

بررسی مشخصات مکانیکی و دوام بتن با تایر بازیافتی به همراه زئولیت

یگانه عربلو

مهندسی سازه.

نام نویسنده مسئول:

یگانه عربلو

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۱

چکیده

در سال های اخیر توجه به مسایل زیست محیطی و رویکرد به تکنولوژی بازیافت زباله ها، مواد زاید و استفاده مجدد از آن ها در کشورهای توسعه یافته و صنعتی، سرمایه گذاری هنگفتی را به خود اختصاص داده است. یکی از روش های مصرف مواد ضایعاتی، به کارگیری آن ها در بتن است. با استفاده از مواد ضایعاتی در بتن علاوه بر کاهش آلودگی زیست محیطی، بعضاً حتی می توان به خواص و نتایج مثبت در بتن نیز دست یافت. تایر فرسوده ماشین ها، به عنوان یک نوع زباله جامد، مشکلات زیادی را از لحاظ زیست محیطی ایجاد می کند. بنابراین استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت در جهت کاهش آلودگی زیست محیطی تبدیل شده است. در این تحقیق برای رفع، کاهش معایب و استفاده بهینه از مزایای این مواد در بتن، به بررسی آزمایشگاهی مشخصات مکانیکی و دوام بتن با ۱۴ طرح اختلاط با جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد حجمی پودر درشت دانه و ریزدانه تایر بازیافتی هر کدام جداگانه به جای شن و ماسه و ۱۰ درصد وزنی زئولیت به جای سیمان و در نهایت تاثیر توام زئولیت و پودر درشت و ریز دانه تایر ضایعاتی در بتن مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعه اثر این جایگزینی بر مشخصات مکانیکی شامل (مقاومت فشاری و کششی) و مشخصات دوام بتن شامل (نفوذ یون کلر و مقاومت ویژه الکتریکی) در دستور کار این پژوهش قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می دهد در بین نمونه های بازیافتی نمونه با ۵ درصد جایگزینی تایر درشت دانه بازیافتی همراه با زئولیت، بیشترین درصد افزایش مقاومت فشاری و کششی، بتن با ۱۰ درصد تایر بازیافتی ترکیب ریزدانه و درشت دانه همراه با زئولیت بیشترین افزایش مقاومت الکتریکی و مخلوط بتنی در هر سه فاز ریز دانه، درشت دانه و ترکیب ریزدانه و درشت دانه بازیافتی همراه با پوزولان زئولیت، بیشترین کاهش نرخ نفوذ یون کلر را نسبت به بتن معمولی ثبت کرده است.

واژگان کلیدی: مشخصات مکانیکی، دوام، تایر بازیافتی، زئولیت

مقدمه

بتن پرمصرف ترین ماده پس از آب، در جهان است. این ماده، معمولاً از مخلوط سیمان پرتلند، ماسه، سنگ و آب ساخته می شود. در سال ۲۰۱۱، تولید سیمان جهان در حدود ۳.۴ میلیارد تن تخمین زده شد. [۱]. در سال ۱۹۹۲ میلادی تنها ۵۰۰ میلیون تن بتن تولید شده است که این خود پنج برابر مصرف فولاد، به صورت وزنی، در مدت مشابه بوده است [۲]. گسترش صنعت خودروسازی سبب شده است تا وجود تایر های مستعمل به عنوان یکی از آلوده کننده های زیست محیطی در دهه های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار بگیرد. رشد جهانی صنعت اتومبیل و افزایش استفاده از اتومبیل به عنوان وسیله اصلی حمل و نقل باعث رشد چشمگیر تولید تایر شده است و به تبع آن شاهد انباشته های بزرگی از تایر های مستعمل هستیم که امکان دفع تایر های مستعمل به عنوان یک نوع زباله جامد در محیط زیست وجود ندارد زیرا تایر با سرعت بسیار کمی تجزیه می شود و آلودگی های بسیار زیادی تولید می کند، همچنین هر ساله در ایران بیش از ۱۰ میلیون تایر فرسوده (حدود ۱۵۰ هزار تن) از دایره مصرف خارج می شود. تایر های فرسوده وسایل نقلیه از جمله مواد تجزیه ناپذیری هستند که بازیافت آنها کمک شایانی به محیط زیست می نمایند. همچنین در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، دور ریختن تایر های ضایعاتی ممنوع شده است. استفاده از تایر های ضایعاتی در بتن علاوه بر کاهش مضرات زیست محیطی، باعث صرفه جویی در مصرف مواد اولیه بتن نیز می گردد. کاربرد پوزولان های طبیعی مانند زئولیت که در ایران منابع فراوان دارد، کمتر مورد توجه متخصصین تکنولوژی بتن قرار گرفته است. پودر زئولیت به عنوان یک ماده معدنی، توسط محققین به عنوان جایگزینی مناسب برای سیمان در بتن معمولی مورد توجه قرار گرفته است. در کشور چین سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون تن سیمان تولید می شود و بیش از ۲۰ درصد وزن این سیمان تولیدی با زئولیت مخلوط می شود. در حال حاضر بیشترین مصرف زئولیت در کشور چین در صنعت تولید سیمان آمیخته می باشد. همچنین با توجه به گزارش موسسه تحقیقاتی ROSKI بزرگترین بازار آینده زئولیت در استفاده از آن به عنوان پوزولان به جای قسمتی یا تمام سیمان پرتلند خواهد بود که از خواص مطلوب آن در بهبود خواص مکانیکی بتن گزارش می کند [۳].

بررسی مشخصات مکانیکی مطالعات گذشته

Topcu و همکاران در سال (۱۹۹۵) [۴] مقاله ای تحت عنوان "خواص بتن حاوی تایر" ارائه نمودند. در این مطالعه، تغییرات خواص

برای بتن های حاوی تایر، از لحاظ اندازه و مقدار تایری مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش های فیزیکی و مکانیکی در پایان دوره های ۷، ۲۸ و ۱۸۰ روز انجام شد و نمودارهای الگوریتم مورد بررسی قرار گرفتند. تقریباً ۵۰ درصد کاهش در مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای و مکعب شکل، ۶۴ درصد کاهش مقاومت کششی در بتن های حاوی تایر مشاهده شد. بهفرنیا و همکاران در سال (۱۳۸۸) [۵] مقاله ای تحت عنوان "بررسی خصوصیات مکانیکی بتن حاوی پودر لاستیک تایر ضایعاتی" ارائه نمودند. به منظور بررسی خصوصیات مکانیکی بتن حاوی پودر لاستیک تایر ضایعاتی، لاستیک تایر کامیون جایگزین ۱۲ و ۱۸ درصد سیمان در طرح اختلاط بتن گردید و در مجموع ۲۷ نمونه ساخته شدند. طرح اختلاط بتن بر اساس BS انجام شد. نسبت آب به سیمان در طرح ها برابر ۰/۵۴ در نظر گرفته شد. نتایج نشان می دهد افزودن پودر لاستیک تایر ضایعاتی به بتن باعث کاهش تا حدود ۵۸ درصد مقاومت فشاری نمونه های حاوی پودر لاستیک نسبت به نمونه های شاهد می گردد.

نجیمی و همکاران (۲۰۱۲) [۶] گزارش کردند که مقاومت فشاری بتن شامل ۱۵ و ۳۰ درصد زئولیت در همه سنین از نمونه شاهد کمتر است. اگرچه درصد کاهش در سن ۳۶۵ روزه کمتر است؛ که می تواند به علت فعالیت پوزولانی باشد. Dvaic'iukyniene و همکاران در سال (۲۰۱۲) [۷] در مقاله ای با عنوان سیمان اصلاح شده با مواد پوزولانی مشاهده کردند که ۵ درصد زئولیت تاثیر مثبت بر روی مقاومت فشاری ملات سیمان سخت شده به علت فعالیت های پوزولانی زئولیت و توسعه فاز هیدرو آلومینات در سخت شدگی فرآیند سیمان دارد.

بررسی دوام مطالعات گذشته

سمنا و همکاران (۲۰۱۲) [۸] عمق نفوذ یون کلراید بتن غوطه ور در محلول کلراید سدیم ۳٪ را بررسی نمودند. این نتایج نشان می دهد که بتن بازیافتی بدون پوزولان مقاومت کمتری در برابر نفوذ یون کلراید نسبت به بتن با سنگدانه طبیعی دارد، زیرا که حجم خلل و فرج در بتن های بازیافتی بیشتر از بتن با سنگدانه طبیعی بوده است. علاوه بر این، یون های کلراید نیز می توانند از طریق ناحیه انتقال بین ملات چسبیده و سنگدانه خرد شده قدیمی نفوذ کنند.

اونا گولوچی [۹] در سال (۲۰۱۴) مقاله ای با عنوان بررسی بتن حاوی خرده تایلر ضایعاتی و دوده سیلیس ارائه نمودند. در این تحقیق خرده تایلر با درصد های وزنی ۵، ۱۰ و ۱۵ جایگزین ریز دانه در طرح اختلاط بتن شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، تایلر، باعث افزایش مقاومت الکتریکی بتن می گردد.

اسکندری و همکاران در سال (۲۰۱۵) [۱۰] افزایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر و افزایش مقاومت الکتریکی را در بتن دارای ۱۰ درصد زئولیت در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مشاهده کردند.

توماس (۲۰۱۶) [۱۱] خصوصیات مکانیکی بتن حاوی الیاف تایلر بازیافتی را مورد بررسی قرار داد. در این مقاله ذرات تایلر با نسبت های آب به سیمان مختلف (۰/۴ و ۰/۴۵) در بتن به کار رفت همچنین تایلر تا ۲۰ درصد در بتن جایگزین ماسه شده است. نتایجی که از این مقاله بدست آمده نشان می دهد که استفاده از تایلر بازیافتی تا ۷.۵ درصد در بتن باعث کاهش نفوذ یون کلر می شود.

برنامه آزمایش ها

- برای این تحقیق آزمایشگاهی ۱۴ طرح اختلاط با عناوین زیر ساخته شده است.
۱. نمونه شاهد با سنگدانه های طبیعی و فاقد زئولیت (CC)
 ۲. نمونه شاهد با سنگدانه های طبیعی همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (CZ)
 ۳. نمونه با ۵ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه فاقد زئولیت (L5)
 ۴. نمونه با ۵ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (L5Z)
 ۵. نمونه با ۱۰ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه فاقد زئولیت (L10)
 ۶. نمونه با ۱۰ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (L10Z)
 ۷. نمونه با ۵ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی درشت دانه فاقد زئولیت (LC5)
 ۸. نمونه با ۵ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی درشت دانه همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (LC5Z)
 ۹. نمونه با ۱۰ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی درشت دانه فاقد زئولیت (LC10)
 ۱۰. نمونه با ۱۰ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی درشت دانه همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (LC10Z)
 ۱۱. نمونه با ۵ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه و درشت دانه فاقد زئولیت (TL5)
 ۱۲. نمونه با ۵ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه و درشت دانه همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (TL5Z)
 ۱۳. نمونه با ۱۰ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه و درشت دانه فاقد زئولیت (TL10)
 ۱۴. نمونه با ۱۰ درصد حجمی جایگزینی تایلر بازیافتی ریز دانه و درشت دانه همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت (TL10Z)

مصارف مصرفی

شن مورد استفاده در این آزمایش با حداکثر بعد ۱۹ میلیمتر و چگالی ۲۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب از نوع شکسته کوهی (شهر قم) است. همچنین ماسه مصرفی از رودخانه شهر قم و چگالی ۲۴۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب است. دانه بندی سنگدانه استفاده شده براساس استاندارد ASTM C29-11 [۱۲] است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ آمده است. ذرات تایلر مصرفی در این تحقیق حاصل از خرد شدن ضایعات تایلر های تایلر اتومبیل می باشد که از کارخانه آرمان پلاستیک در شهرک صنعتی شمس آباد تهیه شده و قبل از استفاده با هیدروکسید سدیم و آب کاملاً شسته و تمیز شده و پس از خشک شدن در

کیسه های بزرگ در کارگاه ساخت بتن بدور از گرد و غبار نگه داری شده است. چگالی پودر تایر به روش بالن، ۱/۱۵۳ گرم بر میلی لیتر بدست آمده و اندازه ذرات ۱ تا ۷ میلی متر می باشد. ابر روان کننده استفاده شده در تحقیق حاضر از نوع پلی کربوکسیلات می باشد که براساس کارآیی مد نظر بتن مورد استفاده قرار گرفته است. آب مورد استفاده در این آزمایش ها نیز آب لوله کشی شهر قم بوده است.

سیمان مورد استفاده در این تحقیق سیمان پرتلند معمولی تیپ ۲ براساس استاندارد [ASTM C150-11] می باشد. همچنین زئولیت مورد استفاده از کارخانه بینالود بوده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سنگدانه ها

نوع سنگدانه	درصد جذب آب	چگالی اشباع با سطح خشک (kg/m^3)	حداکثر قطر سنگدانه (mm)
ماسه	۲/۱۹	۲۴۶۷	۴/۷۵
شن	۰/۷۰	۲۷۰۰	۱۹

جدول ۲: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان و زئولیت

ترکیبات شیمیایی (%) و فیزیکی	سیمان	زئولیت
SiO_2	۲۰/۷	۶۶.۹
Al_2O_3	۴/۷	۱۱.۶
Fe_2O_3	۴/۱	۱.۰۲
CaO	۶۳/۸	۱.۲
SO_3	۲/۳	-
MgO	۱/۳	۱.۲۶
Na_2O_3	۰/۴	۲.۳۶
K_2O	۰/۶	۲.۶
LOi	۲/۲	۱۲.۶
وزن مخصوص (kg/m^3)	۳۱۰۰	۲۲۰۰
بلین (cm^2/g)	۳۰۸۰	۱۸۰۰

طرح اختلاط

نسبت اختلاط های بتن مورد آزمایش در این تحقیق مطابق آئین نامه ACI 211.1-91 [۱۴] بوده است. جدول ۳، جزئیات طرح های اختلاط و مشخصات بتن تازه را نشان می دهد. با توجه به اینکه افزودن زئولیت موجب کاهش کارآیی بتن می شود برای جبران این مشکل و نزدیک شدن اسلامپ بتن های حاوی زئولیت به اسلامپ بتن های دیگر، از ابر روان کننده استفاده شده است.

جدول ۳: نسبت اختلاط (Kg/m^3)

شماره طرح	نام طرح	سیمان	نسبت آب به مواد سیمانی	ابر روان کننده (%)	شن	ماسه	تایر بازیافتی درشت دانه	تایر بازیافتی ریزدانه	زئولیت	اسلامپ (mm)	وزن مخصوص بتن تازه
۱	CC	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۶۹۰	۱۰۳۶	۰	۰	۰	۹۱	۲۳۵۶
۲	CZ	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۸	۶۸۷	۱۰۲۷	۰	۰	۴۳	۱۴۰	۲۳۴۱
۳	L5	۴۲۵	۰/۴۵	۰/۱۲۵	۷۰۲	۱۰۳۵	۰	۲۲	۰	۱۱۰	۲۴۲۰
۴	L5Z	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۵۵	۶۸۱	۹۹۹	۰	۲۲	۴۳	۱۰۰	۲۴۰۸
۵	L10	۴۲۵	۰/۴۵	۰/۲	۶۷۰	۹۸۱	۰	۴۳	۰	۱۳۵	۲۴۰۶
۶	L10Z	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۵	۶۶۵	۹۷۲	۰	۴۳	۴۳	۱۵۵	۲۳۹۸
۷	LC5	۴۲۵	۰/۴۵	۰/۲۵	۶۷۲	۱۰۴۴	۱۵	۰	۰	۱۱۵	۲۳۳۶
۸	LC5Z	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۵	۶۸۳	۱۰۶۵	۱۵	۰	۴۳	۱۰۰	۳۳۷۲
۹	LC10	۴۲۵	۰/۴۵	۰/۲۵	۶۴۹	۱۰۳۲	۳۰	۰	۰	۱۲۵	۲۳۱۶
۱۰	LC10Z	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۵	۶۴۰	۱۰۱۴	۳۰	۰	۴۳	۱۲۰	۲۳۰۱
۱۱	TL5	۴۲۵	۰/۴۵	۰/۲۵	۶۵۸	۹۸۳	۱۵	۲۲	۰	۱۳۵	۲۳۰۸
۱۲	TL5Z	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۵	۶۵۰	۹۶۹	۱۵	۲۱	۴۳	۱۱۵	۲۲۹۳
۱۳	TL10	۴۲۵	۰/۴۵	۰/۲۵	۶۲۶	۹۳۶	۲۹	۴۲	۰	۱۳۵	۲۲۶۲
۱۴	TL10Z	۳۸۲	۰/۴۵	۰/۵	۶۱۸	۹۲۲	۲۹	۴۲	۴۳	۱۱۵	۲۲۴۸

مشخصات مکانیکی

در این بخش نتایج آزمایش های مقاومت فشاری و کششی بتن (۷، ۲۸ و ۵۶ روز) بر روی نمونه های استوانه ای به ابعاد 10×20 سانتی متر مورد بررسی قرار می گیرد.

آزمایش مقاومت فشاری

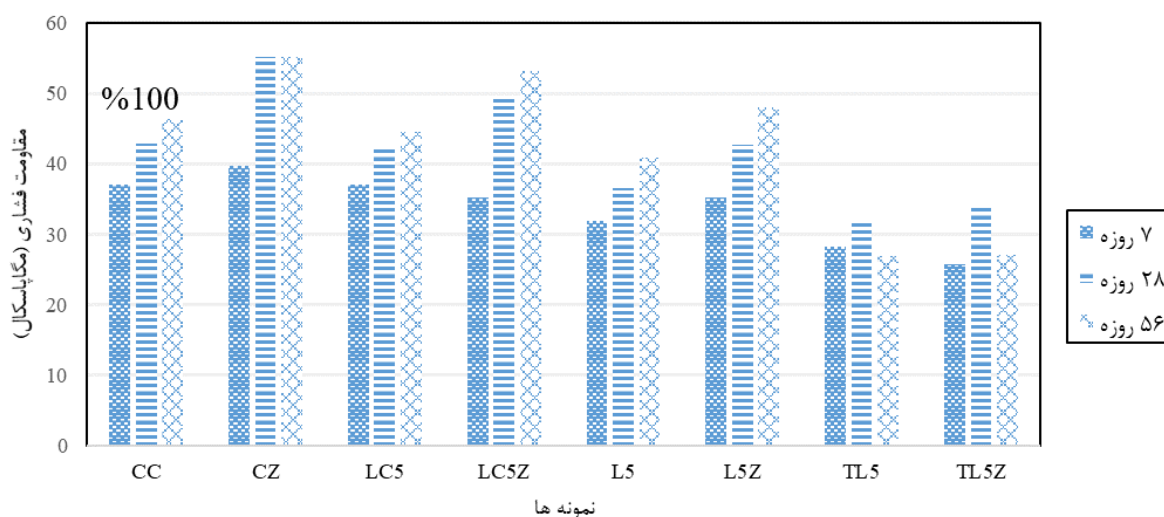
در این تحقیق آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روز بر اساس ASTM C39-11 [۱۵] انجام شده و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

شکل ۱، مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۵ درصد تایر بازیافتی را با نمونه های شاهد (بتن معمولی و بتن با ۱۰ درصد زئولیت) مقایسه می کند. همانطور که از شکل مشخص است، در سنین بالا (۲۸ و ۵۶ روز) مقاومت فشاری بتن حاوی ۱۰ درصد زئولیت (CZ) حدود ۲۸ درصد بیشتر از بتن معمولی (CC) می باشد. در مورد بتن های حاوی ۵ درصد درشت دانه بازیافتی در سن ۲۸ روز (LC5) مقاومت فشاری تقریباً مشابهی با بتن معمولی دارد. اما با افزودن زئولیت به آن (نمونه LC5Z) افزایش ۱۴ درصدی نسبت به بتن معمولی مشاهده شده است.

با بررسی نمونه های حاوی ۵ درصد ریزدانه بازیافتی، نمونه L5 افزایش ۱۷ درصدی مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی را به همراه داشته است. با افزودن زئولیت به این نمونه (L5Z)، مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی تقریباً مشابه می باشد. در مورد نمونه های با ۵ درصد ترکیب ریزدانه و درشت دانه بازیافتی، نمونه TL5 کاهش ۳۴ درصدی مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی داشته است. با افزودن پوزولان زئولیت به این نمونه (TL5Z) مقاومت فشاری آن تقریباً حدود ۲۷ درصد نسبت به بتن معمولی کاهش داشته است.

جدول ۴: نتایج آزمایش مقاومت فشاری

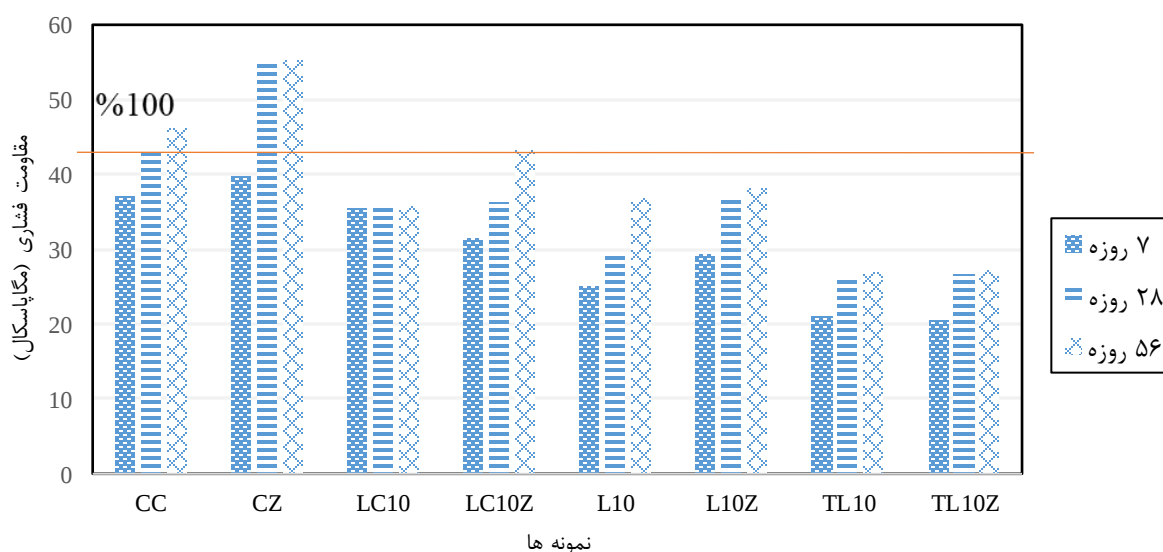
طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
	روزه ۷	روزه ۲۸	روزه ۵۶
CC	۳۷.۱	۴۲.۹	۴۶.۳
CZ	۳۹.۸	۵۵.۱	۵۵.۲
L5	۳۱.۹	۳۶.۶	۴۰.۸
L5Z	۳۵.۳	۴۲.۶	۴۸.۱
L10	۲۵.۰	۲۹.۴	۳۶.۸
L10Z	۲۹.۳	۳۶.۸	۳۸.۱
LC5	۳۷.۰	۴۲.۰	۴۴.۵
LC5Z	۳۵.۲	۴۹.۲	۵۳.۱
LC10	۳۵.۴	۳۵.۴	۳۵.۷
LC10Z	۳۱.۴	۳۶.۳	۴۳.۳
TL5	۲۸.۳	۳۱.۸	۳۳.۴
TL5Z	۲۵.۸	۳۳.۸	۳۵.۸
TL10	۲۱.۱	۲۶.۳	۲۶.۹
TL10Z	۲۰.۶	۲۶.۶	۲۷.۱



شکل ۱: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۵ درصد تیر باز یافتی با نمونه های کنترل

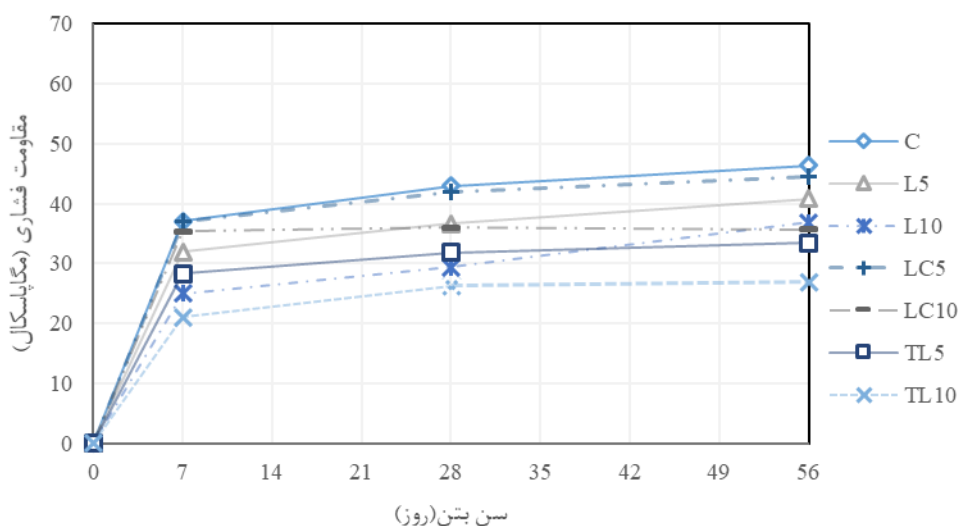
نتایج مربوط به مخلوط های حاوی ۱۰ درصد تیر باز یافتی در شکل ۲ نمایش داده شده است. برای نمونه با ۱۰ درصد درشت دانه باز یافتی (LC10) در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی ۱۷ درصد کاهش داشته است. با جایگزینی ۱۰ درصد ژئولیت با سیمان (نمونه LC10Z) حدود ۱۵ درصد کاهش مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی مشاهده شده است. برای نمونه با ۱۰ درصد ریزدانه باز یافتی (L10) کاهش ۳۱ درصدی مقاومت فشاری به همراه داشته است. با اضافه کردن ژئولیت به این نمونه (L10Z) حدود ۱۴ درصد کاهش مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی مشاهده شده است؛ برای نمونه های با ۱۰ درصد ریزدانه

و درشت دانه بازیافتی (TL10) در سن ۲۸ روز، کاهش ۳۸ درصدی مشاهده شده است. نمونه (TL10Z) نیز نسبت به بتن معمولی ۳۸ درصد کاهش داشته است.

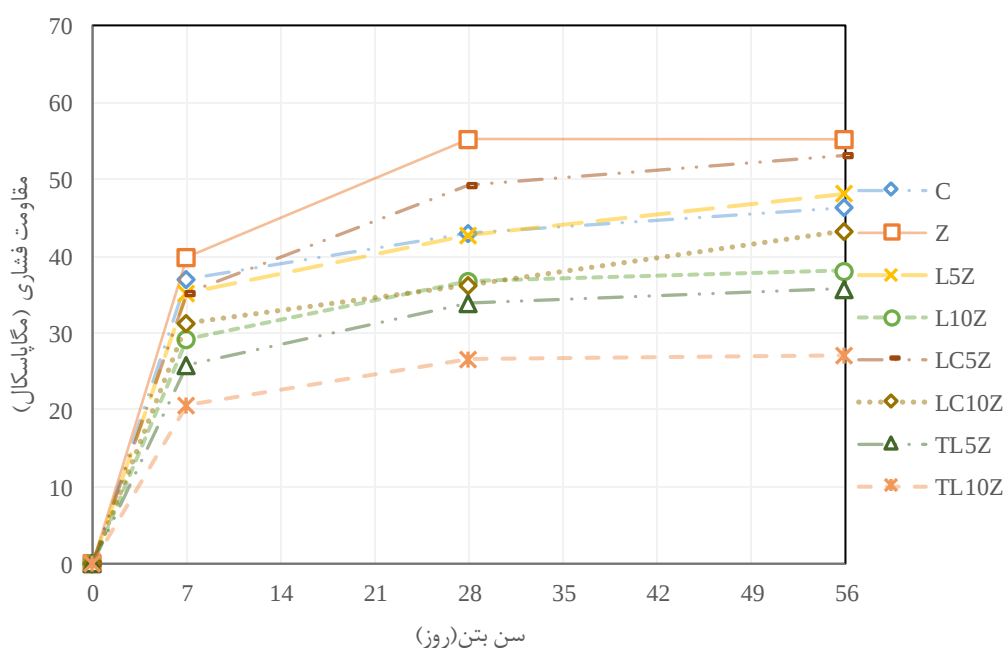


شکل ۲: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰ درصد تیر بازیافتی با نمونه های کنترل

شکل های ۳ و ۴ به ترتیب نمودار رشد مقاومت فشاری نمونه های بازیافتی و بتن های حاوی زئولیت مورد آزمایش را نشان می دهد. همانطور که از شکل ها مشخص است در نمونه های حاوی تیر بازیافتی با افزایش درصد جایگزینی تیر ها، کاهش مقاومت فشاری را به همراه داشته است. وجود تیر های بازیافتی با مقاومت کمتر نسبت به سنگدانه های طبیعی، عامل اصلی این کاهش مقاومت می باشد. در نمونه های حاوی زئولیت با افزایش سن مقاومت فشاری افزایش قابل توجهی داشته است؛ به طوری که نمونه های بازیافتی با افزودن زئولیت، ضعف بتن های بازیافتی به علت وجود تیر های بازیافتی را جبران کرده است. واکنش پوزولانی سیمان و زئولیت باعث افزایش مقاومت بتن شده است.



شکل ۳: مقاومت فشاری نمونه های بازیافتی مورد آزمایش



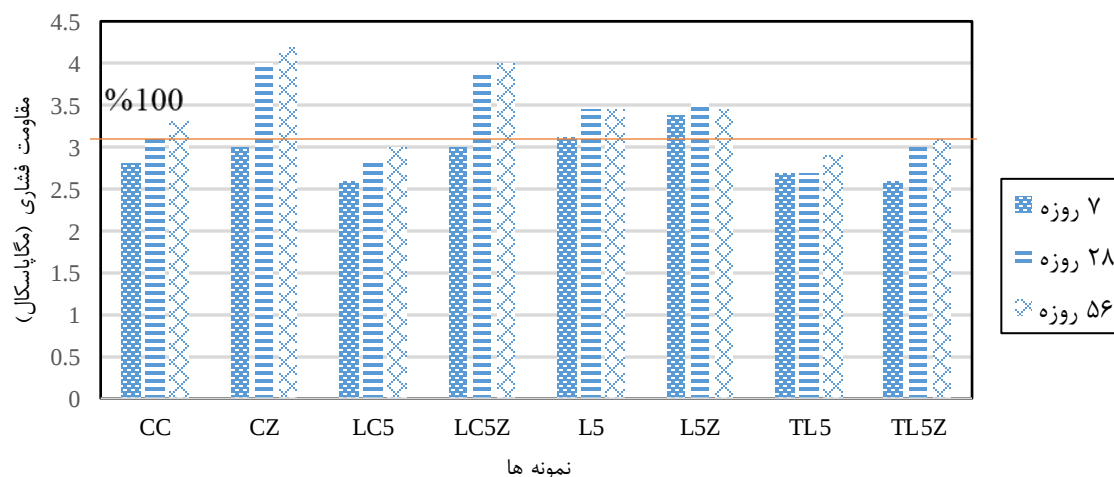
شکل ۴: مقاومت فشاری نمونه های حاوی زئولیت

جدول ۶: نتایج آزمایش مقاومت کششی

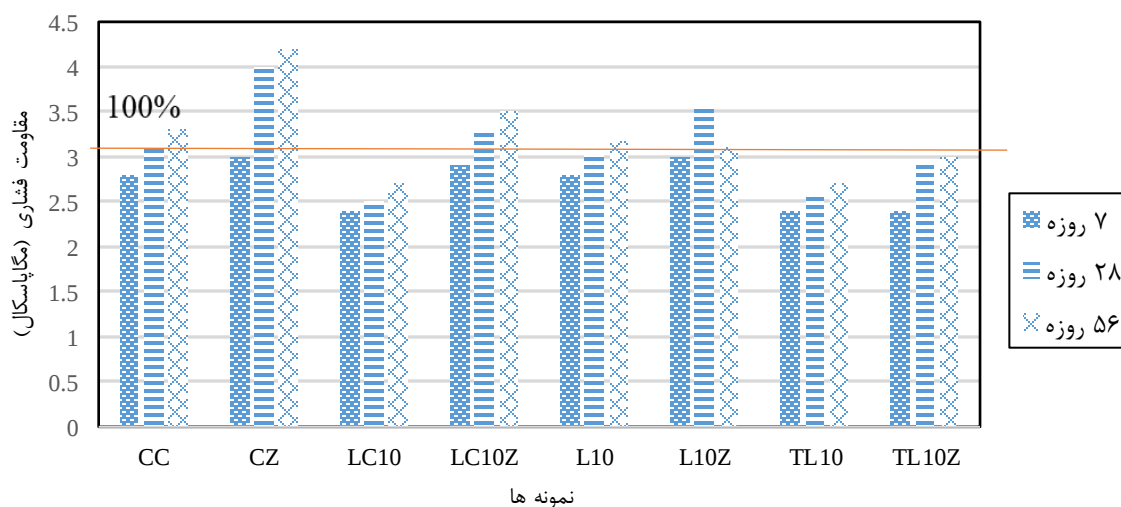
مقاومت کششی (مگاپاسکال)			طرح
روزه ۵۶	روزه ۲۸	روزه ۷	
۳.۳	۳.۱	۲.۸	CC
۴.۲	۴.۰	۳.۰	CZ
۳.۴	۳.۴	۳.۱	L5
۳.۴	۳.۵	۳.۳	L5Z
۳.۱	۳.۰	۲.۸	L10
۳.۱	۳.۵	۳.۰	L10Z
۳.۰	۲.۸	۲.۶	LC5
۴.۰	۳.۹	۳.۰	LC5Z
۲.۷	۲.۵	۲.۴	LC10
۳.۵	۳.۳	۲.۹	LC10Z
۲.۹	۲.۷	۲.۷	TL5
۳.۱	۳.۰	۲.۶	TL5Z
۲.۷	۲.۶	۲.۴	TL10
۳.۰	۲.۹	۲.۴	TL10Z

آزمایش مقاومت کششی

برای ارزیابی مقاومت کششی بتن به طور کلی از سه روش ۱- آزمایش کشش مستقیم ۲- آزمایش کشش دو نیم شدن ۳- آزمایش کشش حاصل از خمش استفاده می شود. نتایج این تحقیق از آزمون کشش دو نیم شدن براساس استاندارد ASTM C496-11 [16] بر روی نمونه های بتن مختلف در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روز به دست آمده است. در جدول ۶ نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه ها ارائه شده است.



شکل ۵: مقایسه مقاومت کششی نمونه های حاوی ۵ درصد تایر بازیافتی با نمونه های کنترل



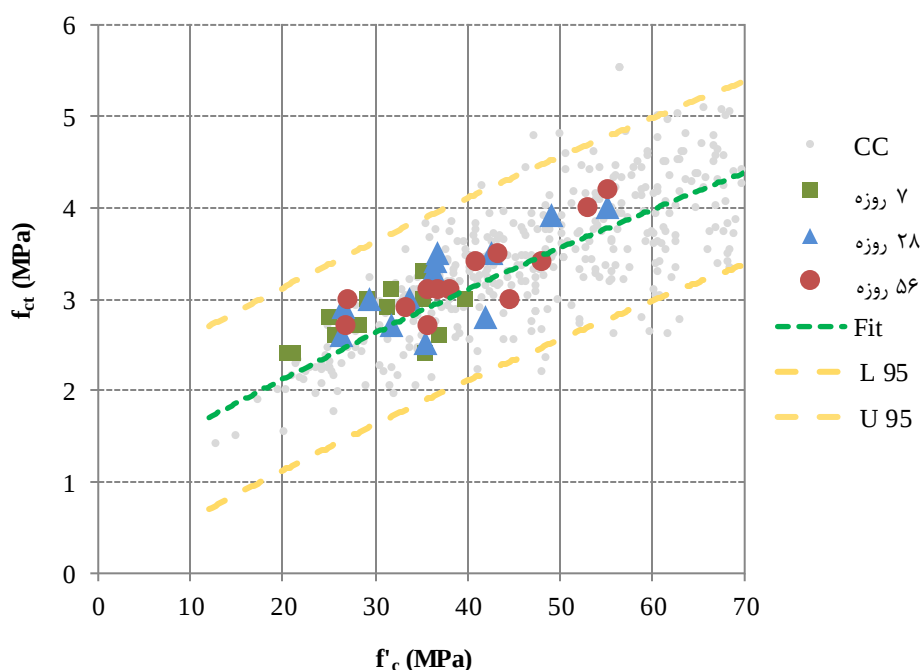
شکل ۶: مقایسه مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۰ درصد تایر بازیافتی با نمونه های کنترل

شکل ۵، مقاومت کششی نمونه های حاوی ۵ درصد تایر بازیافتی را با نمونه های شاهد مقایسه می کند. همانطور که از شکل مشخص است، در سن ۲۸ روز مقاومت کششی بتن حاوی ۱۰ درصد زئولیت (CZ) حدود ۳۰ درصد بیشتر از بتن معمولی (CC) می باشد. در مورد بتن های حاوی ۵ درصد درشت دانه بازیافتی نمونه (LC5) کاهش مقاومت کششی ۱۰ درصدی نسبت به بتن معمولی داشته است. با افزودن زئولیت به آن (نمونه LC5Z) نسبت به بتن معمولی ۲۵ درصد افزایش داشته است. با بررسی نمونه های حاوی ۵ درصد ریزدانه بازیافتی، نمونه L5 و L5Z نسبت به بتن CC حدود ۱۳ درصد افزایش داشته اند. در مورد نمونه های با ۵ درصد ترکیب ریزدانه و درشت دانه بازیافتی، نمونه (TL5) کاهش مقاومت کششی ۱۳ درصدی نسبت به بتن معمولی داشته است و با افزودن پوزولان زئولیت به این نمونه (TL5Z) مقاومت کششی آن به بتن معمولی رسیده است.

نتایج مقاومت کششی مربوط به مخلوط های حاوی ۱۰ درصد تیر باز یافتی در شکل ۶ نمایش داده شده است. برای نمونه با ۱۰ درصد درشت دانه باز یافتی (LC10) در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی ۲۰ درصد کاهش داشته است. با جایگزینی ۱۰ درصد ژئولیت با سیمان (نمونه LC10Z) حدود ۶ درصد افزایش مقاومت کششی نسبت به بتن معمولی مشاهده شده است. برای نمونه با ۱۰ درصد ریز دانه باز یافتی (L10) مقاومت تقریباً یکسانی در کشش نسبت به بتن معمولی به همراه داشته است. با اضافه کردن ژئولیت به این نمونه (L10Z) مقاومت کششی، ۱۳ درصد از بتن معمولی بیشتر شده است؛ در نمونه های با ۱۰ درصد ریز دانه و درشت دانه باز یافتی (TL10) در سن ۲۸ روز، کاهش ۱۶ درصدی مشاهده شده است. مقاومت نمونه (TL10Z) نسبت به بتن معمولی ۶ درصد کاهش داشته است.

مقایسه مقاومت کششی با بانک داده های مطالعات گذشته

شکل ۷، نتایج حاصل از آزمایش های مقاومت کششی بتن با تیر باز یافتی را با انبوه داده های مطالعات گذشته بتن معمولی [۱۷] مقایسه می کند. با تحلیل های آماری (رگرسیون غیر خطی) و با استفاده از نرم افزار Minitab 17.1.0 [۱۸] بر روی این داده ها منحنی های کران پایین و بالای ۹۵ درصد ترسیم شده است. بررسی های آماری نشان می دهد که ۱۰۰٪ داده های مقاومت کششی بتن باز یافتی، در این محدوده ۹۵٪ داده های بتن معمولی قرار دارد.



شکل ۷: مقایسه مقاومت کششی بتن باز یافتی با بانک داده های بتن معمولی [۲۳]

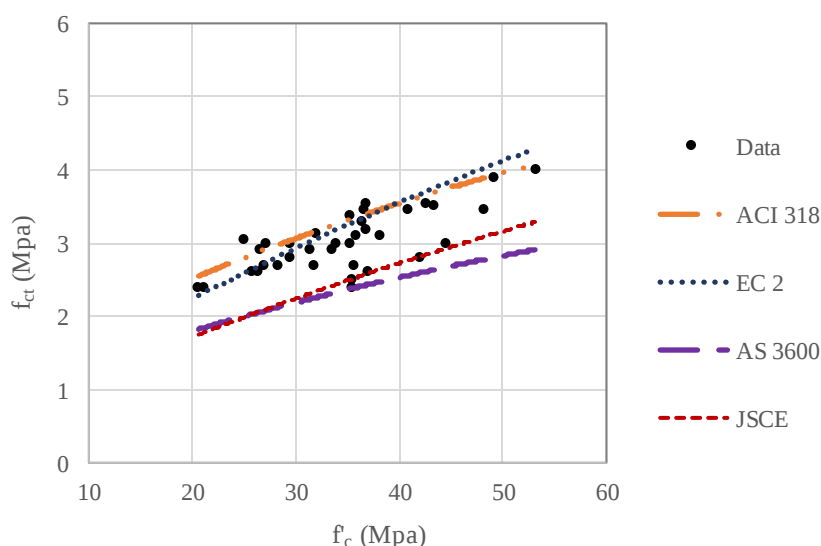
مقایسه مقاومت کششی بتن باز یافتی با روابط آیین نامه ها

در این بخش، مقاومت کششی دو نیم شدن، با روابط آیین نامه های معتبر دنیا، نظیر آمریکا [۱۹]، اروپا [۲۰]، استرالیا [۲۱] و ژاپن [۲۲] مقایسه می شود. جدول ۷، روابط مقاومت کششی آیین نامه های مختلف دنیا را نشان می دهد.

جدول ۷: روابط مقاومت کششی آیین نامه های مختلف

رابطه	آیین نامه
$f_{ct} = 0.56 (f'_c)^{0.5}$	[۱۹] ACI 318
$f_{ct} = 0.3 (f'_c)^{\frac{2}{3}}$	[۲۰] EC 2
$f_{ct} = 0.4 (f'_c)^{0.5}$	[۲۱] AS 3600
$f_{ct} = 0.23 (f'_c)^{\frac{2}{3}}$	[۲۲] JSCE

با توجه به شکل ۸، در بتن های بازیافتی مورد آزمایش، روابط آیین نامه های استرالیا و ژاپن برای ۱۰۰ و ۸۸ درصد داده های آزمایشگاهی محافظه کارانه می باشند. حدود ۷۵ درصد داده ها مقادیر کمتری نسبت به آیین نامه های آمریکا و اروپا داشته اند.



شکل ۸: مقایسه نتایج مقاومت کششی بتن بازیافتی با روابط آیین نامه ها

دوام

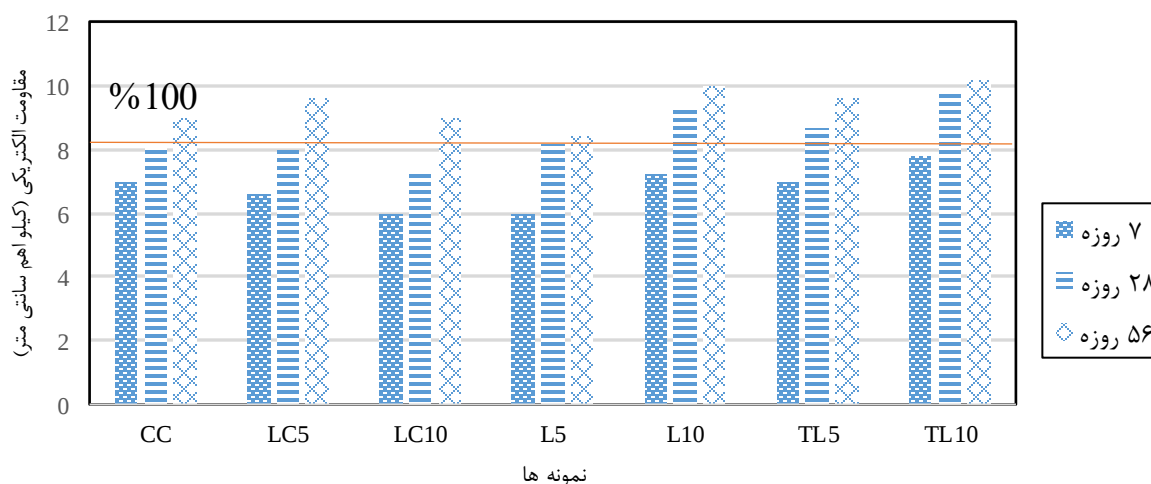
آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی بتن

با توجه به اینکه فرآیند خوردگی میلگرد فولادی در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی می باشد، لذا مقاومت ویژه الکتریکی بتن نقش قابل توجهی در میزان خوردگی دارد و می توان انتظار داشت که بتن های با مقاومت ویژه الکتریکی بالاتر عملکرد بهتری در خصوص کاهش میزان خوردگی میلگردهای فولادی از خودشان نشان می دهند. در این تحقیق آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی بر روی نمونه های استوانه ای به ابعاد 20×10 سانتی متر و در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روز بر اساس استاندارد AASHTO T358-15 [۲۳] انجام شده و نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است.

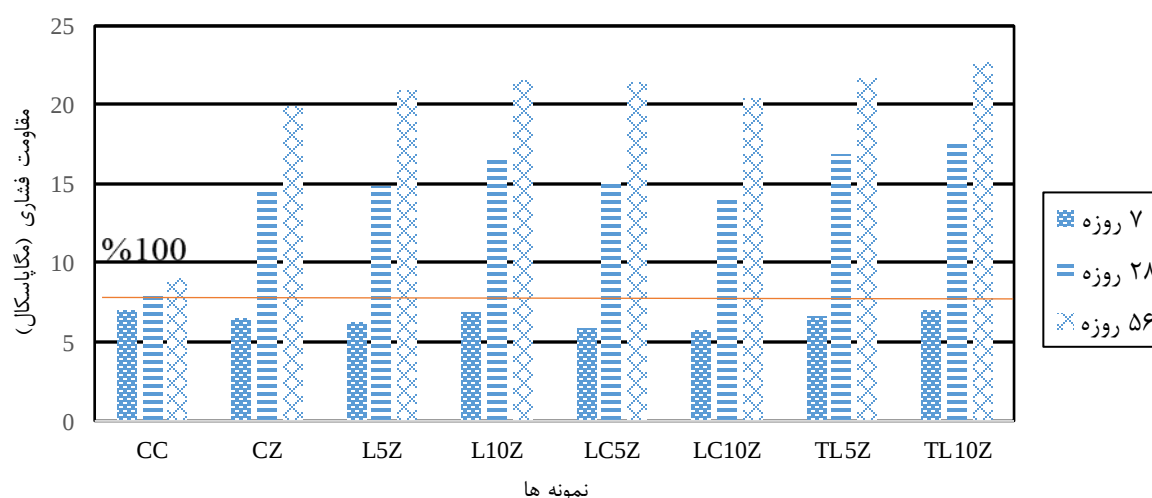
جدول ۸: نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی

مقاومت الکتریکی در سنین مختلف (کیلو اهم سانتی متر)			طرح
روزه ۵۶	روزه ۲۸	روزه ۷	
۹.۰	۸.۱	۷.۰	CC
۱۹.۹	۱۴.۸	۶.۵	CZ
۸.۴	۸.۱	۶.۰	L5
۲۱.۰	۱۴.۹	۶.۲	L5Z
۱۰.۰	۹.۲	۷.۲	L10
۲۱.۶	۱۶.۵	۶.۹	L10Z
۹.۶	۸.۰	۶.۶	LC5
۲۱.۵	۱۵.۱	۵.۹	LC5Z
۹.۰	۷.۲	۶.۰	LC10
۲۰.۵	۱۴.۱	۵.۸	LC10Z
۹.۶	۸.۶	۷.۰	TL5
۲۱.۷	۱۶.۹	۶.۷	TL5Z
۱۰.۲	۹.۷	۷.۸	TL10
۲۲.۷	۱۷.۷	۷.۰	TL10Z

نتایج تاثیر تایر بتن بازیافتی بر مقاومت الکتریکی بتن و مقایسه آن با بتن شاهد CC در شکل ۹ ارائه شده است. در فاز ریزدانه، برای نمونه (L5) در سن ۲۸ روزه مقاومت الکتریکی یکسانی نسبت به بتن معمولی به همراه داشته است. نمونه L10 نسبت به بتن معمولی ۱۳ درصد افزایش داشته است. برای فاز درشت دانه بازیافتی نمونه های LC5 و LC10 به ترتیب ۲ و ۱۲ درصد کاهش نسبت به بتن CC داشته اند. در بخش بتن های بازیافتی ریزدانه و درشت دانه، نمونه های TL5 و TL10 به ترتیب حدود ۶ و ۲۰ درصد افزایش نسبت به بتن معمولی مشاهده شده است.



شکل ۹: نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه های بازیافتی



شکل ۱۰: نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه های حاوی ژئولیت

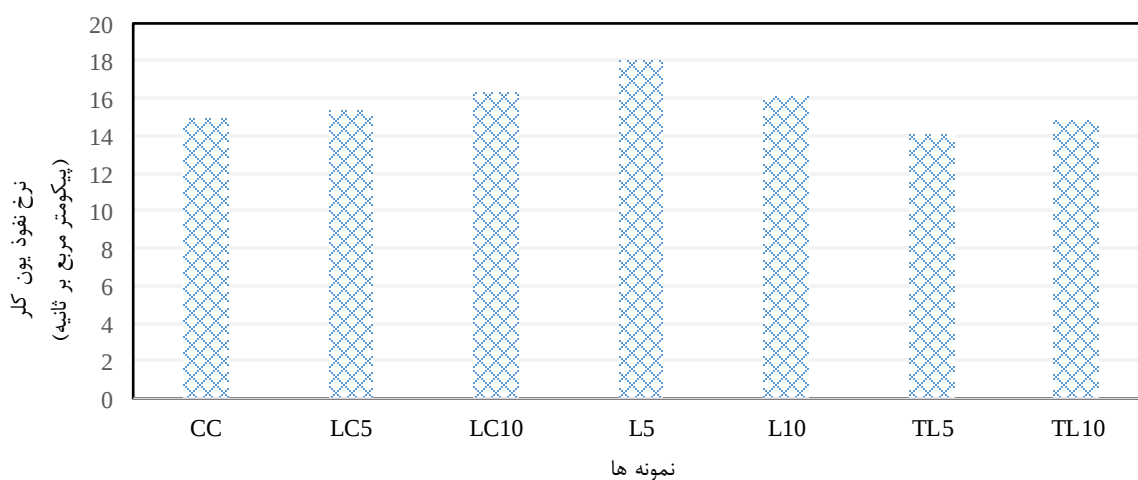
در شکل ۱۰، تاثیر کاربرد توام ژئولیت و تایلر بتن بازیافتی بر مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط های بتن نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط بتن CZ نسبت به بتن CC، در سن ۲۸ روز، $1/8$ برابر شده است. در بتن های با جایگزینی ریزدانه بازیافتی، بتن L5Z و L10Z در سن ۲۸ روز به ترتیب ۸۶ و ۱۰۳ درصد افزایش مقاومت الکتریکی نسبت به بتن معمولی داشته اند. در بخش جایگزینی درشت دانه بازیافتی، بتن های LC5Z و LC10Z به ترتیب ۸۶ و ۷۴ درصد افزایش نسبت به بتن CC مشاهده شده است. همچنین در فاز ریزدانه و درشت دانه بازیافتی، نمونه های TL5Z و TL10Z نسبت به بتن معمولی به ترتیب افزایش ۱۰۸ و ۱۱۸ درصدی داشته اند. استفاده از تایلر، به عنوان نارسا در بتن و همچنین تاثیر فعالیت های پوزولانی باعث افزایش مقاومت الکتریکی نمونه ها نسبت به نمونه های بتن معمولی شده است.

آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید (RCMT)

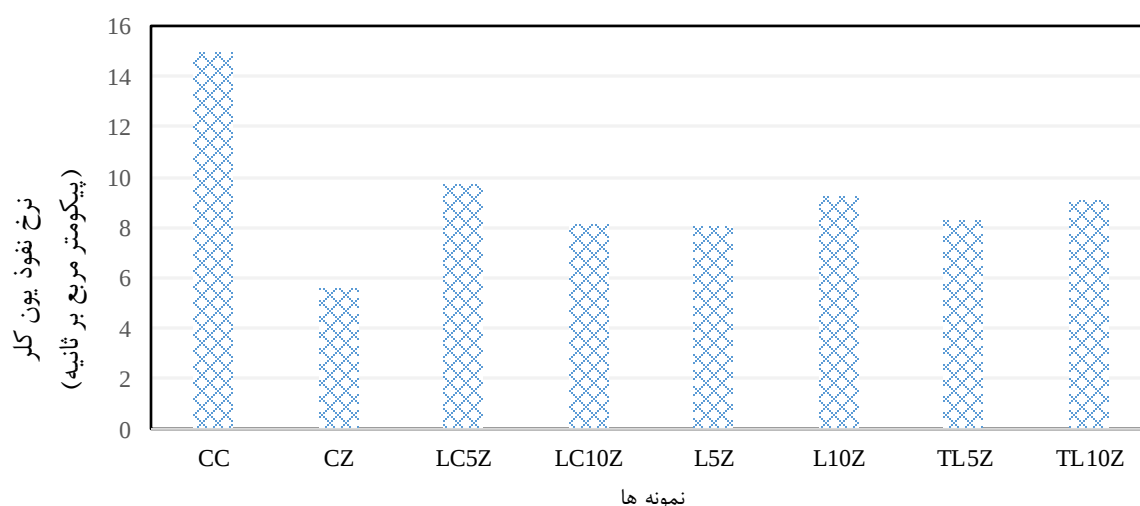
در این آزمایش که طبق استاندارد AASHTO TP 64-03 [۲۴] و NT-BUILD492 [۲۵] انجام گرفته است، عمق نفوذ یون کلر به داخل نمونه بتنی را تحت اختلاف ولتاژ الکتریکی اندازه گیری و میزان نفوذ یون کلر به داخل بتن محاسبه می گردد. بدیهی است که مقادیر بالاتر میزان نفوذ یون کلر نشانگر عملکرد ضعیف تر آن بتن در برابر نفوذ یون کلر می باشد. نتایج آزمایش RCMT نمونه ها، با توجه به اهمیت تخریبی یون کلر در سنین بالای بتن، برای سن ۵۶ روز در جدول ۹ ارائه شده است. جهت امکان بررسی بهتر تاثیر کاربرد تایلر بازیافتی و ژئولیت بر روی ضریب نفوذ یون کلر در بتن، نتایج آزمایش RCMT بصورت نمودار در شکل های ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. شکل ۱۱ مقادیر نرخ نفوذ یون کلر برای نمونه بتن های ساخته شده از تایلر بازیافتی را نشان می دهد. در شکل ۱۱ مشخص است، در سن ۵۶ روز با کاربرد تایلر بازیافتی در بتن ریزدانه بازیافتی در درصد های جایگزینی ۵ و ۱۰ (L5, L10) نسبت به بتن معمولی به ترتیب ۲۰ و ۷ درصد افزایش یافته است. در فاز درشت دانه (LC5, LC10) با همین درصد های جایگزینی به ترتیب ۳ و ۹ درصد افزایش نرخ نفوذ و در بخش بتن های ریزدانه و درشت دانه بازیافتی (TL5, TL10) نسبت به بتن معمولی به ترتیب ۷ و ۲ درصد کاهش نرخ نفوذ داشته است.

جدول ۹: نتایج آزمایش نفوذ یون کلر (RCMT)

نرخ نفوذ یون کلر در بتن (پیکومتر مربع بر ثانیه)	طرح
۱۵.۰	CC
۵.۶	CZ
۱۸.۰	L5
۸.۰	L5Z
۱۶.۰	L10
۹.۲	L10Z
۱۵.۴	LC5
۹.۷	LC5Z
۱۶.۳	LC10
۸.۱	LC10Z
۱۴.۱	TL5
۸.۳	TL5Z
۱۴.۸	TL10
۹.۱	TL10Z



شکل ۱۱: بررسی اثر تایر بازیافتی بر نرخ نفوذ یون کلر در سن ۵۶ روز



شکل ۱۲: بررسی تاثیر توام زئولیت و تایر بازیافتی بر نرخ نفوذ یون کلر در سن ۵۶ روز

نتایج تاثیر زئولیت بر نفوذ یون کلر، و مقایسه آن با بتن شاهد CC در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج نمودار، در سن ۲۸ روز افزودن ۱۰٪ زئولیت به مخلوط بتن، کاهش ۶۲ درصدی نرخ نفوذ یون کلر را به همراه داشته است. در بین نمونه های بازیافتی با زئولیت در فاز ریزدانه ۴۵ و ۳۸ درصد، در سن ۲۸ روز کاهش نفوذ یون کلر نسبت به بتن معمولی را به همراه داشته است (نمونه های L10Z, L5Z). در بخش درشت دانه بازیافتی (LC10Z, LC5Z) کاهش نرخ نفوذ یون کلر ۳۵ و ۴۵ درصد نسبت به بتن معمولی مشاهده شده است. مقدار کاهش نفوذ یون کلر نسبت به بتن CC در بتن های بازیافتی ریزدانه و درشت دانه (TL10Z, TL5Z) ۴۳ و ۴۰ درصد بوده است.

نتیجه گیری

بر اساس مقایسه نتایج آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های مختلف بتن، نتیجه گیری هایی در خصوص عملکرد بتن های حاوی زئولیت و پودر درشت و ریز دانه تایر بازیافتی و استفاده مجزای هر کدام از این موارد را ارائه نموده ایم: حضور زئولیت در نمونه بتنی بدون مصالح بازیافتی، باعث افزایش ۳۰ درصدی مقاومت فشاری و کششی، افزایش ۸۳ درصدی در مقاومت ویژه الکتریکی و کاهش ۶۲ درصدی نفوذ یون کلر در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی را در بردارد. استفاده از تایر بازیافتی با افزایش درصد جایگزینی باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می شود؛ در فاز ریزدانه تا ۳۱ درصد برای درشت دانه بازیافتی تا ۱۷ درصد و در فاز ریزدانه و درشت دانه تا ۳۸ درصد کاهش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روز مشاهده شده است.

با افزودن زئولیت به بتن های بازیافتی ضعف مقاومت فشاری تا حدی جبران می شود. در فاز ریزدانه تا ۱۴ درصد کاهش، در بخش درشت دانه تا ۱۴ درصد افزایش و در فاز ریزدانه و درشت دانه تا ۳۸ درصد کاهش مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی در سن ۲۸ روز به همراه داشته است.

تایر بازیافتی در بتن در فاز درشت دانه به صورت جداگانه باعث کاهش تا ۲۰ درصد مقاومت کششی نسبت به بتن معمولی در هر دو درصد جایگزینی ۵ و ۱۰ برای سن ۲۸ روز شده است. در فاز ریزدانه مقاومت کششی تا ۱۱۳ درصد افزایش داشته است. استفاده از تایر بازیافتی ترکیب ریزدانه و درشت دانه تا ۱۶ درصد مقاومت کششی را نسبت به بتن معمولی کاهش داده است. با اضافه کردن زئولیت به نمونه های بتن با سنگدانه بازیافتی در فاز جایگزینی درشت دانه تا ۲۵ درصد افزایش، ریزدانه تا ۱۳ درصد افزایش و ترکیب درشت دانه و ریزدانه تا ۶ درصد کاهش مقاومت کششی در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی را در بر داشته است.

روابط مقاومت کششی آیین نامه های آمریکا و اروپا برای ۲۵ درصد داده های بتن بازیافتی و آیین نامه ژاپن و استرالیا برای ۸۸ و ۱۰۰ درصد داده ها محافظه کارانه می باشند

با افزایش درصد جایگزینی تایر بازیافتی مقاومت الکتریکی نمونه ها افزایش یافته است . در فاز درشت دانه تا ۱۲ درصد کاهش، در بخش ریزدانه تا ۱۳ درصد و ترکیب ریز دانه و درشت دانه تا ۱۰ درصد کاهش مقاومت الکتریکی نسبت به بتن معمولی در سن ۲۸ روز داشته اند. با جایگزینی ژئولیت به جای سیمان در این نمونه ها برای بخش درشت دانه تا ۸۶ درصد، در فاز ریزدانه تا ۱۰۳ درصد و در فاز ترکیب ریزدانه و درشت دانه تا ۱۱۸ درصد افزایش مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روز مشاهده شده است.

استفاده از تایر بازیافتی در بتن افزایش نرخ نفوذ یون کلر را به همراه داشته است. برای فاز درشت دانه تا ۹ درصد افزایش، بخش ریزدانه تا ۲۰ درصد افزایش و فاز ریز دانه و درشت دانه تا ۷ درصد کاهش نفوذ یون کلر نسبت به بتن معمولی در سن ۵۶ روز به ثبت رسیده است. در نمونه های بازیافتی حاوی پوزولان ژئولیت، برای نمونه های فاز درشت دانه، ریز دانه و ترکیب ریز دانه و درشت دانه کاهش ۴۵ درصدی نرخ نفوذ یون کلراید نسبت به بتن معمولی در سن ۵۶ روز گزارش شده است.

منابع و مراجع

- [1] Arezoumandi, M., & Volz, J. S. (2013). A comparative study of the mechanical properties, fracture behavior, creep, and shrinkage of high-volume fly ash concrete. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 2(3-4), pp.173-185.
- [2] Asgari, A., Ghorbanian, T., Yousefi, N., Dadashzadeh, D., Khalili, F., Bagheri, A., ... & Mahvi, A. H. (2017). Quality and quantity of construction and demolition waste in Tehran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, pp.1-8.
- [3] Sabet, F. A., Libre, N. A., & Shekarchi, M. (2013). Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash. *Construction and Building Materials*, 44, pp.175-184.
- [4] Topcu, B. (1995), "the properties of rubberized concrete", *cement and concrete research*, vol. 25, No. 2, pp. 304-310.
- [5] Kiacher Behfrania, Mohsen Hasanzadeh and colleagues (2009). "Investigating the Mechanical Properties of Concrete Containing Tire Rubber Powders". Conference Center of National Documentation and Library of Iran
- [6] Najimi, Meysam; Sobhani, Jafar; Ahmadi, Babak; Shekarchi, Mohammad; (2012) "An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan", *Construction and Building Materials* 35, pp. 1023-1033.
- [7] Vaičiukynienė, Danutė, Gintautas Skipkiūnas, Vytautas Sasnauskas, and Mindaugas Daukšys. (2012) "Cement compositions with modified hydrosodalite." *chemija* 23, No. 3, pp.147-154.
- [8] Somna, R., Jaturapitakkul, C., & Amde, A. M. (2012). Effect of ground fly ash and ground bagasse ash on the durability of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 34(7), pp. 848-854.
- [9] Onuaguluchi, O., & Panesar, D. K. (2014). Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb tire and silica fume. *Journal of Cleaner Production*, 82, pp.125-131.
- [10] Eskandari, Hossein, Mohammad Vaghefi, and Koorosh Kowsari. (2015) "Investigation of Mechanical and Durability Properties of Concrete Influenced by Hybrid Nano Silica and Micro Zeolite." *Procedia Materials Science* 11, pp.594-599.
- [11] Thomas, B. S., Gupta, R. C., & Panicker, V. J. (2016). Recycling of waste tire as aggregate in concrete: durability-related performance. *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 504-513.
- [12] Nagrockiene, Dzigita, and Giedrius Girskas. (2016) "Research into the properties of concrete modified with natural zeolite addition." *Construction and Building Materials* 113, pp. 964-969.
- [13] ASTM C29-11, (2011), Standard test method for bulk density (unit weight) and voids in aggregate. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2009
- [14] ASTM C150/C150M-11. Standard specification for Portland cement. Annual book of ASTM standards, vol. 04.01. Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials; 2011.
- [15] ACI Committee 211. (1992). Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-91). American Concrete Institute.
- [16] ASTM C39/C39M-1. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. Annual book of ASTM standards, vol. 04.02. Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials; 2009.

- [17] ASTM C496/C496M-11. (2011). Standard Specification for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [18] <http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/researches/detail/concreteDB/index.html> .
- [19] Minitab 17 Statistical Software [Computer software]. Incorporation, Minitab.
- [20] American Concrete Institute ACI Committee. (2008). "Building code requirements for structural concrete ACI 318-08 and commentary 318R-08." Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute.
- [21] European Committee for Standardization. Eurocode No. 2, (2005). "Design of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings."
- [22] Standards Australia. (2009). "Concrete structures." AS 3600, Sydney, Australia.
- [23] Japan Society of Civil Engineers., (2005). "Standard Specification for Concrete Structure" Japanese Society of Civil Engineering No. 15, Tokyo, Japan.
- [24] AASHTO T358-15, " Standard method of test for surface resistivity Indication of concretes Ability to resist chloride Ion penetration", AASHTO 2006.
- [25] AASHTO TP 64-03, " Standard Method of Test for predicting chloride penetration of hydraulic cement concrete by the rapid migration procedure ".
- [26] Nordtest, C. (1999). Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments (NT BUILD 492). Taastupl, Denmark.