تحقیقات بتن
سال سیزدهم، شمارهٔ چهارم
زمستان ۹۹
ص ۲۸ – ۱۷
تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۲۶

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ضایعات شیشه، لاستیک و پلاستیک و ترکیب آن‌ها بر روی خواص بتن های بازیافتی و بهینه یابی با روش تحلیل سلسله مراتبی

مهدی بابائی *
عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
ساسان طاهرخانی
کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

در جوامع امروزی که با رشد روزافزون جمعیت شهرنشینی نیز در حال افزایش می باشد، نیازهای گوناگون بشر افزایش میزان تولید ضایعات و زباله را نیز در سرتاسر جهان به همراه دارد که مشکلات فراوانی از جمله به‌وجود آمدن مشکلات زیست محیطی را در بر دارد. از این رو توجه به ضایعات و بازیافت آن‌ها کمک شایانی به حفظ محیط زیست می‌کند. در سالیان گذشته استفاده مجدد از زباله‌ها و پسماند ها بسیار مورد توجه بوده و از مقبولیت فراوانی برخوردار شده است. استفاده از مواد ضایعاتی در بتن از موارد بازیافت این مواد است که طی سال‌های اخیر در این مورد مطالعاتی انجام گرفته است. در این مقاله استفاده مجدد از ضایعات صنعتی از قبیل شیشه، لاستیک و پلاستیک در ساخت بتن با درصد جایگزینی مختلف از این مواد و نیز ترکیب آن‌ها به‌عنوان سنگ‌دانه‌های بتن مورد بررسی قرار گرفته که با هدف ارائه طرح اختلاط بهینه بتن حاوی این مواد ضایعاتی آزمایش‌های متنوعی بر روی این نمونه‌ها انجام گردیده است. با توجه به تعدد معیارها برای انتخاب بهترین نوع مواد بازیافتی، با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اولویت و ارزش نسبی مواد بازیافتی تعیین شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد استفاده از ترکیب شیشه و پلاستیک در طرح اختلاط بتن می‌تواند موجب افزایش مقاومت فشاری بتن و کاهش میزان جذب آب آن گردد.

واژه‌های کلیدی: **بتن بازیافتی، شیشه، لاستیک، پلاستیک، روش تحلیل سلسله مراتبی.**

* نویسنده مسئول: mbabaei@znu.ac.ir

۱- مقدمه

گسترش صنایع و صنعتی شدن جوامع ایجاب می‌کند که برای کاهش مشکلات آینده، تحقیقات جامعی بر روی مصرف ضایعات ساختمانی، صنعتی، معدنی و کشاورزی صورت گیرد. در سال‌های اخیر توجه به مسائل زیست محیطی و رویکرد به تکنولوژی بازیافت زباله ها و مواد زاید و استفاده مجدد از آن‌ها در کشورهای توسعه یافته و صنعتی سرمایه‌گذاری هنگفتی را به خود اختصاص داده است. یکی از روش‌های مصرف مواد ضایعاتی، به‌کارگیری آن‌ها در بتن و سایر مصالح ساختمانی است. با استفاده از برخی مواد ضایعاتی در بتن علاوه بر کاهش آلودگی زیست محیطی بعضاً حتی می‌توان به خواص بهتری در بتن نیز دست یافت.

به‌کار بردن مواد ضایعاتی و بازیافت در بسیاری از کشورهای جهان سوم هنوز در مرحله ابتدایی است و نیازمند تشویق و اجبار از طرف دولت‌هاست. در بعضی مناطق، مواد ضایعاتی را در بیابان‌ها انباشته میکنند که محل سکونت حشرات و حیوانات میشود یا ممکن است مواد ضایعاتی را بسوزانند که دود ناشی از آن محیط زیست را آلوده میکند و حرارت آن پدیده خطرناک گرمتر شدن جهان را تشدید میکند. بنابراین برخی از کشورها، سوزاندن مواد ضایعاتی را ممنوع کردهاند و بازیافت برخی از ضایعات را در صنایع خاصی اجباری نموده اند.

بازیافت برخی مواد ضایعاتی جهت استفاده در بتن، راهکار مناسبی برای نیل به دو هدف دفع مواد زاید و دستیابی به خواص مثبت در بتن میباشد. همچنین با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای مسکن و به تبع آن مصالح ساختمانی، بازیافت ضایعات جهت استفاده در بتن و مصالح ساختمانی گامی موثر در این راستا می باشد. استفاده از برخی مواد ضایعاتی در بتن علاوه بر کاهش مضرات زیست محیطی، باعث صرفه جویی در مصرف مواد اولیه تهیه بتن نیز میگردد. محققان در کشورهای توسعه یافته نظیر ایالات متحده دریافتند که استفاده از «ساخت و ساز سبز» به‌عنوان یک منبع مفید نامشهود و یک تبلیغ مناسب حتی از دیدگاه سیاسی نیز پذیرفته شده است که راهی برای بهبود نقاط ضعف دولت آن‌هاست. به‌عنوان مثال در نیویورک سازندگان ساختمان‌های سبز اجازه حذف مالیات برای گرفتن اجاره بالاتری را دارند. چون این ساختمان‌ها در مقایسه با ساختمان‌های معمولی دارای هزینه نگهداری کمتری هستند بنابرین مستاجران حاضر به پرداخت مبلغ بیشتر اجاره می باشند[۱].

در سال ۲۰۰۵ در ایالات متحده حدود ۱۲٫۸ میلیون تن شیشه ضایعاتی تولید شد که تن‌ها ۲٫۷۵ میلیون تن آن‌ها قابل بازیافت بود [۲]. اما همین مقدار اندک بازیافت نیز تأثیرات بسیار مناسبی بر روی محیط زیست خواهد داشت. به‌طوری‌که هر بطری شیشه‌های می‌تواند تا ۱۵ بار در چرخه بین تولید و مصرف مورد استفاده مجدد قرار گیرد. به ازای هر تن تولید شیشه نو از ماده خام اولیه ۲۷/۸ پوند آلودگی، تولید می‌شود که بازیافت شیشه این مقدار را ۱۴ تا ۲۰٪ و مصرف انرژی را ۲۵ تا ۳۲٪ کاهش می‌دهد و می‌توان به ازای هر تن شیشه بازیافتی ۹ گالن نفت ذخیره کرد. خرده‌های شیشه نیز می‌تواند بنا به اندازه آن‌ها به عنوان جایگزینی برای سنگدانه‌های بتن استفاده شود. خرده شیشه‌ها در بتن می‌توانند واکنش (ASR[1]) بدهند اما استفاده از پودر شیشه باعث کاهش این واکنش می شود.

تحقیقات وسیعی پیرامون خواص این نوع بتن بازیافتی انجام شده است که نشان دادهاند چه تغییری در خواص آن ایجاد می شود. در مقاله ای از تورگات و یاهلی زاده به نقش استفاده از دانه‌های شیشه به جای دانه‌های بتن بر مقاومت فشاری بتن اشاره شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد جایگزینی ۲۰٪ خرده شیشه بجای درشت دانه‌های بتن موجب افزایش بیش از ۲۰٪ مقاومت فشاری بتن می‌گردد [۳]. در تحقیق دیگری که توسط حسن زاده و همکارانش صورت گرفت مشخص شد که جایگزینی ۱۰٪ شیشه-های بازیافتی به‌عنوان جایگزین درشت دانه‌های بتن موجب کاهش ۲۲٪ قدرت جذب آب بتن می‌شود[۴].

حدود ۹۰٪ زباله‌های شناور در سطح اقیانوس ها را زباله‌های پلاستیکی تشکیل می‌دهند. دیده‌بان محیط زیست سازمان ملل متحد تخمین زد که در سال ۲۰۰۶ در هر مایل مربع اقیانوس‌ها ۴۶ هزار قطعه پلاستیکی شناور است که موجب مرگ بیش از یک میلیون پرنده دریایی و بیش از ۱۰۰ هزار پستاندار ساکن اقیانوس‌ها گردیده است[۵]. در سال ۲۰۱۲ در مجموع ۴۵٫۹ میلیون تن

[1] Alkali-Silica Reaction

پلاستیک در اروپا تولید شد که ۲۵,۲ میلیون تن از آن‌ها تبدیل به زباله گردید. از این میزان تن‌ها ۲۶٪ قابلیت بازیافت مکانیکی را داشتند [۶]. اما بازیافت زباله‌های پلاستیکی برای استفاده مجدد از آن‌ها همانند شیشه کار آسانی نبوده و موجب کاهش کیفیت آن می‌گردد که این امر استفاده از آن‌ها را در قالب مواد دیگر توجیه پذیرتر می‌کند.

استفاده از پلاستیک‌های بازیافتی در بتن از موارد بازیافت این مواد و همچنین ساخت بتن‌های بازیافتی است که شبیه برخی از مواد دیگر نظیر شیشه به دو صورت جایگزین سیمان و جایگزین سنگ‌دانه‌ها استفاده می‌شود. در مورد جای‌گزینی به عنوان سیمان به دلیل هزینه بالای جداسازی رزین های دست نخورده موجود در ساختار پلاستیک، استفاده از این مواد در بتن توجیه اقتصادی نداشته و هزینه به مراتب بالاتری نسبت به بتن معمولی دارد. اما در نوع دوم یعنی جایگزینی پلاستیک به جای سنگدانه‌های بتن، هزینه تولید بتن کاهش یافته و توجیه اقتصادی دارد. در تحقیقی که توسط آکااوزوغلو و همکارانش انجام شد، نتیجه آن شد که استفاده از خرده پلاستیک در بتن به عنوان سنگ‌دانه می‌تواند باعث افزایش مقاومت فشاری و مقامت خمشی بتن شود [۷].

در تحقیق دیگری که توسط آلبانو و همکارانش بر روی خواص بتن بازیافتی از ذرات PET[1] انجام گرفت نتیجه حاصل شد که نمونه‌هایی که در آن ۱۰ ٪ از مواد PET جایگزین سنگ‌دانه‌ها شده بودند مدول الاستیسیته بیشتری به‌دست آوردند [۸]. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از این مواد در ترکیب بتن موجب افزایش درصد جذب آب بتن می‌شود. در تحقیقی که توسط اسماعیل و هاشمی انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که چگالی خشک بتن‌های ساخته شده از ذرات PET با افزایش میزان این ذرات شروع به کاهش می‌کند [۹].

تخمین زده می‌شود که ۲۵۹ میلیون تایر هر ساله به دور ریخته می‌شود. با این وجود نصف بیشتر تایرهای فرسوده تن‌ها برای ارزش سوختیشان سوزانده می‌شوند. طبق آمار سالان‌های که آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا منتشر می کند در سال ۲۰۱۳ حدود ۲۴۵ میلیون تن زباله در این کشور تولید می‌شود که ۳۴,۴٪ آن که در حدود ۸۷ میلیون تن می باشد قابل بازیافت است. از این میزان ۱۲,۸٪ را زباله‌های پلاستیکی، ۴,۵٪ را زباله‌های شیشه ای و ۹٪ را زباله‌هایی شامل لاستیک، چرم و منسوجات پارچه ای تشکیل می‌دهند که تقریباً ۶۵ میلیون تن از زباله تولیدی سالانه ایالات متحده را متشکل می‌شوند.

یکی از راه حل‌هایی که برای حل این مشکل پیشنهاد شده است، استفاده از ذرات لاستیک تایر به‌عنوان یک ماده افزودنی در مصالح بر پایه سیمان است. در تحقیقی که توسط کوترش و بلیچ بر روی استفاده از ذرات لاستیک در بتن انجام گرفت، نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که افزودن این ماده موجب کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. در آزمایش آن ها که با جای‌گزینی خرده لاستیک ها به جای درشت دانه‌های مخلوط بتن همراه بود همچنین نشان داده شد که افزایش میزان لاستیک در بتن باعث کاهش بیشتر مقاومت خمشی می‌گردد [۱۰]. در آزمایشی که توسط دیشپند و همکارانش صورت گرفت نشان داده شد که استفاده از ذرات لاستیک بازیافتی با درصد جای‌گزینی کمتر به‌جای سنگ‌دانه‌های بتن موجب افت کمتری در مقاومت فشاری و خمشی بتن می‌شود [۱۱].

در تحقیق سیدیکو و نیک با اندازه‌گیری وزن نمونه‌های ساخته شده از لاستیک های فرسوده نشان داده شد که به‌دلیل کم بودن وزن مخصوص لاستیک، وزن بتن ساخته شده نیز کاهش می‌یابد. هرچند با افزایش میزان لاستیک وزن کمتر می‌شود اما این افزایش موجب افزایش تخلخل و در نتیجه کاهش مقاومت آن می‌گردد [۱۲]. در مقاله‌ای که توسط راغوان و هوین منتشر شد، نشان داده شد که افزودن تکه‌های لاستیک به جای سنگدانه در بتن از شدت ترک‌های انقباضی محدوده پلاستیک می‌کاهد[۱۳]. همچنین آن ها به این نتیجه رسیدند که طول، عرض و عمق ترک‌ها به نوع مصرف لاستیک در بتن بستگی دارد. چرا که استفاده از تکه‌های لاستیک با اندازه بزرگتر و ذرات حدود ۱۱ میلیمتر ترک‌های کمتری در نمونه ایجاد کردند. همچنین این آزمایش نشان داد که افزایش میزان مصرف لاستیک موجب کاهش اندازه ترک ها می‌گردد.

بنابرین باتوجه به آمار و نتایج به‌دست آمده و همچنین اهمیت بازیافت زباله می توان دریافت که استفاده مجدد از برخی مواد در روند تولید مواد دیگر هم موجب کاهش انباشت زباله در جهان

[1] Polyethylene terephthalate

شده و هم موجب جلوگیری از استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی برای بدست آوردن مواد اولیه می گردد. به عنوان مثال برای تولید بتن سالانه میزان قابل توجهی از منابع طبیعی از جمله شن و ماسه رودخانه ای و همچنین سنگ آهک معدنی جهت تولید سیمان از طبیعت استخراج می‌شود که خود موجب اثرات مخرب فراوانی بر روی محیط زیست می‌گردد. در نتیجه جهت جلوگیری از این مشکل باید مواد جایگزینی در ترکیب بتن بکار رود. از سوی دیگر استفاده از مواد ضایعاتی در ترکیب بتن که تا حدودی دارای خواص مشابه بتن می باشند می تواند هم موجب جلوگیری از برداشت بی‌رویه از منابع طبیعی گردد و هم با وارد شدن به چرخه بازیافت از افزایش تولید زباله جلوگیری کند.

در این مقاله سعی بر آن شده که ابتدا با جای‌گزینی مواد ضایعاتی در ترکیب بتن تأثیر آن‌ها در خواص بتن مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس نتایج آن، ترکیبی از این مواد بازیافتی ارائه شود که با جبران خواص نامناسب یکدیگر ترکیب جدیدی از طرح اختلاط بتن برای مصارف مختلف بدست آید. انتخاب نوع مواد بازیافتی با در نظر گرفتن دو فاکتور در دسترس بودن و هزینه بازیافت آن‌ها صورت گرفته و از میان چندین نوع ماده متفاوت سه ماده شیشه بازیافتی، پلاستیک بازیافتی و لاستیک بازیافتی (تایر خودرو) انتخاب گردید.

در بسیاری از پروژه های مهندسی برای تصمیم گیری باید بهترین گزینه با توجه به چند معیار (هدف) انتخاب شود. در اینگونه مسائل، معمولاً بر مبنای هر معیار یکی از گزینه ها بهترین انتخاب می باشد و با توجه به تضاد بین معیارها، هیچ گزینه ای وجود ندارد که از نظر همه معیارها بهترین باشد. یکی از روش‌های معروف و پرکاربرد برای حل مسائل تصمیم گیری چند معیاره روش (AHP[1]) یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. این روش اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی [۱۴] پیشنهاد شد و امروزه در علوم مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. این شیوه ی تصمیم گیری این امکان را فراهم می کند که با وجود معیارها و فاکتورهای متعدد بتوان از بین چندین گزینه یک انتخاب مطلوب داشت.

هرچند تحقیقات محدودی ازکاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در زمینه مهندسی سازه انجام شده است، اما پژوهشگران مختلف قابلیت های این روش را در سایر زمینه ها بررسی کرده اند. بابائی و امین رنجبر [۱۶-۱۵] این روش را برای انتخاب بهترین نوع سقف و بهترین نوع دیوارهای جاکننده غیر باربر توسعه داده اند. بلالی و همکاران [۱۷] برای انتخاب بهترین سیستم سازه ای مناسب از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده اند. در تحقیقی دیگر بلالی و همکارانش [۱۹-۱۸] دو روش AHP و PROMETHEE Family را در انتخاب سیستم سازه ای مناسب مقایسه کرده‌اند.

در این روش فاکتور های اثرگذار در تصمیم گیری به صورت یک درخت تصمیم گیری رسم می‌شود که شامل سه سطح میباشند. در سطح اول این درخت هدف تصمیم گیری جای دارد و سپس در سطح بعدی معیارها و فاکتورهایی قرار میگیرند که بر اساس آن ها گزینه مطلوب انتخاب می‌شود؛ در آخر در سطح سوم گزینه های رقیب قرار دارند که قرار است از بین آن ها بهترین گزینه انتخاب شود.

۲- روش انجام کار

پس از بررسی بر روی مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در این زمینه می‌توان نتیجه گرفت که افزودن مواد ضایعاتی در طرح اختلاط بتن دارای یک مقدار محدودهٔ مشخص می‌باشد که تجاوز از این مقدار نتیجه عکس در پی خواهد داشت. بنابراین باید این محدوده رعایت گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در مواردی که میزان جای‌گزینی مواد ضایعاتی بجای سنگ‌دانه‌ها برابر با ۱۰ درصد وزنی سنگ‌دانه‌ها می‌باشد نتایج مناسبی بدست آمده است. در مواردی که این میزان کمتر بوده نیز نتایج خوبی دیده شده است اما افزایش مقدار آن خلل چندانی در نتیجه آزمایش‌های وارد نمی‌کند.

در این مقاله از آنجایی که هدف کاهش مصرف سنگ‌دانه‌های طبیعی در طرح اختلاط بتن می‌باشد، حداقل میزان جای‌گزینی برای سنگ‌دانه‌ها در آزمایش‌ها ۱۰٪ در نظر گرفته شده است.

همچنین در تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته است مقدار حداکثری برای جای‌گزینی مشخص نشده و حتی تا ۱۰۰ ٪ وزنی سنگدانه‌ها نیز جایگزینی انجام شده است اما نتایج مطلوبت در حدود

[1] Analytical Hierarchy Process

۳۰ ٪ جایگزینی بدست آمده است و مبنای آزمایش‌ها در این طرح نیز همین مقدار حداقل و حداکثر جایگزینی در نظر گرفته شد.

بررسی مطالعاتی که به آنها اشاره شد نشان می‌دهد که استفاده از مواد ضایعاتی به‌عنوان جایگزین برای سنگ‌دانه‌های بتن نتایج به مراتب مطلوب‌تری نسبت به استفاده از این مواد بجای سیمان در بتن را در پی داشته است. از طرف دیگر در بین سنگدانه‌های بتن، استفاده از مواد ضایعاتی بعنوان درشت دانه بتن نتایج مناسب تری را نشان داده است. در این مقاله نیز دانه‌های بازیافتی جایگزین درشت دانه بتن گردیده‌اند.

شیشه‌های بازیافتی استفاده شده در این طرح از نوع شیشه‌های رفلکس با قطر اسمی شش میلیمتری و با ابعاد دانه‌های ۱۰ تا ۱۵ میلیمتر، لاستیک‌های بازیافتی از نوع لاستیک خرد شده خودروهای سبک با اندازه دانه بندی ۱ تا ۲ میلیمتری و پلاستیک‌های بازیافتی از نوع ABS که حاصل از بازیافت قطعات پلاستیکی سخت مانند قاب تلویزیون و کامپیوتر با اندازه دانه بندی ۵ تا ۱۲ میلیمتر انتخاب گردیدند. شکل ۱ مواد ضایعاتی بکار رفته در این طرح را نشان می‌دهد و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

۳- آزمایش‌های اولیه و نتایج

در این بخش تأثیر هر کدام از مواد بازیافتی به‌طور جداگانه بر خواص بتن و مقایسه آن‌ها بررسی شده است. پس از انتخاب نوع و میزان جای‌گزینی دانه‌های بازیافتی در ترکیب بتن آزمایش‌های اولیه با طرح اختلاط‌های به‌دست آمده انجام شد.آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه ، درصد جذب آب بتن و وزن مخصوص بتن بر روی نمونه‌های ساخته شده انجام گرفت.میزان هوای نمونه‌ها نیز با استفاده از آزمایش سنجش هوای بتن تازه به روش فشاری مطابق با استاندارد ASTM C173 انجام گرفت .برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتری ساخته شد و پس از عمل‌آوری زیر دستگاه فشار هیدرولیکی قرار گرفت.این آزمون مطابق استاندارد ASTM C39 انجام شد. طرح اختلاط‌های اولیه در جدول ۲ ارائه شده اند. در این طرح اختلاط‌ها دانه‌های بازیافتی جایگزین معادل ۱۰ ٪ وزنی درشت دانه‌های بتن معمولی در نظر گرفته شده اند. یک نمونه بتن مرجع نیز با عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته شد تا نتایج بدست آمده با آن مقایسه شوند.سیمان مصرفی در این تحقیق از نوع پرتلند تیپ۲ می باشد.

(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۱- مواد بازیافتی مصرفی در ساخت نمونه‌ها: (الف) شیشه بازیافتی (Glass)، (ب) لاستیک بازیافتی (Rubber))، (ج) پلاستیک بازیافتی (ABS)

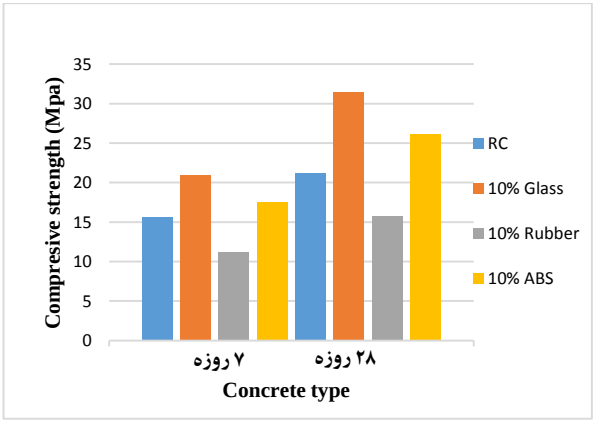
جدول ۱- مشخصات فنی مواد بکار رفته

ماده	سایز (mm)	وزن مخصوص (gr/cm^3)	درصد جذب آب
شیشه بازیافتی	۱۰ – ۱۵	۲,۵	۰
پلاستیک بازیلفتی	۵ – ۱۲	۱,۲	۰,۰۵
لاستیک بازیافتی	۱ – ۲	۰,۸	۰,۱

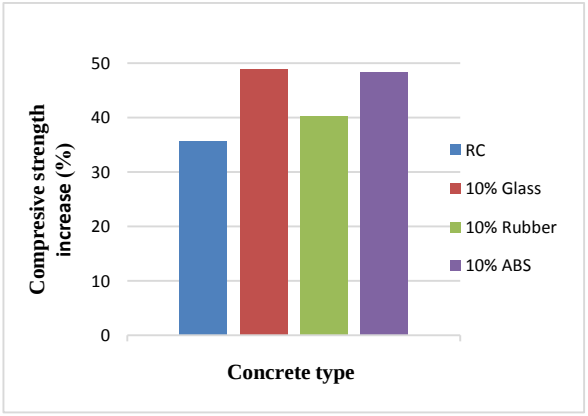
جدول ۲- طرح اختلاط آزمایش‌های اولیه

نمو نه ($1\ m^3$)	سیمان (kg)	آب (kg)	درشت دانه (kg)	ریز دانه (kg)	شیشه بازیافتی (kg)	پلاستیک بازیافتی (kg)	لاستیک بازیافتی (kg)
RC	384	230	912	864	---	---	---
10% Glass	384	230	820.8	864	91.2	---	---
10% Rubber	384	230	820.8	864	---	---	91.2
10% ABS	384	230	820.8	864	---	91.2	---

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه نشان داد که نمونه‌های حاوی شیشه‌های بازیافتی دارای مقاومت فشاری بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها است. همچنین نمونه حاوی لاستیک‌های بازیافتی دارای کمترین میزان مقاومت فشاری در بین نمونه‌های ساخته شده می باشد. نمونه‌های حاوی لاستیک بازیافتی اگرچه دارای مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه مرجع دارد اما درصد رشد مقاومت این نمونه مانند نمونه‌های دیگر، از بتن مرجع بیشتر می باشد. نمودارهای مربوط به مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها و درصد رشد آن‌ها به ترتیب در شکل های ۲ و ۳ ترسیم شده‌اند.



شکل ۲- مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه استوانه ای نمونه‌های اولیه



شکل ۳- میزان افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های اولیه

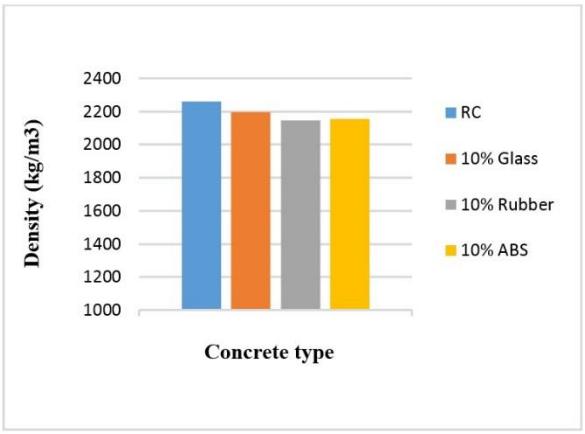
نتایج نشان می‌دهد جای‌گزینی مواد بازیافتی به‌عنوان سنگ‌دانه‌های بتن موجب کاهش وزن مخصوص بتن می‌شود. مطابق با شکل ۴ بتن با دانه‌های لاستیک بازیافتی بدلیل کمتر بودن وزن مخصوص این ماده نسبت به دیگر مواد استفاده شده دارای وزن مخصوص کمتری می باشد. همچنین در بین سه ماده بازیافتی شیشه‌های بازیافتی دارای بیشترین وزن مخصوص می باشند که بتن ساخته شده از آن‌ها نیز سنگین‌تر از دیگر نمونه‌ها است.استاندارد این آزمون مطابق ASTM C138 است. در بحث جذب آب بتن نیز مطابق با شکل ۵ نمونه‌های ساخته شده از شیشه‌های بازیافتی به‌دلیل قدرت کم جذب آب این مواد دارای کمترین میزان جذب آب می‌باشند. همچنین بتن حاوی لاستیک‌های بازیافتی نیز دارای بیشترین قدرت جذب آب می‌باشند. استاندارد این آزمون نیز مطابق استاندارد ASTM C642 می‌باشد.

٤- تعیین بهترین ماده بازیافتی با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی

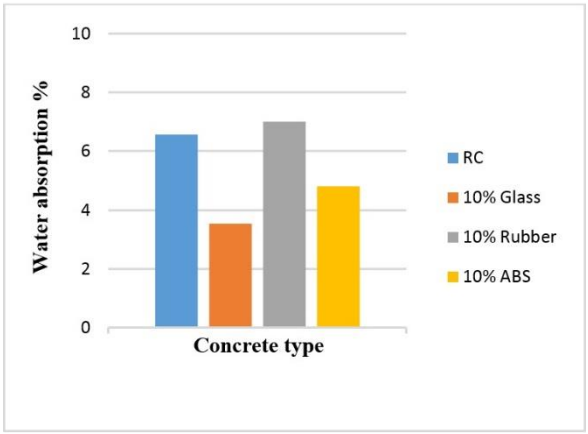
اساس روش تحلیل سلسله مراتبی بر مقایسات زوجی معیارها نسبت به یکدیگر و همچنین مقایسات زوجی گزینه‌ها بر حسب هر کدام از معیارها نهفته است. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌های ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل شود و بهترین گزینه انتخاب شود. اصول مقایسه زوجی به این گونه است که اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر با n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر با 1/n است. همچنین عناصر مقایسه ای باید همگن باشند.

گام اول در این فرایند تعریف مسئله و هدف آن می‌باشد. در این مقاله هدف تعیین بهترین ماده بازیافتی و مناسب ترین ترکیب برای جای‌گزینی در طرح اختلاط بتن است. در گام بعدی معیارها و

گزینه‌ها باید تعریف شده و ساختار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ترسیم شود. با توجه به ماهیت تحقیق حاضر و آزمایش‌های مربوط به بتن، مقاومت فشاری ۷ روزه، مقاومت فشاری ۲۸ روزه، اسلامپ، وزن مخصوص، میزان هوا و جذب آب به‌عنوان معیارهای انتخاب مواد بازیافتی در نظر گرفته شده‌اند. ساختار روش تحلیل سلسله مراتبی مربوطه در شکل ۶ ارائه شده است.

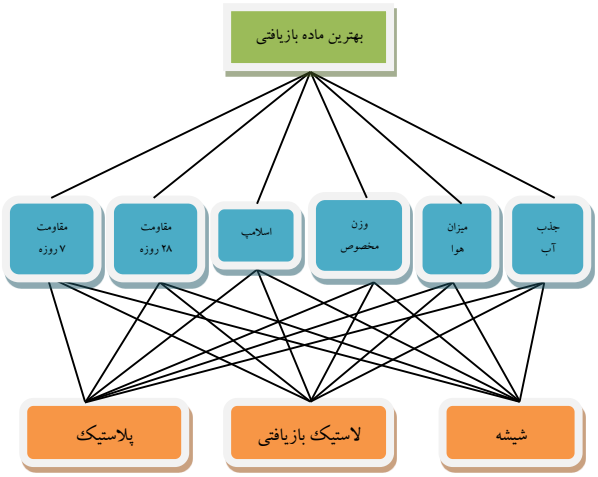


شکل ۴- وزن مخصوص بتن تازه نمونه‌ها



شکل ۵- درصد جذب آب نمونه‌ها

تصمیم‌گیر باید مجموعه ماتریس‌هایی که به‌طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای انجام این کار معمولا از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های i ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های j ام استفاده می‌شود که در جدول ۳ نحوه ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است.



شکل ۶- ساختار روش تحلیل سلسله مراتب

جدول ۳- ارزش‌گذاری شاخص ها در مقایسه زوجی بین عناصر تصمیم گیری در روش AHP

ترجیحاً یکسان	کمی بهتر	بهتر	خیلی بهتر	کاملاً بهتر	بینابین
۱	۳	۵	۷	۹	۸ - ۶ - ۴ - ۲

در این تحقیق برای تعیین ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها یک فرم نظرسنجی با عنوان فرم خبره طراحی شده و در اختیار افراد صاحب نظر در حرفه مهندسی عمران و بخصوص متخصصان آزمایشگاه بتن قرار گرفته است. جدول ۴ نمونه ای از فرم پرسشنامه خبره را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نمونه فرم مقایسه زوجی معیارها تکمیل شده توسط کارشناسان

ردیف	اولویت																		ردیف
۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۲	
۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۳	
۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٤	
۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٥	
۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٦	
۲	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۳	
۲	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٤	
۲	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٥	
۲	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٦	
۳	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٤	
۳	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٥	
۳	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٦	
٤	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٥	
٤	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٦	
٥	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	٦	

توضیح: معیارها عبارتند از ۱- مقاومت فشاری۷ روزه. ۲- مقاومت فشاری ۲۸ روزه. ۳- اسلامپ. ۴- وزن مخصوص. ۵- میزان هوا. ۶- جذب آب.

پس از مقایسه زوجی معیارها یا گزینه‌ها ماتریسی تحت عنوان ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. سپس با استفاده از میانگین هندسی، که یکی از بهترین روش‌ها برای ترکیب مقایسات زوجی است، از داده‌های هر سطر میانگین هندسی گرفته شده و وزن‌های بدست آمده نرمال می شوند. به عبارت دیگر، میانگین هندسی بدست آمده در هر سطر بر مجموع عناصر ستون تقسیم می‌شود که ستون جدید حاوی وزن نرمال شده هر معیار، بردار ویژه، حاصل شود. بر اساس پرسشنامه‌های توزیع شده و مقایسه آن‌ها با یکدیگر در نهایت ماتریس حاصل شده از مقایسه زوجی معیارها طبق جدول ۵ به‌دست آمد تا از طریق آن بردار ویژه هر یک از عناصر جهت اولویت‌بندی آن‌ها بدست آید.

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی معیارها (نهایی)

معیار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	بردار ویژه
۱	1	1/5	8	7	7	7	0.277
۲	5	1	8	8	8	9	0.505
۳	1/8	1/8	1	5	4	5	0.103
۴	1/7	1/8	1/5	1	5	5	0.062
۵	1/7	1/9	1/5	1/5	1	2	0.030
۶	1/7	1/8	1/4	1/5	1/2	1	0.023

در گام بعدی باید گزینه‌ها به‌صورت زوجی بر پایه هر معیار مقایسه شوند. بر این اساس اولویت هر یک از گزینه‌ها در مورد هر کدام از معیارها مشخص می‌شود. برای انجام این عمل گزینه‌ها بصورت زوجی بر مبنای هر معیار مقایسه شده و یک ماتریس مقایسه زوجی به ازای هر معیار تشکیل می‌شود. نمونه ای از ماتریس های مقایسه زوجی گزینه ها بر مبنای دو معیار مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه در جداول ۶ و ۷ داده شده اند. خلاصه نتایج ماتریس های مقایسه زوجی گزینه ها برمبنای همه معیارها در جدول ۸ داده شده است.

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها بر مبنای معیار مقاومت فشاری ۷ روزه

اولویت	پلاستیک بازیافتی	لاستیک بازیافتی	شیشه بازیافتی	معیار: مقاومت فشاری ۷ روزه
0.699	4	8	1	شیشه بازیافتی
0.064	1/5	1	1/8	لاستیک بازیافتی
0.237	1	5	1/4	پلاستیک بازیافتی

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها بر مبنای معیار مقاومت فشاری ۲۸ روزه

اولویت	پلاستیک بازیافتی	لاستیک بازیافتی	شیشه بازیافتی	معیار: مقاومت فشاری ۲۸ روزه
0.663	3	9	1	شیشه بازیافتی
0.058	1/6	1	1/9	لاستیک بازیافتی
0.278	1	6	1/3	پلاستیک بازیافتی

جدول ۸- اولویت بدست آمده برای هر گزینه بر مبنای معیارها

گزینه ها	مقاومت ۷ روزه	مقاومت ۲۸ روزه	اسلامپ	وزن مخصوص	میزان هوا	جذب آب
شیشه بازیافتی	0.699	0.663	0.292	0.2	0.102	0.577
لاستیک بازیافتی	0.064	0.058	0.64	0.4	0.172	0.081
پلاستیک بازیافتی	0.237	0.278	0.067	0.4	0.726	0.342

جدول ۹- ارزش نسبی گزینه ها بر مبنای همه معیارها

ترتیب اولویت	ارزش
شیشه بازیافتی	0.59
پلاستیک بازیافتی	0.27
لاستیک بازیافتی	0.14

گام پایانی فرایند تحلیل سلسله مراتبی، محاسبه اولویت هر یک از گزینه‌ها است که مقدار آن از مجموع حاصلضرب اولویت هر گزینه در معیار مورد نظر در بردار ویژه همان معیار بدست می آید. نتایج نهایی ارزش و وزن نسبی گزینه ها نسبت به همه معیارها در جدول ۹ ارائه شده است. بنابراین، بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده شیشه بازیافتی بیشترین وزن (۰,۵۹) و پس از آن به ترتیب پلاستیک با وزن (۰,۲۷) و لاستیک با وزن (۰,۱۴) به عنوان بهترین گزینه ها معرفی می شوند.

۵- آزمایش‌های ثانویه و نتایج

هدف این بخش تأثیر ترکیب مواد بازیافتی بر روی خواص بتن و تعیین بهترین ترکیب می باشد. پس از بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش‌های اولیه و استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای رتبه بندی مواد بازیافتی، مبنای آزمایش‌های ثانویه که شامل بررسی تأثیر ترکیب مواد بازیافتی بر روی بتن است، مشخص گردید. طبق

نتایج مقرر شد که برای ترکیب مواد از دو نوع ماده غالب و ماده مغلوب استفاده گردد. مطابق با نتایج بخش قبل، مواد استفاده شده به ترتیب ارزش نسبی به صورت شیشه، پلاستیک و لاستیک در رتبه اول تا سوم قرار گرفتند. طبق این رتبه بندی در ترکیب شیشه با مواد دیگر شیشه ماده غالب و در ترکیب پلاستیک و لاستیک، پلاستیک ماده غالب انتخاب گردید که میزان این ترکیب در آزمایش‌های مرحله دوم مشخص شد. طرح اختلاط آزمایش‌های ثانویه طوری تنظیم شده که ترکیب مواد بازیافتی به میزان حداکثر ۳۰٪ جایگزین درشت دانه‌های بتن گردند. مطابق با جدول ۱۰ طرح اختلاط‌های ثانویه براساس دسته بندی مواد بازیافتی در مرحله اول و همچنین میزان حداکثر جایگزینی مواد (۳۰٪) براساس ماده غالب و مغلوب دسته بندی شد. بر این اساس در ترکیب بین دو ماده بازیافتی، ماده غالب جایگزین ۲۰٪ درشت دانه‌های طبیعی بتن و ماده مغلوب جایگزین ۱۰٪ درشت دانه‌ها در نظر گرفته شد. در حالت دیگر ۱۵٪ از هر کدام از مواد جایگزین درشت دانه‌ها گردید. همچنین یک نمونه طرح اختلاط با مخلوط هر سه ماده به میزان برابر یعنی ۱۰٪ وزنی درشت دانه‌ها نیز در نظر گرفته شد. پس از ساخت مخلوط‌ها و انجام آزمایش‌های مربوطه نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

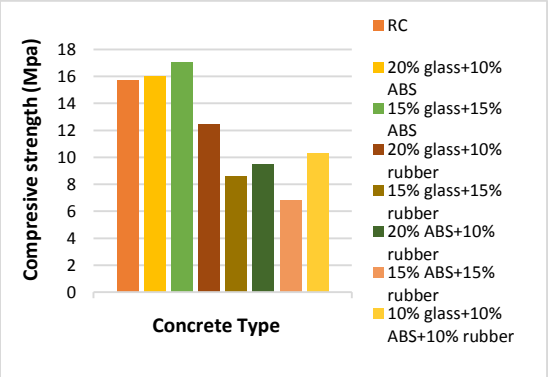
جدول ۱۰- طرح اختلاط آزمایش‌های ثانویه

نمونه	سیمان (kg)	آب (kg)	درشت دانه (kg)	ریز دانه (kg)	شیشه بازیافتی (kg)	پلاستیک بازیافتی (kg)	لاستیک بازیافتی (kg)
20% Glass+ 10% ABS	384	230	638.4	864	182.4	91.2	---
15% Glass+ 15% ABS	384	230	638.4	864	136.8	136.8	---
20% Glass+ 10% Rubber	384	230	638.4	864	182.4	---	91.2
15% Glass+ 15% Rubber	384	230	638.4	864	136.8	---	136.8
20% ABS+ 10% Rubber	384	230	638.4	864	---	182.4	91.2
15% ABS+ 15% Rubber	384	230	638.4	864	---	136.8	136.8
10% Glass+ 10% ABS+ 10% Rubber	384	230	638.4	864	91.2	91.2	91.2

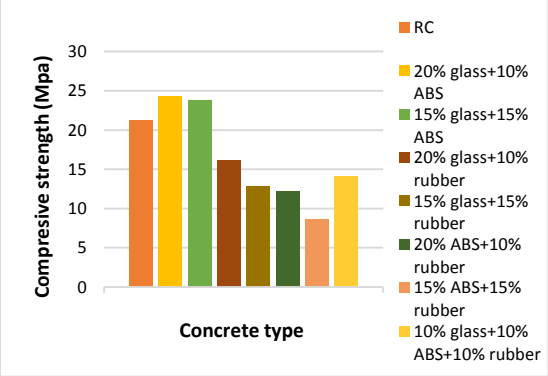
طبق نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری، به ترتیب نمونه حاوی ۱۵٪ شیشه و ۱۵٪ پلاستیک بیشترین و نمونه حاوی ۱۵٪ پلاستیک به همراه ۱۵٪ لاستیک کمترین مقاومت فشاری ۷ روزه را نشان می دهند. این نتیجه تصدیق این نکته می باشد که وجود شیشه‌های بازیافتی موجب افزایش مقاومت بتن می شوند. در مورد مقاومت ۲۸ روزه نیز نمونه حاوی ۲۰٪ شیشه و ۱۰٪ پلاستیک دارای بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بود که نشان می‌دهد افزایش میزان شیشه بازیافتی در ترکیب بتن با گذشت زمان افزایش مقاومت بیشتری را به همراه دارد. نتایج در شکل ۷ ارائه شده اند. در مورد وزن مخصوص بتن تازه و با توجه به آزمایش‌های مرحله اول که کمترین وزن مخصوص متعلق به ذرات لاستیک بازیافتی بود نتایج به‌دست آمده در این آزمایش‌ها نیز نشان می‌دهد که وزن نمونه‌هایی که در آن‌ها از این ماده استفاده شده است کمتر از سایر نمونه‌هاست. به‌عنوان مثال وزن مخصوص نمونه ۲۰٪ شیشه به علاوه ۱۰٪ لاستیک کمتر از نمونه مشابه ۲۰٪ شیشه به علاوه ۱۰٪ پلاستیک است. کمترین وزن مخصوص مربوط به نمونه حاوی ۱۵٪ پلاستیک به همراه ۱۵٪ لاستیک و بیشترین وزن مخصوص مربوط به نمونه ۲۰٪ شیشه و ۱۰٪ پلاستیک است. نتایج مربوطه در شکل ۸ داده شده اند.

در آزمایش‌های ثانویه، به طورکلی در ترکیب‌هایی که در آن‌ها از شیشه‌های بازیافتی استفاده شده است جذب آب پایین تری حاصل گردیده است و از آنجایی که جذب آب پایین موجب بالا رفتن

مقاومت بتن می‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که یکی از دلایل بالا بودن مقاومت نمونه‌های حاوی شیشه بازیافتی همین جذب آب پایین آن‌ها است. نتایج در شکل ۹ داده شده اند.

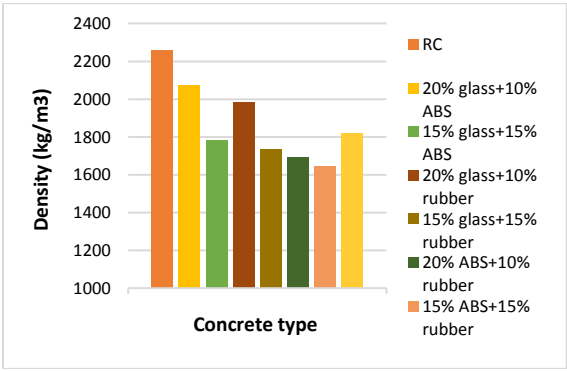


(الف) ۷ روزه



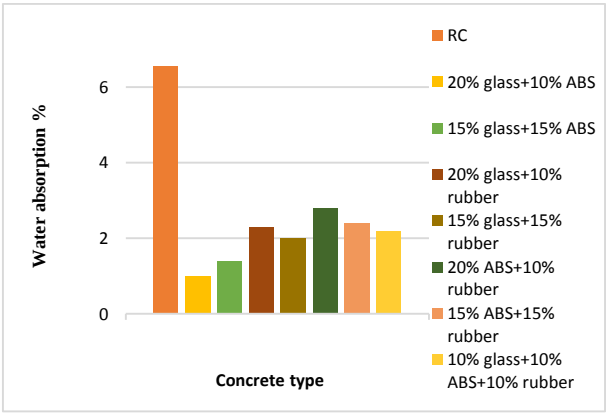
(ب) ۲۸ روزه

شکل ۷- مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه استوانه ای نمونه‌های ثانویه



شکل ۸- وزن مخصوص نمونه‌های ثانویه

بنابراین نتیجه کلی که می‌توان از آزمایش درصد جذب آب گرفت این می‌باشد که استفاده از مواد بازیافتی به عنوان جایگزین سنگدانه‌های طبیعی به دلیل ساختار تشکیل دهنده آن‌ها که دارای ساختار بهم پیوسته با پیوستگی بالا می‌باشند موجب کاهش جذب آب آن‌ها و در نتیجه موجب کاهش جذب آب بتن ساخته شده از آن‌ها می‌شود که یک ویژگی مناسب برای بتن محسوب می‌گردد.



شکل ۹- جذب آب نمونه‌های ثانویه

٦- نتیجه‌گیری

- استفاده از مواد بازیافتی مانند شیشه‌ها، پلاستیک‌ها و لاستیک‌های بازیافتی که پس از بازیافت به شکل سنگدانه درآمده و قابلیت جایگزینی به عنوان سنگ‌دانه‌های بتن را دارا می‌باشد در طرح اختلاط بتن تاثیرات مطلوبی را بر روی خواص متفاوت بتن می گذارد.
- به‌کار بردن مواد بازیافتی در ترکیب بتن به‌عنوان جایگزین درشت دانه‌های بتن تأثیرات به مراتب مناسبی نسبت به استفاده از این مواد به جای ریزدانه‌ها و حتی سیمان بتن خواهد داشت.
- استفاده از موادی مانند شیشه و پلاستیک بازیافتی در ترکیب بتن موجب افزایش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. همچنین از ترکیباتی که شامل این مواد نیز می‌باشند موجب افزایش مقاومت بتن می‌شود. اما استفاده از لاستیک‌های بازیافتی و یا ترکیباتی که در آن از این ماده استفاده شده است موجب تضعیف مقاومت بتن می‌گردد.
- استفاده از مواد بازیافتی در ترکیب بتن موجب کاهش وزن مخصوص بتن می‌گردد. با توجه به پایین بودن وزن مخصوص این مواد نسبت به وزن مخصوص سنگ‌دانه‌های طبیعی بتن بدیهی است که جایگزینی این مواد در ترکیب بتن کاهش وزن مخصوص بتن را به همراه خواهد داشت. از آنجایی که وزن مخصوص لاستیک-های بازیافتی از سایر مواد کمتر است بنابراین نمونه‌های ساخته شده از این ماه از دیگر نمونه‌ها سبک تر هستند.
- نتایج تحقیق نشان می‌دهد میزان جذب آب نمونه‌ها نسبت به نمونه اولیه کاهش داشته که به دلیل ساختار مواد مصرفی می‌باشد.

مواد بازیافتی به‌کار رفته در این آزمایش‌ها همگی دارای ساختار پیوسته‌تری نسبت به سنگدانه‌های طبیعی بتن هستند به همین دلیل از جذب آب پایین‌تری برخوردارند.

۷- منابع

[1]. Meyer, C. (2009), "The greening of the concrete industry", Cement & Concrete Composites, (31), 601-605.

[2]. Schwarz, N. Cam, H. and Neithalath, N. (2008), "Influence of a fine glass powder on the durability characteristics of concrete and its comparison to fly ash", Cement & Concrete Composites, (30), 486-496.

[3]. Turgut, P. and Yahlizade, E. S. (2009), "Research into concrete blocks with waste glass", International Journal of Civil and Environmental Engineering, (4), 203-209.

[۴]. حسن زاده، م. حسن زاده، ف. طغیانی، ح.، صادقی، م. بزرگپور ه. (۱۳۸۹)، "بررسی آزمایشگاهی برخی از خصوصیات مکانیکی بتن حاوی خرده شیشه‌های ضایعاتی"، دومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران.

[5]. Saikia, N. and De Brito, J. (2012), "Use of plastic waste as aggregate in cement mortarand concrete preparation: A review", Construction and Building Materials, (34), 385-401.

[6]. Gu, L. and Ozbakkaloglu, T. (2016), "Use of recycled plastics in concrete: A critical review", Waste Management, (51), 19-42.

[7]. Akcaozog˘lu, S. Atis, C. D. Akcaozog˘lu, K. (2010), "An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete", Waste Management, (30), 285-290.

[8]. Albano, C. Camacho, N. Hernandez, M. Matheus, A. and Gutierrez, A. (2009), "Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios", Waste Management, (29), 2707-2716.

[9]. Ismail, Z. Z. and AL-Hashmi, E. A. (2009), "Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete", Waste Management, (29), 655-659.

[10]. Kotresh, K. M. and Belachew, M. G. (2014), "Study On Waste Tyre Rubber As Concrete Aggregates", International Journal of Scientific Engineering and Technology, (3), 433-436.

[11]. Deshpande, N. Desai, N. Shah, P. Kale, P. and Bhandalkar, Y. (2012), "Tyre Rubber as Aggregate in Concrete: A Possible Outlet for Used Tyres", Proceedings of International Conference on Advances in Architecture and Civil Engineering, (1), 50-55.

[12]. Siddique, R. and Naik, T. R. (2004), "Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview", Waste Management, (24), 563-569.

[13]. Raghavan, D. and Huynh, H. (1988), "Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementitious composite", Journal of Materials Science, (33), 1745-1752.

[14]. Saaty, L. T., (1980), "The Analytic Hierarchy Process", McGraw Hill Company, New York.

[15]. Babaei M., Amin Ranjbar A.R. (2015), "Application of Analytical Hierarchy Procedure to Select the Best Roofing and Wall Partitioning Systems" International Journal of Applied Environmental Sciences, 10(5): 1731-41.

[۱۶]. بابائی، م. امین رنجبر، ع. (۱۳۹۴)، "کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در انتخاب بهترین سیستم سقف و دیوارهای غیر باربر پارتیشن در ساختمان‌ها"، سومین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

[۱۷]. بلالی و.، حسینی ع.، زهرائی ب.، روزب‌هانی ع. (۱۳۹۰)، "انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره AHP گروهی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

[18]. Balali V., Zahraei B., Roozbahani A. (2014), "A comparison of AHP and PROMETHEE family decision making methods for selection of building structural system", American Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 2, No. 5, 149-159.

[19]. Balali, V., Zahraie, B., Hosseini, A., and Roozbahani, A., (2010), "Selecting the appropriate structural system by application of PROMETHEE decision making method," Proceeding of the 2nd International Conference on Engineering System Management and its Application, UAE.

Experimental Evaluation on the Influence of Waste Glass, Rubber, and ABS Plastics on the Concrete Characteristics and Finding the Optimal Waste using Analytical Hierarchy Process

Mehdi Babaei *
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Sasan Taherkhani
MSc. graduated, Faculty of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Abstract

According to the large growth on the urbanism, people around the world and their needs produce much more waste materials which lead to pollute the built environment. Therefore, paying attention to the waste materials and recycling them help to protect the environment. During the last decades, reusing these materials was the main concern and accepted by the researchers, governments, and people around the world. In this paper, using of the industrial waste materials such as glass, rubber, and plastic (ABS) as aggregate in concrete are investigated. Many samples are made and tested to study the effect of these materials on the concrete characteristics. Compressive strength, slump, water absorption and density were the main characteristics of the evaluation. Since there are many criteria available to decide which of the waste materials are the best, using Analytical Hierarchy Process (AHP) the selected waste materials are sorted and the best one is given. The influence of the combination of these materials on the concrete are also investigated.

Keywords: Green Concrete, Glass, Rubber, ABS Plastic, Analytical Hierarchy Process.

* Corresponding Author: mbabaei@znu.ac.ir