت به بقیه طرح‌ها از عملکرد بهتری برخوردار بوده بطوریکه به ترتیب افت وزن آن در محلول اسید نیتریک حدود ۶۴ درصد نسبت به افت وزن نمونه شاهد و در محلول نیترات آمونیوم حدود ۶۰ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است.

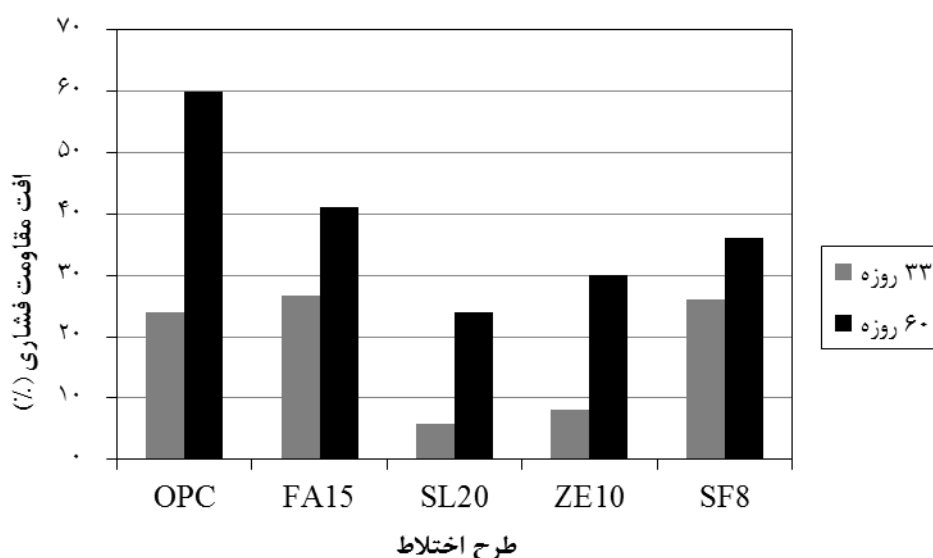
۳-۵. آزمایش اندازه‌گیری مقاومت فشاری

در این آزمایش برای هر طرح اختلاط ۱۲ عدد استوانه با قطر ۵ و ارتفاع ۱۰ سانتی متر تهیه شده است. سپس ۴ عدد نمونه در هر طرح اختلاط در محلول اسید نیتریک و ۴ عدد نمونه دیگر در محلول نیترات آمونیوم قرار داده شدند. همانطور که قبلاً ذکر شد، از هر طرح ۲ نمونه برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری اولیه (بدون قرارگیری در محلول) در نظر گرفته شد. در ادامه pH مخزن نگه داری نمونه‌ها، هر روز بطور مرتب کنترل شده تا در صورت تغییر pH مخزن، میزان غلظت محلول‌ها در مقدار ذکر شده ثابت گردد. نمونه‌ها طی دو ماه در چند نوبت، از محلول‌ها خارج شده و تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته اند. (شکل ۴)

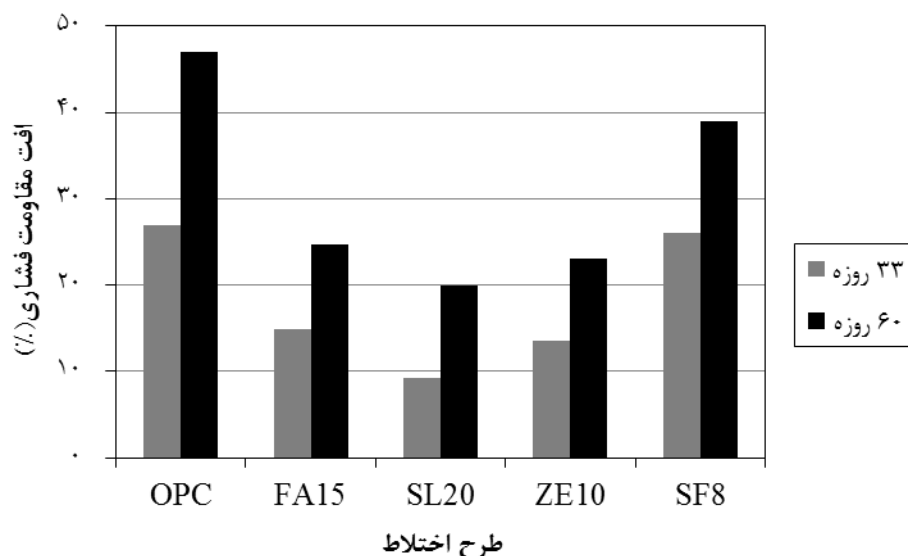


شکل ۴. دستگاه آزمایش مقاومت فشاری

در مطالعه حاضر، مقادیر درصد افت مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه ای 5×10 سانتی متر سیمانی، در سنین ۳۳ و ۶۰ روزه در محلول اسید نیتریک و محلول نیترات آمونیوم مطابق شکل ۵ و ۶ ارائه شده است.



شکل ۵- مقایسه مقادیر افت مقاومت فشاری در پنج طرح اختلاط پیشنهادی در محلول اسید نیتریک



شکل ۶- مقایسه مقادیر افت مقاومت فشاری در پنج طرح اختلاط پیشنهادی در محلول نیترات آمونیوم

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار افت مقاومت فشاری مخلوط‌های سیمانی برای هر دو محلول از روند مشابهی تبعیت می‌کنند. همانطور که مشاهده می‌گردد در هر دو محلول اسید نیتریک و نیترات آمونیوم مخلوط شامل ۲۰ درصد روباره کمترین و سیمان معمولی بیشترین میزان افت مقاومت فشاری را دارا می‌باشند. از طرف دیگر استفاده از روباره موجب بهبود عملکرد مخلوط سیمانی در مواجهه با مواد اسیدی خواهد شد بطوریکه مطابق شکل‌های ۵ و ۶ با استفاده از روباره افت مقاومت فشاری در محلول اسید نیتریک و نیترات آمونیوم به ترتیب ۶۰ و ۵۷ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است. پس از روباره طرح‌های شامل ژئولیت، دوده سیلیس و خاکستر بادی برای هر دو محلول نسبت به نمونه شاهد عملکرد مناسب‌تری از خود نشان داده اند.

نتیجه گیری

مطابق نتایج بدست آمده از آزمایش‌های مقاومت فشاری و افت وزن در محلول اسید نیتریک و نیترات آمونیوم مشاهده می‌شود که بطور کلی جایگزین کردن بخشی از سیمان با مواد پوزولانی به دلیل تشکیل ریزساختار مناسب‌تر در مخلوط سیمانی، موجب بهبود عملکرد مخلوط در برابر حملات اسیدی خواهد شد. همانطور که در مطالعه حاضر مشاهده گردید در تمامی طرح‌ها استفاده از پوزولان‌های ۸ درصد دوده سیلیس، ۱۵ درصد خاکستر بادی، ۱۰ درصد ژئولیت و ۲۰ درصد روباره موجب کاهش میزان افت وزن و افت مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد شده است. از طرفی بر اساس نتایج آزمایش‌های افت وزن و افت مقاومت فشاری طرح حاوی ۲۰ درصد روباره نسبت به بقیه طرح‌ها عملکرد بهتری داشته است و کاهش چشمگیری را در میزان افت وزن و افت مقاومت فشاری نسبت به سایر پوزولان‌ها از خود نشان داده است.

مراجع

- [1]. دوستی ع، المطهری ا.م، جاویدمهر س، نعمتی م، شکرچی زاده م، استفاده از شاتکریت در ترمیم سازه‌های بتنی در تماس با مواد خورنده اسیدی، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۱.
- [2]. Allahverdi, A., Skvara, F., "Acidic corrosion of hydrated cement based materials, part 2- kinetics of the phenomenon and mathematical models", *Ceramics-Silikaty*, 44(4), 152-160, 2000.
- [3]. Pavlik, V., "Corrosion of hardened cement paste by acetic and nitric acids. Part 1: Calculation of corrosion depth", *Cement and Concrete Research*, 24(3), 551-562, 1994.

- [4]. Turkel, S., Felekoglu, B., and Dulluc, S., "Influence of various acids on the physico- mechanical propertice of pozzolanic cement mortars", *Sadhana*, 32(6), 683-691, 2007.
- [5]. Pavlik, V., "Corrosion of hardened cement paste by acetic and nitric acids. Part 3: Influence of Water/Cement Ratio", *Cement and Concrete Research*, 26(3), 475-490, 1996.
- [6]. Shi, S., Stegemann, J.A., "Acid corosion resistance of different cementing materials", *Cement and Concrete Research*, 30, 803-808, 2000.
- [7]. Pavlik, V., Uncik,S., "The rate of corrosion of hardened cement pastes and mortars with additive of silica fume in acids", *Cement and Concrete Research*, 27(11), 1731-1745, 1997.
- [8]. Scheider, U.,Chen, S. W., "Concrete under ammonium nitrate attack and stress corrosion", *Performance of Cement-based Materials in Aggressive Aqueous Environments*, 2007.
- [9]. Goncalves, A., Rodrigues, X., "The resistance of cements to ammonium nitrate attack", *ACI*, 126(58), 1093-1118, 1991.