

مطالعه آزمایشگاهی مشخصات مکانیکی و دوام بتن با آسفالت بازیافتی (ریز دانه و درشت دانه) به همراه میکروسلیس

مرضیه سلطانی *

کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهاب دانش، قم، ایران.

مسعود سعادت خوش

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهاب دانش، قم، ایران.

جواد بخشی

کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهاب دانش، قم.

مهدی آرزومندی

دانشگاه اینگرام ایالتی تگزاس، آمریکا.

چکیده

رفتار پوزولانی دوده سیلیس در بتن مهم‌ترین خاصیتی است که باعث می‌شود بتن سخت شده دارای خواص قابل ملاحظه‌ای گردد. به‌تازگی استفاده از مواد بازیافتی به عنوان بخشی از سنگ‌دانه در بتن در حال افزایش است. استفاده از این مواد بازیافتی در بتن، سبب کاهش مصرف منابع طبیعی می‌شود. دوام بالای مواد به کاهش مصرف منابع طبیعی کمک شایانی می‌نماید. در یک مطالعه آزمایشگاهی، تأثیر تأثیر توامان دوده سیلیس و خرده آسفالت بازیافتی (درشت و ریزدانه) بر مقاومت و دوام بتن مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش‌ها از مخلوط‌های بتنی با نسبت آب به سیمان ۰,۴۵ و سیمان با عیار 250 kg/m^3 برای کلیه طرح‌ها استفاده شده است. با توجه به مطالعات پیشین در این زمینه میزان مصرف دوده سیلیس بین ۵ الی ۱۰ درصد پیشنهاد شده است که در آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق استفاده از ۶ درصد دوده سیلیس بهترین نتایج را از نظر خواص مکانیکی و دوام بتن به همراه داشته است. بنابراین درصد جایگزین دوده سیلیس با سیمان در این آزمایش‌ها ۶ درصد و جایگزینی آسفالت بازیافتی (درشت و ریزدانه) با شن و ماسه طبیعی ۱۰ و ۱۵ درصد می‌باشد. این تحقیق نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت ویژه الکتریکی بتن، نفوذ تسریع شده یون کلراید (RCMT)، بر روی نمونه‌های بتنی را بررسی می‌کند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در اثر استفاده از خرده آسفالت بازیافتی (درشت و ریزدانه) مقاومت و دوام بتن کاهش پیدا می‌کند که با جایگزینی ۶ درصد دوده سیلیس با سیمان مصرفی این کاهش مقاومت و دوام نه تنها جبران می‌شود، بلکه بهبود نیز می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: دوام، بتن بازیافتی، دوده سیلیس، آسفالت بازیافتی.

۱- مقدمه

رویه‌های آسفالتی هستند، بخش بزرگی از مصالح دور ریز را تشکیل می‌دهند. به طور کلی در بسیاری از کشورهای جهان سالانه صدها تن از این مواد دور ریز تولید می‌شود که در بیشتر موارد از آنها استفاده مجدد می‌شود [۵]. چندین سال است که در برخی از کشورهای صنعتی از ضایعات ساختمانی و راهسازی به‌ویژه آسفالت به‌عنوان بخشی از سنگ‌دانه‌های بتن و آسفالت جدید استفاده می‌شود. به طور مثال در کشورهای آلمان، هلند، بلژیک و نروژ تحقیقات زیادی برای بررسی امکان استفاده از این مصالح در ساختمان و راه صورت پذیرفته است [۶-۷]. آسفالت یک ویژگی کلیدی دارد که می‌تواند بدون کاهش قابلیت‌های آن ۱۰۰ درصد بازیافت شود، و در حال حاضر بیشترین بازیافت را در جهان دارد. در سال‌های اخیر با افزایش آگاهی‌های زیست محیطی و تمرکز بر بازیافت، استفاده از زباله‌های بازیافتی در ساخت و ساز به موضوعی با اهمیت ملی تبدیل شده است [۸-۹].

نتایج پژوهش‌ها و آزمایش‌ها انجام شده نشان می‌دهد که مقاومت بتن ساخته شده با سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی (RAP) بستگی به استحکام آسفالت (آسفالت، ریزدانه، درشت دانه) دارد، و ممکن است مقاومت فشاری بالاتر از ۲۵ مگاپاسکال تولید نماید [۱۱-۱۰]. با این حال هانگ و همکارانش گزارش دادند که مقاومت بتن با آسفالت بازیافتی به طور سیستماتیک کاهش می‌یابد، صرف نظر از اینکه آیا RAP درشت دانه یا ریزدانه است. و این کاهش مقاومت احتمالاً نتیجه‌ی پیوند ضعیف بین آسفالت و ملات سیمان است [۴]. آپورا با جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد سنگ‌دانه بازیافتی در بتن به این نتیجه رسید که استفاده از سنگ‌دانه بازیافتی با درصد‌های جایگزینی پایین در بتن امکان پذیر است. او با جایگزینی ۲۰٪ سنگ‌دانه بازیافتی تنها ۱۴٪ کاهش مقاومت فشاری را مشاهده کرد. اما با جایگزینی ۵۰٪ سنگ‌دانه بازیافتی شاهد کاهش ۱۶٪ مقاومت فشاری، ۲۴٪ مقاومت کششی و ۳۴٪ مقاومت خمشی بود. طبق همین نتایج بیان نمود که با افزایش درصد جایگزینی سنگ‌دانه بازیافتی میزان مقاومت در سنین بالا کاهش می‌یابد [۱۲]. تابش و همکارانش چندین اثر ترکیب بازیافتی را بر روی مقاومت‌های بتن‌های حاوی RAP مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که مقاومت کششی بتن‌های ساخته شده با بتن‌های

از جمله مهم‌ترین خصوصیات بتن که در زمان ساخت آن باید توجه فراوانی به آن داشت، مشخصات مکانیکی و دوام بتن می‌باشد. که اگر در زمان مناسب تمهیدات لازمی برای تأمین آن در نظر گرفته شود نه تنها می‌تواند طول عمر خدمت‌دهی سازه‌های بتنی و نحوه رفتار آنها در شرایط مختلف را بهبود بخشد بلکه از تخریب‌های احتمالی و خوردگی آن جلوگیری می‌نماید.

مدت‌هاست که در سازه‌های بتنی به منظور افزایش کیفیت بتن، کاهش نارسایی و یا تغییر بعضی از مشخصه‌های بتن، مواد افزودنی به آن اضافه می‌نمایند. امروزه با ورود فن‌آوری‌های نوین به صنعت ساختمان، متخصصین بتن از مواد پوزولانی همراه با مواد افزودنی شیمیایی، بتن‌هایی خاص برای شرایط مختلف طراحی می‌نمایند. در میان مواد افزودنی پوزولانی دوده سیلیس، به خاطر ذرات بسیار ریز آن و همچنین درصد بسیار زیاد سیلیس آمورف (غیر بلوری) برای تولید بتن با مقاومت زیاد و دوام بالا استفاده بیشتری دارد [۱]. صنعت بتن مقدار زیادی از سنگ‌های طبیعی که باعث تخریب محیط زیست می‌شود را مصرف می‌کند. بنابراین نیاز فوری به پیدا کردن و عرضه جایگزین مناسب برای سنگ‌دانه‌های طبیعی وجود دارد [۲]. از طرفی مسئله زباله‌های ساختمانی، امروزه به یکی از معضلات زیست محیطی برای بشر تبدیل شده است. امروزه در کشورهای توسعه یافته بازیافت و استفاده مجدد از زباله‌های ساختمانی مورد توجه خاصی قرار گرفته و به یک صنعت تبدیل شده است که این خود نشان دهنده اهمیت بازیافت مواد می‌باشد [۳]. طبق پژوهش‌های سانی و همکارانش، یک مثال شناخته شده از عرضه‌ی جایگزین مصالح ساختمانی، استفاده از زباله‌های ساختمانی برای تولید مصالح بازیافتی است [۴]. حداقل ۷۵٪ از حجم بتن را سنگ‌دانه‌های طبیعی تشکیل می‌دهند که می‌توان بخشی از آن را با مصالح بازیافتی و ارزان‌تر جایگزین کرد. با این وجود، کمبود بحرانی سنگ‌دانه‌های طبیعی برای تولید بتن در بسیاری از مناطق و نیاز به روش‌های بهتر برای دفع این زباله‌های جامد و حفظ انرژی موجب افزایش علاقه مهندسان به تکنولوژی بتن بازیافتی گردیده است [۲]. خرده‌های آسفالت بازیافتی که پسماند حاصل از بازسازی و تراش

¹ Recycled Asphalt Pavement

در بتن را به میزان ۷۲ و ۷۳ درصد کاهش می‌دهد [۲۰]. گویتا و همکاران در تحقیق خود ۵ و ۱۰ درصد سیمان را با دوده سیلیس جایگزین کردند و برای نسبت آب به سیمان ۰/۳۵، نفوذ کلرید در بتن را برای سن ۲۸ روزه به روش RCMT اندازه‌گیری کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد از سیمان با دوده سیلیس، نفوذ کلرید در بتن را به میزان ۱۲ و ۸۲ درصد کاهش می‌دهد [۲۱]. نوروزی فر و مدنی با بررسی نفوذ یون کلراید نمونه‌های حاوی ۳، ۶ و ۹ درصد جایگزینی سیمان با دوده سیلیس، به این نتیجه رسیدند که نفوذ یون کلر در نمونه‌های بتنی تا ۷۵ درصد نسبت به بتن معمولی کاهش پیدا کرده است [۲۲]. منصور قلعه‌نوی و همکاران دوام بتن حاوی دوده سیلیس را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد با اضافه کردن ۱۰ درصد دوده سیلیس جایگزین سیمان در بتن، مقاومت الکتریکی تا ۴ برابر نسبت به بتن معمولی افزایش پیدا کرده است [۲۳]. سلطانی و همکاران به بررسی مشخصات مکانیکی و دوام بتن حاوی دوده سیلیس پرداخته‌اند. نتایج تحقیق‌ها نشان می‌دهد افزودن ۷ درصد دوده سیلیس جایگزین سیمان در بتن به ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۲۵ درصدی مقاومت فشاری و خمشی بتن شده است [۲۴].

هدف این تحقیق، بررسی اثر استفاده توام دوده سیلیس و آسفالت بازیافتی (ریزدانه و درشت دانه) به عنوان جایگزین درصدی از سنگ‌دانه، بر خواص مکانیکی و دوام بتن می‌باشد. این پژوهش با این تفاوت که اثرات ریزدانه و درشت دانه آسفالت بازیافتی در مقایسه با مطالعات گذشته را مورد بررسی قرار داده است استفاده هم‌زمان از آن پوزولان دوده سیلیس را برای جبران هرگونه ضعف در مشخصات مکانیکی و دوام بتن‌های ساخته شده را مورد مطالعه قرار داده است. برای بررسی خواص مکانیکی، از آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت کششی، و برای بررسی دوام، از آزمایش‌های نفوذ تسریع شده یون کلر و مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های بتنی استفاده شده است.

۲- برنامه آزمایش

برای این تحقیق آزمایشگاهی ۱۴ طرح اختلاط ساخته شده است.

بازیافتی پایین تر از بتن‌های ساخته شده با دانه‌های طبیعی است. همچنین یافته‌ها نشان داد که کاهش مقاومت در بتن کم مقاومت بیشتر از بتن با مقاومت متوسط است [۵].

دوده سیلیس یکی از فعال‌ترین پوزولان‌ها است که به واسطه شکل و اندازه ذراتش یک پوزولان بسیار فعال و پرکننده موثری در بتن است [۱۳]. دوده سیلیس تا حدود زیادی باعث تقویت مقاومت بتن می‌شود و معمولاً با نسبت ۵ تا ۱۰ درصد وزن سیمان در بتن جایگزین سیمان می‌شود [۱۵-۱۴]. ذرات میکروسیلیس در بتن سخت شده، فضاهای خالی ایجاد شده در اطراف ذرات سیمان را پر می‌کند و بنابراین نفوذ پذیری کاهش می‌یابد. همچنین افزایش واکنش هیدراسیون و بهبود لایه مرزی نیز باعث کاهش نفوذ پذیری می‌گردد. کاهش نفوذ پذیری در بتن‌های حاوی میکروسیلیس در مقابل موادی مانند یون کلر، باعث شده است که معمولاً "عرشه پل‌ها، سازه‌های پارکینگ و سازه‌های دریایی به وسیله میکروسیلیس مقاوم گردند [۱۶]. میکروسیلیس با پر کردن حفره‌های موجود در خمیر بتن تازه، باعث افزایش تراکم بتن می‌شود [۱۷]، که نه تنها مقاومت بتن را افزایش می‌دهد، بلکه با ایجاد قالب متراکم تر و پر کردن حفره‌های کوچک از ورود مواد مضر به داخل بتن جلوگیری می‌نماید [۱۵]. علاوه بر این برخی محققان مانند دونستر، این مسئله را پذیرفتند که استفاده از میکروسیلیس در بتن علاوه بر بهبود خواص مکانیکی آن برای پایداری مسائل زیست محیطی نیز تأثیر به‌سزایی دارد [۱۸].

ولی‌پور و همکاران در تحقیق خود ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد سیمان را با دوده سیلیس جایگزین کردند و برای نسبت آب به سیمان ۰/۴، نفوذ کلرید در بتن را برای سن ۲۸ روزه به روش تسریع شده انتقال یون کلر اندازه‌گیری کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد جایگزینی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از سیمان با دوده سیلیس، نفوذ کلرید در بتن را به ترتیب به میزان ۷۴، ۸۱ و ۷۳ درصد کاهش می‌دهد [۱۹].

علاوه بر این ثابت و همکاران نیز در تحقیق خود ۱۰ و ۲۰ درصد سیمان را با دوده‌ی سیلیسی جایگزین کردند و برای نسبت آب به سیمان ۰/۳۲، نفوذ کلرید در بتن را برای سن ۹۰ روزه به روش RCMT^۱ اندازه‌گیری کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد از سیمان با دوده‌ی سیلیسی، نفوذ کلرید

^۱ Rapid Chloride Migration Test

که (CC) نمونه بتن شاهد بدون سنگدانه بازیافتی و پوزولان می‌باشد. (S6) نمونه بتن شاهد حاوی ۶ درصد وزن سیمان دوده سیلیس، (T10) نمونه بتن به همراه تنها ۱۰ درصد وزنی سنگدانه بازیافتی (ریز و درشت دانه)، (T15) این نمونه حاوی ۱۵ درصد وزنی سنگدانه بازیافتی (ریز و درشت دانه) می‌باشد. نمونه (T10S6) علاوه بر ۱۰ درصد سنگدانه بازیافتی حاوی ۶ درصد دوده سیلیس و نمونه (T15S6) حاوی ۱۵ درصد سنگدانه بازیافتی و ۶ درصد دوده سیلیس است. نمونه های (R10) و (R15) به ترتیب تنها ۱۰ و ۱۵ درصد سنگدانه بازیافتی درشت دانه را شامل می‌باشند. نمونه های (R10S6) و (R15S6) علاوه بر سنگدانه بازیافتی ۶ درصد دوده سیلیس را نیز به همراه دارند. نمونه های (F10) و (F15) به ترتیب حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد سنگدانه بازیافتی ریزدانه می‌باشند و نمونه های (F10S6) و (F15S6) علاوه بر سنگدانه بازیافتی حاوی ۶ درصد دوده سیلیس نیز می‌باشند.

استاندارد ملی ۴۹۷۷ ایران [۲۸] می‌باشد، که مشخصات فیزیکی و شیمیایی در جدول ۲ آمده است. همچنین نمودار دانه‌بندی ریز دانه و درشت دانه بر اساس استاندارد ASTM C29-11 در شکل ۱ ارائه شده است. سنگدانه‌های آسفالت بازیافتی مصرفی در این پژوهش محصول تراشیدن رویه خیابان‌های شهر قم بوده و از شهرداری قم تهیه شده است. در این پژوهش سنگدانه آسفالت بازیافتی مصرفی در فاز ریز و درشت دانه مورد بررسی قرار گرفته است. دانه‌بندی فاز درشت دانه آن مطابق با دانه‌بندی شن مصرفی می‌باشد و دانه بندی آن به صورت دستی در آزمایشگاه انجام شده است. همچنین فاز ریزدانه‌ی آسفالت بازیافتی مطابق با ماسه مصرفی در این پژوهش بوده و دانه بندی آن به صورت دستی در آزمایشگاه انجام شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان و دوده سیلیس

ترکیبات شیمیایی و فیزیکی (%)	سیمان (%)	دوده سیلیس (%)
SiO ₂	۲۰,۶۶	۹۳,۶
Al ₂ O ₃	۴,۶۹	۱,۳۲
Fe ₂ O ₃	۴,۱۵	۰,۸۷
CaO	۶۳,۸۰	۰,۴۹
SO ₃	۲,۳۳	۰,۱
MgO	۱,۳۲	۰,۹۷
Na ₂ O ₃	۰,۳۶	۰,۳۱
K ₂ O	۰,۶۳	۱,۰۱
LOi	۲,۲۰	-
وزن مخصوص (Kg/m ³)	۳۱۰۰	۲۲۰۰
بلین (g/cm ²)	۳۰۸۰	-

۳- مصالح آزمایش

سیمان مورد استفاده در این تحقیق سیمان پرتلند معمولی تیپ ۲ براساس استاندارد ASTM C150-11 [۲۵] بوده که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین دوده سیلیس مورد استفاده از کارخانه ازنا بوده که براساس ASTM C1240-11 [۲۶] تولید شده است (جدول ۱).

شن مورد استفاده در این آزمایش از نوع شکسته کوهی و ماسه مصرفی، از رودخانه شهر قم است. دانه بندی سنگدانه طبیعی استفاده شده براساس استاندارد ASTM C29-11 [۲۷] و

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها

ردیف	نوع سنگدانه	درصد جذب آب	چگالی اشباع با سطح خشک (kg/m ³)	حداکثر قطر سنگدانه (mm)	مدول نرمی
۱	ماسه طبیعی	۲,۱۹	۲۴۶۷	۴,۷۵	۳,۵۴
۲	شن طبیعی	۱	۲۷۰۰	۱۹	-
۳	ماسه بازیافتی	۳,۶۲	۲۲۷۸	۴,۷۵	-
۴	شن بازیافتی	۱,۱	۲۳۶۰	۱۹	-

خصوصیات فیزیکی آسفالت بازیافتی مورد استفاده در این پژوهش شامل چگالی و جذب آب مطابق استاندارد ملی ۴۹۸۲ ایران [۲۹] تعیین شده است. جدول ۲ مقایسه خصوصیات فیزیکی آسفالت بازیافتی مصرفی با سنگدانه طبیعی را نشان می‌دهد. آب مورد استفاده در این آزمایش ها نیز آب لوله کشی شهر قم بوده است که با توجه به استاندارد ملی ۱۴۷۴۸ استفاده از آن مانعی ندارد [۳۰].

ابر روان کننده استفاده شده در آزمایش ها تحقیق حاضر از نوع پلی کربوکسیلاتی می باشد که براساس کارآیی مد نظر بتن مورد پژوهش مطابق استاندارد ملی ۲۹۳۰ ایران می باشد [۳۱].

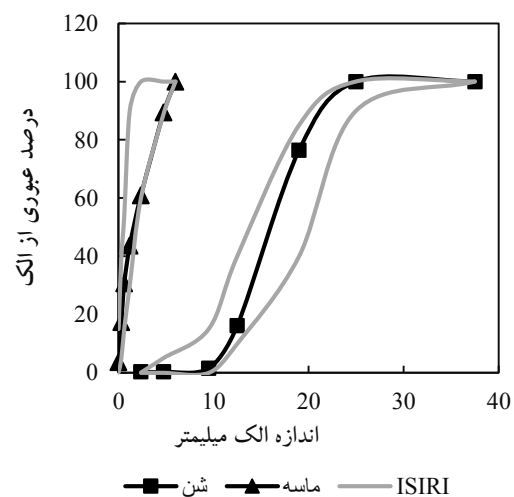
جدول ۳- طرح اختلاط (kg/m^3)

شماره طرح	نام طرح	سیمان	نسبت ابر		آسفالت			وزن مخصوص بتن تازه
			آب به مواد سیمانی	روان کننده (%)	درشت دانه	ماسه	آسفالت ریزدانه	
۱	CC	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۰	۰	۱۰۳۶	۲۳۵۶
۲	S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۰	۰	۱۰۲۷	۲۳۴۷
۳	F10	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۱۰۰	۰	۹۱۵	۲۳۳۹
۴	F10S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۱۰۰	۰	۹۱۴	۲۳۳۰
۵	F15	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۱۴۹	۰	۸۶۰	۲۳۳۱
۶	F15S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۱۴۸	۰	۸۵۵	۲۳۲۲
۷	R10	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۰	۶۸	۱۰۲۶	۲۳۴۶
۸	R10S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۰	۶۸	۱۰۲۲	۲۳۳۷
۹	R15	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۰	۱۰۲	۱۰۲۴	۲۳۴۱
۱۰	R15S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۰	۱۰۲	۱۰۱۹	۲۳۳۲
۱۱	T10	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۱۰۳	۶۹	۹۱۰	۲۳۲۹
۱۲	T10S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۱۰۳	۶۸	۹۰۶	۲۳۲۱
۱۳	T15	۴۲۵	۰/۴۵	۰	۱۵۳	۱۰۲	۸۲۶	۲۳۱۶
۱۴	T15S6	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۸	۱۵۳	۱۰۲	۸۵۰	۲۳۰۸

ACI 211.1-91 [۳۲] بوده است. درصد رطوبت مصالح مطابق با استاندارد ملی ۴۹۸۳ ایران تعیین شده است [۳۳]. در پایان عملیات اختلاط، از هر یک از طرح های اختلاط آزمایش اسلامپ مطابق با استاندارد ۲-۳۲۰۳ [۳۴]، گرفته شده و در طرح هایی که اسلامپ پایینی داشته اند از ابر روان کننده استفاده شده است. جدول ۳ جزئیات طرح های اختلاط و مشخصات بتن تازه را نشان می دهد.

۵- ارائه نتایج آزمایش

نمونه های مورد آزمایش این تحقیق از نوع استوانه ای با ابعاد 100×200 میلی متر ساخته شدند. سن بتن ها برای آزمایش مقاومت فشاری و کششی ۷، ۲۸ و ۵۶ روز انتخاب شده است. همچنین نتایج آزمایش های مقاومت ویژه الکتریکی (۷، ۲۸ و ۵۶ روز) و نفوذ تسریع شده یون کلراید (۲۸ و ۵۶ روز) بتن مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۱- نمودار دانه بندی ریزدانه و درشت دانه

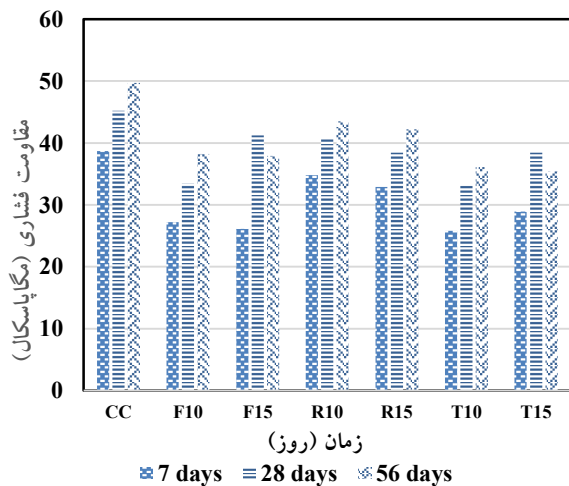
۴- طرح اختلاط

طرح اختلاط های بتن مورد آزمایش در این تحقیق مطابق آئین نامه

۱-۵- مقاومت فشاری

سیلیس با کاهش ۴ درصدی در سن ۷ روزه و به ترتیب افزایش ۱۳،۵ و ۷ درصدی مقاومت در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه نسبت به بتن معمولی، بهترین مقاومت را به ثبت رسانده است.

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی سنگ‌دانه بازیافتی آسفالت نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرده که این کاهش مقاومت فشاری به دلیل وجود لایه نازک قیر در اطراف سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی می‌باشد که مانع چسبندگی مناسب بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی و در نتیجه باعث ضعیف شدن ناحیه‌ی انتقالی می‌شود. شکل ۴ نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بازیافتی را با بتن شاهد مقایسه می‌کند.



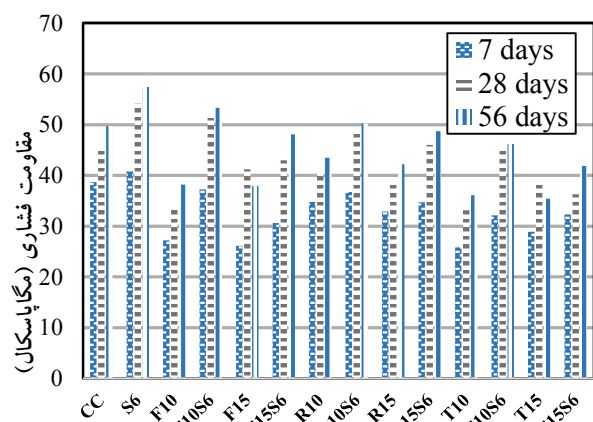
شکل ۴- تأثیر آسفالت بازیافتی بر مقاومت فشاری بتن

در شکل ۴ نتایج مقاومت فشاری مخلوط‌های بتن حاوی سنگ‌دانه بازیافتی آسفالت بدون دوده سیلیس با بتن شاهد SOR0 مورد بررسی قرار گرفته است، همانطور که در شکل مشاهده می‌شود بتن‌های حاوی سنگ‌دانه بازیافتی درشت‌دانه، کاهش مقاومت کمتری را نسبت به بتن شاهد به دنبال داشته‌اند، بتن SOR10 در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه دارای ۱۰ درصد کاهش مقاومت نسبت به بتن شاهد، و بتن SOR15 دارای ۱۵ درصد کاهش مقاومت، در تمامی سنین می‌باشد. نتایج به دست آمده آزمایش‌های این بخش، نتایج مطالعات گذشته [۱۴، ۱۲، ۴، ۵ و ۱۵] را تأیید می‌کند.

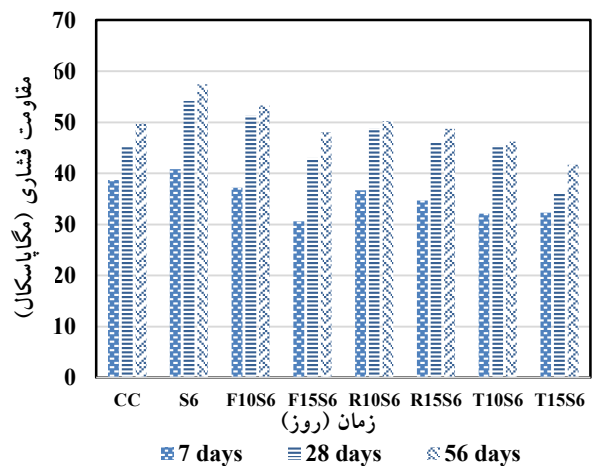
۲-۵- مقاومت کششی

در شکل ۵، نتایج آزمایش مقاومت کششی براساس استاندارد

جهت انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری از استاندارد ASTM C39-11 [۳۵] استفاده شده است. شکل ۲، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن مورد بررسی در تحقیق حاضر را برای سنین مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مربوط به این شکل، مقاومت فشاری بتن‌های دارای سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی در مقایسه با بتن مرجع در تمامی سنین کاهش دارد. البته با افزایش سن، مقدار این کاهش مقاومت تا حدودی کمتر می‌شود. نمونه‌های حاوی دوده سیلیس تا حدودی کاهش مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی را جبران کرده‌اند.



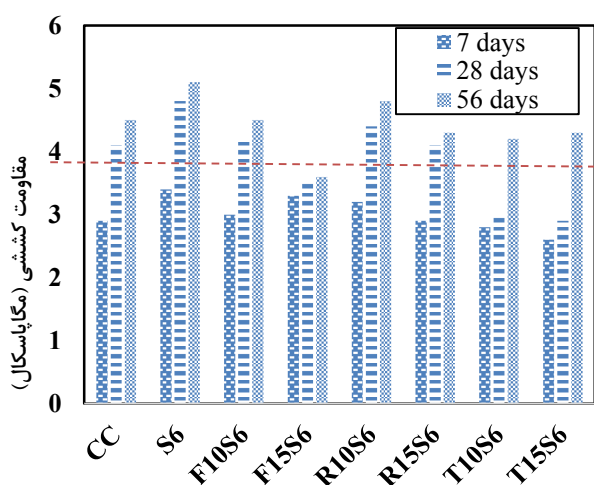
شکل ۲- مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف



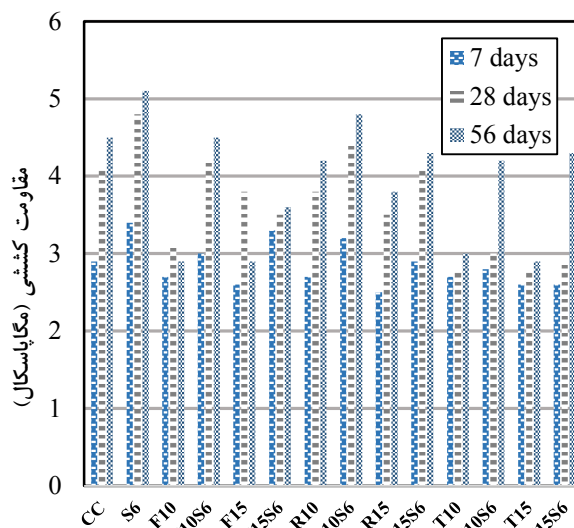
شکل ۳- تأثیر دوده سیلیس بر مقاومت فشاری بتن

همچنین شکل ۳ نتایج حاصل از افزودن ۶ درصد دوده سیلیس را هم نشان می‌دهد که موجب بهبود مقاومت نمونه‌های حاوی آسفالتی شده است. در بین نمونه‌های بازیافتی به همراه دوده سیلیسی، نمونه با ۱۰ درصد ریزدانه بازیافتی و ۶ درصد دوده

فاز ریز دانه بتن های F10 و F15 در سنین ۲۸ و ۵۶ روز نسبت به بتن مرجع، به ترتیب ۲۴، ۳۶، ۷، ۳۶ درصد کاهش داشته اند. و در فاز ترکیب درشت دانه و ریزدانه بتن های T10 و T15 در سنین ۲۸ و ۵۶ روز نسبت به بتن مرجع، به ترتیب ۳۲، ۳۳، ۳۲، ۳۶ درصد کاهش را نشان می دهند. با توجه به نتایج به دست آمده، فاز درشت دانه در مقایسه با فاز ریزدانه و فاز ترکیبی مقاومت مطلوبتری را کسب نموده است. با بررسی آزمایش های این بخش با مطالعات گذشته [۴، ۵، ۱۲، ۱۴ و ۱۵] نتایج مقاومت کششی آزمایش ها با نتایج مطالعات گذشته مطابقت دارد.

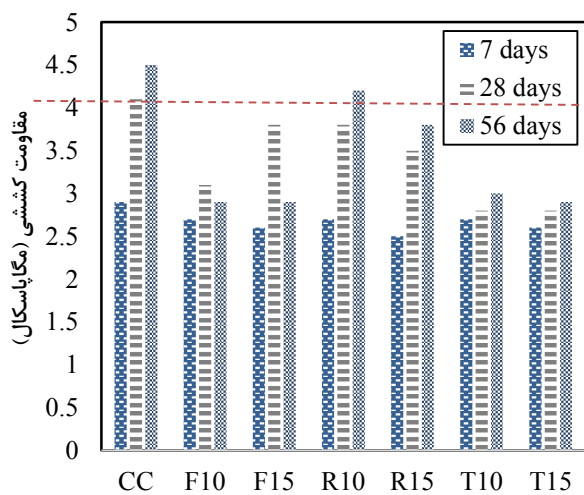


ASTM C496-11 [۳۶] بر روی ۱۴ نمونه مختلف در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روز نشان داده شده است. شکل ۵، نشان می دهد که با افزایش سن بتن، نمونه S6 در مقایسه با نمونه شاهد رشد مقاومت کششی بیشتری را از خود نشان می دهد. بطوری که در سن ۲۸ روز اختلاف مقاومت کششی بین دو نمونه به بیش از ۵۸ درصد رسیده است.



شکل ۵- مقاومت کششی طرح های اختلاط مختلف

شکل ۶- مقاومت کششی طرح های دارای دوده سیلیس



شکل ۷- مقاومت کششی طرح های حاوی دوده سیلیس

در شکل ۶، برای فاز درشت دانه بازیافتی همراه با دوده سیلیس، بتن R10S6 نیز که حاوی ترکیب ۶ درصد دوده سیلیس و ۱۰ درصد مصالح بازیافتی درشت دانه آسفالتی است، در مقایسه با بتن شاهد، ۷ درصد افزایش مقاومت کششی را در پی داشته است اما بتن R15S6 مقاومتی مشابه با بتن مرجع را کسب نموده است. همچنین در فاز ریزدانه بتن F10S6 که حاوی ترکیب ۶ درصد دوده سیلیس و ۱۰ درصد سنگ دانه آسفالت بازیافتی است، در مقایسه با بتن مرجع مقاومت کششی یکسانی داشته است. اما در فاز ترکیب ریزدانه و درشت دانه نمونه T10S6 و نمونه T15S6 در سن ۲۸ روز به ترتیب ۲۷ و ۳۰ درصد کاهش مقاومت کششی نسبت به بتن معمولی داشته است. شکل ۷، نتایج مقاومت کششی طرح های بازیافتی بدون دوده سیلیس را نشان می دهد. در فاز درشت دانه بازیافتی نمونه بتن R10 در تمامی سنین، ۷ درصد کاهش مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد را نشان می دهد و نمونه R15 در مقایسه با نمونه شاهد در سنین ۲۸ و ۵۶ روز به ترتیب، ۱۵ و ۱۶ درصد کاهش مقاومت داشته است. همچنین در

۵-۲-۱- مقایسه مقاومت کششی بتن های مورد آزمایش

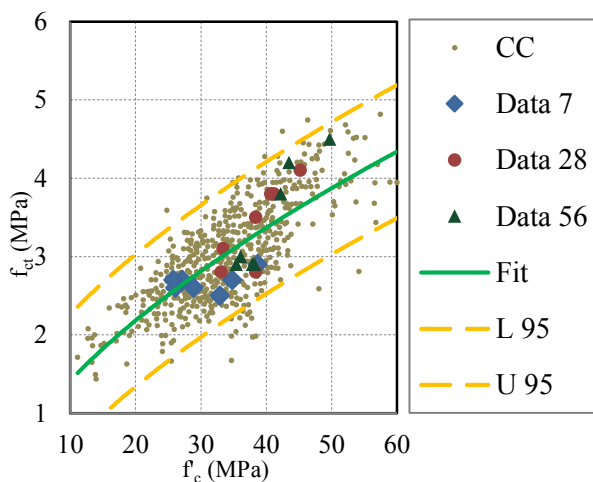
با روابط آئین نامه های معتبر

در ادامه، نتایج حاصل از آزمایش های تحقیق حاضر با مقادیر

۵-۲-۲- مقایسه مقاومت کششی با بانک داده‌های مطالعات گذشته

شکل‌های ۹ و ۱۰ نتایج حاصل از آزمایش‌های مقاومت کششی بتن با آسفالت بازیافتی را با انبوه داده‌های مطالعات گذشته بتن معمولی [۴۱] مقایسه می‌کند. با تحلیل‌های آماری (رگرسیون غیرخطی) و با استفاده از نرم افزار Minitab17.1.0 [۴۲] بر روی این داده‌ها منحنی‌های کران پایین و بالای ۹۵ درصد ترسیم شده است. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که ۱۰۰٪ داده‌های مقاومت کششی بتن بازیافتی، در این محدوده ۹۵٪ داده‌های بتن معمولی قرار دارد.

نتایج مقاومت کششی بتن‌های فاقد دوده سیلیس در محدوده ۹۵ درصد و اطراف خط بهینه قرار دارد ولی تعداد محدودی از نتایج حاصل از بتن‌های حاوی دوده سیلیس بالاتر از کران محدوده ۹۵ درصد قرار دارد. این بدان معناست که مقاومت کششی بتن‌های حاوی دوده سیلیس (حتی با سنگ‌دانه بازیافتی) بیشتر از بتن معمولی می‌باشد.



شکل ۹- مقایسه نتایج طرح‌های بدون دوده سیلیس با خط بهینه داده‌های آزمایشگاهی بتن معمولی [۴۱]

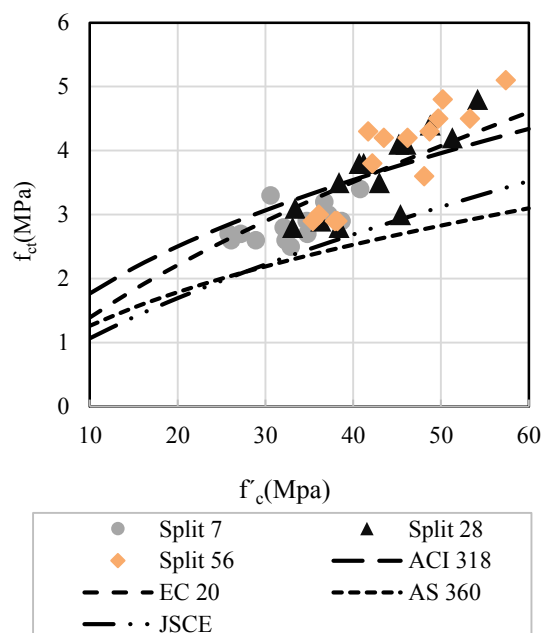
۶- دوام

با توجه به اینکه فرایند خوردگی میلگرد فولادی در بتن یک فرایند الکتروشیمیایی می‌باشد، لذا مقاومت ویژه الکتریکی و نفوذ یون کلر بتن نقش قابل توجهی در میزان خوردگی دارد و می‌توان انتظار داشت که بتن‌های با مقاومت ویژه الکتریکی بالاتر و نفوذ یون کلراید کمتر، عملکرد بهتری در خصوص کاهش میزان خوردگی میلگردهای فولادی از خودشان نشان دهند.

محاسبه شده مقاومت کششی حاصل از آیین‌نامه‌های مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در جدول ۴، آئین‌نامه‌های مورد بررسی به همراه روابط مورد استفاده در این آیین‌نامه‌ها جهت تعیین مقاومت کششی ارائه شده است. در این جدول f'_c مقاومت فشاری و f_{ct} مقاومت کششی بتن می‌باشد. در نهایت نتایج حاصل از مقایسه انجام شده برای نمونه‌های بتن ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها مشخص می‌شود که تنها نتایج حاصل از آیین‌نامه استرالیا و ژاپن برای ۱۰۰ درصد داده‌های آزمایش‌های انجام شده محافظه کارانه است و بعد از آن آیین‌نامه اروپا برای حدود ۵۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی محافظه کارانه می‌باشد. همچنین حدود ۶۰ درصد داده‌ها برای آیین‌نامه آمریکا غیرمحافظه کارانه است.

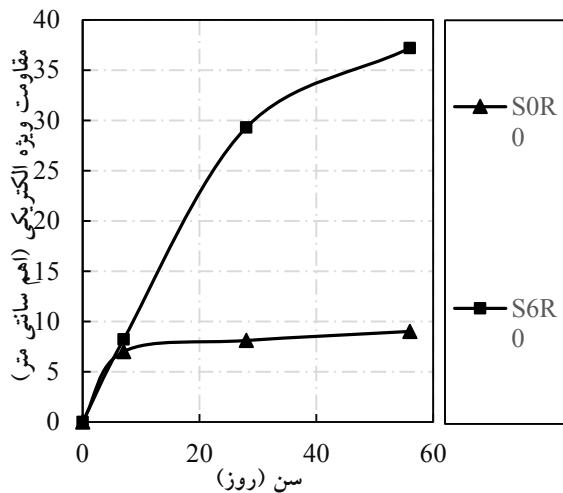
جدول ۴- روابط آیین‌نامه‌های معتبر برای مقاومت کششی

شماره رابطه	آیین‌نامه	رابطه
(۱)	آمریکا (ACI 318) [۳۷]	$f_{ct} = 0.56 (f'_c)^{0.5}$
(۲)	اروپا (EC20) [۳۸]	$f_{ct} = 0.3 (f'_c)^{2/3}$
(۳)	استرالیا (AS360) [۳۹]	$f_{ct} = 0.4 (f'_c)^{0.5}$
(۴)	ژاپن (JSCE) [۴۰]	$f_{ct} = 0.23 (f'_c)^{2/3}$

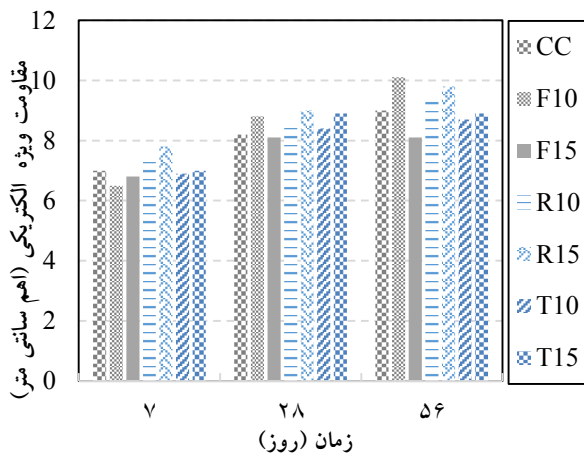


شکل ۸- مقایسه نتایج آزمایش مقاومت کششی با روابط آئین‌نامه‌های بین‌المللی

و ۵۶ به ترتیب ۱/۲، ۳/۶ و ۴/۱ برابر شده است. این افزایش مقاومت ناشی از واکنش دوده سیلیس با کلسیم هیدروکسید موجود در ناحیه انتقال و تولید کلسیم سیلیکات هیدرات می‌باشد. شکل ۱۲ تأثیر دوده سیلیس بر مقاومت الکتریکی بتن را به صورت خطی نشان می‌دهد.

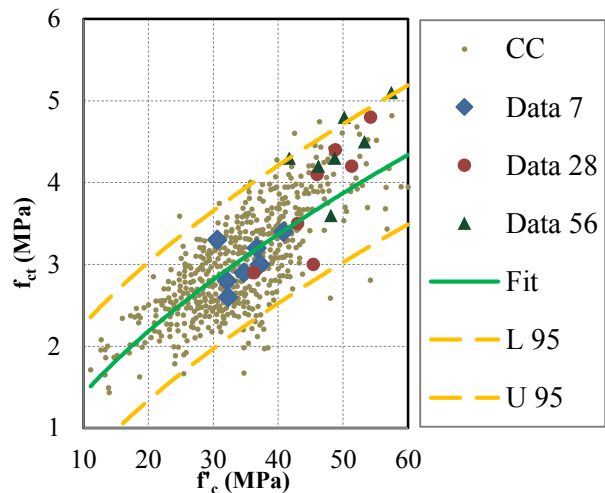


شکل ۱۲- تأثیر دوده سیلیس بر مقاومت الکتریکی بتن

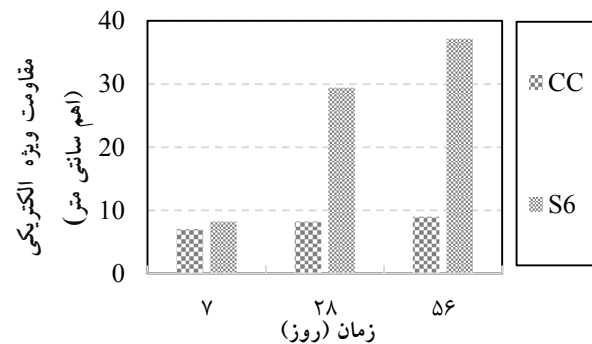


شکل ۱۳- بررسی مقاومت ویژه الکتریکی بتن حاوی سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی

نتایج مربوط به مخلوط‌های حاوی سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی (شکل ۱۳)، نشانگر این است که در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روز، استفاده از ۱۰ و ۱۵ درصد سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی، با افزایش سن و توسعه واکنش‌های شیمیایی، افزایش مقاومت ویژه الکتریکی بتن‌های حاوی سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی را در بر دارد؛ استفاده از این مقدار سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی در فاز درشت‌دانه، رفتار بهتری نسبت به بتن معمولی در مقاومت الکتریکی به همراه دارد.



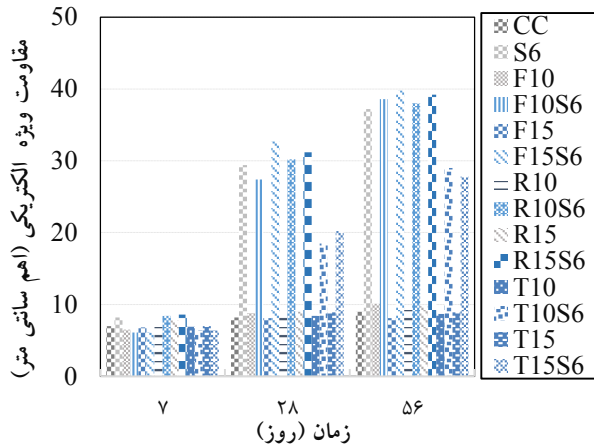
شکل ۱۰- مقایسه نتایج طرح‌های حاوی دوده سیلیس با خط بهینه داده‌های آزمایشگاهی مختلف



شکل ۱۱- بررسی مقاومت ویژه الکتریکی بتن حاوی ۶٪ دوده سیلیس

۱-۶- آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی بتن

در این تحقیق آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی بر روی نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد ۲۰×۱۰ میلی‌متر و در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روز بر اساس استاندارد AASHTO T358-15 [۴۳] انجام شده است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، به ترتیب تأثیر کاربرد دوده سیلیس و سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی بر مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط‌های بتن نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در تمامی سنین، استفاده از دوده سیلیس باعث افزایش مقاومت ویژه الکتریکی بتن گردیده است. همچنین با افزایش سن و توسعه واکنش‌های شیمیایی، نسبت مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط‌های بتن حاوی دوده سیلیس به مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط شاهد (CC) افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است. بطوریکه مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط بتن S6 نسبت به بتن شاهد، در سنین ۷، ۲۸



شکل ۱۵- نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی بتن



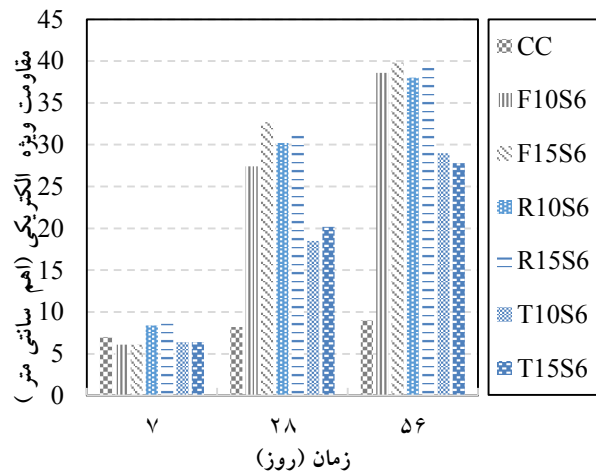
شکل ۱۶- دستگاه اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی

شایان ذکر است که در سنین ۲۸ و ۵۶ روز بتن حاوی ۱۰٪ سنگدانه آسفالت بازیافتی ریزدانه عملکرد قابل توجهی در مقایسه با بتن شاهد (CC)، به لحاظ افزایش مقاومت ویژه الکتریکی داشته است. بتن F10 در سن ۲۸ و ۵۶ روز در مقایسه با بتن CC، به ترتیب ۹ و ۱۲ درصد افزایش مقاومت ویژه الکتریکی داشته است. و در بخش درشت دانه بتن R15 در سن ۲۸ و ۵۶ روز در مقایسه با بتن CC، ۹ درصد افزایش مقاومت ویژه الکتریکی داشته است. شکل ۳، اثر توام دوده سیلیس و سنگدانه آسفالت بازیافتی بر مقاومت ویژه الکتریکی بتن در سنین مختلف را نشان می دهد. با توجه به شکل ۱۴، مشخص است که برای بتن حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد سنگدانه آسفالت بازیافتی جایگزین سنگدانه و ۶ درصد دوده سیلیس جایگزین سیمان، مقاومت ویژه الکتریکی نسبت به نمونه شاهد از هفته چهارم عمل آوری افزایش قابل توجهی می یابد. شکل ۱۴ به وضوح نشان می دهد که بتن های F15S6 و R15S6، بعد از ۷ روز بهترین عملکرد مقاومت ویژه الکتریکی را نسبت به دیگر بتن ها داشته است. همانطور که در شکل ۱۵ مشخص است بتن های حاوی سنگدانه آسفالت بازیافتی در فاز ریزدانه و درشت دانه نسبت به فاز ترکیبی عملکرد بهتری از خود نشان داده اند.

۶-۲- آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید (RCMT)

یکی از رایج ترین عامل تخریب سازه های بتنی، خوردگی فولاد موجود در بتن، ناشی از نفوذ یون کلر می باشد. نفوذپذیری کلراید در بتن به عنوان یکی از ویژگی هایی است که باید به صورت مستقل مورد ارزیابی قرار گیرد، به ویژه در طراحی و ساخت سازه هایی که در یک محیط نمکی ساخته می شوند [۴۴]. قابلیت نفوذ کلراید با استفاده از آزمایش RCMT انجام می گیرد، که امکان ارزیابی دقیق نفوذپذیری را فراهم می نماید [۴۵]. در آزمایش RCMT که طبق استاندارد AASHTO TP 64-03 [۴۶] و NT-BUILD492 [۴۷] 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.

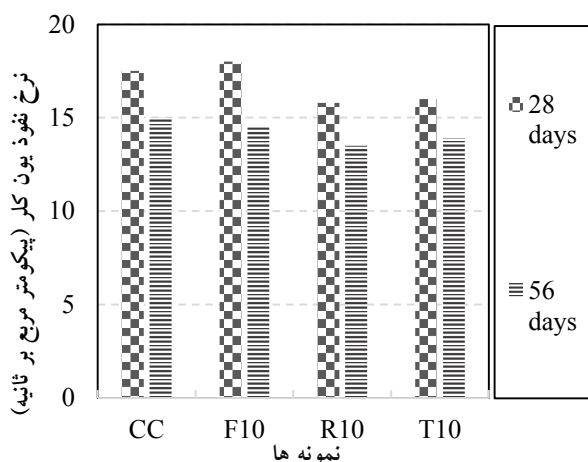
نتایج آزمایش RCMT مخلوط های بتن، در سن ۲۸ و ۵۶ روز در شکل ۱۷ ارائه شده است.



شکل ۱۴- بررسی اثر توام دوده سیلیس و سنگدانه آسفالت بازیافتی بر مقاومت ویژه الکتریکی بتن

مطالعه نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی این بخش و مقایسه آن با نتایج مطالعات گذشته [۲۳] داده های انجام این آزمایش ها را تأیید می کند. دستگاه اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

کاهش نرخ نفوذ یون کلر را به همراه داشته است. روند کاهش نفوذ یون کلر در فاز جایگزینی درشت دانه آسفالت بازیافتی بیشتر است. به طوری که در سنین ۲۸ و ۵۶ روز نمونه R10 و R15 به ترتیب ۱۲ و ۷ درصد کاهش نرخ نفوذ نسبت به بتن معمولی داشته اند. نتایج نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش های انجام شده، نتایج مطالعات گذشته [۱۹-۲۲] را تأیید می کند.



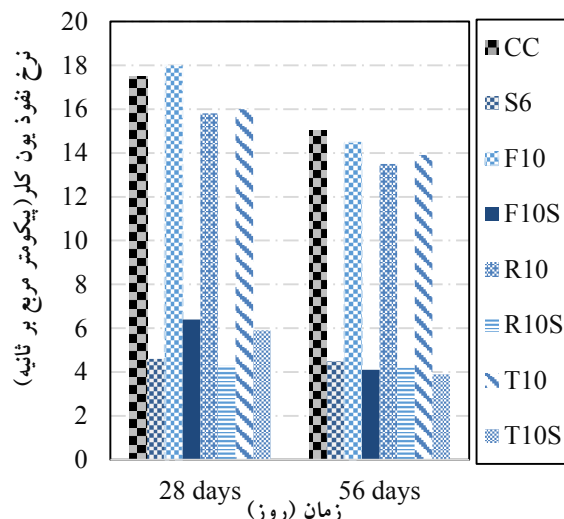
شکل ۱۹- بررسی تأثیر سنگ دانه آسفالت بازیافتی بر نرخ نفوذ یون کلر



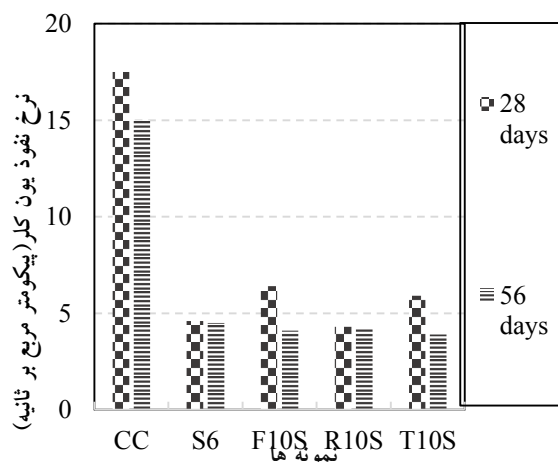
شکل ۲۰- اندازه گیری عمق نفوذ کلر

۳-۶- بررسی رابطه نتایج مقاومت ویژه الکتریکی و نتایج نفوذ یون کلر (RCMT)

همانطور که در نتایج آزمایش های مقاومت ویژه الکتریکی و نفوذ یون کلر پدیداست، نمونه هایی که مقاومت ویژه الکتریکی بالاتری داشتند، میزان نفوذ یون کلر در آنها کمتر بوده است. با افزایش مقاومت ویژه الکتریکی، نفوذ یون کلر کاهش یافته است. این نتایج همخوانی آزمایش مقاومت الکتریکی و نفوذ یون کلر را تأیید می کند. با توجه به نتایج و نمودارهایی که در بخش های قبلی ارائه شد، بیشترین مقاومت الکتریکی و کمترین مقدار نفوذ یون کلر مربوط به نمونه های حاوی دوده سیلیس می باشد.



شکل ۱۷- نتایج آزمایش نرخ نفوذ یون کلر در سنین ۲۸ و ۵۶ روز جهت امکان بررسی بهتر تأثیر کاربرد دوده سیلیس بر روی ضریب نفوذ یون کلر در بتن، نتایج آزمایش RCMT به صورت نمودار در شکل ۱۸ ارائه شده است. در شکل ۱۷ مشخص است، با کاربرد دوده سیلیس در بتن، میزان نرخ نفوذ یون کلر در بتن، در تمام سنین نسبت به مخلوط های شاهد به شدت کاهش می یابد. بطوریکه نرخ نفوذ یون کلر در بتن مخلوط S6 در سنین ۲۸ و ۵۶ روز، نسبت به بتن شاهد CC به ترتیب ۷۴ و ۷۰ درصد کاهش یافته است. بیشترین نرخ کاهش نسبت به بتن بازیافتی مربوط به بتن R10S6 با ۷۶ درصد است.



شکل ۱۸- بررسی تأثیر دوده سیلیس بر نرخ نفوذ یون کلر نتایج تأثیر سنگ دانه آسفالت بازیافتی بر نفوذ یون کلر، و مقایسه آن با بتن شاهد CC در شکل ۱۹ ارائه شده است. با توجه به نتایج نمودار، افزودن ۱۰٪ سنگ دانه آسفالت بازیافتی به مخلوط بتن،

۷- نتیجه گیری

سیلیس به این نمونه ها به ترتیب باعث افزایش ۳ درصد و کاهش ۱۵ درصد شده است.

- روابط مقاومت کششی آیین نامه های آمریکا، اروپا به ترتیب برای ۴۰ و ۵۰ درصد داده های بتن بازیافتی و آیین نامه ژاپن و استرالیا برای ۱۰۰ درصد داده ها محافظه کارانه می باشند.

- بررسی های آماری نشان می دهد که ۱۰۰٪ داده های مقاومت کششی بتن بازیافتی، در محدوده ۹۵٪ داده های بتن معمولی قرار دارد. ولی تعداد محدودی از نتایج حاصل از بتن های حاوی دوده سیلیس بالاتر از کران محدوده ۹۵ درصد قرار دارد.

- دوده سیلیس در بتن، تا ۴ برابر مقاومت ویژه الکتریکی نسبت به بتن معمولی را افزایش داده است.

- بیشترین افزایش مقاومت الکتریکی نمونه های بازیافتی فاقد دوده سیلیس مربوط به بتن با ۱۰ درصد آسفالت بازیافتی ریزدانه می باشد. که این افزایش شامل ۱۲ درصد در سن ۵۶ روز می باشد.

- دوده سیلیس به تنهایی در نمونه های بتنی، به ترتیب کاهش ۷۴ و ۷۰ درصدی نفوذ یون کلر نسبت به بتن معمولی را در سن ۲۸ و ۵۶ روز در بردارد.

- در نمونه های بتن با آسفالت بازیافتی در فاز جایگزینی درشت دانه به طور میانگین حدود ۱۰ درصد کاهش نفوذ یون کلر نسبت به بتن معمولی را شاهد بوده ایم. شایان ذکر است که فاز درشت دانه نسبت به دو فاز جایگزینی ریزدانه و ترکیبی عملکرد بهتری داشته است.

۸- مراجع

[1] دفتر مقررات ملی ساختمان؛ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه)، نشر توسعه ایران، تهران، ویراست چهارم، ۱۳۹۲

[2] Okafor, F. O. (2010). Performance of recycled asphalt pavement as coarse aggregate in concrete. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 17(9), 47-58.

[3] دکتر غلامرضا سبزی قبایی "بازیافت شیشه و اثرات زیست محیطی بازیافت" دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، ۱۳۸۸

[4] Erdem, S., & Blankson, M. A. (2014). Environmental performance and mechanical analysis of concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) and waste precast concrete as

در تحقیق حاضر، دوام بتن شامل مقاومت الکتریکی ویژه، نفوذ یون کلر (RCMT) و خصوصیات مکانیکی شامل مقاومت فشاری و کششی نمونه های بتن حاوی دوده سیلیس و آسفالت بازیافتی بر روی ۱۵۰ نمونه مختلف بتن مورد بررسی قرار گرفته است و در ادامه به مهم ترین نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر اشاره می شود.

- افزودن دوده سیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری و کششی نسبت به بتن معمولی به ترتیب تا ۱۷ و ۲۳ درصد شده است. - جایگزینی درشت دانه آسفالت بازیافتی به بتن برای ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزین سنگ دانه به ترتیب ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی در سن ۲۸ روز را به دنبال داشته است؛ افزودن دوده سیلیس به این نمونه ها این کاهش مقاومت را جبران و به ترتیب باعث افزایش ۸ و ۲ درصدی مقاومت بتن در سن ۲۸ روز شده است.

- جایگزینی ریزدانه آسفالت بازیافتی با سنگ دانه بتن برای درصد های ۱۰ و ۱۵ به ترتیب ۲۶ و ۹ درصد کاهش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی به همراه دارد؛ افزودن دوده سیلیس به این نمونه ها در نمونه حاوی ۱۰ درصد ریزدانه بازیافتی و ۶ درصد دوده سیلیس باعث افزایش ۱۴ درصدی مقاومت و در بتن حاوی ۱۵ درصد ریزدانه بازیافتی و ۶ درصد دوده سیلیس درصد کاهش را به حدود ۵ درصد رسانده است.

- جایگزینی ترکیب ریزدانه و درشت دانه آسفالت بازیافتی با سنگ دانه بتن برای درصد های ۱۰ و ۱۵ به ترتیب ۲۷ و ۱۵ درصد کاهش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی به همراه دارد؛ افزودن دوده سیلیس به این نمونه ها تا حدودی این کاهش مقاومت را جبران نموده است.

- مقاومت کششی بتن با جایگزینی درشت دانه بازیافتی برای درصد های جایگزینی ۱۰ و ۱۵ درصد به ترتیب ۷ و ۱۵ درصد کاهش در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی را به همراه داشته است.؛ افزودن دوده سیلیس به این نمونه ها درصد کاهش را جبران و باعث افزایش مقاومت تا ۷ درصد شده است.

- مقاومت کششی بتن با ریزدانه بازیافتی آسفالت برای درصد های جایگزینی ۱۰ و ۱۵ درصد به ترتیب ۲۴ و ۷ درصد کاهش در سن ۲۸ روز نسبت به بتن معمولی را به همراه داشته است.؛ افزودن دوده

- HIS BRE Press, Garston, UK, 5(9), pp 2060-2071.
- [19] Valipour, M., Pargar, F., Shekarchi, M., & Khani, S. (2013). Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study. *Construction and Building Materials*, 41, 879-888.
- [20] 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, 175-184.
- [21] Gupta, T., Chaudhary, S., & Sharma, R. K. (2016). Mechanical and durability properties of waste tire fiber concrete with and without silica fume. *Journal of Cleaner Production*, 112, 702-711
- [22] Norouzfard, M., Madani, H. (2018). THE PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING TERNARY CEMENT OF HIGH VOLUME TUFF AND SILICA FUME. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 34.2(2.1), 87-98.
- [23] Ghalehnavi, M., Khodabakhshian, A., Asadi Shamsabadi, E. (2018). The effect of waste marble powder and silica fume as a partial replacement of cement on concrete durability. *Concrete Research*, 11(2), 35-50.
- [24] Soltani, A., Tarighat, A., & Byezi, M. (2019). Pozzolanic Effects of Meta-Halloysite and Micro-Silica on Mechanical Strength and Durability of Concrete. *Journal of Civil Engineering*, 31(3).
- [25] ASTM C150-11, "Standard Specification for Portland Cement", 2011.
- [26] ASTM C1240-11, "Standard Specification for Use of Silica Fume for Use as a Mineral Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar, and Grout", 2011.
- [27] ASTM C29/C29M/17, 2011, Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [28] استاندارد ملی ۴۹۷۷ ایران، دانه بندی سنگدانه‌های ریز و درشت، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، تجدید نظر اول، ۱۳۹۳
- [29] استاندارد ملی ۴۹۸۲ ایران، تعیین چگالی و جذب آب سنگدانه درشت، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، تجدید نظر دوم، ۱۳۹۶
- [30] استاندارد ملی ۱۴۷۴۸ ایران، آب اختلاط بتن، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۹۰
- [31] استاندارد ملی ۲۹۳۰ ایران، الزامات افزودنی‌های بتن، موسسه aggregate. *Journal of hazardous materials*, 264, 403-410.
- [5] Hossiney, N., Tia, M., & Bergin, M. J. (2010). Concrete containing RAP for use in concrete pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 3(5), 251-258.
- [6] Li, G., Zhao, Y., Pang, S. S., & Huang, W. (1998). Experimental study of cement-asphalt emulsion composite. *Cement and Concrete Research*, 28(5), 635-641.
- [7] Huang, B., Shu, X., & Li, G. (2005). Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements. *Cement and Concrete Research*, 35(10), 2008-2013.
- [8] Solanki, P., & Dash, B. (2015). Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavement and class C fly ash. In *World of Coal Ash (WOCA) Conference in Nashville*.
- [9] European Asphalt Pavement Association rue du Commerce 77, 1040 Brussels, Belgium, www.eapa.prg.info@eapa.org. June 2014.
- [10] Tabaković, A., Gibney, A., McNally, C., & Gilchrist, M. D. (2010). Influence of recycled asphalt pavement on fatigue performance of asphalt concrete base courses. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(6), 643-650.
- [11] Mills-Beale, J., & You, Z. (2010). The mechanical properties of asphalt mixtures with recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 24(3), 230-235.
- [12] Savas Apurva A. Fursule, Prof. V.S. Shingade, (2017), "Experimental Study of Mechanical Properties of concrete Using Recycled Aggregate With Nano Silica," *International Research Journal of Engineering and technology*, 4(8), pp 950-953.
- [13] Bhandari, P. S., & Tajne, K. M. (2013). Use of waste glass in cement mortar. *International journal of civil and structural engineering*, 3(4), 704.
- [14] Park, S. B., Lee, B. C., & Kim, J. H. (2004). Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. *Cement and concrete research*, 34(12), 2181-2189.
- [15] Patil, H. S., Dwivedi, A. K., & Chatterjee, A. M. (2017). Optimize Properties of Concrete with Silica Fume. *MAYFEB Journal of Materials Science*, 2.
- [16] Biswal, K. C., & Sadangi, S. C. (2011). Effect of superplasticizer and silica fume on properties of concrete.
- [17] Gesoglu, M., Güneyisi, E., Asaad, D. S., & Muhyaddin, G. F. (2016). Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica. *Construction and Building Materials*, 102, 706-713.
- [18] A, Dunster, (2009), "Silica Fume in Concrete,"

- استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۹۲
- [32] ACI Committee 211, (1991), Guide for selecting proportions for high-strength concrete with Portland cement and fly ash. ACI226.4R, ACI Materials Journal..
- [۳۳] استاندارد ملی ۴۹۸۳ ایران، سنگ‌دانه‌ها، مقدار کل رطوبت قابل تبخیر، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، تجدید نظر اول، ۱۳۹۳
- [۳۴] استاندارد ملی ۳۲۰۳-۲ ایران، تعیین اسلامپ بتن تازه، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، تجدید نظر دوم، ۱۳۸۶
- [35] ASTM C39-11, "Standard Specification for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", 2011.
- [36] ASTM C496-11, "Standard Specification for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", 2011.
- [37] ACI 318 Committee 363, "State of the art report on high-strength concrete", ACI363-R, Farmington Hills (Michigan), American Concrete Institute, 1992.
- [38] CSN, E. (2014). 206 Concrete–Specification, performance, production and conformity.
- [39] AS 3600-2009, "Concrete structures, standard by Standards Australia", 2009.
- [40] JSCE Guidelines for Concrete, "Standard Specifications for concrete structures", No 16, Japan Society of Civil Engineers, 2007.
- [41] Takafumi N. 2007. Database for Mechanical Properties of Concrete, <http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/researches/detail/concreteDB/index.html>.
- [42] Minitab 17 Statistical Software [Computer software]. Incorporation, Minitab
- [43] AASHTO T358-15, "Standard method of test for surface resistivity Indication of concretes Ability to resist chloride Ion penetration", AASHTO 2006.
- [44] Neville, A. (1995). Chloride attack of reinforced concrete: an overview. Materials and Structures, 28(2), 63.
- [45] Gailius, A., Vacenovská, B., & Drochytka, R. (2010). Hazardous wastes recycling by solidification/stabilization method. Materials Science, 16(2), 165-169.
- [46] AASHTO TP 64-03, "Standard Method of Test for predicting chloride penetration of hydraulic cement concrete by the rapid migration procedure." AASHTO, 2006.
- [47] NT BUILD 492, "Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-State Migration Experiment," NTBULD, 1999.

Investigation of Mechanical and durability properties of concrete containing recycled asphalt (fine and coarse-grained) with silica fume

Marzieh Soltani *

D Graduated from structural civil Engineering from Shahab Danesh University.

Masoud Saadatkhoosh

Graduated from structural civil Engineering from Shahab Danesh University.

Javad Bakhshi

Graduated from structural civil Engineering from Shahab Danesh University.

Mehdi Arezoumandi

Dept.civil Eng-Ingram of engineering-texas state University Sanmarcos TXUSA.

Abstract

Recently, there has been an increasing trend toward the use of sustainable materials. Sustainability helps the environment by reducing the consumption of non-renewable natural resources. Concrete – the second most consumed material in the world after water – uses a significant amount of non-renewable resources. As a result, an experimental investigation was conducted to study the mechanical properties and durability of concrete constructed with 10% and 15% recycled asphalt pavement aggregate (RAP) (fine and coarse) as well as 6% silica fume. This experimental program consisted of six mix designs. Results of this study show that the using RAP in the mix designs decreases compressive strengths, splitting tensile strength and durability. To overcome inferior mechanical properties and durability of RAP mixes, silica fume (6%) has been added to the RAP mixes. Results of the mixes including both RAP and silica fume show superior mechanical properties and durability (both electrical resistivity and chloride ion penetration) compared with the conventional concrete.

Keywords: Durability, Recycled Concrete, Silica Fume, Recycled Asphalt.

* Corresponding Author: Marziehsoltani27@yahoo.com

