J. Analysis of Structure and Earthquake
Volum 19,Issue 3, autumn 2022
Issn: 2821-0999
وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir
آنالیز سازه - زلزله
فصلنامه علمی
دوره ۱۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

An Investigation into the Properties of Concrete Made from Concrete Debris and Effects of the Three-step Mixing Procedure on it

Mohammad Khazaei
Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
Abdolkarim Abbasi Dezfouli*
Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

abbasihamid@hotmail.com

DOI: 10.30495/CIVIL.2022.696768

Keywords:
crushed concrete,
mixing procedure,
electric resistance,
compressive strength,
Carboxylate

Abstract

Using by-product materials in making concrete is the recent development in the advanced concrete technology. The products obtained from experimental crushed concrete can be used in constructing the new concrete. Recent research revealed that using crushed concrete as partial replacement of sand and coarse aggregate, using traditional mixing procedure, reduced the compressive strength. In the present research, the special procedure of mixing concrete in three steps and its effect on concrete strength parameters have been evaluated. The aim of this study is to use crushed tested concrete as partial replacement 25% (mix A) and 50% (mix B) of conventional sand and aggregate. Also for experimental comparison the control mixes were casted with traditional sand and aggregate. Superplasticizer based on carboxylate was used in the mixes. This procedure causes proper efficiency, proper coating on the aggregate and protection of the alkaline reaction of the aggregate. The method of mixing was carried out in three steps 1: Coarse aggregate + 50% water + 50% cement: mixing time 30 seconds to 1 minute, step 2: Adding 50% cement + 25% water + superplasticizer + sand: mixing time 2 minutes, step 3: Adding 25% water: mixing time 3 minutes. All the mixing time is about 6 minutes. Six specimens of 15 cm concrete cubes for each designed mixes were casted. Densities, water absorption, electric resistance (an indication of permeability and durability of concrete) and compressive strength tests were carried out. Tests were performed at 7 and 28 days. As a result, the designed mix (A) presented the higher electric resistance and compressive strength at 28 days. According to the obtained appropriate resistance, it can be deduced that with a special mixing method, crushed concrete can be used in the composition of concrete that is cost-effective in terms of environmental and resistance.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license: (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

بررسی خواص بتن ساخته‌شده با نخاله‌های بتنی وتاثیر اختلاط چند مرحله‌ای در آن

محمد خزایی
گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

عبدالکریم عباسی دزفولی*
گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
abbasihamid@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۹ شهریور ۱۴۰۱

چکیده

استفاده از مواد جانبی ساخت و تولید از موارد تقریبا جدید در ساخت بتن در تکنولوژی عالی بتن است. بتن حاصل از تستهای آزمایشگاهی را میتوان با خرد کردن و دانه بندی مناسب آنها در ساخت بتن تازه استفاده کرد. تحقیقات اخیر نشان دهنده آن است که استفاده از بتن خرد شده جایگزین قسمتی از سنگدانه منجر به کاهش مقاومت فشاری در بتن با روش معمول مخلوط کردن بتن میشود. در این تحقیق به روش خاص سه مرحله ایی طرح اختلاط و اثر آن بر پارامترهای مقاومتی پرداخته شده است. نمونه های بتنی مکعب ۱۵ سانتیمتر شامل ۰٪ ، ۲۵٪ و ۵۰٪ نخاله بتنی جایگزین قسمتی از سنگدانه استفاده شد. از فوق روان کننده بر اساس کربوکسیلات در طرحها استفاده شد. این طریق اختلاط باعث کارایی مناسب، پوشش مناسب روی سنگدانه و حفاظت از واکنش قلیایی سنگدانه می شود. روش اختلاط مواد که بایستی به ترتیب و پشت سر هم در سه مرحله انجام شود: درمرحله اول: کل شن + ۵۰٪ آب + ۵۰٪ سیمان: زمان اختلاط ۳۰ ثانیه تا ۱ دقیقه. مرحله ۲: اضافه کردن ۵۰٪ سیمان + ۲۵٪ آب + فوق روان کننده + ماسه: زمان اختلاط ۲ دقیقه. مرحله ۳ اضافه کردن ۲۵٪ آب: زمان اختلاط ۳ دقیقه. کل زمان اختلاط حدود ۶ دقیقه باید باشد. برای هر طرح ۶ نمونه آماده گردید و در ۷ روز و ۲۸ روز تست های وزن مخصوص، جذب آب، مقاومت الکتریکی که (نشان دهنده نفوذ پذیری و دوام بتن است) و مقاومت فشاری انجام پذیرفت. نتایج نشانگر مقاومت فشاری و الکتریکی بالا در طرح ۲۵٪ نسبت به سایر موارد بود. با توجه به مقاومت مناسب بدست آمده میتوان گفت با روش خاص اختلاط میتوان از نخاله های بتنی در ترکیب بتن با صرفه از نظر محیطی و مقاومتی استفاده کرد.

کلید واژگان: نخاله بتنی، روش اختلاط، مقاومت الکتریکی، ، مقاومت فشاری، کربوکسیلات

۱ -مقدمه

ترکیب بتن معمولی از سنگ دانه، سیمان و آب است و بتن پر مصرف‌ترین مصالح در سازه‌های جدید است. از این رو برای تهیه مواد اولیه بتن از ذخایر طبیعی مانند آهک و سنگ استفاده میشود. بطوریکه به‌مرور ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی آن تبدیل به معضل دیگری در زندگی امروزی انسان شده است. موضوع تحقیق می‌تواند در ابعاد فنی و اقتصادی و زیست محیطی مورد بررسی قرار گیرد. بعد فنی آن اهمیت بیشتری نسبت به ابعاد اقتصادی و زیست محیطی دارد. چون قرار است که بتن ساخته‌شده از نخاله‌های بتنی در سازه‌هایی بکار برود تا ایمنی کافی را نیز تضمین نماید، پس به تحقیقات بیشتری هم نیاز دارد. محققین برای جایگزینی بخشی از سیمان تحقیقات و راهکارهای کاربردی مناسبی ارائه داده‌اند که مورد استقبال مهندسین و معماران قرارگرفته است، ولی به‌طور شایسته استفاده از سنگ‌دانه نخاله‌های بتنی به‌جای سنگ‌دانه‌های طبیعی ترویج نشده است. کاهش ذخایر معادن سنگ‌دانه‌های طبیعی، آلودگی و تغییرات زیست محیطی خود مسئله دیگری است. مسئله محیط زیست در صنعت بتن در سال‌های اخیر و پس از اعلامیه ریو که به تأیید ۱۷۹ کشور رسید بیشتر مورد توجه قرارگرفته است .بهبود کیفی و دوام بتن در کنار مقاومت آن در کنفرانس سالیانه انجمن بتن آمریکا در سال ۲۰۰۱ به‌عنوان الگووارهٔ جدید در صنعت ساخت‌وساز مورد توجه قرار گرفت [۱]. امروزه نخاله‌های ساختمانی برای کشورهای درحال‌توسعه علاوه بر مشکلات محیط زیستی هزینه‌های زیادی را نیز برای دفن این ضایعات فراهم نموده است. این مشکلات نگرانی‌های زیادی را برای متصدیان محیط‌زیست ایجاد کرده است بطوریکه سبب چشم‌انداز نامناسب در حاشیه رودخانه‌ها و تسهیل در وقوع سیل در مواقع سیلاب شده است. آمار ثبت‌شده در خصوص میزان خاک و نخاله ساختمانی دفع شده در تهران نشان می‌دهد، از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۷۷، مجموعاً ۶۱۲۷۵۱۹۶ تن معادل ۱۱۶۹۲۸۰۳۳ متر مکعب آوار ساختمانی توسط ۸۸۴۷۸۲۹ سرویس خودرو به محل تعیین‌شده از طرف شهرداری دفع شده است. آمار تولید نخاله‌های دفع شده در سال 1380، در گودال‌های اطراف تهران حدود ۱۱۹۷۳۹۴۷ تن بوده است که بیشترین مقدار به ترتیب، در گودهای کهریزک و آبعلی دفع شده است. با توجه به اطلاعات موجود در سال ۱۳۸۵، سهم پروانه‌های صادره برای تخریب و نوسازی نشان‌دهنده این است که عملاً بین ۵ تا ۲۵ درصد بوده است. این در حالی است که برای شهر تهران از کل پروانه‌های صادره برای تخریب حدود ۹۰ تا ۹۴ درصد مربوط به تجدید بنا پس از تخریب است که می‌تواند حجم عملیات تخریب را نشان بدهد [۲]. در بعد فنی باید مقاومت و کارایی بتن ساخته‌شده از سنگ‌دانه بازیافتی موردبررسی قرار گیرد و راهکار مناسب ارتقاء آن ارائه گردد. موضوعاتی چون تخلخل و ظرفیت جذب آب، مشخصات فشاری، مقاومت کششی، انقباض ناشی از خشک شدن و مقاومت ویژه الکتریکی و حرارتی این نوع بتن مسائلی هست که باید مورد بررسی قرار بگیرد تا روشن شود که امکان کاربرد بتن ساخته‌شده از سنگ دانه بازیافتی در چه سازه‌هایی وجود دارد. در این تحقیق به مسئله استفاده از ضایعات ساختمانی به‌خصوص نخاله‌های بتنی به جای شن طبیعی پرداخته شده است. آنچه مسلم است، جهت ارتقاء مقاومت بتن نیاز به افزودنی مناسب هست. جنبه‌های مجهول و مبهم این تحقیق آن است که نخاله‌های بتنی ناشی از تخریب سازه‌های بتنی و یا نمونه‌های آزمایشگاهی شکسته شده و یا ضایعات کارخانه‌های سیمان سازی با چه درصدهای مختلفی (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درصد) به‌جای شن و ماسه طبیعی جایگزین گردد و با استفاده از کدام افزودنی که مناسب باشد مورد کاربرد قرار بگیرد. افزودنی‌های مذکور که نوعاً فوق روان کننده‌های اساس کربوکسیلات و نفتالین است، به صورت متداول در بتن‌های معمولی استفاده می‌شود، و از این جهت به سؤالات تحقیق که شامل میزان استفاده از این افزودنی و تأثیر مثبت در محیط زیست و مشکل گردآوری نخاله‌ها هست، کمک شده است. جنبه اقتصادی این نخاله‌ها از دید صاحب‌نظران حوزه اقتصادی مغفول نمانده است و دراین‌بین خواستار راه‌حلی فنی برای این مسئله هستند. بتن در کارهای اجرایی با تولید سالانه حدود ۱۵ میلیارد تن، بیشترین استفاده را در جهان دارد [۳]. با احتساب ۶۰ درصد سنگ‌دانه طبیعی، حدود ۶/۶ میلیارد تن از این مقدار شامل سنگ‌دانه می‌گردد. در این حال، طی سالیان متمادی، بشر برای تهیه مصالح ساخت‌وساز خود از منابع طبیعی استفاده کرده است و همین موضوع سبب مشکلات زیست‌محیطی گردیده است. میانگین عمر مفید بناهای بتنی قریب بر ۴۰ سال پیش‌بینی‌شده است و به‌زودی زمان تخریب بناهای قدیمی و ساخت مجدد فرا خواهد رسید و بسیاری از کشورها ازجمله کشور ایران با انبوهی از نخاله ساختمانی روبرو خواهد شد. موضوع مهم دیگر این است که کشور ایران از نظر بارندگی جزو مناطق آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود و ازآنجایی‌که معادن شن و ماسه از آوردگاه رودخانه‌های طبیعی است، به‌واسطه بارش کم باران در فصول گذشته، استفاده از شن و ماسه طبیعی گران تمام‌شده است. استفاده از سنگ‌دانه بازیافتی می‌تواند کمک مؤثری به توسعه و پایداری صنعت ساختمان و محیط‌زیست نماید. بازیافت مواد زائد، بحث مهم روز پژوهشگران در حوزه محیط‌زیست است و در این میان نخاله‌های ساختمانی به‌ویژه نخاله‌های بتنی از اهمیت دیگری برخوردار است. دفن این نخاله‌ها برای شهرداری‌ها مشکلات عدیده‌ای فراهم کرده است. روشن است که هزینه‌های انجام‌شده در صنعت ساخت‌وساز جزء سرمایه ملی کشور محسوب می‌شود. با تخریب یک سازه بتنی این سرمایه را باید نابود شده قلمداد کرد. بازیافت سنگ‌دانه‌های بکار رفته در بتن تخریب‌شده موجب برگشت بخشی از این سرمایه می‌شود.

۲ -پیشینه تحقیق

Ohemeng وهمکاران طی یک مطالعه موردی در آفریقای جنوبی به تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای هزینه‌ها و مزایای تولید سنگ دانه‌های بتنی طبیعی و بازیافتی پرداختند. و نتیجه گرفتند که تولید سنگ دانه‌های بتنی بازیافتی ارزان‌تر از سنگ‌دانه‌های طبیعی است. به‌عنوان‌مثال، هزینه بلندمدت تولید یک‌تن سنگ‌دانه‌بتنی بازیافتی درشت تقریباً، ۴۰ درصد کمتر از سنگ‌دانه‌طبیعی درشت

است. همچنین، مزایای زیست‌محیطی تولید یک‌تن سنگ‌دانه‌بتنی بازیافتی تقریباً ۹۷ درصد بیشتر از سنگ‌دانه‌طبیعی بود. [۳].

نوری در مقاله بازیافت بتن و بازچرخانی سنگ‌دانه‌ها، به بررسی جنبه‌های مختلف بازیافت سنگ‌دانه‌های بتن، روش‌های بازیافت و تأثیرات زیست‌محیطی و فنی این فرآیند پرداخته است. درنتیجه گیری بیان کرده است که در ایران بازیافت نخاله‌های ساختمانی در حد جداسازی مصالح ساختمانی از قبیل آجر، آهن‌آلات، درب و پنجره و ... مرسوم بوده و بازیافت بتن رواج نیافته است [۴].

ملکی و همکارش در مقاله «اثرات زیست‌محیطی صنعت بتن و نقش بازیافت آن در محیط‌زیست»تلاش شده است تا ضمن بررسی ویژگی‌های زیست‌محیطی صنعت بتن، به اقدامات و راهکارهایی اشاره شود که سازگاربامحیط‌زیست بوده و ضمن کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی این صنعت، زمینه کاربرد آن در راستای توسعه پایدار نیز فراهم گردد [۵].

کچوئی و همکارش در پژوهش بتن بازیافتی، ویژگی‌ها و توسعه پایدار بر پایه مطالعات اسنادی با روشی توصیفی -تحلیلی به معرفی بتن بازیافتی و ویژگی‌های آن پرداخت. در این مقاله از تجربیات موفق پروژه‌های اجراشده در دیگر کشورها و همچنین تحقیقات پژوهشگران استفاده‌شده است [۶].

Nagataki و همکاران در مقاله‌ای بیان کرده که؛ روش تولید بتن بازیافتی متفاوت از روش تولید بتن با سنگ‌دانه‌های طبیعی است. ازآنجاکه سنگ‌دانه‌های بازیافتی حاوی ملات سیمان هستند، جذب آب بالاتری نسبت به سنگ‌دانه‌های طبیعی دارند؛ بنابراین، برای دستیابی به کارایی موردنظر از بتن بازیافتی، درصورتی‌که از افزودنی‌های کاهنده آب استفاده نشود، لازم است مقدار کمتری آب در مقایسه با سنگ‌دانه‌های طبیعی به سنگ‌دانه‌های اشباع اضافه شود [۷].

Katz در آزمایشی مشخص کرد که در یک نسبت آب به سیمان بالا (بین ۰/۶ و ۰/۷۵) مقاومت بتن بازیافتی در حدود ۷۵ درصد بتن معمولی می‌باشد. بتن بازیافتی به علت جذب بالای سنگ‌دانه‌های آن دارای انقباض زیادی است .به نظر می‌رسد که بتن بازیافتی و بتن معمولی زمانی قابل‌مقایسه خواهند بود که اثر هم‌زمان خزش و انقباض موردبررسی قرار گیرد [۸].

Rao در مطالعات انجام‌شده‌اش، کاهش مقاومتی در حدود ۱۵-۲۰ درصد نسبت به بتن معمولی را نشان می‌دهد. او نشان داده که استفاده از مواد افزودنی مانند میکروسیلیس و غیره به بهبود خواص بتن بازیافتی کمک می‌کند. درنتیجه گیری بیان کرده که استفاده از دانه‌های بازیافتی در بتن یک‌راه حل امیدوارکننده در جهت حل مشکل مدیریت زباله‌های ساختمانی است [۹].

Makul طی یک مطالعه موردی در تایلند به تجزیه و تحلیل هزینه و سود تولید بتن آماده با عملکرد بالا ساخته‌شده با سنگ دانه‌بتن بازیافتی پرداخت. هدف تحقیق مأکول، استفاده از یک مدل تجزیه‌وتحلیل هزینه و فایده برای تولید بتن آماده با عملکرد بالا و ساخته شده با سنگ‌دانه بتن بازیافت شده بود. نتیجه کلیدی تحقیق مأکول این بود که؛ مجموعه های تولید سنگ‌دانه بازیافتی بتن را می‌توان در تولید بتن بازیافت شده در مقیاس صنعتی و باقیمت پایین استفاده کرد [۱۰].

سرتیپی پور در پژوهشی به امکان‌سنجی بازیافت مصالح (بازیافت بتن) در بازسازی پس از سانحه پرداخت. با شکستن و خرد کردن بتن‌های باقی‌مانده از آوار سانحه می‌توان سنگ‌دانه‌های جدید برای حجم انبوه تولید بتن موردنیاز بازسازی و نوسازی تأمین کرد. از این سنگ‌دانه‌ها برای مصرف در لایه اساس زیرسازی‌های راه و شبکه معابر آسیب‌دیده در سوانح، در مرمت معابر شهری و روستایی استفاده کرد. پودر و غباری که در فرایند خرد کردن بتن به دست می‌آید به عنوان ماده اولیه سیمان یا ترکیبی برای تولید ملات و پایدارکننده خاک در مناطقی که پدیده شن‌های روان وجود دارد خصوصاً مناطق کویری کاربرد دارد. با توجه به اینکه هزینه خرد کردن بتن بسیارکم است، استفاده از پودر حاصل آلودگی ناشی از فرایند تولید سیمان را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد [۱۱].

ضیاء و همکارانش در پژوهشی از سنگ‌دانه‌های حاصل از بازیافت بتن به‌جای سنگ‌دانه‌های طبیعی استفاده کردند و در ادامه مقاومت فشاری بتن بازیافتی با بتن معمولی را مورد مقایسه قراردادند. بیان داشتند افزایش میزان ملات های قدیمی چسبیده به سنگ‌دانه درشت ممکن است اثرات مضری بر خواص بتن تازه و یا سخت شده داشته باشد. آنان در برنامه آزمایشگاهی خودشان، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن ۳۰۰* ۱۵۰ میلی‌متری ساخته‌شده با مصالح بازیافتی را بعد از ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز و در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد آزمایش کردند. نتایج حاصل از پژوهش به‌عمل‌آمده نشان داد که چه از سنگ‌دانه‌های حاصل از بازیافت به‌عنوان درشت‌دانه در ساخت بتن جدید مورد استفاده قرار گیرد و چه از این مصالح به‌عنوان ریزدانه استفاده گردد، مقاومت فشاری بتن حاصله کمتر از مقاومت فشاری بتن ساخته‌شده از مصالح طبیعی می‌گردد [۱۲].

اشرفی و همکاران استفاده از نخاله‌های بتنی به‌عنوان سنگ‌دانه برای تولید بتن بازیافتی با مقاومت‌های مختلف را مورد ارزیابی قراردادند. و در برنامه آزمایشگاهی خود ۶ دسته از بتن‌های با دو سطح مقاومت ۱۷ مگا پاسکال و ۳۰ مگا پاسکال و سه بار جایگذاری بتن بازیافتی به‌جای بتن طبیعی در قالب‌های استاندارد موردبررسی قراردادند سنگ دانه ها با نسبت ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ درصد را به‌عنوان جایگزین سنگ دانه های طبیعی در بتن جدید استفاده کردند. و مقاومت فشاری و دوام بتن حاصله را بررسی کردند. و نتیجه گرفتند برای ساختمان‌های بتن آرمه عملکرد خوبی از خود به نمایش می‌گذارند یعنی اینکه برای سطح مقاومت پایین (۱۷ مگا پاسکال) مقاومت فشاری سنگ‌دانه‌های بازیافتی تا حداکثر ۵۰ درصد جایگزینی مقاومتی مشابه با سنگ‌دانه‌های طبیعی دارند [۱۳].

Akono و همکارانش واکنش اولیه و شکست بتن سنگ‌دانه بازیافتی ریز را با استفاده از ماژول‌های مشخصه مکانیکی نانو مقیاس، با مدل‌سازی میکرو مکانیکی غیرخطی و روش‌های دیگر بررسی کردند. بیان کردند که مانع بزرگ در جهت واردکردن سنگ دانه های بتنی بازیافتی در صنعت بتن فقدان داده‌های دوام در مورد بتن سنگ دانه بازیافتی است. . اذعان شد بیشتر واکنش خزش بتن سنگ‌دانه بازیافتی به وجود ملات باقیمانده در سنگ‌دانه‌های

بازیافتی است. درنتیجه گیری بیان‌شده است که مدول خزش لگاریتمی ماکروسکوپی برای ملات سنگ‌دانه بتنی بازیافت شده پنج برابر ملات ماسه طبیعی کمتر است و درنهایت، چقرمگی شکست بتن سنگ‌دانه بازیافتی ریز ۸ درصد کمتر از بتن ساده است [۱۴].

رنجی و همکاران در مقاله‌ای استفاده از بتن سنگ‌دانه بازیافتی در ساخت وساز پایدار برای نسبت مقاومت فشاری موردنیاز را بررسی کردند. درنتیجه پژوهش بیان کردند که نسبت بین بتن اصلی و بتن سنگ دانه بازیافتی (RAC) بر اسلامپ، مقاومت فشاری و مقاومت کربناته شدن RAC بهبودیافته است؛ زیرابه دلیل کاهش نسبت جذب آب از ۶,۱٪ به ۴,۵٪، آب کمتری توسط سنگ‌دانه بازیافتی جذب شده است. این نتایج را نیز می‌توان به این واقعیت نسبت داد که ملات‌های جدید و قدیمی با افزایش نسبت مقاومت فشاری متراکم‌تر می‌شوند که می‌تواند با تخلخل کم ملات مربوط باشد، بنابراین، توانایی انتشار CO2 در ملات‌ها کاهش‌یافته است [۱۵].

فرخ زاد و همکارش در مقاله‌ای استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیس جهت ارتقاء خواص مکانیکی و دوامی بتن خود تراکم حاوی سنگ دانه‌های حاصل از بازیافت بتن را مورد بررسی قراردادند. در برنامه آزمایشگاهی ۷۲ طرح اختلاط در قالب ۸ مجموعه را مورد بررسی قراردادند. آنان در طرح‌های اختلاط آزمایش خود میزان نانو سیلیس و میکروسیلیس را با توجه به میزان سنگ‌دانه‌های بازیافتی تغییر داده‌اند. در نتیجه‌گیری میکروسیلیس با توجه به ساختار و اندازه ذرات آن به‌طورکلی خواص مناسبی در بتن‌های حاوی سنگ‌دانه بازیافتی از خود به نمایش قرارداد؛ ولیکن نمونه‌های حاوی نانوسیلیس علیرغم داشتن دانه‌های ریز، به‌خوبی خواص تقلیل یافته بتن بازیافتی را اصلاح ننمود.

Saez و همکاران در تحقیقی اظهار نمودند تولید زباله‌های ساختمانی و تخریب (C&DW) یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی در دنیای امروز است. تخمین زده می‌شود که C&DW تولیدشده در اروپا حدود ۸۹۰ میلیون تن در سال است [۱۷].

Tam و همکاران اشاره کردند که ۴۲ درصد از کل زباله‌های استرالیا به C&DW مرتبط است که ۸۱ درصد آن زباله‌های بتنی است[۱۸].

Ghanbari و همکاران گفتند که تولید سالانه C&DW در هنگ‌کنگ و ژاپن به ترتیب ۳۸ و ۱۶ درصد از کل ضایعات تولیدشده را شامل می‌شود [۱۹]. همچنین، درگزارشی بیان شد که ۵۶۹ میلیون تن C&DW در ایالات‌متحده در سال ۲۰۱۷ تولیدشده است [۲۰].

Muzenda گزارش داد که آفریقای جنوبی نیز از این تهدید مستثنا نیست. C&DW ۲۱ درصد از ترکیب زباله‌های عمومی در آفریقای جنوبی را تشکیل می‌دهد[۲۱]. Saghafi درتحقیقی بیان داشت درحالی‌که این زباله‌ها درنتیجه فعالیت‌های ساختمانی تولید می‌شوند، سالانه سه میلیارد تن مواد اولیه در سراسر جهان برای تولید مصالح ساختمانی استفاده می‌شود [۲۲].

TamV ملاحظات اقتصادی بازیافت ضایعات بتن را موردبررسی قرارداد. سود تولید سنگ‌دانه بتن بازیافت درشت (CRCA)گزارش‌شده از بتن ضایعاتی باارزش ۲۲،۳۳۴،۱۱۶ دلار در سال مثبت بود، درحالی‌که سود سنگ‌دانه طبیعی خردشده (CNA) ارزش خالص منفی ۳۱۸۴۱،۱۰۹ دلار آمریکا در سال داشت. این مزیت قابل‌توجه در استفاده از RCA ، به معنی کاهش هزینه‌های بتن سنگ‌دانه بازیافتی (RAC) است [۲۳].

Hameed در مقاله‌ای از صرفه‌جویی در هزینه ۶۳,۱۳٪ را برای RAC تولیدشده از بازیافت ضایعات بتن برای ساخت بتن تازه در همان محل تخریب، نسبت به تولید بتن معمولی ساخته‌شده با CNAگزارش داد. بااین‌حال، این صرفه‌جویی در هزینه RAC تا زمان استفاده از CRCA خریداری‌شده از یک کارخانه بازیافت، به ۱۲,۶۲درصد کاهش یافت [۲۴].

سالخورده و نوری قیداری سه سری طرح اختلاط بتن خود تراکم مورداستفاده قراردادند .بدین منظور ۱۰۰ درصد سنگ‌دانه‌های درشت‌دانه‌ای طرح اختلاط از مصالح بازیافتی بتن و ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد سنگ‌دانه‌های ریزدانه، از مصالح بازیافتی بتن انتخاب‌شده بود. با بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های جریان اسلامپ بتن خود تراکم بازیافتی مشاهده گردید که با افزایش مقادیر بازیافتی بتن میزان قطر جریان اسلامپ بتن خود تراکم نیز افزایش پیدا می‌کند [۲۵].

۳-روش انجام تحقیق

در این تحقیق با بهره گیری از روش آزمایشگاهی به ارزیابی و بررسی جایگزین کردن شن بازیافتی به جای بخشی از شن طبیعی پرداخته شد. شن بازیافتی حاصل نخاله های بتنی خردشده با حجم صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد جایگزین شن طبیعی گردید و از فوق روان‌کننده متداول با اساس کربوکسیلات دراختلاط بتن استفاده شد. با استفاده از قالب های چدنی ۱۵ * ۱۵ * ۱۵سانتیمتر برای هر طرح اختلاط ۶ نمونه و جمعاً ۱۸ نمونه مکعبی بتن ساخته شد. در آزمایشگاه بتن جذب آب و وزن مخصوص محاسبه، مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری آن‌ها تعیین و موردبررسی و مقایسه قرار گرفت. داده‌ها ی تحقیق از طریق فعالیت آزمایشگاهی و مطالعه کتابخانه‌ای گردآوری‌گردید و با استفاده از نرم‌افزار اکسل جدول‌بندی و پس از مرتب کردن و انجام محاسبات لازم، نتایج به‌صورت جدول و رسم نمودار برای هر آزمایش، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

۳-۱-مشخصات مصالح مصرفی

به طور کلی بتن حاصل اختلاط آب باسیمان و سنگ‌دانه‌های مختلف است که در اثر واکنش آب با **سیمان** در شرایط محیطی خاصی سخت شده و دارای ویژگی‌هایی ازجمله مقاومت و دوام می‌شود. لذا به شرح ذیل اجزا، مصرفی برای ساخت بتن تحقیق بیان می شود:

سیمان مصرفی

سیمان استفاده شده در تحقیق از نوع سیمان پرتلند تیپ II (PC) با چگالی ۳/۱۵ و نرمی ۲۹۳m^2/kg بود. مقاومت ۲۸ روزه

نمونه ساخته شده با سیمان، ۳۹/۳ MPa و زمان گیرش اولیه ۷۰ دقیقه و نهایی ۴ ساعت و ۳ دقیقه است.

آب مصرفی

آب استفاده شده در ساخت بتن نمونه‌ها آب شهری بود.

سنگدانه طبیعی

برروی خواص و کیفیت سنگدانه های طبیعی مورد استفاده در تحقیق اعم از شن و ماسه مطالعه ای انجام نشد. انتخاب نوع سنگدانه تصادفی و از مصالح معمول در آزمایشگاه بتن که در ساخت بتن سایر آزمایش‌ها مورد استفاده قرار می گرفت، بود.

شن بازیافتی

روش تخریب ساختمان و جمع‌آوری نخاله‌های ساختمانی و تفکیک نخاله‌ها به بتن، آجر، گچ، آهن‌آلات، چوب، پلاستیک و شیشه دارای تکنیک خاصی است که در کارخانه‌های بازیافت موجود در کشورهای پیشگام در صنعت بازیافت دارای چرخه خاصی است. تجهیزات مورد استفاده برای بازیافت بتن به‌طورکلی ثابت و یا متحرک هستند که استفاده از هرکدام مزایا و معایب اقتصادی و محیط زیستی خاص خود را دارند. در کنار این دستگاه‌ها رباتی است که توسط عمر هاسیومروغلو دانشجوی سوئدی انستیتوی Umea طراحی‌شده است .این ربات نه‌تنها بتن روی آرماتورها را پاک می‌کند بلکه به‌طور مؤثری اجزای آن شامل شن و ماسه و سیمان را بازیافت می‌نماید.

در این تحقیق ما از نمونه‌های مکعبی گرفته‌شده از پروژه‌های ساختمانی برای انجام تست آزمایشگاهی، استفاده کردیم. این نمونه‌ها پس از انجام پرس برای تعیین مقاومت فشاری غیرقابل مصرف بوده و به‌عنوان نخاله دفع می‌شوند. انتخاب این نوع نخاله به علت محدودیت مکانیکی برای خرد کردن بتن و هزینه‌های آن بوده است. از طرفی این نخاله بتنی از موادی مانند گچ، آجر، خاک رسی و سایر ذرات به‌طور فراوان عاری بوده و برای این تحقیق مناسب تشخیص داده شد. بتن این نمونه‌ها معمولی بوده و برای فونداسیون، ستون و سقف طرح‌ریزی‌شده بودند. نمونه‌های نخاله بتنی به‌طور تصادفی و بدون در نظر گرفتن نتایج آزمایش آنان انتخاب شدند. حدود ۱۵۰ کیلو بلوک ضایعاتی، از میان نخاله‌ها انتخاب شد؛ و بعد با پتک خرد شدند. بتن‌های متلاشی‌شده به مدت ۴ روز در محوطه آزمایشگاه به‌منظور تبخیر رطوبت باقیمانده در بلوک‌های بتنی و در درجه حرارت محیط هوای آزاد نگهداری شدند. پس از کاهش رطوبت نخاله‌ها، بوسیله پتک سنگین خرد کردن نخاله‌های بتنی تا به دست آمدن اندازه موردنظر ادامه یافت. جدا کردن دانه‌های سنگی و بتنی در سه مرحله انجام یافت. در مرحله اول همه دانه‌ها از غربال $^{3}/_{4}$ عبور داده شد و دانه‌های درشت‌تر از آن جدا و برای خرد شدن بیشتر با پتک استفاده گردید و دانه‌های عبور کرده برای مرحله بعد آماده شدند. در مرحله دوم همه دانه‌های مرحله قبل از غربال $^{3}/_{16}$ عبور داده شد. دانه‌های عبور نکرده برای مرحله بعد آماده گردید. در مرحله سوم همه مصالح با غربال $^{3}/_{8}$ به دو قسمت جدا شدند. دانه‌های عبور کرده از غربال $^{3}/_{8}$ به‌عنوان شن ریز و دانه‌های عبور نکرده به‌عنوان شن درشت برای استفاده در طرح اختلاط به‌طور جداگانه جمع‌آوری گردید. به دلیل اینکه دانه‌های عبوری از الک $^{3}/_{16}$ در رده اندازه ماسه قرار دارد و در طرح اختلاط این تحقیق تعریف نشده است، دور ریخته شد.

فوق روان کننده مصرفی

هدف این تحقیق بررسی استفاده از نخاله‌های بتنی با یک افزودنی مناسب است. افزودنی‌های فوق روان کننده با اساس نفتالین و اساس کربوکسیلات موجود در بازار بررسی شد و درنهایت فوق روان کننده‌ای با اساس کربوکسیلات تحت عنوان تجاری «ابر روان کننده پلی کربوکسیلات» انتخاب شد. مشخصات فنی عبارتند از: رنگ قهوه‌ای، حالت فیزیکی مایع، وزن مخصوص $1/05\ gr/cm^3$، PH حدود ۷، قابلیت انحلال در آب و یون کلر ندارد. شرکت سازنده میزان مصرف را ۰/۲ تا ۰/۸ درصد وزن سیمان پیشنهاد داده است. همچنین، تأثیر استفاده از این فوق روان کننده در کاهش آب مورد اختلاط و افزایش روانی و افزایش مقاومت نهایی اعلام‌شده است.

۳-۲-طرح اختلاط نمونه ها

دراین تحقیق سه طرح اختلاط شامل طرح شاهد بدون شن بازیافتی و طرح A حاوی ۲۵ درصد شن بازیافتی و طرح B حاوی ۵۰ درصد شن بازیافتی تنظیم گردید. در هر سه طرح عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم در یک مترمکعب و میزان ماسه مساوی در نظر گرفته شد. جداول۱ و ۲ و ۳ میزان مصالح مصرفی به ترتیب در طرح های شاهد، A و B نشان داده شده است. نسبت آب به سیمان در طرح شاهد ۰/۴۵ و در طرح های A و B ۰/۴۶ قرار داشت. میزان مصرف فوق روان کننده نیز در طرح شاهد ۲/۳ کیلوگرم در متر مکعب و در طرح های A و B ۲/۷ کیلوگرم در متر مکعب تنظیم گردید.

جدول ۱ – میزان مصالح مورد نیازطرح شاهد برای یک مترمکعب

نوع مصالح	کاملاً خشک(kg)
شن درشت	۶۶۱
شن ریز	۱۶۵
ماسه	۱۰۳۳
سیمان	۳۵۰
فوق روان کننده	۲/۳
آب	۱۵۶

جدول ۲ – میزان مصالح مورد نیازطرح A برای یک مترمکعب

نوع مصالح	کاملاً خشک(kg)
شن درشت طبیعی	۳۵۰
شن درشت بازیافتی	۱۶۵
شن ریز	۳۵۰
شن ریز بازیافتی	۱۰۳
ماسه	۱۰۳۳
سیمان	۳۵۰
فوق روان کننده	۲/۷
آب	۱۶۱

جدول ۳- میزان مصالح مورد نیازطرح B برای یک مترمکعب

نوع مصالح	کاملاً خشک(kg)
شن درشت طبیعی	۳۵۰
شن درشت بازیافتی	۱۶۵
شن ریز	۳۵۰
شن ریز بازیافتی	۱۰۳
ماسه	۱۰۳۳
سیمان	۳۵۰
فوق روان کننده	۲/۷
آب	۱۶۱

۳-۳-ساخت نمونه‌های آزمایش

برای ساخت نمونه ها از قالب هـای چـدنی cm ۱۵ * ۱۵ * ۱۵ استفاده گردید. برای اجرای هریک از طرح هـا ۶ نمونـه، ۳ نمونـه در بازه زمانی هفت روزه و ۳ نمونه در بازه زمانی بیست و هشت روزه در نظر گرفته شد. به این ترتیب برای ساخت نمونه های آزمایش نیاز بـه ۱۸ نمونه بود. لذا حداکثر حجم بتن مقدار ۰/۰۴۳ مترمکعب برای هـر طرح برآورد گردید. در جداول ۴ و ۵ و ۶ میـزان مصـالح مـورد نیـاز برای هر سه طرح شاهد، A و B نشان داده شده اسـت. در بررسـی جداول مصالح موردنیاز طـرح‌هـا، تفـاوت‌هـایی بـین طـرح شـاهد و طرح‌های A و B برای مقادیر شن وجود داشت کـه بـه شـرح ذیـل بیان می‌شود: در اولین تفاوت طرح شاهد با طرح A و B، سنگ‌دانـه بازیافتی این دو طرح بـه ترتیـب ۲۵ درصـد و ۷۵ درصـد جـایگزین سنگ‌دانه طبیعی شده است. البته مجموع وزنی شن مصرفی در ایـن دو طرح مساوی با مجموع وزنی شن طرح شاهد است. تفـاوت دوم این است که؛ در طرح A و B نسبت شن درشت و شن ریز در هر دو نوع طبیعی و بازیافتی، مساوی در نظر گرفته‌شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید؛ اندازه شن درشت بازفتی در حدفاصـل $^{3}/_{8}$ و $^{3}/_{4}$ است و اندازه شن ریز بازیافتی در حدفاصل $^{3}/_{8}$ و $^{3}/_{16}$ قرار دارد.

جدول ۴ -میزان مصالح مورد نیازطرح شاهد برای ۰/۰۳۴ مترمکعب

نوع مصالح	کاملاً خشک(kg)
شن درشت	۲۲/۴۷۴
شن ریز	۵/۶۱
ماسه	۳۵/۱۲۲
سیمان	۱۱/۹
فوق روان کننده	۰/۰۷۸
آب	۵/۱۴

جدول ۵ -میزان مصالح مورد نیازطرح A برای ۰/۰۳۴ مترمکعب

نوع مصالح	کاملاً خشک(kg)
شن درشت طبیعی	۱۱
شن درشت بازیافتی	۴
شن ریز	۱۱
شن ریز بازیافتی	۴
ماسه	۳۵
سیمان	۱۲
فوق روان کننده	۰/۰۹۲
آب	۶/۲

جدول ۶ -میزان مصالح مورد نیازطرح B برای ۰/۰۳۴ مترمکعب

نوع مصالح	کاملاً خشک(kg)
شن درشت طبیعی	۷
شن درشت بازیافتی	۷
شن ریز	۷
شن ریز بازیافتی	۷
ماسه	۳۵
سیمان	۱۲
فوق روان کننده	۰/۰۹۲
آب	۶/۲

۳-۴-اختلاط اجزاء بتن و تهیه نمونه های تحقیق

ابتدا مصالح موردنیاز هر طرح طبق جدول آنـالیز تـوزین گردیـد. مصالح طرح شاهد در یک مرحله وارد میکسر گردید و بعد از رسیدن به اسلامپ مورد نظر ۶ نمونه مکعبی قالـب گیـری شـد. ولـی بـرای طرح های A و B روش اختلاط مصالح چند مرحله ای بکار گرفته شد .

روش چند مرحله ای اختلاط اجزاء بتن

Zongjin بیان کرده که تکنیـک روش چنـد مرحلـه ای باعـث افزایش مقاومت فشاری تا ۳۰ درصد نسبت به روش یک مرحلـه ای می‌شود [۲۶]. با این روش احتمالاً ضعف‌های سنگ‌دانه‌های بازیافتی جبران می شود. روش چند مرحله ای به شرح ذیـل بیـان مـی شـود مراحل بصورت متوالی و پیوسته میباشند:

مرحله اول: کل شن همراه نصف سیمان درمیکسر ریخته شده و مقدار نصف آب طرح اضافه می‌شود. پس‌ازآن میکسر به مـدت ۱ دقیقه بچرخد.

مرحله دوم: کل ماسه به میکسر اضافه شود. بعد بـه ترتیـب، فوق روان‌کننده و یک‌چهارم آب و یک‌دوم سیمان به درون میکسـر ریخته شده و ۲ دقیقه میکسر به چرخش خود ادامه دهد.

مرحله سوم: یک‌چهارم آب به مخلوط اضافه و چرخش میکسر به مدت ۳ دقیقه انجام شود.

با استفاده از روش ساخت بتن سه مرحله ای، بتن موردنیاز برای طرح های A و B ساخته شد و برای هریک ۶ نمونه مکعبی قالب گیری شد. قالب‌های چدنی ۱۵ cm * ۱۵ cm * ۱۵ cm تمیز و درون آن با گازوئیل چرب شد. بتن ساخته‌شده در هر قالب طی سه مرحله ریخته شد در مرحله اول و دوم یک‌سوم قالب ریخته شد و متعاقباً توسط یک میله ته پهن با زدن ۲۵ ضربه، بطوریکه از کناره قالب شروع و به‌تدریج به مرکز قالب ختم شود، فشرده گردید. برای یک سوم آخر در مرحله سوم، با یک چکش پلاستیکی تعداد ۸ ضربه به دیواره‌های قالب‌زده شد تا ویبره نمونه به شکل دستی کامل گردد. در انتها با یک ماله ظریف و کوچک سطح نمونه بتن پرداخته و صاف گردید. در روز اول نمونه‌های بتن پس از گیرش اولیه و سخت شدن از قالب‌ها خارج و بر اساس نوع طرح، از عدد ۱ تا ۱۸ شماره‌گذاری گردید. به منظور محاسبه وزن مخصوص و جذب آب نمونه‌ها، ابتدا طول، عرض و ارتفاع نمونه‌های مکعبی با ابزار کولیس با دقت ۰/۱ میلی متر اندازه‌گیری و بعد با دقت یک گرم توزین و سپس عملیات کیورینگ در دوره های ۷ و ۲۸ روزه آغاز گردید.

کیورینگ نمونه‌ها: برای به دست آوردن مقاومت فشاری اولیه و نهایی برای دوره ۷ و ۲۸روزه، از روش کلی عمل‌آوری با آب، غوطه‌ورسازی در آب استفاده شد. لذا نمونه‌ها در آب شهری غوطه‌ور شدند و در مرحله کیورینگ قرار گرفتند. به‌طورکلی در طی عملیات کیورینگ، فرآیند هیدراسیون سیمان که قبلاً شروع شده بود، ادامه پیدا می‌کند و در طی روند آن، با شرایط رطوبت و دمای مناسب، خصوصیات مکانیکی بتن افزایش پیدا می‌کند.

۴- یافته‌های تحقیق

بعد از گذشت ۷ روز از عمل‌آوری بتن. سه نمونه از هریک از طرح‌ها با شماره‌های مشخص از تانکر کیورینگ خارج گردید و دو ساعت در محیط هوای آزاد در درجه حرارت ۲۶ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۹ درصد نگهداری شدند و پس از توزین و اندازه گیری ابعاد ، جذب آب نمونه‌ها بررسی ودر جدول ۷ ثبت گردید. تعیین مقاومت الکتریکی با دستگاه تست‌های غیر مخرب CANIN یا هالف سل با استاندارد ASTM876 انجام شد. دستگاه مورداستفاده با باطری کار می‌کند و چهار میله (Probe) بوده و نسبت به الکترود دو میله دقت بیشتری دارد. برای دقت بیشتر از هر نمونه سه بار و در زاویه های مختلف نسبت به سطح افق، تست به عمل آمد. نتایج قرائت‌های انجام شده بر صفحه نمایش دستگاه در جدول ۸ نشان داده‌شده است. نمونه ها تحت فشار دستگاه پرس قرار گرفتند. مقادیر نیروی وارده برای شکستن نمونه‌های مکعبی در جدول ۹ مشاهده می‌گردد.

جدول۷- نتایج درصد جذب آب در روز هفتم

طرح	شماره نمونه	وزن ۱ روزه gr	وزن ۷ روزه gr	جذب آب ۷ روزه gr	درصد جذب آب
شاهد	۱	۸۱۰۰	۸۱۹۰	۹۰	۱/۱۱
	۲	۸۱۱۳	۸۲۰۰	۸۷	۱/۰۷
	۳	۸۳۵۲	۸۴۴۰	۸۸	۱/۰۵
A	۷	۷۹۷۲	۸۰۵۰	۷۸	۰/۹۸
	۸	۸۰۹۲	۸۱۸۰	۸۸	۱/۰۹
	۹	۸۰۷۸	۸۱۶۰	۸۲	۱/۰۲
B	۱۳	۷۹۸۱	۸۰۶۰	۷۹	۰/۹۹
	۱۴	۷۹۶۳	۸۰۴۰	۷۷	۰/۹۷
	۱۵	۸۰۱۷	۸۱۰۰	۸۳	۱/۰۴

جدول۸- نتایج تست مقاومت الکتریکی kΩcm در روز هفتم

طرح	شماره نمونه	قرائت ۱	قرائت ۲	قرائت ۳	متوسط مقاومت الکتریکی
شاهد	۱	۷/۲	۷/۳	۷/۱	۷/۲
	۲	۷/۱	۷/۶	۷/۵	۷/۴
	۳	۸	۷/۴	۷/۸	۷/۷
A	۷	۸/۱	۸/۶	۸/۵	۸/۴
	۸	۷/۵	۷/۶	۷/۷	۷/۶
	۹	۸/۱	۷/۷	۷/۹	۷/۹
B	۱۳	۶/۳	۶/۵	۶/۴	۶/۴
	۱۴	۷/۴	۷/۳	۷/۲	۷/۳
	۱۵	۷/۲	۷	۷/۱	۷/۱

همچنین بعد از گذشت ۲۸ روز از عمل‌آوری بتن، ۹ نمونه باقی مانده این تحقیق ازکیورینگ خارج گردید و مانند مرحله قبل دو ساعت در محیط هوای آزاد در درجه حرارت ۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۴ درصد نگهداری شدند و پس از توزین و اندازه گیری ابعاد سطح تحت فشار، نمونه‌ها در معرض آزمایش های جذب آب ، مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری قرار گرفتند و نتایج به ترتیب در جداول ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ ثبت شد.

جدول۹ – نتایج تست مقاومت فشاری در روز هفتم

مقاومت فشاری kg/cm^2	عرض cm	طول cm	نیروی شکست (kg)	شماره نمونه	طرح
۲۷۴	۱۵/۴	۱۵/۱	۶۳۸۱۰	۱	شاهد
۲۵۰	۱۵/۴	۱۵/۳	۵۸۹۳۰	۲	
۲۷۲	۱۵/۲	۱۵/۳	۶۳۲۳۰	۳	
۲۶۷	۱۵/۱	۱۵/۱	۶۰۸۲۰	۷	A
۲۶۶	۱۵/۳	۱۵/۳	۶۱۵۴۰	۸	
۲۸۴	۱۵/۳	۱۵/۳	۶۶۴۰۰	۹	
۲۷۹	۱۵/۲	۱۵/۲	۶۴۴۲۰	۱۳	B
۲۷۷	۱۵/۳	۱۵/۲	۶۴۴۲۰	۱۴	
۲۸۶	۱۵/۳	۱۵/۲	۶۶۵۱۰	۱۵	

جدول۱۰ – نتایج جذب آب در روز بیست وهشتم

درصد جذب آب	جذب آب ۲۸ روزه gr	وزن ۲۸ روزه gr	وزن ۱ روزه gr	شماره نمونه	طرح
۱/۲۱	۹۸	۸۲۰۰	۸۱۰۲	۴	شاهد
۱/۲۳	۱۰۰	۸۲۳۵	۸۱۳۵	۵	
۱/۲۱	۹۸	۸۱۸۵	۸۰۸۷	۶	
۱/۱۵	۹۲	۸۰۷۵	۷۹۸۳	۱۰	A
۱/۱۰	۹۰	۸۲۸۰	۸۱۹۰	۱۱	
۱/۱۶	۹۳	۸۱۱۰	۸۰۱۷	۱۲	
۱/۲۶	۱۰۱	۸۱۱۵	۸۰۱۴	۱۶	B
۱/۱۶	۹۴	۸۱۷۵	۸۰۸۱	۱۷	
۱/۱۷	۹۳	۸۰۱۵	۷۹۲۲	۱۸	

جدول۱۱ –نتایج تست مقاومت الکتریکی kΩ- cm در روز بیست و هشتم

متوسط مقاومت الکتریکی	قرائت ۳	قرائت ۲	قرائت ۱	شماره نمونه	طرح
۱۰	۱۰/۲	۱۰	۹/۸	۴	شاهد
۱۱	۱۰/۱	۹/۹	۱۰	۵	
۹/۵	۹/۴	۹/۷	۹/۴	۶	
۹/۵	۹/۴	۹/۶	۹/۵	۱۰	A
۱۰	۹/۸	۱۰/۲	۱۰	۱۱	
۱۱	۱۱/۲	۱۰/۸	۱۱	۱۲	
۸/۵	۸/۶	۸/۴	۸/۵	۱۶	B
۹	۹	۹/۲	۸/۸	۱۷	
۸	۸/۲	۸	۷/۸	۱۸	

جدول۱۲ –نتایج تست مقاومت فشاری در روز بیست و هشتم

مقاومت فشاری kg/cm^2	عرض cm	طول cm	نیروی شکست (kg)	شماره نمونه	طرح
۳۰۲	۱۵/۱	۱۵/۲	۶۹۲۷۰	۴	شاهد
۲۷۳	۱۵/۱	۱۵/۲	۶۲۷۷۰	۵	
۲۹۲	۱۵/۲	۱۵/۲	۶۷۳۶۰	۶	
۳۵۸	15	۱۵/۲	۸۱۷۳۰	۱۰	A
۳۳۸	۱۵/۱	۱۵/۲	۷۷۵۵۰	۱۱	
۳۳۷	۱۵	۱۵/۱	۷۶۳۵۰	۱۲	
۳۴۲	۱۵/۱	۱۵/۱	۷۷۹۶۰	۱۶	B
۳۲۶	۱۵/۱	۱۵/۲	۷۴۷۱۰	۱۷	
۳۴۰	۱۵/۱	۱۵/۲	۷۷۹۶۰	۱۸	

۵-تجزیه و تحلیل داده ها

در این قسمت نتایج به‌دست‌آمده از فعالیت‌های آزمایشگاهی در جداول و نمودارها توصیف‌شده و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. ۱۸ نمونه مکعبی تهیه‌شده که در دوره زمانی ۷ و ۲۸ روزه کیورینگ شده‌بودند، شامل شش نمونه طرح شاهد، شش نمونه طرح A و شش نمونه طرح B بودکه هریک شامل سه نمونه ۷ روزه و سه نمونه ۲۸ روزه هست، که با استفاده از امکانات آزمایشگاه مکانیک و خاک اداره راه و ترابری خوزستان در قالب‌های چدنی ۱۵ * ۱۵ * ۱۵ تهیه‌شده بودند، در دو مرحله وزن‌کشی شدند. ابعاد آن با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و اطلاعات ثبت گردید. درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط آزمایشگاه از نمایشگر دیجیتال محل یادداشت گردید. سپس با دستگاه CANIN (دستگاه غیر مخرب آنالیز خوردگی) مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری و در آخر نمونه‌ها در دستگاه پرس بر اساس استاندارد BS1881 تحت نیروی فشار عمودی قرار گرفتند. نتایج خام آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل و رسم نمودار دسته‌بندی قرار گرفت. در این مقاله طرح شاهد: اجزاء اختلاط فاقد شن بازیافتی؛ و دارای روان کننده کاهنده آب با اساس کربوکسیلات و طرح A؛ اجزاء اختلاط حاوی ۲۵ درصد شن بازیافتی و روان کننده کاهنده آب با اساس کربوکسیلات. وطرح B؛ اجزاء اختلاط حاوی ۵۰ درصد شن بازیافتی و روان کننده کاهنده آب با اساس کربوکسیلات تعریف می شود.

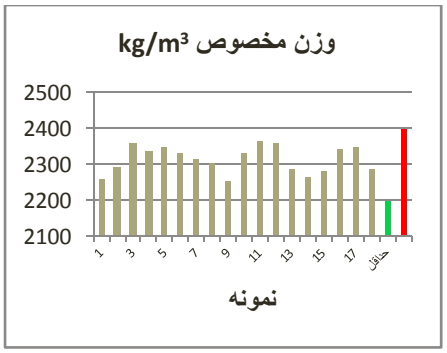
۵-۱- بررسی نتایج وزن مخصوص نمونه‌ها

برای کنترل یکنواختی مخلوط مصالح بتن و درستی طرح اختلاط نیاز است که آزمایش وزن مخصوص بتن صورت بگیرد. این آزمایش با توجه به استاندارد ASTM C138 یا ISIRI3521 انجام می‌شود. در این پژوهش سعی گردید که نمونه‌گیری نزدیک دستورالعمل‌ها باشد. بدین منظور ابتدا وزن قالب‌های ۱۵ * ۱۵ * ۱۵ مشخص و مخلوط بتن ساخته‌شده در قالب‌ها ریخته شد و پس از تراکم لازم وزن‌کشی گردید. ابعاد نمونه‌های مکعبی با ابزار کولیس مشخص و با محاسبه تفاوت این دو وزن نتایج خام در جدول ۱۳ آورده شده است.

وزن مخصوص سنگ‌دانه‌های طبیعی بتن، معمولاً، بین ۱۵۲۰ و ۱۶۸۰ kg/m^3 محاسبه شده است و انتظار می‌رود که وزن مخصوص بتن‌های معمولی ساخته‌شده با سنگ‌دانه‌های طبیعی نیز بین ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ kg/m^3 باشد. نتایج نشان می‌دهد که وزن مخصوص طرح‌ها بین ۲۲۵۵ و ۲۳۶۳ kg/m^3 بوده که در مقایسه وزن مخصوص معمول قابل قبول هست. بیشترین وزن مخصوص در طرح‌های شاهد و A، کمترین وزن مخصوص در طرح B مشاهده می‌گردد.

جدول ۱۳ محاسبه وزن مخصوص نمونه‌های مکعبی بتن

طرح	شماره نمونه	وزن kg	طول m	عرض m	ارتفاع m	وزن مخصوص kg/m^3
شاهد	۱	۸/۱۰۰	۰/۱۵۱	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	۲۲۶۲
	۲	۸/۱۱۳	۰/۱۵۳	۰/۱۵۴	۰/۱۵۰	۲۲۹۶
	۳	۸/۳۵۲	۰/۱۵۳	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۲۳۶۳
	۴	۸/۱۰۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۲۳۳۸
	۵	۸/۱۳۵	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۲۳۴۷
	۶	۸/۰۸۷	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۰	۲۳۳۴
A	۷	۷/۹۷۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۲۳۱۵
	۸	۸/۰۹۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۳	۰/۱۵۲	۲۳۰۴
	۹	۸/۰۷۸	۰/۱۵۳	۰/۱۵۳	۰/۱۵۳	۲۲۵۵
	۱۰	۷/۹۸۷	۰/۱۵۲	۰/۱۵۰	۰/۱۵۰	۲۳۳۴
	۱۱	۸/۱۹۰	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۲۳۶۳
	۱۲	۸/۰۱۷	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰	۰/۱۵۰	۲۳۶۰
B	۱۳	۷/۹۸۱	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۲۲۸۸
	۱۴	۷/۹۶۳	۰/۱۵۲	۰/۱۵۳	۰/۱۵۱	۲۲۶۸
	۱۵	۸/۰۱۷	۰/۱۵۲	۰/۱۵۳	۰/۱۵۱	۲۲۸۳
	۱۶	۸/۰۱۴	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰	۲۳۴۳
	۱۷	۸/۰۸۱	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰	۲۳۴۷
	۱۸	۷/۹۲۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۲۲۸۶



نمودار۱ – مقایسه وزن مخصوص نمونه‌ها با بتن معمولی

در نمودار ۱ وزن مخصوص همه نمونه‌ها، با میله‌های آبی‌رنگ، وزن مخصوص بتن‌های معمول در کمترین و بیشترین که به ترتیب با میله‌های سبز و قرمز مشخص شده‌اند، به نمایش درآمده است. این نمودار نیز نشان می‌دهد که وزن مخصوص طرح‌های اختلاط در محدوده معمول قرار دارند.

۵-۲- بررسی نتایج جذب آب نمونه‌ها

عوامل بسیاری وجود دارد که سبب نفوذپذیری آب به داخل بتن می‌شود. از این دسته از عوامل می‌توان به مقاومت ضعیف، نامتناسب بودن سیمان وسنگ‌دانه در ملات، عمل‌آوری نامناسب، تراکم و ملات باکیفیت پایین اشاره کرد. آزمایش جذب آب راهکاری برای مشخص شدن کیفیت ملات ساخته شده است. جذب آب؛ روندی است که بتن به آب و یا بخار آب اجازه می‌دهد تا آب از طریق منافذ موئینی و حفره‌های میکروسکوپی هوا، وارد بدنه بتن سخت شده گردد. می‌توان با غوطه‌ور کردن نمونه مکعبی در آب و تعیین تفاوت وزن در قبل و بعد از غوطه‌ور شدن در صد و بعد تقسیم بر وزن اولیه، درصد جذب آب را مشخص کرد. وزن‌کشی را می‌توان در بازه‌های زمانی انجام داد و نتایج را مورد بررسی قرارداد. طبق استاندارد BS1881 بتن با جذب آب کمتر از ۲ درصد و در مدت ۳۰ دقیقه کیفیت بهتری دارد. در آزمایش‌های انجام‌شده این پژوهش نمونه‌ها در روز اول، هفتم و بیست وهشتم توزین گردید. همان‌گونه که در جدول ۱۴ مشاهده می‌شود، درصد جذب آب در بازه زمانی ۷ روزه بین ۱٫۳٪ تا ۱٪ میباشد. همچنین در جدول ۱۵ درصد جذب آب در بازه زمانی ۲۸ روزه بین ۱/۱۴ و ۱/۲۰ درصد ثبت گردیده است. این نتیجه کمتر از ۲ درصد نسبت به جذب آب بتن شاهد است و نتیجه قابل قبولی در این پژوهش محسوب می‌شود .

جدول ۱۴ –مقایسه میانگین وزن ۱ و ۷ روزه و درصد جذب آب نمونه ها

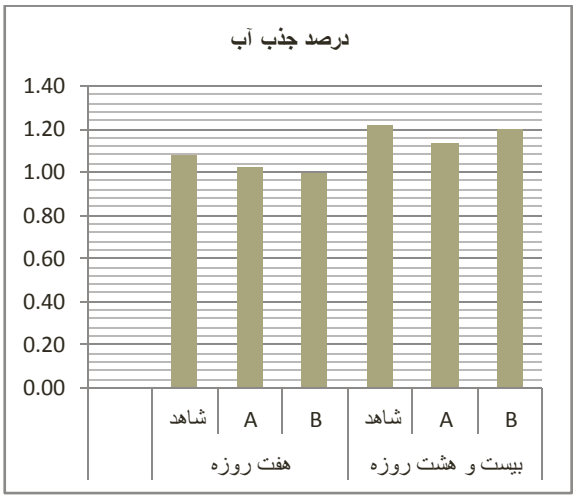
طرح	میانگین gr			درصد جذب آب
	وزن ۱ روزه	وزن ۷ روزه	جذب آب ۷ روزه	
شاهد	۸۱۸۸	۸۲۷۷	۸۸	۱/۰۸
A	۸۰۴۷	۸۱۳۰	۸۳	۱/۰۳
B	۷۹۸۷	۸۰۶۷	۸۰	۱/۰۰

جدول ۱۵ مقایسه میانگین وزن ۱ و ۲۸ روزه و درصد جذب آب نمونه ها

طرح	میانگین gr			درصد جذب آب
	وزن۱ روزه	وزن۲۸ روزه	جذب آب ۲۸ روزه	
شاهد	۸۱۰۸	۸۲۰۷	۹۹	۱/۲۲
A	۸۰۶۳	۸۱۵۵	۹۲	۱/۱۴
B	۸۰۰۶	۸۱۰۲	۹۶	۱/۲۰

در جدول ۱۴ میانگین درصد جذب آب طرح‌های اختلاط شاهد، A و B در بازه زمانی ۷ روزه و در جدول ۱۵ میانگین درصد جذب آب دربازِ زمانی ۲۸ روزه هر سه طرح اختلاط، مشاهده می‌شود که طرح‌های A و B بیشتر از طرح متناظر شاهد نیستند.

همچنین در نمودار ۲ متوسط وزن هر سه طرح و جذب آب آنان در بازه های ۷ و ۲۸ مشاهده شده است. این نتیجه احتمالاً به استفاده از فوق روان کننده مربوط می‌شود. فوق روان کننده کربوکسیلات توانسته کیفیت روانی بتن را افزایش دهد و به کاهش منافذ مویینی و حباب‌های هوا در بتن منجر شود.



نمودار۲ – مقایسه میانگین درصد جذب آب نمونه‌ها

۵-۳- بررسی نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه‌ها

مقاومت الکتریک بتن به منظور بررسی میزان خوردگی در بتن انجام می‌شود. در این راستا از دستگاهی به نام رزیستومتر الکتریکی استفاده می‌شود. همان‌طور که در بخش قبل نیز اشاره شد این دستگاه قسمتی از دستگاه کنین است. طبق الگوی پذیرفته شده؛ مقاومت الکتریکی برای یک بتن مناسب و خوب متراکم شده، باید بالاتر از ۱۲ کیلو اهم- سانتیمتر باشد که در این صورت ۹۰ درصد احتمال دارد خوردگی در بتن وجود نداشته باشد. اگر مقاومت الکتریکی بتن بین ۸ تا ۱۲ کیلواهم-سانتیمتر باشد؛ بتن ۹۰٪ در شرف خوردگی قرار دارد و چنانچه مقاومت الکتریکی بتن کمتر از ۸ کیلو اهم- سانتیمتر باشد، ۹۰% احتمال خوردگی است. دستگاه مورد استفاده دارای چهار پراب یا میله بوده که باعث افزایش دقت در اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی می‌شود. بااین‌حال، برای هر نمونه سه قرائت ثبت گردید و متوسط قرائت‌ها در جدول ۱۶ برای بازه زمانی ۷ روزه و ۲۸ روزه ثبت گردیده است. از ضوابط مابین مقاومت الکتریکی (۸ kΩ-cm تا ۱۲) می‌توان به میزان نفوذپذیری و دوام بتن پی برد. جدول ۱۷ و نمودار ۳ نشان می‌دهد که میانگین مقاومت الکتریکی نمونه های ۲۸ روزه به بین ۸ تا ۱۱ کیلو اهم- سانتیمتر رسیده است که نشانگر کاهش تخلخل و نفوذپذیری کمتر طرح‌ها است. این موضوع می تواند نشانگر واکنش مابین فوق روان کننده و اجزای دیگر بتن باشد. باید اشاره کرد که ژل حاصل از واکنش هیدراتاسیون نیز تشکیل‌شده و منافذ موئینه و حفره‌ها را پرکرده و درنتیجه نفوذپذیری را نیز بیشتر کاهش داده است. همچنین به همین نسبت دوام و مقاومت طرح‌ها نیز افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که مقاومت الکتریکی بالاتر نشانگر نفوذپذیری کمتر و درنتیجه دوام بیشتر بتن است، می توان با مشاهده این جدول تفسیر مناسبی بیان کرد. در جدول مشاهده می‌شود که در دوره ۷ روزه؛ مقدار ۷/۴ کیلو اهم برای شاهد، ۸ کیلو اهم برای ۲۵ درصد و ۶/۹ کیلواهم برای ۵۰ درصد و در دوره ۲۸ روزه؛ ۹/۸ کیلواهم برای نمونه شاهد، ۱۰/۲ کیلواهم برای نمونه ۲۵ درصد، ۸/۵ کیلواهم برای نمونه ۵۰ درصد به‌دست‌آمده است. با این بیان دوام بتن ۲۵ درصد در هر دو شرایط ۷ روزه و ۲۸ روزه مقداری بالاتر از نمونه شاهد و نمونه ۵۰ درصد است. این را می توان به روش و نحوه اختلاط بتن که قبلا به آن اشاره گردید، مربوط دانست.

جدول ۱۶ – مقایسه میانگین مقاومت الکتریکی طرح‌های اختلاط بتن

طرح	دوره	میانگین مقاومت الکتریکی kΩ-cm
شاهد	۷ روزه	۷/۴
	۲۸ روزه	۹/۸
A	۷ روزه	۸/۰
	۲۸ روزه	۱۰/۰۲
B	۷ روزه	۶/۹
	۲۸ روزه	۸/۵

نمودار۳ – مقایسه میانگین مقاومت الکتریکی طرح‌های اختلاط بتن

برحسب کیلو اهم – سانتیمتر

در تفاوت میان هر دو طرح در هر ۷ روز و ۲۸ روز افزایش مقاومت الکتریکی را مشاهده می‌توان کرد به طوری برای نمونه شاهد از ۷/۴ کیلو اهم-سانتیمتر به ۹/۸ کیلو اهم-سانتیمتر برای طرح A از ۸ کیلواهم-سانتیمتر به ۱۰/۲ کیلو اهم و برای طرح B از ۶/۹ کیلواهم به ۸/۵ کیلواهم-سانتیمتر رسیده است.

با توجه به توضیحاتی که داده شد اگر مقاومت الکتریکی از ۸ کیلواهم بالاتر باشد، احتمال وقوع خوردگی تا ۹۰٪ وجود ندارد، پس می توان گفت که نمونه ۲۵ درصد بهترین گزینه است. لذا از منظر مقاومت الکتریکی می‌توان، طرح ۷۵ درصد شن طبیعی بعلاوه ۲۵ درصد شن بازیافت شده از نخاله بتنی به‌شرط بکار گیری روش اختلاط مرحله‌ای را به‌عنوان یک طرح کاربردی و اقتصادی معرفی کرد. توجه به نمودار ۳ نشان می‌دهد که در دوره ۷ روزه بالاترین مقاومت الکتریکی مربوط به طرح A است که به میزان ۸ کیلواهم کیلو اهم رسیده است. هرچند مقدار آن از نمونه شاهد بیشتر شده است ولی در دوره ۲۸ روزه مقاومت الکتریکی هر سه نمونه شاهد A و B، بالاتر از ۸ کیلواهم را نشان می‌دهند. برای اینکه جسمی نفوذناپذیر بشود، طراحی سازه‌ها و المان‌های بتنی عمدتاً بایستی بر اساس موضوع دوام بتن باشد. لذا بررسی نفوذپذیری نقش اصلی در موضوع دوام است . اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری بتن کاری طولانی و سخت و روشی مخرب است درحالی‌که می‌توان با روش غیر مخرب و با استفاده از دستگاه مقاومت الکتریکی کار را تسهیل کرد. مهندسین طراح و عوامل اجرایی دیگر با روش غیر مخرب مذکور می توانند سریعاً و با هزینه پایین به نتیجه برسند. توضیح اینکه مقاومت المان بتنی در مقابل عبور الکتریسیته دستگاه الکتریک سنج نشان می دهد که هرچه بتن متراکم‌تر باشد مقاومت المان در مقابل الکتریسیته بالاتر است. چنانچه تراکم بالا باشد نیاز است که جریان الکتریسیته بیشتری عبور کند آزمون مقاومت الکتریکی که بر اساس استاندارد آمریکا هست تستی است که در جا انجام می‌شود و بیانگر میزان مقاومت الکتریکی همان‌جا است و برای جاهای مختلف بتن ممکن است نتیجه متغیر باشد. هرچند که حد نتایج دستگاه بین ۸ تا ۱۲ کیلواهم هست و اگر نتیجه الکتریک سنج مساوی یا بزرگ‌تر از ۱۲ کیلواهم باشد به این معنی است که احتمال ۹۰ درصد وجود دارد که در المان مورد آزمایش خوردگی وجود نداشته باشد

۵-۴- بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها

بتن نمونه‌های طرح‌ها، ساخته‌شده از سیمان تیپ ۲ (پرتلند معمولی) است. با اضافه کردن آب به سیمان واکنش هیدراتاسیون آغاز می شود و همراه با افزایش دمای بتن سخت شدن خمیر سیمان نیز شروع می گردد. در طی فرآیند اختلاط تا انتهای کیورینگ (۲۸ روز) گیرش یا سخت شدن بتن به مرور افزایش می‌یابد. این سخت شدن حاصل هیدراسیون واکنش حاصله بین ترکیبات سیمان است که درنتیجه ژل توبرموریت را می‌سازد. خاصیت چسبندگی این ژل سنگ دانه های ریز و درشت در مخلوط سیمان را به یکدیگر چسبانده و مخلوط را پیوسته می‌کند. طی هیدراسیون چندین نوع هیدرات حاصل می شود که مهم‌ترین آن‌ها هیدروکسید کلسیم است. استفاده از فوق روان کننده کاهنده آب در طرح‌ها، نسبت آب به سیمان (W/C) را کاهش داده و سبب افزایش مقاومت فشاری نمونه شده است. ابعاد سطح با ابزار کولیس و نیروی شکست نمونه‌ها با دستگاه پرس در بازه زمانی ۷ روزه و ۲۸ روزه برای سه طرح شاهد، A و B اندازه‌گیری و به ترتیب در جدول ۱۷ نشان داده شد. که عملیات کیورینگ به‌خوبی انجام‌شده و در طرح‌ها با پیشرفت زمان تشکیل ژل توبرموریت توسعه‌یافته و منجر به‌سختی بیشتر بتن شده است. مقادیر بدست آمده نشان می‌دهد که برای شکستن طرح‌های A و B نیروی بیشتری نسبت به طرح شاهد اعمال‌شده است؛ و این افزایش از ۷ روزه تا ۲۸ روزه نیز ادامه پیداکرده است. این تفاوت می‌تواند به شیوه اختلاط اجزاء بتن در طرح A و B با طرح شاهد باشد. در مقایسه نتایج؛ کمترین و بیشترین مقاومت فشاری در طرح شاهد به ترتیب ۲۵۰ و ۳۰۲ kg/cm^2 و در طرح A به ترتیب ۲۶۶ و ۳۵۸ kg/cm^2 و در طرح B به ترتیب ۲۷۷ و ۳۴۲ kg/cm^2 تعیین‌شده است. همان‌طور که ارقام نمودار۴ نشان می‌دهد میانگین مقاومت فشاری طرح‌های A و B نسبت به طرح شاهد هم در بازه زمانی ۷ روزه و هم در بازه زمانی ۲۸ روزه افزایشی شده است.

جدول ۱۷ – میانگین مقاومت فشاری و درصد تغییرات نسبت به طرح شاهد

درصد افزایش	B	درصد افزایش A	A	شاهد	بازه زمانی روز
۶/۰	۲۸۱	۲/۶	۲۷۲	۲۶۵	۷
۱۶/۳	۳۳۶	۱۹/۰	۳۴۴	۲۸۹	۲۸
–	۱۹/۶	–	۲۶/۵	۹/۱	درصد افزایش

بررسی این جدول نشان می‌دهد که مقاومت فشاری طرح A نسبت به طرح شاهد در هفت روزه افزایش کمی داشته ولی در ۲۸ روزه به ۱۹ درصد رسیده است در صورتی که در طرح B نسبت افزایش مقاومت به طرح شاهد ۶ درصد و در ۲۸ روزه ۱۶/۳ درصد می‌باشد. در این جدول همچنین افزایش مقاومت فشاری بتن شاهد از ۷ روز تا ۲۸ روز نیز دیده می‌شود. در جدول ۷ افزایش مقاومت هر سه طرح از ۷ روز تا ۲۸ روز نیز دیده می‌شود. از افزایش مقاومت فشاری ۲۶/۵ درصدی طرح A، افزایش مقاومت فشاری ۱۹/۶ درصدی طرح B در مقایسه با افزایش مقاومت فشاری ۹/۱ درصدی طرح شاهد می‌توان نتیجه گرفت که روش اختلاط مرحله‌ای در این تفاوت مؤثر بوده است. نتیجه‌گیری تست مقاومت فشاری این است که با روش طرح اختلاط مرحله‌ای می‌توان با جایگزین کردن ۲۵ درصد تا ۵۰ درصد سنگ‌دانه بازیافت شده از بتن بازیافتی، به مقاومت فشاری در ۲۸ روز از ۲۸۱ kg/cm^2 به ۳۴۴ kg/cm^2 دست یافت. نوع شکست نمونه‌های تحت بار فشاری مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. مشاهده گردید که حالت خرابی اغلب نمونه‌ها در فاز خمیری ملات و سنگ‌دانه متغیر است که عمدتاً شکست در فاز خمیری ملات دیده شده است. حالت شکستگی نمونه‌های این تحقیق در واقع مانند بتن معمولی است. توضیح اینکه بهترین شکست حالتی است که بار وارده دستگاه پرس بتواند باعث شکست

سنگ‌دانه‌ها شود و خمیر سیمان مقاومت بیشتری را از خود نشان دهد.

نمودار۴- مقایسه میانگین مقاومت فشاری طرح ها

در حالت معمول با افزایش سنگ‌دانه‌های بازیافتی انتظار می‌رود که مقاومت فشاری کاهش یابد و علت آن را می‌توان در کاهش کیفیت جذب آب و دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های بازیافت شده جستجو کرد. از آنجایی که در مخلوط اجزاء هر سه طرح این تحقیق از فوق روان کننده کاهنده آب استفاده شده و نسبت آب به سیمان پایین و به مقدار ۰/۴۵ تا ۰/۴۶ است، احتمالاً، اولاً به علت استفاده از فوق روان کننده در نمونه‌ها خلل و فرج کمی ایجاد شده و دوماً در طی عملیات کیورینگ به علت شیوه ساخت مرحله‌ای بتن در طرح‌های A و B، ناحیه انتقال سنگ‌دانه بازیافتی بهبود یافته و محصول واکنش هیدراتاسیون یعنی ژل توبرموریت توانسته چسبندگی مناسب را برای افزایش مقاومت فشاری فراهم نماید. اصولاً ساختار منفذی ملات عمدتاً مسئول مقاومت آن است که سپس بر مقاومت فشاری بتن تأثیر می‌گذارد. پس فوق روان کننده استفاده شده در مخلوط و شیوه تهیه بتن در بهبود این ساختار مؤثر بوده است.

۶-نتیجه‌گیری

وزن مخصوص هر سه طرح فاقد شن بازیافتی و حاوی ۲۵ و ۵۰ درصد شن بازیافتی این تحقیق در محدوده وزن مخصوص بتن معمولی بودند.. بر اساس استاندارد ACI وزن مخصوص بتن‌های معمولی در حدفاصل $2200\ kg/m^3$ و $2400\ kg/m^3$ هست. لذا می‌توان درنتیجه گیری بیان کرد که یکنواختی مخلوط مصالح بتن و میزان مصالح طرح اختلاط در هر سه نمونه به‌درستی تنظیم‌شده است.

نتایج تست جذب آب نشانگر آن بود که تقریباً درصد جذب آب نمونه های این تحقیق مساوی بوده است و در نمونه‌های دارای ۲۵ درصد و ۵۰ درصد شن بازیافتی نسبت به طرح شاهد تغییری مشاهده نشده است.

از منظر مقاومت الکتریکی مشاهده شد که دوام بتن حاوی ۲۵ درصد شن بازیافتی در هر دو شرایط ۷ روزه و ۲۸ روزه مقداری بالاتر از نمونه شاهد و نمونه حاوی ۵۰ درصد شن بازیافتی بود. لذا می‌توان، طرح ۷۵ درصد شن طبیعی بعلاوه ۲۵ درصد شن بازیافت شده از نخاله بتنی به شرط بکار گیری روش اختلاط مرحله‌ای را به‌عنوان یک طرح کاربردی و اقتصادی معرفی کرد. طراحی سازه‌ها و المان های بتنی عمدتاً بایستی بر اساس موضوع دوام بتن باشد. لذا بررسی نفوذپذیری نقش اصلی در موضوع دوام است . اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری بتن کاری طولانی و سخت و روشی مخرب است درحالی‌که می‌توان با روش غیر مخرب و با استفاده از دستگاه مقاومت الکتریکی کار را تسهیل کرد. مهندسین طراح و عوامل اجرایی دیگر با روش غیر مخرب مذکور می‌توانند سریعاً و با هزینه پایین به نتیجه برسند.

نتایج تست مقاومت فشاری این تحقیق نشان داد که با روش طرح اختلاط چند مرحله‌ای می‌توان با جایگزین کردن ۲۵ درصد تا ۵۰ درصد شن بازیافت شده از بتن بازیافتی، به مقاومت فشاری از ۲۸۱ kg/cm^2 تا ۳۴۴ kg/cm^2 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع دست‌یافت. نوع شکست نمونه های تحت بار فشاری که موردبررسی و آنالیز قرار گرفته بود نشان داد که حالت خرابی اغلب نمونه‌ها در فاز خمیری ملات و سنگ‌دانه متغیر بود، که عمدتاً شکست در فاز خمیری ملات دیده‌شده بود. حالت شکستگی نمونه‌های این تحقیق درواقع مانند بتن معمولی بود. توضیح اینکه بهترین شکست حالتی است که بار وارده دستگاه پرس بتواند باعث شکست سنگ‌دانه‌ها شود و خمیر سیمان مقاومت بیشتری را از خود نشان دهد.

۷- منابع

[۱] قربانی، ه؛ رحیمی، و؛ نصرتی، س. بتن و محیطزیست. سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیطزیست، تهران، مهر ۱۳۸۸.

[۲] زارعی، س؛ ظهرابی، م. بررسی بتن بازیافتی در جهان. کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی، دبی-امارات،۱۳۹۴.

[3]Ohemeng AE, Stephen O. Comparative analysis on cost and benefits of producing natural concrete aggregate; 2020; A South African case study, Case Studies in Construction Materials

[۴] نوری، م. بازیافت بتن و بازچرخانی سنگ‌دانه‌ها. اولین همایش بین‌المللی ایده‌های نوین در معماری شهرسازی جغرافیا و محیطزیست پایدار، مشهد،۱۳۹۵.

[۵] ملکی، ف؛ پیکانپورفرد، پ. اثرات زیست‌محیطی صنعت بتن و نقش بازیافت آن در محیطزیست. کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی، ۱۳۹۴. https://civilica/com/doc/424722

[۶] کچوئی، ا؛ معتمدی، م. بتن بازیافتی، ویژگی‌ها و توسعه پایدار. کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، ۱۳۹۴. https://civilica/com/doc/446652

[7]Nagataki S, Gokce A, Saeki T, Hisada M. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates; 2004; Cement and Concrete Research

[8]Katz A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete; 2003; Cement Concrete Research Magazine

[9]Rao A. Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregates in Mortar and Concrete; 2005; Thesis submitted to the Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur

[10]Makul N. Cost-benefit analysis of the production of ready-mixed high-performance concrete made with recycled concrete aggregate: A case study in Thailand; 2020; Department of Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Changwattana Road, Bangkhen, Bangkok 10220, Thailand, Heliyon journal homepage: www/cell/com/heliyon/

[11] سرتیپی پور، ف. امکان‌سنجی بازیافت مصالح در بازسازی پس از سانحه (موردپژوهش بازیافت بتن). مسکن و محیط روستا، ۱۳۹۴، ۳۴(۱۵۲): ۴۲-۳۱.

[۱۲] ضیاءشمس، ع؛ روشنکار، ش؛ فقیه محمدی، ع؛ ضیاءشمس، ا. استفاده از سنگ‌دانه‌های حاصل از بازیافت بتن به‌جای سنگ‌دانه های طبیعی و مقایسه مقاومت فشاری بتن بازیافتی با بتن معمولی. اولین کنفرانس مهندسی عمران، رهاوردهای جدید، توسعه اقتصادی، فرهنگی و مدیریت جهادی، بندرانزلی،۱۳۹۴. https://civilica/com/doc/462466

[۱۳] اشرفی، ح.ر؛ حسن‌زاده، س.ع ؛ حسن‌زاده، ف. استفاده از نخاله های بتنی به‌عنوان سنگ‌دانه برای تولید بتن بازیافتی با مقاومت های مختلف. اولین کنگره سرا سری فناوری‌های نوین ایران باهدف دستیابی به توسعه پایدار، تهران، ۱۳۹۳، https://civilica/com/doc/345456

[14]Akono AT, Chen J, Zhan M, Shah SP. Basic creep and fracture response of fine recycled aggregate concrete; 2020; Construction and Building Materials/ 266,121107

[۱۵] فرخ زاد، ر؛ مهرپویا، م. استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیس جهت ارتقاء خواص مکانیکی و دوامی بتن خود تراکم حاوی سنگ‌دانه‌های حاصل از بازیافت بتن. ۱۳۹۵، https://civilica/com/doc/856962

[۱۶] خانشی، م. بازیافت بتن و تأثیر آن بر روی توسعه پایدار. کنفرانس ملی مدیریت، گردشگری و توسعه پایدار، تبریز، ۱۳۹۸، https://civilica/com/doc/1023223

[17]Saez PV, Merino MDR, Porras-Amores C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain; 2011; Waste Manag/ Res/ 30 (2) 137–146,doi:http://dx/doi/org/10.1177/0734242X11423955.

[18]Tam L, Tam KN.Cross-cultural comparison of concrete recycling decision-making and implementation in construction industry; 2010; Waste Manag/ 30 (2) 291–297, doi:http://dx/doi/org/10/1016/j/wasman/2009/09/044/

[19]Ghanbari M, Abbasi M, Ravanshadnia R. Economic and environmental evaluation and optimal ratio of natural and recycled aggregate production; 2017; Adv/ Mater/ Sci/ Eng/ doi:http://dx/doi/org/10/1155/2017/7458285/

[20]Environmental Protection Agency; 2017; Construction and Demolition: Material-Specific Data, USA, (www/epa/gov&construction-and-demolition-material/

[21]Muzenda E. A discussion on waste generation and management trends in South Africa; 2014; Int/ J/ Chem/ Environ/ Biol/ Sci/ 2 (105–112/ http://hdl/ handle/net/10210/11871/

[22]Saghafi MD, Teshnizi ZSH. Recycling value of building materials in building assessment systems; 2011; J/ Energy Build/ 43 (11) 3181–3188, doi:http://dx/doi/org/10/1016/j/enbuild/2011/08/016/

2Tam VWY. Economic comparison of concrete recycling: a case study approach; 2008; J/ Resour/ Conserv/ Recycl/ 52 821–828, doi:http://dx/doi/org/ 10/1016/j/

[25]Hameed M. Impact of transportation on cost, energy, and particulate emissions for recycled concrete aggregate; 2013; Master's Thesis, Department of Building Construction, University of Florida.

[۲۵] سالخورده، س؛ نوری قیداری، م، ح. بررسی تأثیر افزودن درصدهای مختلف سنگ‌دانه‌های بازیافتی بتن به‌عنوان سنگ‌دانه بر روی اسلامپ بتن خود تراکم بازیافتی. دومین کنفرانس ملی بتن ایران، 1389.

[26]Zongjin Li. Advanced concrete technology; 2011; john Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.