

Comparative Evaluation of Effect of Fly Ash and Microsilica on the Development of Compressive Strength and Electrical Resistance of Concretes Exposed to Chlorinated Waters

Yaghoub Babaei¹, Seyyed Arash Mousavi Ghasemi^{2*}, Yousef Zandi³

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

ABSTRACT

Chloride ions are one of the most common causes of corrosions. They can enter the concrete through chloride-contaminated aggregates, additive materials or external sources, such as seawater. If the concrete is exposed to these ions, its strength will be significantly influenced and even reduced, in addition to the severe loss of concrete durability and expansion of corrosion. Therefore, the present study aims to compare the effects of fly ash and micro-silica on the development of the compressive strength, and electrical resistance of concretes exposed to chlorinated waters. The plans of this study included two types of conventional concretes and concretes containing pozzolanic material. Concrete mixing plans in chloride medium were divided into 11 main groups, each of which included 8 plans with the substitution of different percentages of micro-silica and fly ash powders for cement in concrete and only in Group 1 including a plan as the control plan, no additive material was used as a substitution for cement. Accordingly, 81 plans, each with 4 samples (7, 14, 28, and 42-day ages), were constructed and examined to test compressive strength (N=324 plans). The results of the tests indicated that in the chloride medium, using the concrete containing standard sand reinforced with fly ash and microsilica pozzolans provided an optimal mixing design with high strength, good durability, and lower costs. Moreover, the maximum (a 6% increase in strength) and minimum (a 32% reduction in strength) durability was obtained for Sample No.13 of Group 3 (containing no fly ash and 10% microsilica) and Sample No.33 of Group 5 (containing 20% fly ash and 5% microsilica), respectively. Also, with the substitution of 20% microsilica, the 90 day-old concrete sample showed a 2.46-fold increase in electrical resistance compared to the 28 day-old sample.

ARTICLE INFO

Receive Date: 07 August 2021

Revise Date: 07 December 2021

Accept Date: 19 December 2021

Keywords:

Concrete Compressive
Strength
Chloride Medium
Fly Ash
Microsilica
Concrete Electrical

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2021.297648.2517>

*Corresponding author: Seyyed Arash Mousavi Ghasemi
Email address: amousavi2000@iaut.ac.ir

ارزیابی مقایسه‌ای تأثیر خاکستربادی و میکروسیلیس بر روی روند رشد، مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی بتن‌های در معرض آب‌های کلردار

یعقوب بابائی^۱، سیدآرش موسوی قاسمی^{۲*}، یوسف زندی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

یکی از شایع‌ترین خوردگی‌ها، ناشی از یون‌های کلراید می‌باشد و این یون‌ها می‌توانند از طریق سنگدانه‌های آلوده و مواد افزودنی یا نفوذ از منابع خارجی مانند آب دریا وارد بتن شوند و اگر بتن تحت تأثیر آن قرار بگیرد، علاوه بر افت شدید دوام و توسعه خوردگی، شاهد تأثیر محسوس بر روی روند رشد و یا کاهش مقاومت خواهد شد. در تحقیق حاضر به بررسی ارزیابی مقایسه‌ای تأثیر مقادیر مختلف خاکستربادی و میکروسیلیس بر روی دوام بتن و روند رشد دوام در سنین مختلف با انجام آزمایشات مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی بتن‌های ساخته شده با انواع طرح اختلاط در معرض آب‌های کلردار پرداخته شده است. طرح‌های این مطالعه به دو بخش بتن‌های معمولی و بتن‌های دارای ماده پوزولانی تقسیم شده‌اند که طرح‌های اختلاط بتن‌ها در محیط کلریدی در ۱۱ گروه اصلی دسته‌بندی شده‌است و هر گروه شامل ۸ طرح با جایگزینی پودرهای میکروسیلیس و خاکستربادی با درصد‌های متفاوت به جای سیمان شده و فقط گروه اول بدون هیچ گونه مواد افزودنی جایگزین سیمان، شامل یک طرح به عنوان طرح مبنا شد. بنابراین ۸۱ طرح که هر کدام شامل ۴ نمونه برای آزمون‌های مقاومت فشاری در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روزه با جمع کل ۳۲۴ طرح ساخته شده و بررسی شدند. نتایج تحقیق نشان داد در محیط کلریدی، بتن با سنگدانه استاندارد که با پوزولان‌های خاکستربادی و میکروسیلیس تقویت شده طرح اختلاط بهینه‌ای را ارائه نمود که مقاومت بالا و دوام خوب و با صرف هزینه کم، راداشته است. به گونه‌ای که بیش‌ترین و کم‌ترین دوام برای نمونه‌های طرح ۱۱۳ از گروه ۳ با ۱۰٪ میکروسیلیس و طرح ۳۳ از گروه ۵ با ۲۰٪ خاکستربادی و ۵٪ میکروسیلیس به ترتیب شاهد ۶٪ افزایش مقاومت و ۳۲٪ کاهش مقاومت بود و مقاومت الکتریکی با جایگزینی ۲۰٪ میکروسیلیس در سنین ۹۰ روزه در مقایسه با سنین ۲۸ روزه، ۲/۴۶ برابر افزایش یافت.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری بتن، محیط‌های کلریدی، خاکستربادی، میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی بتن.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2021.297648.2517	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.297648.2517	۱۴۰۱/۰۷/۳۱	۱۴۰۰/۰۹/۲۸	۱۴۰۰/۰۹/۲۸	۱۴۰۰/۰۹/۱۶	۱۴۰۰/۰۵/۱۶
سیدآرش موسوی قاسمی amousavi2000@iaut.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

ترکیب یکی از مرسوم‌ترین مصالح ساختمانی در جهان، بتن مسلح است؛ که در شرایط گوناگون محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه مولفه‌های اصلی بتن مانند مقاومت فشاری، روانی و دوام آن به شکل گسترده‌ای مورد توجه مهندسی سازه است. افزایش مقاومت فشاری بتن مزایای زیادی از قبیل: کوچک‌شدن مقاطع، کاهش هزینه‌ها و آسیب‌های محیط‌زیستی به واسطه کم‌شدن مواد اولیه در بتن و افزایش دوام آن را دربردارد. همچنین افزایش روانی بتن تازه، سهولت اجرا و امکان بتن‌ریزی در شرایط خاص را برای مجریان فراهم می‌سازد و به مهندسیین طراح امکان استفاده از طرح اختلاط‌های با نسبت آب به سیمان کم‌تر را می‌دهد، که این امر نیز منجر به افزایش مقاومت فشاری و مزایای آن می‌گردد که به منظور حصول مقاومت فشاری بالا عمدتاً از پوزلان‌ها استفاده می‌شود [۲، ۱]. همچنین دوام بتن در شرایط طبیعی، محیطی و داخلی عامل مهمی برای حفظ الزامات کارایی بتن می‌باشد [۳]. در حال حاضر در اکثر کشورهای توسعه یافته تحولی در حال شکل‌گیری است که براساس آن توجه زیادی به مسائل دوام بتن صورت پذیرفته است و نقطه اساسی این امر نیاز به ارزیابی علمی طرح‌ها جهت بالابردن معیارهای واقعی دوام و پایایی می‌باشد که یکی از کالبدی‌ترین فاکتورها، کنترل کیفیت جدی در پروژه‌های ساخت بتن جهت اطمینان از ایمنی و افزایش عمر مفید ساختمان‌ها می‌باشد. بنابراین در یک جمع‌بندی بررسی دوام بتن یک امر مهم پژوهشی است [۴]. با این وجود یکی از عوامل خرابی زودرس بتن مسلح، خوردگی فولادهای آن می‌باشد و این موضوع از مهم‌ترین مشکلاتی است که صنعت ساخت و ساز، در رابطه با دوام، با آن مواجه است [۵]؛ که باعث تعمیرات پرهزینه و گاهی اوقات ساخت مجدد سازه‌های آسیب‌دیده می‌گردد. عامل اصلی این اتفاق کاهش pH محلول آبی موجود در منافذ بتن و تسریع واکنش‌های اکسیدشدن آهن در حضور یون-کلر می‌باشد [۶]. که خوردگی فولاد به دو طریق به بتن مسلح آسیب می‌رساند. اول باعث کاهش سطح مقطع میلگرد می‌گردد. دوم اینکه محصولات خوردگی با حجمی بزرگتر از خود فولاد را به وجود می‌آورد. این افزایش حجم با ایجاد تنش‌های کششی در بتن منجر به ترک خوردگی و در نهایت خرابی سازه می‌گردد [۷].

عامل اصلی دیگری که در دوام بتن نقش دارد، نفوذپذیری آن می‌باشد. مجراها و منافذ موئین که از تبخیر آب اضافی در بتن باقی می‌ماند؛ مهم‌ترین علت متخلخل و نفوذپذیری بتن محسوب می‌شود [۸]. هر چه این منافذ متصل‌تر باشند بتن نفوذپذیرتر است. آب اضافی همچنین منجر به افزایش میزان ترک‌های جمع‌شدگی می‌گردد. این ترک‌ها خود مسیر عبور آب و مواد شیمیایی هستند. ترک‌های عمیق‌تر سریع‌تر به خوردگی فولاد مدفون در بتن منتهی می‌شوند. نفوذپذیری بتن، باعث می‌شود که آب یا سیالات دیگر بتوانند در بتن جریان پیدا و مواد آسیب‌رسان و مضر را با خود به درون بتن حمل نمایند [۹]. بتن با نفوذپذیری پایین در مقابل حملات شیمیایی مقاومت بهتری نشان می‌دهد. به گونه‌ای که می‌توان بتن نسبتاً "غیرقابل نفوذ" را بتن با دوام دانست [۱۰]. هر چند مهم‌ترین علت نفوذپذیری بتن نداشتن فشردگی لازم و وجود خلل و فرج در بتن است اما میزان نفوذپذیری تنها تابع ساده‌ای از تخلخل نمی‌باشد و علاوه بر آن به اندازه، توزیع، شکل پیچ و خم مسیر و پیوستگی منافذ نیز بستگی دارد. در حالت کلی میزان نفوذپذیری بتن تابع دو عامل سیال عبوری و محیط متخلخل نفوذ است [۱۱، ۱۲]. افزایش دوام بتن به ویژه در محیط‌های خورنده می‌تواند نقش عمده‌ای در توسعه پایدار داشته باشد [۱۳]. که بر اساس گزارش سازمان ملل، اصطلاح "توسعه پایدار" توسعه و پیشرفتی است که بتواند نیازهای زمان حال را به گونه‌ای تأمین کند که توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهای خود به مخاطره نیفتد [۱۴]. از این رو پی بردن به خواص بتن و پیش‌بینی عملکرد آن در محیط‌های خورنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عوامل متعددی به عملکرد بتن تأثیر می‌گذارد مثلاً نفوذپذیری بتن، شرایط محیطی، نسبت آب به سیمان، عیار سیمان، یون‌های موجود در منطقه و... که هر کدام از این موارد در ساخت بتن خوب موثر است. اگر سیمان موجود در مخلوط ناکافی باشد، بتن به درستی متراکم نمی‌گردد و بافتی لانه زنبوری با سایر معایب سطحی در آن به وجود می‌آید که موجب تسهیل راه‌یابی عوامل آسیب‌رسان به درون آن می‌گردد [۱۵]. از طرف دیگر مقدار سیمان زیاد با افزایش حجم خمیر سیمان که مهم‌ترین عامل تخلخل در بتن است، باعث افزایش تخلخل مخلوط می‌گردد [۱۶]. افزایش تقاضا برای دوام و مقاومت مصالح مبتنی بر سیمان موجب شده است که مواد ضایعاتی مختلف با خواص پوزولانی به مخلوط بتن وارد گردند [۱۷]. همچنین افزایش نگرانی‌های جهانی در مورد اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی کربن دی‌اکسید^۱ و انتشار گازهای گلخانه‌ای، و راه‌کارهای مختلف برای کاهش میزان انتشار کربن دی‌اکسید را به همراه

^۱ CO₂

داشته است [۱۸]. این نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای از فرایند تولید سیمان پرتلند باعث تشویق محققان به بررسی مناسب بودن مواد جایگزین برای جایگزینی سیمان پرتلند در بتن گشته است [۱۹]. بنابراین، مواد ضایعاتی معمولاً برای کاهش هزینه و کاهش انتشار کربن دی‌اکسید برای جایگزینی سیمان پرتلند استفاده می‌شود. مواد افزودنی که در ساخت بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد، باعث کاهش آلودگی زیست محیطی می‌گردد و همچنین استفاده از مواد افزودنی شیمیایی و معدنی موجب اصلاح برخی از خواص بتن می‌شود [۲۰]. حضور مواد مکمل معدنی و سیمانی در بتن موجب بهبود خواص بتن از جمله خواص مکانیکی، خواص رئولوژیکی و انتقال می‌شود [۲۱، ۲۲، ۲۳].

سرباره ذوب آهن یکی از مواد می‌باشد که به دلیل دارا بودن خواص پوزولانی به عنوان جایگزینی برای سیمان در بتن استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که نفوذپذیری و تخلخل بتن‌هایی که در آنها از سرباره ذوب آهن استفاده شده است، در مقایسه با بتن ساخته شده با سیمان معمولی کم‌تر است ولی روند کسب مقاومت فشاری کندی رادرسنین اولیه نسبت به بتن معمولی از خود نشان داده‌اند [۲۴]. لازم به ذکر است مکانیزم عمل میکروسیلیس و سرباره به این صورت است که با هیدروکسید کلسیم^۲ ترکیب شده و تبدیل به سیلیکات کلسیم هیدراته شده^۳ می‌شوند، این محصولات جدید تولید شده، وظیفه اصلی کسب مقاومت خمیر سیمان را برعهده دارند. سرباره جایگزین شده از مقدار سیمان در بتن کم می‌کند، بنابراین در سنین اولیه حجم فضای مویینه و مقدار هیدروکسید کلسیم در بتن زیاد شده و در بتن در سنین اولیه در ناحیه انتقال خمیر سیمان، سنگدانه از ریزساختار متراکم‌تری برخوردار نیست که این منجر به کاهش مقاومت فشاری در سنین اولیه می‌شود. اما در سنین بعدی سرباره فعالیت پوزولانی خود را شروع کرده و باعث کاهش میزان هیدروکسید کلسیم، اندازه حفرات مویینه و حجم فضای مویینه می‌شود و باعث بهبود ریزساختار بتن در ناحیه انتقالی و افزایش مشخصات مکانیکی و پایایی بتن می‌شود [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱].

تحقیقات بسیاری از پژوهشگران نشان می‌دهد که آب نمکی مضر که برای استفاده در بتن مناسب نیست، با مغناطیسی کردن آن می‌توان در بتن استفاده شود و نتایج آزمایش‌ها نشانگر این امر هستند که بتن ساخته شده با آب نمکی مغناطیسی دارای توانایی به اندازه بتن ساخته شده با آب معمولی است، این بهبود به دلیل افزایش هیدراتاسیون و تغییر ساختار منافذ بتن است [۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷]. در سال‌های اخیر تحقیقات قابل توجهی در ارتباط با نحوه بهبود مقاومت بتن تحت اثرات مخرب محیطی انجام یافته است [۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۳۷].

بر اساس مطالعات مروری، سازه‌های بتنی در محیط خورنده کلریدی با کاهش مقاومت روبرو می‌شود. بدلیل اهمیت دوام بتن، در تحقیق حاضر به بررسی ارزیابی مقایسه‌ای تأثیر مقدار مختلف خاکستریادی و میکروسیلیس بر روی دوام بتن و روند رشد دوام در سنین مختلف با انجام آزمایشات مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی بتن‌های ساخته شده با ۳۲۴ نوع طرح اختلاط در معرض آب‌های کلردار پرداخته شده است.

۲- مواد و مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ ۲ سیمان صوفیان با خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مندرج در جدول ۱ طبق استاندارد ASTM C150 [۴۲] استفاده شدو برای کسب کارایی مطلوب در مخلوط‌های بتن از فوق روان‌کننده‌ای بنام Structuro 335 که بر پایه پلی کربوکسیلیک هست، استفاده گردید. در این پژوهش از پودر خاکستریادی و میکروسیلیس که ساخت شرکت فرافزون شیمی (اصفهان) و طبق استاندارد ASTM C494 [۴۳] در رده G تولید می‌شود به عنوان جایگزین سیمان استفاده شد که خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. از سنگدانه درشت شکسته شده با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر و سنگدانه‌های ریز طبیعی، طبق استاندارد ASTM

^۲ Ca(OH)₂

^۳ (C-S-H)

C33 [۴۴] متعلق به شرکت استخراج ایرانیان (ماسه شوئی امامیه) استفاده شد که جدول ۲ مشخصات سنگدانه‌های استفاده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات سیمان مصرفی، خاکستر بادی و میکروسیلیس

خواص فیزیکی و مکانیکی

چگالی (gr/cm ³)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kg/cm ²)	مقاومت فشاری ۷ روزه (kg/cm ²)	مقاومت فشاری ۳ روزه (kg/cm ²)	زمان گیرش ثانویه (min)	زمان گیرش اولیه (min)	بلین
--	۴۶۲	۲۳۷	۱۷۱	۱۷۵	۱۱۶	۲۹۷۴ سیمان
۲,۳۱	--	--	--	--	--	خاکستر بادی
۱,۷۵	--	--	--	--	--	میکروسیلیس

ترکیبات شیمیایی (%)

میکروسیلیس س	خاکس تر بادی	سیمان	میکروسیلیس	خاکستر بادی	سیمان	خاکس تر بادی	سیمان
--	--	۱۱,۱۳	C ₄ A	۰,۶۳	--	--	۲۱,۷۷ SiO ₂
--	--	--	ZnO	--	۱,۱	۲۶,۲۲	۴,۵۳ Al ₂ O ₃
۰,۱	--	--	CuO	--	۱,۳۸	۰,۸۹	۳,۶۶ Fe ₂ O ₃
--	--	--	MoO ₃	--	۰,۶۳	۰,۲۶	۶۳,۱۳ CaO
--	--	--	Sb ₂ O ₃	--	۰,۰۱	۰,۱۸	۲,۱۷ MgO
--	--	--	P ₂ O ₅	--	۴۵,۰۷	۰,۱۵	۰,۳۲ Na ₂ O
--	--	--	--	--	۲۸,۴۱	۲۱,۰	۰,۸۳ K ₂ O
--	--	--	--	--	۵,۸۱	--	۲,۲۲ SO ₃

جدول ۲: دانه بندی و خواص فیزیکی سنگدانه‌ها

mm	۰/۰۷۵	۰/۱۵۰	۰/۳	۰/۶	۱/۱۸	۲/۳۶	۴/۷۵	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵
بادامی	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۱	۰,۲	۴	۳۲	۹۵	۱۰۰
نخودی	۰	۰	۰	۰	۰	۴,۵	۱۵,۱	۸۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ماسه	۱,۶	۴	۲۴	۳۳	۵۸	۷۴	۸۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

۲-۲- طرح اختلاط

طرح‌های این پژوهش در دو بخش بتن‌های معمولی و بتن‌های دارای ماده پوزولانی شامل درصدهایی از خاکستر بادی و میکروسیلیس تقسیم شده‌اند. طرح‌های بتن‌ها در ۱۱ گروه اصلی دسته‌بندی گردیدند. گروه اول شامل ۱ طرح مینا بود که هیچ‌گونه مواد افزودنی جایگزین سیمان نشد و از این طرح برای مقایسه با سایر طرح‌ها استفاده شد. در گروه‌های بعدی پودرهای میکروسیلیس و خاکستر بادی با درصدهای متفاوت جایگزین سیمان شدند که در مجموع ۸۱ طرح فقط برای بتن‌های طرح‌ها در محیط کلریدی ساخته شد که هر کدام از این طرح‌ها شامل ۴ نمونه شدند که برای آزمون مقاومت فشاری ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روزه آزمایش شدند. در نهایت ۳۲۴ نمونه آزمایشگاهی در ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ ساخته شد و یک نمونه هم به عنوان نمونه شاهد از محیط نرمال در سنین مذکور ساخته و نگهداری شد. در این طرح‌ها نسبت آب به مواد سیمانی به صورت تجربی و با آزمون و خطا مقدار ۰/۴۵ در نظر گرفته شد و برای فوق‌روان‌کننده نسبت ۰/۶ درصد وزنی مواد سیمانی انتخاب گردید.

ساخت بتن براساس جزئیات طرح‌های اختلاط این تحقیق و طبق استاندارد ACI211.1-91 [۴۵] با استفاده از مواد و مصالح مندرج در بخش ۲-۱ انجام گرفت که جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده به تفکیک هر گروه بصورت جداول در بخش ۳ این مقاله ارائه شده است. پس از ساخت هر سری بتن، بلافاصله برای تعیین روانی بتن تازه، آزمایش اسلامپ طبق استاندارد *ASTM C 143* [۴۶] انجام شد. در این تحقیق مقدار روان کننده به گونه‌ای انتخاب شد تا روانی دست کم معادل ۱۲ سانتی متر حاصل شود. در بتن‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳، خاکستریادی منجر به پهن شدن بتن بعد از آزمایش اسلامپ می‌شود. سپس بتن در قالب‌های مکعبی ریخته شده و پس از تراکم مناسب (توسط میز لرزان)، به اتاق با شرایط استاندارد منتقل شدند. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و تا زمان انجام آزمایش در آب با دمای 20 ± 2 نگهداری شدند و سپس نمونه‌ها جهت انجام آزمایش در محیط کلریدی داخل مخزن‌های حاوی نمک و آب (ایجاد محیط کلریدی) ۵ درصد با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ روز، قرار داده شدند (شکل ۱). در جدول ۳ میزان غلظت یون‌های غالب در محلول ذکر شده است.



شکل ۱: مخزن حاوی آب و نمک ۵ درصد برای ایجاد محیط کلریدی

جدول ۳: محلول‌های استفاده شده در آزمایش

کد	محلول	یون	Ppm
Cl	NaCl	Na ⁺	۲۳۰۰۰
		Cl ⁻	۳۵۵۰۰
S	Na ₂ SO ₄	Na ⁺	۴۵۵۵۰
		SO ₄ ⁻²	۱۹۳۳۰۰

۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری، نمونه‌های بتنی را بعد از ۷ روز از داخل مخزن محیط کلریدی خارج نموده و بر روی نمونه‌های بتنی هر گروه اختلاط، آزمایش‌های مربوط به مقاومت فشاری در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز، به وسیله‌ی جک هیدرولیکی انجام شد (شکل ۲). شایان ذکر است که مقاومت فشاری بتن‌های هر طرح در سنین مذکور از میانگین مقاومت فشاری سه نمونه به دست آمده، محاسبه و در بخش نتایج ذکر گردید. کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه بتن و مصالح دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام شد.



شکل ۲: تست مقاومت فشاری نمونه بتن مکعبی

۲-۴- آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی

برای تعیین مشخصات مکانیکی بتن سخت شده از آزمون‌های مقاومت الکتریکی و همچنین مقاومت نمونه‌های فشاری استفاده شد. در این تحقیق آزمایش‌های مقاومت الکتریکی در شرایط محیطی کلرانه انجام شد.

آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی براساس استاندارد ACI 222. بر روی آزمون مکعبی ۱۰۰ میلی متری در هر یک از سنین ۲۸ و ۹۰ روزه انجام گرفت. این آزمون‌ها بعد از متراکم کردن با میز ویبره و قالب‌گیری، آزمون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد نگهداری شدند. پس از قالب‌برداری، آزمون‌ها در حوضچه آب قرار گرفتند. برای انجام این آزمایش از یک دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی استفاده شد. برای این منظور دو صفحه مسی به همراه لایه نازکی از خمیرسیمان کم‌اسلامپ در دو طرف آزمون اشباع با سطح مرطوب قرار داده شد، و مقاومت الکتریکی بین آن دو اندازه‌گیری شد (شکل ۳). برای تعیین مقاومت ویژه الکتریکی، مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده در سطح مقطع آزمون ضرب و بر ارتفاع آن تقسیم شد، که از فرمول شماره ۱ بدست می‌آید [۴۸].

$$\rho = R \frac{A}{H} \quad (1)$$

که در آن ρ مقاومت ویژه الکتریکی (اهم متر) و R مقاومت الکتریکی قرائت شده از دستگاه (اهم) و A و $(B*L)$ مساحت سطح آزمون (مترمربع) و H ارتفاع آزمون (متر) است.



شکل ۳: دستگاه مقاومت الکتریکی دو نقطه‌ای

۳- نتایج آزمایش‌ها و تحلیل آن‌ها

۳-۱- نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها

در این پژوهش آزمایشاتی بر روی بتن معمولی و بتن‌های حاوی درصد‌های مختلفی از خاکستر بادی و میکروسیلیس در محیط کلریدی انجام گرفت که جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده به تفکیک هر گروه بصورت جداول و به همراه نتایج بدست آمده بشرح ذیل می‌باشد:

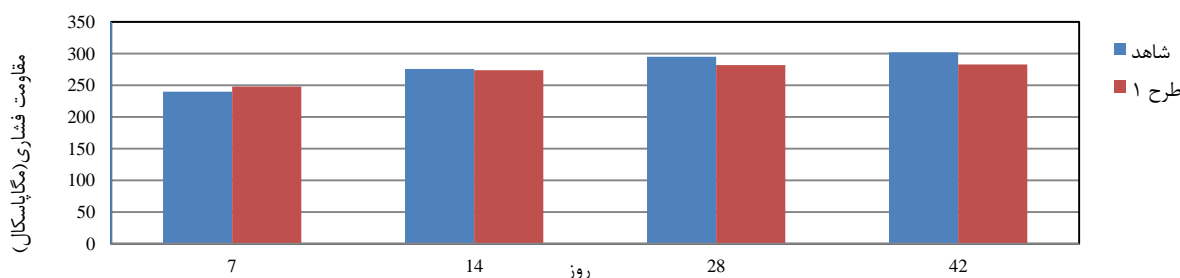
جدول ۴ نتایج مقاومت فشاری بتن با شن و ماسه استاندارد در شرایط نرمال (محیط بدون کلرید) را نشان می‌دهد و جدول ۵ جزئیات طرح اختلاط گروه ۱ را نشان می‌دهد که بتن در محیط کلریدی با سنگدانه استاندارد بدون مواد افزودنی جایگزین سیمان شد و با ۱ طرح به عنوان طرح مبنا برای مقایسه با سایر طرح‌ها استفاده شد و شکل ۴ نشانگر نتیجه مقاومت فشاری طرح مبنا هست که در سنین اولیه، افزایش مقاومت فشاری داشته اما در سنین ۲۸ و ۴۲ روزه، بتن با کاهش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد همراه شد.

جدول ۴: نتایج مقاومت فشاری استوانه‌های بتن‌های با شن و ماسه استاندارد در شرایط نرمال (گروه شاهد)

گروه	نمونه ۱ (۷ روزه)	نمونه ۲ (۱۴ روزه)	نمونه ۳ (۲۸ روزه)	نمونه ۴ (۴۲ روزه)
	240(MPa)	276(MPa)	295(MPa)	302(MPa)

جدول ۵: جزئیات طرح اختلاط مورد استفاده در گروه ۱ به عنوان طرح مبنا

گروه	طرح	سیمان	میکروسلیس درصد	مقدار	خاکستریادی درصد	مقدار	آب	سوپر فوق روان کننده	۲/۱	شن نخودی	۲۸۴	ماسه	۱۱۳۰	جمع کل
۱	۱	۳۵۰/۱۰۰۰	۰	۰/۱۰۰۰	۰	۰/۱۰۰۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۲۸۴	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶	

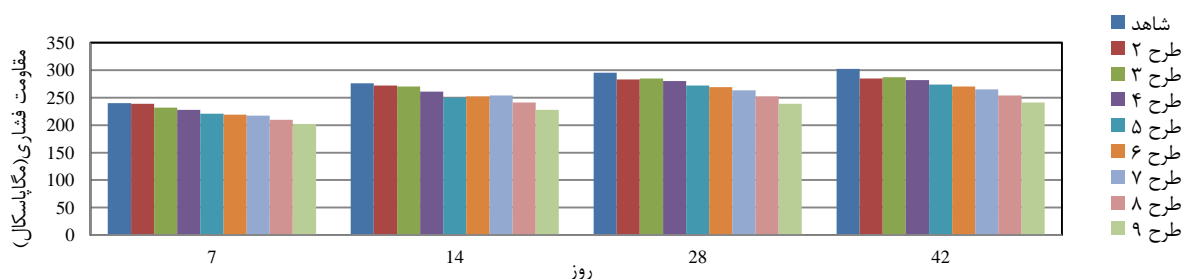


شکل ۴: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۱: طرح ۱)

جدول ۶ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۲ را نشان می‌دهد، که فقط از پودر خاکستریادی با درصد‌های مختلف به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۵ نتایج این جایگزینی را نشان می‌دهد که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن طرح‌ها شد، اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود و در طرح ۲ با ۲/۵ درصد پودر خاکستریادی در ۲۸ روزه با ۲۸۳ مگاپاسکال و در ۴۲ روزه با ۲۸۵ مگاپاسکال مقاومت فشاری و در طرح ۳ با ۰/۵ پودر خاکستریادی در ۲۸ روزه با ۲۸۵ مگاپاسکال و در ۴۲ روزه با ۲۸۷ مگاپاسکال، نسبت به طرح مبنا با افزایش مقاومت فشاری همراه شد.

جدول ۶: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۲

گروه	طرح	سیمان	میکروسیلیس		خاکستر بادی		سوپر فوق روان کننده	شن بادامی	شن نخودی	ماده	جمع کل
			مقدار	درصد	مقدار	درصد					
۲	۲	۳۴۱/۴۶۳	۰	۰/۰۰۰	۲/۵	۸/۵۳۷	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۳	۳	۳۳۳/۳۳۳	۰	۰/۰۰۰	۵	۱۶/۶۶۷	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۴	۴	۳۲۵/۵۸۱	۰	۰/۰۰۰	۷/۵	۲۴/۴۱۹	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۵	۵	۳۱۸/۱۸۲	۰	۰/۰۰۰	۱۰	۳۱/۸۱۸	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۶	۶	۳۱۱/۱۱۱	۰	۰/۰۰۰	۱۲/۵	۳۸/۸۸۹	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۷	۷	۳۰۴/۳۴۸	۰	۰/۰۰۰	۱۵	۴۵/۶۵۲	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۸	۸	۲۹۷/۸۷۲	۰	۰/۰۰۰	۱۷/۵	۵۲/۱۲۸	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۹	۹	۲۹۱/۶۶۷	۰	۰/۰۰۰	۲۰	۵۸/۳۳۳	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶



شکل ۵: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۲: طرح‌های ۲ الی ۹)

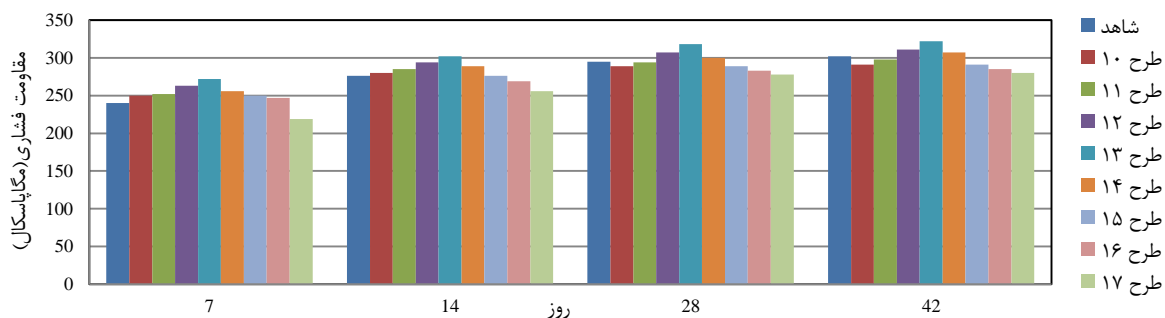
جدول ۷ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۳ را نشان می‌دهد، که فقط از پودر میکروسیلیس با درصدهای مختلف به عنوان ماده

جایگزین

سیمان استفاده شده و شکل ۶ نتایج این جایگزینی را نشان می‌دهد که تمامی طرح‌ها از سنین اولیه تا سنین بالاتر با افزایش مقاومت فشاری بتن طرح‌ها مواجه شدند به طوری که در اکثر طرح‌ها در تمامی سنین مقاومت فشاری طرح‌ها از مقاومت فشاری طرح مبنا و نمونه شاهد بالاتر شدند و طرح ۱۳ با ۱۰٪ میکروسیلیس در سن ۷ روزه با ۲۷۲ مگاپاسکال و در سن ۱۴ روزه با ۳۰۲ مگاپاسکال و در سن ۲۸ روزه با ۳۱۸ مگاپاسکال و در سن ۴۲ روزه با ۳۲۲ مگاپاسکال دارای بیشترین سرعت و مقاومت فشاری بودند.

جدول ۷: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۳

گروه	طرح	سیمان	میکروسیلیس		خاکستر بادی		سوپر فوق روان کننده	شن بادامی	شن نخودی	ماده	جمع کل
			مقدار	درصد	مقدار	درصد					
۳	۱۰	۳۴۱/۴۶۳	۲/۵	۸/۵۳۷	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۱	۱۱	۳۳۳/۳۳۳	۵	۱۶/۶۶۷	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۲	۱۲	۳۲۵/۵۸۱	۷/۵	۲۴/۴۱۹	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۳	۱۳	۳۱۸/۱۸۲	۱۰	۳۱/۸۱۸	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۴	۱۴	۳۱۱/۱۱۱	۱۲/۵	۳۸/۸۸۹	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۵	۱۵	۳۰۴/۳۴۸	۱۵	۴۵/۶۵۲	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۶	۱۶	۲۹۷/۸۷۲	۱۷/۵	۵۲/۱۲۸	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
۱۷	۱۷	۲۹۱/۶۶۷	۲۰	۵۸/۳۳۳	۰	۰/۰۰۰	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

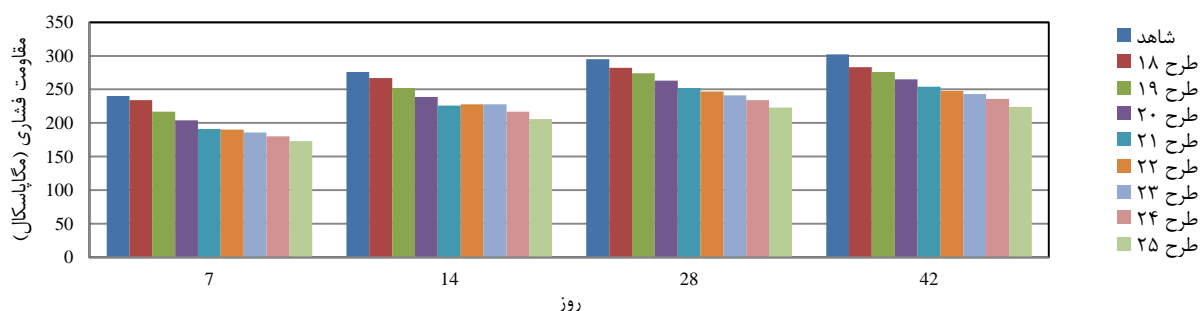


شکل ۶: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۳: طرح های ۱۰ الی ۱۷)

جدول ۸ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۴ را نشان می‌دهد که از ۲/۵٪ پودرمیکروسیلیس و درصد‌های مختلف خاکستربادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۷ نتایج این جایگزینی را نشان می‌دهد که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن طرح‌ها شد، اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود و فقط در طرح ۱۸ با ۲/۵٪ پودرمیکروسیلیس در سنین ۲۸ و ۴۲ روزه، افزایش مقاومت فشاری طرح ۱۸ با طرح مبنایکسان شد.

جدول ۸: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۴

گروه	طرح	سیمان		میکروسیلیس		خاکستربادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن بادمی	شن نخودی	ماسه	جمع کل
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد						
۴	۱۸	۳۳۳/۳۳۳	۲/۵	۸/۳۳۳	۲/۵	۸/۳۳۳	۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۱۹	۳۲۵/۵۸۱	۲/۵	۸/۱۴۰	۵	۱۶/۲۷۹	۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۰	۳۱۸/۱۸۲	۲/۵	۷/۹۵۵	۷/۵	۲۳/۸۶۴	۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۱	۳۱۱/۱۱۱	۲/۵	۷/۷۷۸	۱۰	۳۱/۱۱۱	۱۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۲	۳۰۴/۳۴۸	۲/۵	۷/۶۰۹	۱۲/۵	۳۸/۰۴۳	۱۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۳	۲۹۷/۸۷۲	۲/۵	۷/۴۴۷	۱۵	۴۴/۶۸۱	۱۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۴	۲۹۱/۶۶۷	۲/۵	۷/۲۹۲	۱۷/۵	۵۱/۰۴۲	۱۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۵	۲۸۵/۷۱۴	۲/۵	۷/۱۴۳	۲۰	۵۷/۱۴۳	۲۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶



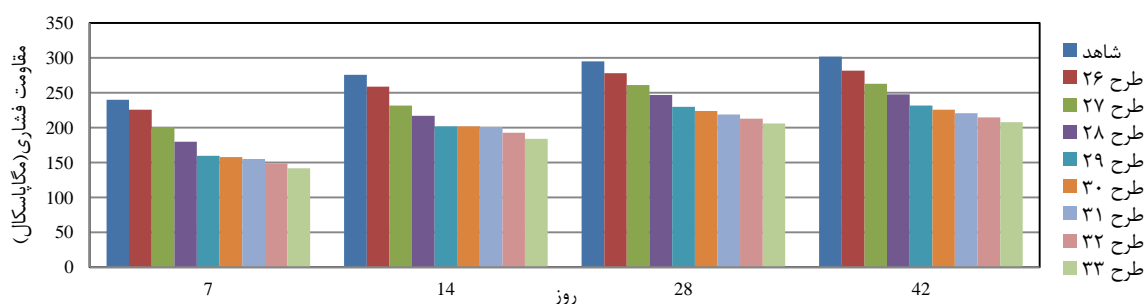
شکل ۷: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۴: طرح های ۱۸ الی ۲۵)

جدول ۹ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۵ را نشان می‌دهد که از ۵٪ پودرمیکروسیلیس و درصد‌های مختلف خاکستربادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۸ نتایج این جایگزینی را نشان می‌دهد که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن‌ها شد،

اما با گذشت زمان و افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود و در طرح ۳۲ در تمامی سنین، کمترین میزان مقاومت فشاری طرح‌ها مشاهده شد.

جدول ۹: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۵

گروه	طرح	سیمان	میکروسیلیس		خاکستربادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن		مسه	جمع کل
			مقدار	درصد	مقدار	درصد			بادامی	نخودی		
۵	۲۶	۳۲۵/۵۸۱	۵	۱۶/۱۷۹	۲/۵	۸/۱۴۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۷	۳۱۸/۱۸۲	۵	۱۵/۹۰۹	۵	۱۵/۹۰۹	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۸	۳۱۱/۱۱۱	۵	۱۵/۵۵۶	۷/۵	۲۳/۳۳۳	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۲۹	۳۰۴/۳۴۸	۵	۱۵/۲۱۷	۱۰	۳۰/۴۳۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۰	۲۹۷/۸۷۲	۵	۱۴/۸۹۴	۱۲/۵	۳۷/۲۳۴	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۱	۲۹۱/۶۶۷	۵	۱۴/۵۸۳	۱۵	۴۳/۷۵۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۲	۲۸۵/۷۱۴	۵	۱۴/۲۸۶	۱۷/۵	۵۰/۰۰۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۳	۲۸۰/۰۰۰	۵	۱۴/۰۰۰	۲۰	۵۶/۰۰۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶



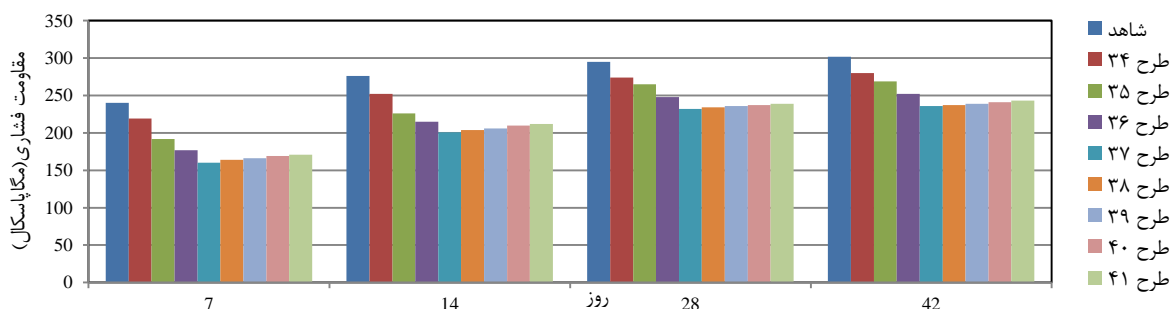
شکل ۸: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۵: طرح‌های ۲۶ الی ۳۳)

جدول ۱۰ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۶ را نشان می‌دهد که از ۷/۵٪ پودر میکروسیلیس و درصد‌های مختلف خاکستربادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۹ نتایج اختلاط را نشان می‌دهد که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن طرح‌ها شد، اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود.

جدول ۱۰: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۶

گروه	طرح	سیمان	میکروسیلیس		خاکستربادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن		مسه	جمع کل
			مقدار	درصد	مقدار	درصد			بادامی	نخودی		
۶	۳۴	۳۱۸/۱۸۲	۷/۵	۲۳/۸۶۴	۲/۵	۷/۹۵۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۵	۳۱۱/۱۱۱	۷/۵	۲۳/۳۳۳	۵	۱۵/۵۵۶	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۶	۳۰۴/۳۴۸	۷/۵	۲۲/۸۲۶	۷/۵	۲۲/۸۲۶	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۷	۲۹۷/۸۷۲	۷/۵	۲۲/۳۴۰	۱۰	۲۹/۷۸۷	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۸	۲۹۱/۶۶۷	۷/۵	۲۱/۸۷۵	۱۲/۵	۳۶/۴۵۸	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۳۹	۲۸۵/۷۱۴	۷/۵	۲۱/۴۲۹	۱۵	۴۲/۸۵۷	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۰	۲۸۰/۰۰۰	۷/۵	۲۱/۰۰۰	۱۷/۵	۴۹/۰۰۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

۲۳۴۹/۶ ۱۱۳۰ ۲۸۴ ۴۲۶ ۲/۱ ۱۵۷/۵ ۵۴/۹۰۲ ۲۰ ۲۰/۵۸۸ ۷/۵ ۲۷۴/۵۱۰ ۴۱

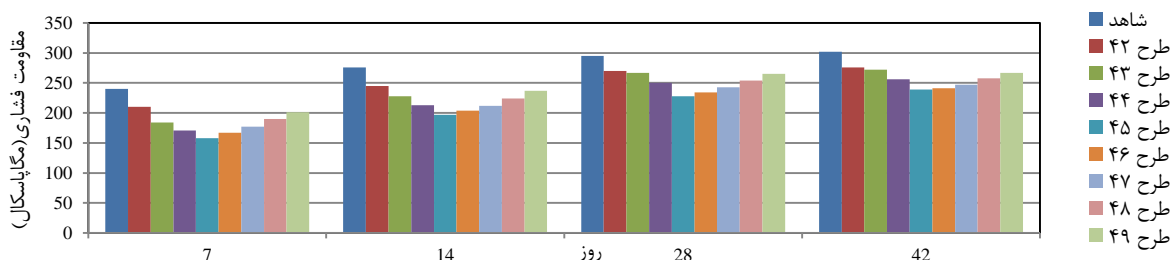


شکل ۹: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۶: طرح های ۲۴ الی ۴۱)

جدول ۱۱ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۷ را نشان می‌دهد که از ۱۰٪ پودر میکروسیلیس و درصد‌های مختلف خاکستریادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۱۰ نتایج آن‌ها را نشان می‌دهد که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن‌ها شد، اما با گذشت زمان و افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود.

جدول ۱۱: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۷

گروه	طرح	سیمان		میکروسیلیس		خاکستریادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن		ماسه	جمع کل
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد			نخودی	بادامی		
۷	۴۲	۳۱۱/۱۱۱	۱۰	۳۱/۱۱۱	۱۰	۷/۷۷۸	۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۳	۳۰۴/۳۴۸	۱۰	۳۰/۴۳۵	۱۰	۱۵/۲۱۷	۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۴	۲۹۷/۸۷۲	۱۰	۲۹/۷۸۷	۱۰	۲۲/۳۴۰	۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۵	۲۹۱/۶۶۷	۱۰	۲۹/۱۶۷	۱۰	۲۹/۱۶۷	۱۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۶	۲۸۵/۷۱۴	۱۰	۲۸/۵۷۱	۱۰	۳۵/۷۱۴	۱۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۷	۲۸۰/۰۰۰	۱۰	۲۸/۰۰۰	۱۰	۴۲/۰۰۰	۱۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۸	۲۷۴/۵۱۰	۱۰	۲۷/۴۵۱	۱۰	۴۸/۰۳۹	۱۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۴۹	۲۶۹/۲۳۱	۱۰	۲۶/۹۲۳	۱۰	۵۳/۸۴۶	۲۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

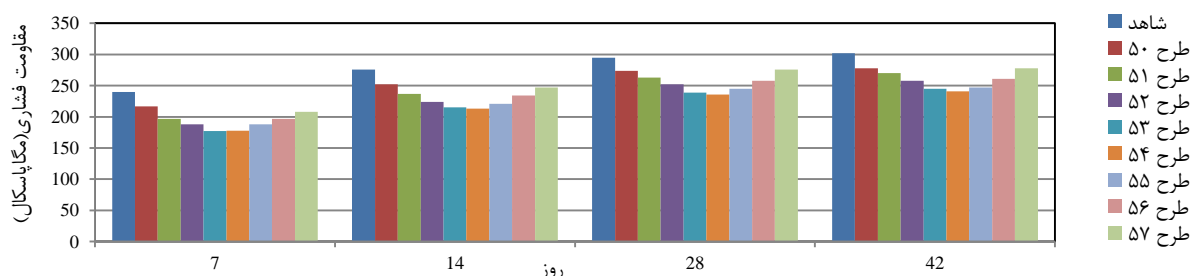


شکل ۱۰: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۷: طرح های ۴۲ الی ۴۹)

جدول ۱۲ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۸ را نشان می‌دهد که از ۱۲/۵٪ پودر میکروسیلیس و درصد‌های مختلف خاکستریادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۱۱ مبین نتایج این جایگزینی است که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن‌ها شد، اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود.

جدول ۱۲: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۸

گروه	طرح	سیمان		میکروسیلیس		خاکستر بادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن		مسه	جمع کل
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد			بادامی	نخودی		
۸	۵۰	۳۰۴/۳۴۸	۱۲/۵	۳۸/۰۴۳	۱۲/۵	۷/۶۰۹	۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۱	۲۹۷/۸۷۲	۱۲/۵	۳۷/۲۳۴	۱۲/۵	۱۴/۸۹۴	۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۲	۲۹۱/۶۶۷	۱۲/۵	۳۶/۴۵۸	۱۲/۵	۲۱/۸۷۵	۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۳	۲۸۵/۷۱۴	۱۲/۵	۳۵/۷۱۴	۱۲/۵	۲۸/۵۷۱	۱۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۴	۲۸۰/۰۰۰	۱۲/۵	۳۵/۰۰۰	۱۲/۵	۳۵/۰۰۰	۱۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۵	۲۷۴/۵۱۰	۱۲/۵	۳۴/۳۱۴	۱۲/۵	۴۱/۱۷۶	۱۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۶	۲۶۹/۲۳۱	۱۲/۵	۳۳/۶۵۴	۱۲/۵	۴۷/۱۱۵	۱۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۷	۲۶۴/۱۵۱	۱۲/۵	۳۳/۰۱۹	۱۲/۵	۵۲/۸۳۰	۲۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

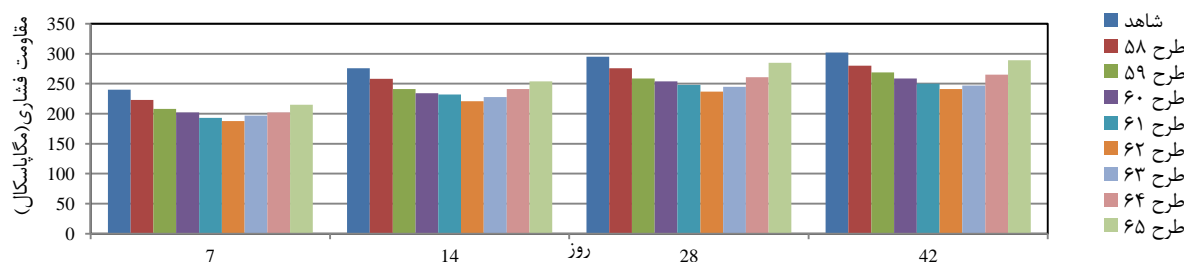


شکل ۱۱: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۸: طرح‌های ۵۰ الی ۵۷)

جدول ۱۳ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۹ را نشان می‌دهد که از ۱۵٪ پودر میکروسیلیس و درصد‌های مختلف خاکستر بادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۱۲ نتایج را نشان می‌دهد که در سنین اولیه موجب کاهش مقاومت فشاری بتن شد، اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود و فقط در طرح ۶۵ با ۱۵٪ پودر میکروسیلیس و ۲۰٪ خاکستر بادی در سنین ۲۸ و ۴۲ روزه، افزایش مقاومت فشاری طرح ۶۵ از طرح مبنا بیشتر شد.

جدول ۱۳: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۹

گروه	طرح	سیمان		میکروسیلیس		خاکستر بادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن		مسه	جمع کل
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد			بادامی	نخودی		
۹	۵۸	۲۹۷/۸۷۲	۱۵	۴۴/۶۸۱	۱۵	۷/۴۴۷	۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۵۹	۲۹۱/۶۶۷	۱۵	۴۳/۷۵۰	۱۵	۱۴/۵۸۳	۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۰	۲۸۵/۷۱۴	۱۵	۴۲/۸۵۷	۱۵	۲۱/۴۲۹	۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۱	۲۸۰/۰۰۰	۱۵	۴۲/۰۰۰	۱۵	۲۸/۰۰۰	۱۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۲	۲۷۴/۵۱۰	۱۵	۴۱/۱۷۶	۱۵	۳۴/۳۱۴	۱۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۳	۲۶۹/۲۳۱	۱۵	۴۰/۳۸۵	۱۵	۴۰/۳۸۵	۱۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۴	۲۶۴/۱۵۱	۱۵	۳۹/۶۲۳	۱۵	۴۶/۲۲۶	۱۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۵	۲۵۹/۲۵۹	۱۵	۳۸/۸۸۹	۱۵	۵۱/۸۵۲	۲۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

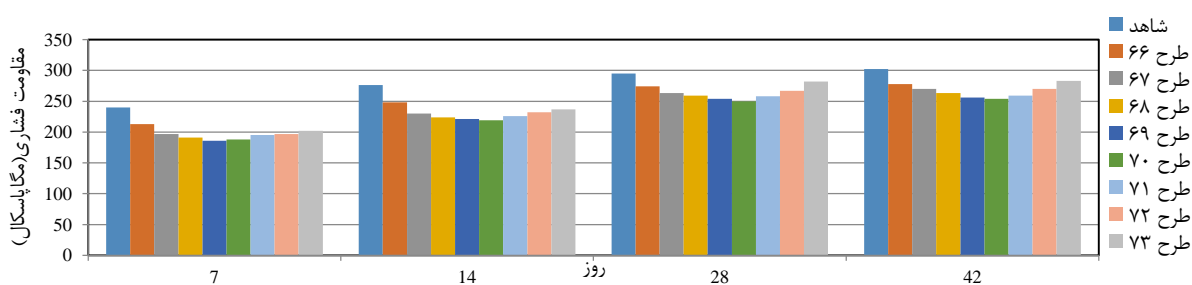


شکل ۱۲: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۹: طرح های ۵۸ الی ۶۵)

جدول ۱۴ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۱۰ را نشان می‌دهد که از ۱۷/۵٪ پودرمیکروسیلیس و درصدهای مختلف خاکستربادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۱۳ نتایج این جایگزینی را نشان می‌دهد که در سنین اولیه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن‌ها شد، اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود و فقط در طرح ۷۳ با ۱۷/۵٪ پودرمیکروسیلیس و ۲۰٪ خاکستربادی در سنین ۲۸ و ۴۲ روزه، افزایش مقاومت فشاری طرح ۷۳ با طرح مبنا یکسان شد.

جدول ۱۴: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۱۰

گروه	طرح	سیمان		میکروسیلیس		خاکستربادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن		ماسه	جمع کل
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد			بادامی	نخودی		
۱۰	۶۶	۲۹۱/۶۶۷	۱۷/۵	۵۱/۰۴۲	۱۷/۵	۷/۲۹۲	۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۷	۲۸۵/۷۱۴	۱۷/۵	۵۰/۰۰۰	۱۷/۵	۱۴/۲۸۶	۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۸	۲۸۰/۰۰۰	۱۷/۵	۴۹/۰۰۰	۱۷/۵	۲۱/۰۰۰	۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۶۹	۲۷۴/۵۱۰	۱۷/۵	۴۸/۰۳۹	۱۷/۵	۲۷/۴۵۱	۱۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۰	۲۶۹/۲۳۱	۱۷/۵	۴۷/۱۱۵	۱۷/۵	۳۳/۶۵۴	۱۲/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۱	۲۶۴/۱۵۱	۱۷/۵	۴۶/۲۲۶	۱۷/۵	۳۹/۶۲۳	۱۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۲	۲۵۹/۲۵۹	۱۷/۵	۴۵/۳۷۰	۱۷/۵	۴۵/۳۷۰	۱۷/۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۳	۲۵۴/۵۴۵	۱۷/۵	۴۴/۵۴۵	۱۷/۵	۵۰/۹۰۹	۲۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

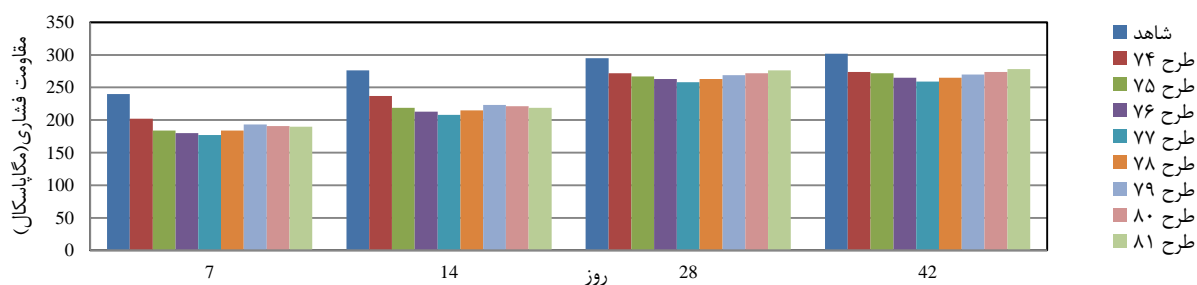


شکل ۱۳: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۱۰: طرح های ۶۶ الی ۷۳)

جدول ۱۵ جزئیات طرح‌های اختلاط گروه ۱۱ را نشان می‌دهد که از ۲۰٪ پودرمیکروسیلیس و درصدهای مختلف خاکستربادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد و شکل ۱۴ نتایج را نشان می‌دهد که در سنین اولیه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن‌ها شد اما با افزایش سن بتن‌ها، روند رشد مقاومت فشاری بتن طرح‌ها افزایش یافت ولی این افزایش کمتر از میزان مقاومت فشاری طرح مبنا بود.

جدول ۱۵: جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در گروه ۱۱

گروه	طرح	سیمان	میکروسیلیس		خاکستر بادی		آب	سوپر فوق روان کننده	شن بادامی	شن نخودی	ماسه	جمع کل
			مقدار	درصد	مقدار	درصد						
۱۱	۷۴	۲۸۵/۷۱۴	۲۰	۵۷/۱۴۳	۲/۵	۷/۱۴۳	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۵	۲۸۰/۰۰۰	۲۰	۵۶/۰۰۰	۵	۱۴/۰۰۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۶	۲۷۴/۵۱۰	۲۰	۵۴/۹۰۲	۷/۵	۲۰/۵۸۸	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۷	۲۶۹/۲۳۱	۲۰	۵۳/۸۴۶	۱۰	۲۶/۹۲۳	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۸	۲۶۴/۱۵۱	۲۰	۵۲/۸۳۰	۱۲/۵	۳۳/۰۱۹	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۷۹	۲۵۹/۲۵۹	۲۰	۵۱/۸۵۲	۱۵	۳۸/۸۸۹	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۸۰	۲۵۴/۵۴۵	۲۰	۵۰/۹۰۹	۱۷/۵	۴۴/۵۴۵	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶
	۸۱	۲۵۰/۰۰۰	۲۰	۵۰/۰۰۰	۲۰	۵۰/۰۰۰	۱۵۷/۵	۲/۱	۴۲۶	۲۸۴	۱۱۳۰	۲۳۴۹/۶

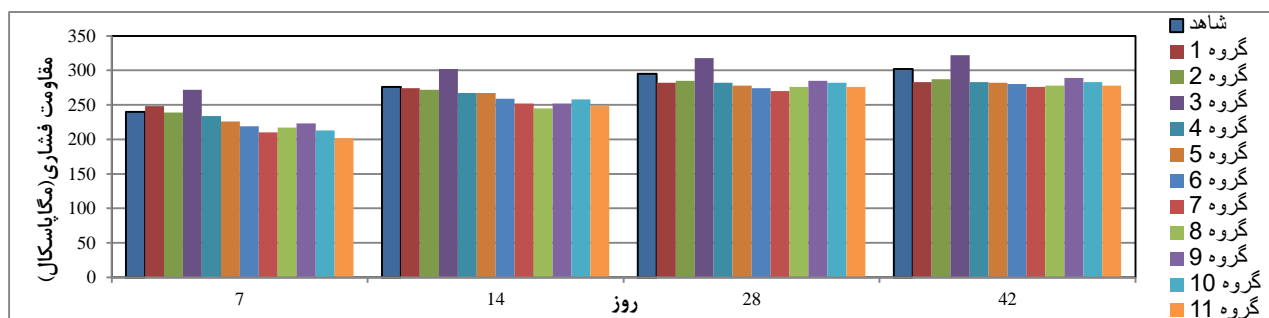


شکل ۱۴: نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شوئی امامیه در محیط کلریدی (گروه ۱۱: طرح‌های ۷۴ الی ۸۱)

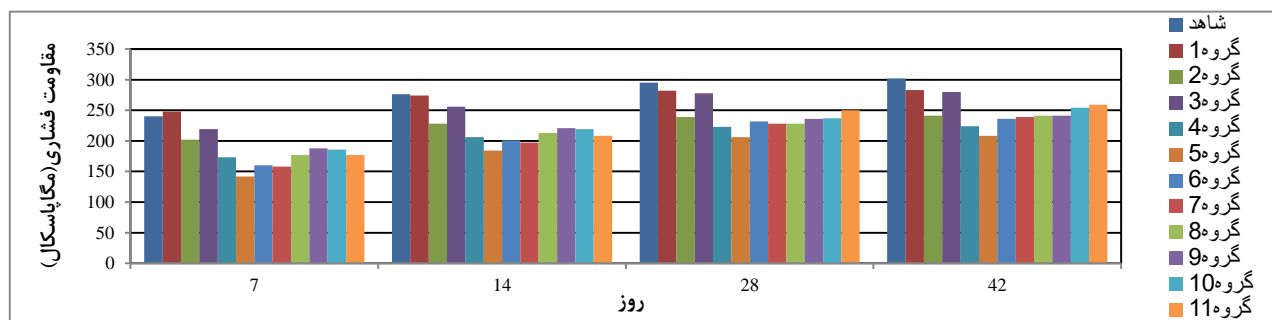
۱-۱-۳- ارزیابی مقایسه‌ای و تحلیل نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها

طبق نتایج حاصل شده، در شکل ۱۵ بیشترین مقادیر مقاومت فشاری و در شکل ۱۶ کمترین مقادیر مقاومت فشاری به دست آمده در

هر گروه در بخش بتن‌های با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد نشان داده شده‌اند که تحلیل آن‌ها به شرح ذیل تشریح می‌گردد:



شکل ۱۵: مقایسه بیشترین مقادیر مقاومت فشاری در گروه‌ها در مقایسه با بتن شاهد در معرض محیط کلردار



شکل ۱۶: مقایسه کمترین مقادیر مقاومت فشاری در گروه‌ها در مقایسه با بتن شاهد در معرض محیط کلردار

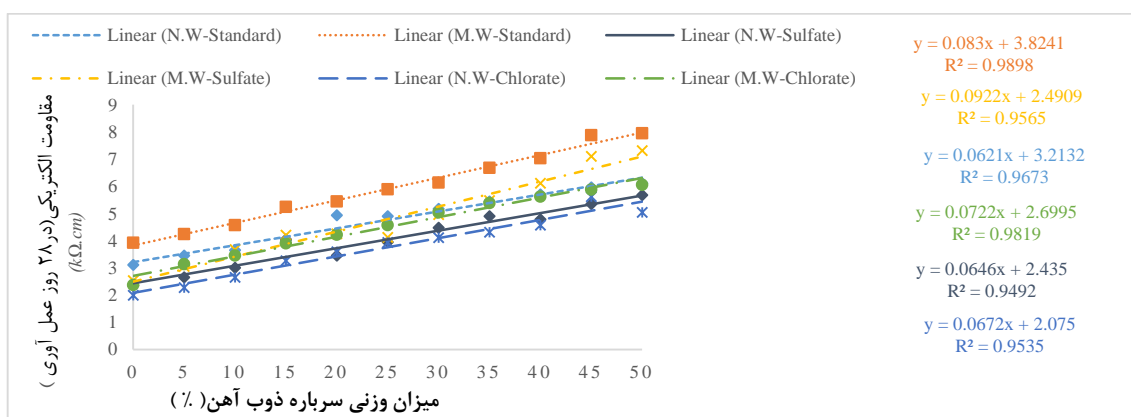
در گروه دوم تنها از پودر خاکستر بادی به عنوان ماده جایگزین سیمان بادرصدهای مختلف استفاده شد و نتایج به دست آمده نشان داد که جایگزینی پودر خاکستر بادی به جای بخشی از سیمان در بتن، در سنین اولیه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن شد ولی با گذشت زمان و افزایش سن بتن روند رشد مقاومت فشاری بیش تر شد و در سنین بالاتر با افزایش مقاومت فشاری بتن همراه شدند. اضافه کردن خاکستر بادی به سیمان و ترکیب آن‌ها، در سنین پایین با کاهش مقاومت فشاری همراه شد. اما در سنین بالا (۲۸ و ۴۲ روزه) مقاومت فشاری بتن با خاکستر بادی قابل مقایسه با بتن با سنگدانه‌های سنگدانه استاندارد ماسه شونی امامیه در محیط کلریدی و مرجع و حتی بیش تر از آن نیز شد. در گروه سوم تنها از پودر میکروسیلیس به عنوان ماده جایگزین سیمان بادرصدهای مختلف استفاده شد و نتایج حاصله نشان داد که بتن‌های حاوی میکروسیلیس در سنین اولیه برخلاف بتن‌های حاوی خاکستر بادی عمل کردند و از ابتدا با افزایش مقاومت فشاری همراه شدند. بدین صورت که در سنین اولیه و پایین مقاومت فشاری آنها از مقاومت فشاری طرح بالاتر شد و با گذشت زمان و افزایش سن بتن‌ها و در سنین بالاتر رفتار بتن‌های حاوی پودر میکروسیلیس همانند بتن‌های حاوی پودر خاکستر بادی بوده و نسبت به بتن طرح دارای مقاومت فشاری بیش تری بوده و با افزایش مقاومت همراه شدند. در حالت کلی در بررسی مقادیر رشد مقاومت‌های فشاری می‌توان با کسب مقاومت فشاری بیش تر و با افزایش سرعت رشد مقاومت فشاری نتیجه‌گیری کرد. اگر فقط افزایش مقاومت فشاری مدنظر باشد طبق نتایج، باید از طرح ۶۵ در گروه ۹ (با ۲۰٪ خاکستر بادی و ۱۵٪ میکروسیلیس) استفاده کرد که بیش ترین مقاومت فشاری را به دست آورده است اما اگر افزایش سرعت رشد در نظر باشد این نیز بستگی به سن بتن دارد که اگر افزایش مدنظر ما در سنین پایین بتن باشد باید از طرح‌های ۳۲ (با ۱۷/۵٪ خاکستر بادی و ۵٪ میکروسیلیس) و ۳۳ (با ۲۰٪ خاکستر بادی و ۵٪ میکروسیلیس) گروه ۵ استفاده کرد و اگر افزایش مدنظر ما در سنین بالا باشد باید از طرح ۴۵ در گروه ۷ (با ۱۰٪ خاکستر بادی و ۱۰٪ میکروسیلیس) استفاده کرد که دارای بیش ترین سرعت در روند رشد مقاومت فشاری بودند. خاکستر بادی توزیع اندازه منافذها و شکل منافذها را اصلاح می‌کند. پیوندهای C-S-H بیشتری شکل گرفته که مقدار بیش تری از یون‌های کلرور را جذب کرده و مسیر نفوذ را مسدود می‌کند. تعداد کل یون‌های Si_4^+ , $AlOH_2^+$, Al_3^+ , Ca^{+2} در بتن حاوی خاکستر بادی بیش تر از بتن سیمانی است، بنابراین غلظت یونی آن‌ها بیش تر بوده و یون‌ها توان نفوذ کم تری دارند و در برابر حرکت یون‌های کلرور مقاومت نشان می‌دهند. خاکستر بادی مقدار بیشتری C_3A داشته که می‌تواند مقدار بیش تری از یون‌های کلرید را جذب کرده و نمک (Friedel) را تشکیل دهند. با توجه به اینکه ضریب نفوذ یون‌های کلرور با افزایش مقدار آب افزایش می‌یابد، امکان ورود یون‌ها از طریق منافذ موجود در سیمان و منافذ موجود در نگهدارنده امکان پذیر است و در منافذ موجود در بین سیمان و نگهدارنده، زمانی که قدرت ورود نگهدارنده بطور قابل ملاحظه‌ای کم تر از سیمان و سطوح بین آن‌ها است، مسیر عمده نفوذ در سیمان وجود دارد. بنابراین تراکم و حجم سیمان دو دلیل عمده‌ای است که بر میزان نفوذ یون کلرید تاثیر گذار است. وقتی که درجه هیدراته شدن مقدار ثابتی است، حجم منافذ توسط نسبت W/C تعیین می‌گردد که به طور قابل ملاحظه‌ای روی قدرت پیوند تاثیر گذاشته و در سطوح بین نگهدارنده و سیمان با افزایش نسبت W/C منافذ بیش تر و مسیرهای نفوذ بیش تری شکل گرفته و مقاومت به یون‌های کلرید کاهش یافته و در نتیجه ضریب نفوذ یون‌های کلرید

افزایش می‌یابد. جایگزین نمودن میکروسیلیس، خاکستربادی به جای سیمان در بتن به‌طور کلی باعث افزایش زمانهای گیرش اولیه و نهایی- بتن می‌گردد. با افزایش خاکستربادی به جای سیمان در بتن زمانهای گیرش طولانی‌تر می‌شود. میکروسیلیس (به علت ریزی و فعالیت پوزولانی) تخلخل بتن را فوق العاده کاهش داده و در نتیجه به‌طور قابل ملاحظه‌ای در تمام سنین مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد، اما خاکستربادی به علت واکنش پذیری کند آن‌ها باعث کاهش مقاومت اولیه بتن می‌گردد لیکن به مرور زمان و انجام واکنش‌های پوزولانی در سنین بالاتر مقاومت را افزایش داد.

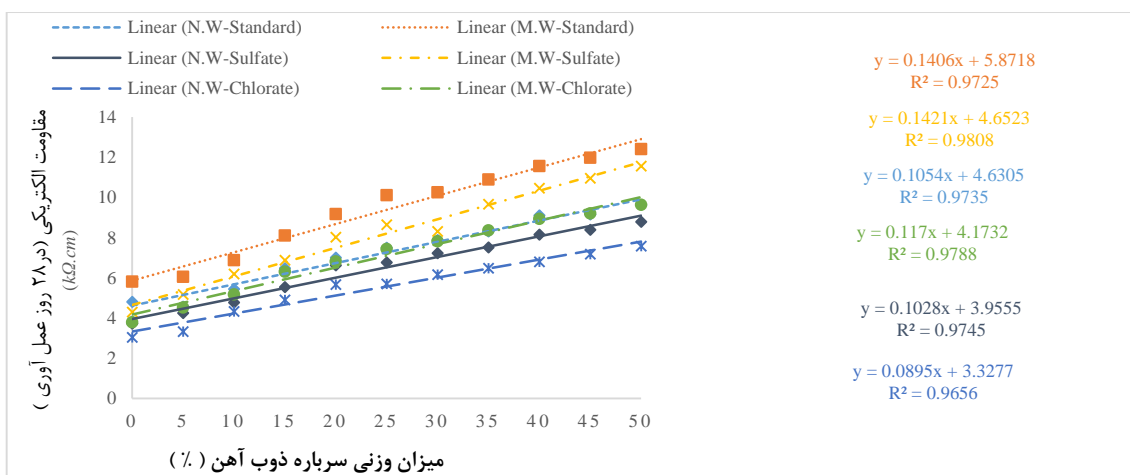
۲-۳- نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی

نتایج آزمون مقاومت ویژه الکتریکی باتوجه به شرایط محیطی (کلراته) قرار گرفته آزمونه‌ها، نشان داد که پوزولان‌ها به ویژه میکروسیلیس به دلیل کاهش منافذ بتن و دفع ذرات سیمان از یکدیگر باعث افزایش مقاومت الکتریکی شد. همچنین با افزایش درصد میکروسیلیس، مقاومت ویژه الکتریکی افزایش یافت. چون میکروسیلیس باعث مصرف آب آهک موجود در بتن شده که موجب افزایش ژل سیلیکاتی شد. در نتیجه از تخلخل موجود در بتن کاسته شده و نمونه بتنی تراکم‌تر شد. با افزایش سن، سرعت انجام واکنش‌ها (هیدراتاسیون و واکنش پوزولانی) در بتن کاهش یافته و از غلظت یون‌های موجود در بتن نیز کاسته شده که این امر موجب افزایش مقاومت- الکتریکی نمونه‌ها شد. با پیشرفت هیدراتاسیون سیمان و همچنین انجام واکنش پوزولان که هیدروکسید کلسیم تولیدی از هیدراتاسیون سیمان را مصرف کرد در مخلوط‌های بتنی، ژل سیلیکاتی افزایش یافته و موجب تراکم بیشتر در نمونه شد. در نتیجه عملاً میزان یون آزاد در نمونه کاهش یافت و در نتیجه مقاومت الکتریکی نمونه افزایش یافت. بنابراین با افزایش سن نمونه و پیشرفت هیدراتاسیون نمونه و همچنین انجام واکنش پوزولانی در طرح مخلوط‌ها، میزان مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده افزایش یافت.

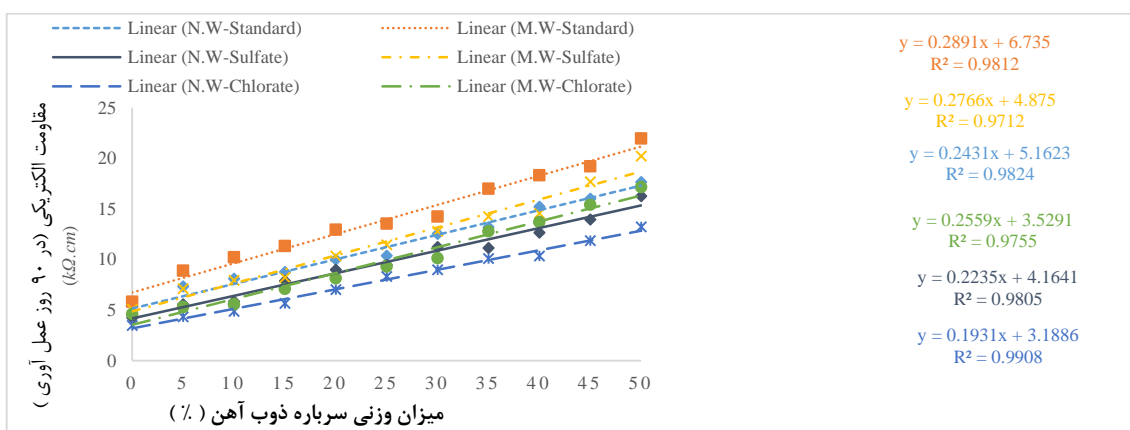
بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش مقاومت الکتریکی اشکال (۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰) احتمال خوردگی در آزمونه‌های ساخته شده با افزایش درصد پوزولان‌ها، کاهش یافت و مقاومت الکتریکی در آزمونه‌ها بر اساس استاندارد ACI 222 در محدوده خوب قرار گرفت [۴۸، ۴۷].



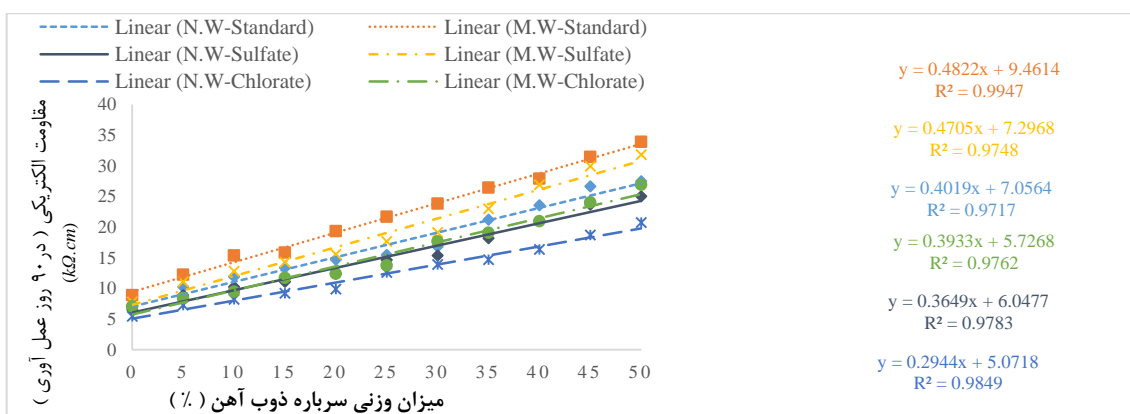
شکل ۱۷: مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه بتن مغناطیسی ساخته شده با خاکستربادی



شکل ۱۸: مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه بتن مغناطیسی ساخته شده با میکروسیلیس



شکل ۱۹: مقاومت الکتریکی ۹۰ روزه بتن مغناطیسی ساخته شده با خاکستر بادی



شکل ۲۰: مقاومت الکتریکی ۹۰ روزه بتن مغناطیسی ساخته شده با میکروسیلیس

نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی، نشان داد که نمونه P40-50 دارای بیشترین مقاومت الکتریکی بوده که استفاده از ۲۰٪ میکروسیلیس به جای سیمان در سنین ۲۸ روزه باعث افزایش ۱۵۸ درصدی و همچنین در سنین ۹۰ روزه باعث افزایش ۳۸۹ درصدی مقاومت الکتریکی شد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق علمی و پژوهشی، با بررسی نقش جایگزینی مقادیر مختلف خاکستربادی و میکروسیلیس به جای بخشی از سیمان و تاثیر آن بر روی دوام بتن و روند رشد دوام آن در سنین مختلف با انجام آزمایشات مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی بتن‌های ساخته شده با انواع طرح‌های اختلاط در معرض آب‌های کلردار، نتایج زیر بدست آمدند:

۱- یون‌های کلراید موجب خوردگی‌ها می‌شود که اگر بتن تحت محیط‌های خوردنده کلریدی قرار بگیرد با کاهش مقاومت روبرو می‌شود. با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق، ثابت شد که بتن با شن و ماسه استاندارد تقویت شده با پوزولان‌های خاکستربادی و میکروسیلیس در محیط کلریدی نیز دوام نسبتاً خوبی را از خود نشان داد.

۲- مقاومت فشاری بتن در محیط کلریدی در زمان استفاده تنهایی از پودر خاکستربادی به عنوان جایگزین سیمان در بتن، در سنین اولیه کاهش یافت ولی در سنین بالاتر مقاومت فشاری بتن افزایش یافت. در طرح ۲ با استفاده از ۲/۵ درصد پودر خاکستربادی در ۲۸ روز، ۲۸۳ مگاپاسکال و در ۴۲ روز، ۲۸۵ مگاپاسکال مقاومت فشاری کسب شد و همچنین در طرح ۳ با استفاده از ۵٪ پودر خاکستربادی در ۲۸ روز، ۲۸۵ مگاپاسکال و در ۴۲ روز، ۲۸۷ مگاپاسکال، افزایش مقاومت فشاری بتن ثابت شد.

۳- مشخص شد که افزودن خاکستربادی به عنوان ماده جایگزین به بتن می‌تواند جذب یون کلرید را بالا برده و تقویت کند.

۴- این پژوهش ثابت کرد که مقاومت فشاری بتن در محیط کلریدی با استفاده تنهایی از پودر میکروسیلیس با درصد‌های معین شده در این تحقیق، به عنوان جایگزین سیمان در بتن، در سنین اولیه و در سنین بالاتر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. میکروسیلیس (به علت ریزی و فعالیت پوزولانی) تخلخل بتن را فوق‌العاده کاهش داده و در نتیجه موجب افزایش مقاومت فشاری بتن در تمام سنین شد.

۵- طبق نتایج به دست آمده، با افزایش درصد مواد جایگزین سیمان (پودر میکروسیلیس و پودر خاکستربادی) در درازمدت، روند رشد مقاومت فشاری، سرعت بیشتری پیدا کرد که در سنین اولیه دارای مقاومت‌های کم‌تر و در سنین بالاتر دارای مقاومت‌های بیشتری شدند.

۶- با بررسی نتایج حاصله از این تحقیق، مشخص شد که استفاده هم‌زمان از هردو پودر میکروسیلیس و خاکستربادی در بتن، رفتاری مشابه به استفاده تکی از این پودرها و ترکیبی از هردوی آن‌ها را دارد.

۷- نتایج، نشان داد که در محیط کلریدی با استفاده از بتن با سنگدانه‌های استاندارد تقویت شده با پودرهای میکروسیلیس و خاکستربادی و با انتخاب طرح اختلاط بهینه، می‌توان با صرف هزینه کم، بتنی با مقاومت بالا و دوام خوب را تهیه کرد. به طوری که بیش‌ترین مقاومت فشاری برای نمونه‌های طرح ۱۳ از گروه ۳ (فاقد خاکستربادی و ۱۰٪ میکروسیلیس) بود که دارای ۶٪ افزایش مقاومت فشاری بود و کم‌ترین مقاومت فشاری برای نمونه‌های طرح ۳۳ از گروه ۵ (با ۲۰٪ خاکستربادی و ۵٪ میکروسیلیس) بود که دارای ۳۲٪ کاهش مقاومت فشاری بود.

۸- با افزایش سن نمونه و پیشرفت هیدراتاسیون نمونه و همچنین انجام واکنش پوزولانی به خصوص با افزایش درصد پوزولان‌ها به ویژه میکروسیلیس در طرح مخلوط‌ها، میزان مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده افزایش یافت و نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی، نشان داد که نمونه P40-50 دارای بیش‌ترین مقاومت الکتریکی بود که ۲۰٪ میکروسیلیس استفاده شده به جای سیمان در سنین ۲۸ روزه، باعث افزایش ۱۵۸ درصدی مقاومت الکتریکی و همچنین در سنین ۹۰ روزه باعث افزایش ۳۸۹ درصدی مقاومت الکتریکی شد.

مطالعه فصل مشترک و تعیین کیفیت پیوستگی سنگدانه‌ها نسبتاً مشکل است و هیچگونه آزمایش قابل قبولی در این زمینه وجود ندارد با در نظر گرفتن مقادیر پیشنهادی در این طرح اختلاط به اهداف مورد نظر تحقیق دست یافتیم. پیشنهاد می‌شود ارتباط مقاومت فصل مشترک انواع بتن‌ها با سنگدانه‌های متفاوت ساخته شده با مقاومت فشاری بتن‌ها (رابطه مقاومت کششی و فشاری با مقاومت ناحیه اتصال) بررسی شود و همچنین انتظار می‌رود بررسی خرابی‌های بتن بر اساس تکنیک‌های مناسب و بر اساس مطالعات موردی در کارهای آبی، مورد توجه محققان واقع گردد.

مراجع

- [1] Zandi Y. (2016). Excellent concrete technology design based on durability parameters. Tabriz. *University research Publication*.
- [2] Ahmadi Mogaddam H., Jahanyar Agdam M., Ahmadi Mogaddam A. (2006). Cement mixed with fly ash effectiv for concrete durability. *13th Conference of Civil Engineering Students Nationwide*.
- [3] Ayyoubi M. (2016). Application of micro silica slurry in concrete industry. *8th Iranian Concrete Conference*
- [4] Mousavi H. (2001). Factors affecting compressive strength and durability of concrete. *Cement Technology Scientific Monthly*.
- [5] Shariati, M., Rafie, S., Mehrabi, P., Zandi, Y., Fooladvand, R., Gharehaghaj, B., Shariat, A., Trung, N. T., Salih, M. N. A., and Poi-Ngian, S. (2019). Experimental investigation on the effect of cementitious materials on fresh and mechanical properties of self-consolidating concrete. *Advances in Concrete Construction*, Volume 8. no. 3, Pages 225–237.
- [6] Zanadi, Y., and Akpinar, M. V. (2012). An experimental study on separately ground and together grinding Portland slag cement strength properties. *Res. J. Recent Sci*. Volume 1, no. 4, Pages 27–40.
- [7] Zanadi, Y., and Akpinar, M. V. (2012). Evaluation of internal resistance in asphalt concretes. *Int. J. Concrete Struct. Mater*. Volume 6, Pages. 247–250.
- [8] Shariati, M., Heiati, A., Zandi, Y., Laka, H., Toghroli, A., Kianmehr, P., Safa, M., Salih, M. N. A., and Poi-Ngian, S. Application of waste tire rubber aggregate in porous concrete. (2019). *Smart Structures and Systems*. Volume. 24, no. 4, Pages. 553–5669.
- [9] Nosrati, A., Zandi, Y., Shariati, M., Khademi, K., Aliabad, M. D., Marto, A., Mu'azu, M. A., Ghanbari, E., Mahdizadeh, M. B., Shariati, M., and Khorami, M. (2018). Portland cement structure and its major oxides and fineness. *Smart Struct. Syst*. Volume. 22, no. 4, Pages. 425–432.
- [10] Zandi, Y., Burnaz, O., and Durmus, A. (2012). Determining the temperature distributions of fire exposed reinforced concrete cross sections with different methods. *Res. J. Env. Earth Sci*. Volume. 4, no. 8, Pages. 782–788.
- [11] Zandi, Y., and Abedi, M. (2002). Comparative evaluation of the effect of water / cement ratio (W / C), type and percentage of fly ash on concrete strength against chloride ion penetration and its porosity. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. CEEJ-1907-6336 (R1).
- [12] Chia, K. S., Zhang, M. H. (2002). Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*. Volume 32, Pages 639-645.
- [13] Lo, T. Y., and Cui, H. Z. (2004). Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete. *Materials and Letters*. Volume 58, Pages 916-919
- [14] MetinHusem. (2006). The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete. *Fire Safety Journal* . Volume 41, Issue 2, Pages 155-163.
- [15] Zandi, Y., and Alayi, M. (2019). Effect of comparison of Ardabil pozzuoli cement and type 2 Sufyan cement compressive strength viewpoints and improvement solutions. *Journal of Structural and Construction Engineering*. Volume 6, no. 4, Pages 95–110.
- [16] Zandi, Y. (2013). Effect of mix design on restrained shrinkage of concrete. *Bulletin of Environment and Life Sciences*. Volume. 2, no. 8, Pages 13–20.
- [17] Bing, Ch. M., and Congqi, F. (2011). Mechanical properties of EPS lightweight concrete. *Construction Materials*. Volume 164 Issue 4, Pages 173-180.
- [18] Mortazavi, M., and Majlessi, M. (2013). Evaluation of Silica Fume Effect on Compressive Strength of Structural Lightweight Concrete Containing LECA as Lightweight Aggregate. *Advanced Materials Research*. Pages 344 - 349
- [19] Guneyisi, E., and Gesoslu, M. (2012). Strength, permeability and shrinkage cracking of silica fume and metakaolin concretes. *Construction and Building Materials*. Volume 34.
- [20] Vahidi, A., MirAhmadi, M., Hassanzadeh, M., and Zabetiyan, F. (2011). Investigation of Effective Factors on Concrete impermeability Studies, Case Study of the First Iranian Concrete boat. *International Conference on Impermeability Concrete of Drinking Water Tanks*.
- [21] Tadvin, M., Maleki, M., Zehni, S., and Maleki, M. J. (2013). Evaluation of the effect of fly ash on electrical conductivity, electrical resistance and chloride ion penetration index of concrete (RCPT). *Road, Housing and Housing Research Center, Ninth National Concrete Conference of Iran*.
- [22] Powers, T. C. (1958). Structure and physical properties of hardened Portland cement paste. *Ceramic Soc*, Volume 41.
- [23] Ahmad, S. (2003). Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction a review. *Cement & Concrete Composites*, No. 25, Pages 459–471.
- [24] Ericikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., and Alp, I., (2009). Utilization of industrial waste products as pozzolanic material in cemented paste backfill of high sulphide mill tailings, *J. Hazard. Mater*. 168 (2-3) 848–856.

- [25] Moffatt, Th., and Fahim, A. (2017). Performance of high-volume fly ash concrete in marine environment. *Cement and Concrete Research*. Volume 102, Pages 127–135.
- [26] Zafar, I., and Sugiyama, T. (2018). The influence of bending crack on rebar corrosion in fly ash concrete subjected to different exposure conditions under static loading. *Construction and Building Materials*. Volume 160, Pages 293–307.
- [27] Saffari Joursheri, M., and Firouzi, M. (2011). Investigation of the properties of fly ash and its effect on producing resistant concrete against chloride ion entrance. *The first international conference Impermeability Concrete of Drinking Water Tanks*.
- [28] Fais, B., Sabio, N., and Strachan, N. (2016). The critical role of the industrial sector in reaching long-term emission reduction. Energy efficiency and renewable targets. *Appl. Energy*. Volume 162, Pages 699–712.
- [29] Rajamma, R., Ball, R. J., Tarelho, L. A. C., Allen, G. C., Labrincha, J. A., and Ferreira, V. M. (2009). Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials. *J. Hazard. Mater.* Volume 172, Pages 1049–1060.
- [30] Embong, R., Kusbiantoro, A., Shafiq, N., and Nuruddin, M. F. (2016). Strength and microstructural properties of fly ash based geopolymer concrete containing high-calcium and waterabsorptive aggregate. *J. Clean. Prod.* Volume 112, Pages 816–822.
- [31] Siddique, R., Jameel, A., Singh, M., Barnat-Hunek Kunal, D., Ait-Mokhtar, A., Belarbi, R., and Rajor, A. (2017). Effect of bacteria on strength, permeation characteristics and micro-structure of silica fume concrete. *Constr. Build. Mater.* Volume 142, Pages 92–100.
- [32] Darmawan, Sigit, B., Ridho, A. H., Nur, Ch., Saud, I. (2015). A Case Study of Low Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash in East Java Indonesia. *Procedia Engineering*. Pages 579 - 586.
- [33] Ma, H. (2014). Mercury intrusion porosimetry in concrete technology: tips in measurement, pore structure parameter acquisition and application. *Journal of porous materials*. Volume 21(2), Pages. 207-215.
- [34] de Sensale, G. R. (2006). Strength development of concrete with rice-husk ash. *Cement and concrete composites*. Volume 28(2), Pages 158-160.
- [35] Zhang, M. (2007). Permeability of high-performance concrete pavement resistance to chloride ion. *Low Temp. Archit. Technol.* Volume 1, Pages 14-16.
- [36] Zhang, Y., Hongfa, Y., and Jiachun, W. (2009). Injury law a concrete structure of the surface salt freezing conditions. *Chinese J. Highway*.
- [37] Daniela Eugenia Angulo-Ramírez, William Gustavo Valencia-Saavedra, Ruby Mejía de Gutiérrez. (2020). Alkali-activated concretes based on fly ash and blast furnace slag: Compressive strength, water absorption and chloride permeability. *Ingeniería e investigación*, Vol.40 (2), Pages 72-80.
- [38] Prusty, Jnyanendra, Kumar, Pradhan, Bulu. (2020). Effect of GGBS and chloride on compressive strength and corrosion performance of steel in fly ash-GGBS based geopolymer concrete. *Materials today: proceedings*, Vol.32, Pages 850-855..
- [39] Zhou, Qingsong, Lu, Caifeng, Wang, Wei, Wei, Shenghuai, Lu, Chunhao, Hao, Ming. (2020). Effect of fly ash and sustained uniaxial compressive loading on chloride diffusion in concrete. *Journal of Building Engineering*, Vol.31.
- [40] Hassan, Amer, Arif, Mohammed, Shariq, M. (2020). Age-dependent compressive strength and elastic modulus of fly ash-based geopolymer concrete. *Structural concrete: journal of the FIB*.
- [41] Dong, Pham Sy, Van Tuan, Nguyen, Thanh, Le Trung, Thang, Nguyen Cong, Cu, Viet Hung, Mun, Ju-Hyun. (2020). Compressive Strength Development of High-Volume Fly Ash Ultra-High- Performance Concrete under Heat Curing Condition with Time. *Applied sciences*, Vol.10.
- [42] ASTM C150-05. (2005). Standard specification for Portland cement. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- [43] ASTM C494/C494M-19, Standard specification for chemical admixtures for concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [44] ASTM C33/C33M-18. (2018). Standard specification for concrete aggregates. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- [45] ACI 211.1-91. (2002). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. *American Concrete Institute, USA, reapproved*.
- [46] ASTM C 143. (2008). Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- [47] Cox, C., and Vennesland, V. (Eds.). (1997). Corrosion and Protection of Metals in Contact with Concrete, Final report. *European Commission, Directorate General Science, Research and Development, Brussels, EUR 17608 EN*.
- [48] ACI 222. (2002). Protection of metals in concrete against corrosion. *American Concrete Institute, USA, reapproved*. th. Year].