



## بتن ساخته شده با سنگدانه‌های بازیافتی برای دست یابی به بتن پر مقاومت

دکتر ابوالفضل عربزاده

دانشیار گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مهدی خاکزاد عربلو

دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

### چکیده

سنگدانه‌های بتن بازیافتی ( $RCA^1$ ) به عنوان یک جایگزین پایدار برای سنگدانه‌های طبیعی در ساخت و ساز شهرت یافته‌اند. در این مطالعه تجربی، ما مقاومت فشاری و کششی مخلوط‌های بتن حاوی  $RCA$  را بررسی می‌شود. علاوه بر این، تاثیر سوپر روان کننده و میکروسیلیس را بر روی خواص مکانیکی بتن حاصل بررسی شد. ۹ عدد طرح اختلاط مجزا فرموله شد که هر کدام در نسبت  $RCA$ ، سوپر روان کننده و میکروسیلیس متفاوت بودند. شش نمونه مکعبی و دو نمونه استوانه ای برای هر طرح اختلاط ساخته شد. نمونه ها در مدت زمان مشخصی عمل‌آوری و آزمایش شدند. نتایج حاکیار آن است که طرح اختلاط انتخاب شده، شامل  $RCA$ ، سوپر روان کننده و میکروسیلیس می‌تواند به طور موثر در اعضای سازه‌ای استفاده شود. با استفاده از مواد بازیافتی و بهینه سازی مواد افزودنی، در عین حفظ عملکرد قابل قبول، به شیوه‌های ساخت و ساز پایدار کمک نمود.

**واژگان کلیدی:** سنگدانه‌ی بازیافتی، بتن، بتن پرمقاومت، میکروسیلیس

### مقدمه

پس از تخریب جاده‌ها و ساختمان‌های قدیمی، بتن حذف شده اغلب بی ارزش تلقی می‌شود و به عنوان زباله تخریب دفع می‌شود. اما با جمع‌آوری بتن مصرف شده و شکستن آن، سنگدانه بتن بازیافتی ( $RC^2$ ) ایجاد می‌شود.  $RCA$  به سنگدانه درشتی اطلاق می‌شود که از بتن اصلی پس از جداسازی ملات از سنگ می‌آید. این روش پایدار نه تنها ضایعات را کاهش می‌دهد، بلکه به شیوه‌های ساخت و ساز

<sup>1</sup> - Recycled concrete aggregate

<sup>2</sup> - Recycled concrete

سازگار با محیط زیست نیز کمک می‌کند. استفاده از RCA در کاربردهای ساخت و ساز جدید هنوز یک تکنیک نسبتاً جدید است. در دهه ۱۹۷۰، ایالات متحده استفاده از RCA را به طور عمده در کاربردهای غیرسازه‌ای مانند مواد پرکننده، پایه‌ها و مواد دوره پایه، مجدداً معرفی کرد. از آن زمان، تحقیقاتی برای بررسی قابلیت زنده ماندن RCA به عنوان جایگزینی برای سنگدانه طبیعی استفاده نشده ( $NA^3$ ) در بتن سازه انجام شده است. یکی از انگیزه‌های اصلی استفاده از RCA در بتن سازه ای ساخت و ساز پایدارتر و سازگار با محیط زیست است. شیوه‌های ساخت و ساز سنتی مواد خام، انرژی قابل توجهی را مصرف می‌کند و زباله‌های قابل توجهی تولید می‌کند. با گنجاندن RCA، ما می‌شود این چالش‌های زیست محیطی را برطرف نمود. به طور خاص، RCA مزایای زیر را ارائه می‌دهد:

- ۱- کاهش ضایعات: RCA بتن تخریب شده را تغییر کاربری می‌دهد و آن را از محل دفن زباله منحرف می‌کند.
- ۲- صرفه جویی در انرژی: استفاده از RCA نیاز به استخراج و پردازش سنگدانه‌های طبیعی جدید را کاهش می‌دهد.
- ۳- ردپای کربن پایین: RCA با به حداقل رساندن مصرف منابع به صنعت ساختمان سازی سبزتر کمک می‌کند.

### طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن یک فرآیند سیستماتیک برای تعیین نسبت‌های مناسب مواد تشکیل‌دهنده بتن است به گونه‌ای که بتن تولیدی دارای ویژگی‌های مورد نظر برای یک پروژه خاص باشد. این طرح شامل انتخاب مواد مناسب و تعیین نسبت‌های دقیق آب، سیمان، سنگدانه‌های ریز و درشت و افزودنی‌ها، به منظور رسیدن به مقاومت، کارایی، دوام و سایر خواص مورد نیاز در بتن است.

### تعیین خواص مورد نیاز بتن:

مقاومت فشاری مورد نیاز، که اغلب بر حسب مگاپاسکال (MPa) بیان می‌شود. دوام در برابر شرایط محیطی خاص مانند: یخ‌زدگی و آب‌شدگی، خوردگی، یا نفوذپذیری. کارایی مورد نظر برای قالب‌ریزی و ارتعاش.

### انتخاب مواد:

سیمان: نوع سیمان مورد استفاده (معمولاً تیپ I، II، III، و غیره). سنگدانه‌ها: اندازه، نوع، و کیفیت سنگدانه‌های ریز (ماسه) و درشت (شن). آب: کیفیت آب مخلوط. افزودنی‌ها: استفاده از افزودنی‌ها برای بهبود خواص بتن (مانند کاهش آب، تسریع یا تأخیر در گیرش).

### تعیین نسبت آب به سیمان (w/c):

این نسبت بر اساس مقاومت فشاری و دوام مورد نظر تعیین می‌شود. نسبت‌های پایین‌تر w/c به مقاومت بالاتر و دوام بهتر منجر می‌شود.

### محاسبه نسبت‌های مواد:

محاسبه کل آب مورد نیاز برای دستیابی به کارایی لازم. محاسبه مقدار سیمان با استفاده از نسبت w/c. تعیین حجم کلی سنگدانه‌های مورد نیاز، با توجه به حداکثر اندازه سنگدانه و حجم اشغالی آن‌ها در مخلوط. توزیع سنگدانه‌های ریز و درشت بر اساس معیارهای طراحی مانند مدول نرمی.

### آزمایش بتن:

تهیه نمونه‌های آزمایشی بتن با استفاده از طرح اختلاط پیشنهادی. آزمایش‌های کارایی مانند روانی، جداسدگی، و وقت گیرش.

<sup>3</sup> - Natural aggregate

آزمایش‌های مقاومت فشاری در روزهای ۷، ۱۴، و ۲۸. ارزیابی دوام در شرایط محیطی مشابه با محل پروژه.

### مشخصات مصالح

در طرح اختلاط بتن، مصالح مورد استفاده برای تولید بتن بسیار حائز اهمیت هستند. در ادامه، مشخصات مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط بتن توضیح داده شده:

#### آب:

آب برای ساخت و عمل‌آوری بتن یک عنصر بسیار مهم است. برای تولید بتن با کیفیت، باید آبی را انتخاب کنیم که به مشخصات زیر تطابق داشته باشد.

تمیزی: آب باید تمیز و خالی از مواد زیان‌آور مانند روغن، اسید، باز، نمک و مواد آلی باشد.

صافی: آب باید صاف و بدون ذرات معلق باشد.

PH<sup>4</sup> مناسب: مقدار PH آب بتن باید در محدوده ۵ تا ۵/۸ باشد.

عدم حاوی مواد مضر: آب نباید حاوی مواد مضر مانند سولفات‌ها، کلرورها و غیره باشد.

همچنین، در مراحل ساخت و عمل‌آوری بتن، آب‌های مصرفی در کامیون‌های حمل بتن، آب‌های آزاد موجود در سنگدانه‌ها، آب‌های به کار رفته در انواع افزودنی بتن، دوغاب‌سازی و مواد افزودنی معدنی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. به طور کلی، آب آشامیدنی یکی از آب‌های مطلوب برای ساخت بتن است، اگر مزه یا بوی خاصی نداشته و عاری از ذرات زیان‌آور باشد. همچنین، آب‌های زیرزمینی نیز می‌توانند برای تولید بتن مناسب باشند، اما قبل از استفاده باید آن‌ها را آزمایش کنیم. در موارد خاص، آب دریا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما باید با دقت آزمایش شود. به طور کلی، انتخاب آب مناسب برای بتن، تأثیر زیادی بر خصوصیات و کیفیت نهایی بتن دارد. بنابراین، انتخاب آب با دقت و توجه به مشخصات فوق اهمیت دارد.

#### سیمان:

سیمان، به عنوان یکی از اجزای اصلی بتن، نقش مهمی در کیفیت و خصوصیات نهایی بتن ایفا می‌کند. برای تولید بتن با کیفیت، مشخصات زیر باید در نظر گرفته شود:

نوع سیمان: در طرح اختلاط بتن، از سیمان پرتلند تیپ ۲ با نرمی بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ بلین و وزن مخصوص  $\frac{g}{cm^3}$  ۳/۱ استفاده می‌شود.

تمیزی سیمان: سیمان باید تمیز و خالی از ذرات زیان‌آور مانند خاک، روغن و مواد غیرمعدنی باشد.

مقدار سیمان: مقدار سیمان در بتن باید مطابق با نسبت‌های اختلاط تعیین شده باشد.

مقاومت سیمان: سیمان باید دارای مقاومت مناسب باشد تا به تشکیل مقاومت بتن کمک کند.

#### سنگدانه‌ی درشت طبیعی:

در طرح اختلاط بتن، مصالح سنگی (سنگدانه‌ها) نقش مهمی در کیفیت و خصوصیات نهایی بتن ایفا می‌کنند. مشخصات درشت دانه‌ها باید با دقت تعیین شوند. در ادامه، به توضیح مشخصات درشت دانه‌ها پرداخته شده مانند:

گروه درشت دانه‌ها: درشت دانه‌ها قطری حدود ۲ mm تا ۶۹ دارند و به عنوان "شن" نامیده می‌شوند.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه: حداکثر اندازه اسمی سنگدانه در بتن باید مطابق با استانداردهای مربوطه تعیین شود. برای مثال، در بتن آرمه، حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها ۳۸ mm و در بتن حجیم غیرمسلح ۶۳ mm است.

#### سنگدانه‌های بازیافتی:

در برخی موارد، از سنگدانه‌های بازیافتی نیز می‌توان در طرح اختلاط بتن استفاده کرد. نتایج آزمایشات نشان داده‌اند که با افزایش درشت دانه‌های بازیافتی، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد.

### ماسه (ریزدانه):

ماسه، به عنوان یکی از مهم‌ترین مصالح در تولید بتن، نقش بسیار مهمی در کیفیت و خصوصیات نهایی بتن ایفا می‌کند. برای تولید بتن با کیفیت، مشخصات مناسبی رتایت شود. بهترین دانه‌بندی برای ماسه آن است که قطر ۳۳ درصد دانه‌های آن بین ۰/۸ تا ۰/۵ mm، ۳۳ درصد دانه‌های آن بین ۰/۵ mm تا ۱ mm، و بقیه دانه‌ها بین ۱ mm تا ۲ mm باشد. منشأ ماسه می‌تواند از منابع مختلفی مانند رودخانه‌ها، سواحل و بیابان‌ها تهیه شود. خواص مکانیکی ماسه باید دارای مقاومت مناسب در برابر فشار، خمش و سایش باشد و همچنین خواص فیزیکی ماسه نباید حاوی مواد آلی، نمک، گل و غیره باشد. به علاوه‌ی مطالب ذکر شده خواص شیمیایی ماسه نباید حاوی مواد مضر مانند سولفات‌ها باشد.

### مشخصات افزودنی‌های بتن

افزودنی‌های بتن، اجزای شیمیایی یا معدنی هستند که در طول ساخت به بتن اضافه می‌شوند تا خواص جدیدی برای بتن به دست آورند. این مواد، علاوه بر آب، سیمان و سنگدانه، به مقدار جزئی (حداکثر پنج درصد وزنی سیمان) در زمان اختلاط به بتن افزوده می‌شوند و موجب اصلاح برخی از خواص بتن تازه یا سخت شده می‌شوند. این افزودنی‌ها با توجه به کاربرد خود، دارای انواع گوناگونی هستند و نقش بسزایی را در افزایش کارایی بتن ایفا می‌کنند.

### میکروسیلیس

میکروسیلیس یکی از افزودنی‌های پرکاربرد در مخلوط بتن است. این ماده به صورت پودری سیاه یا خاکستری رنگ تولید می‌شود و از ناخالصی‌های سلیکا ساخته می‌شود. میکروسیلیس با پر کردن منافذ میکروسکوپی که به وسیله ماسه و سیمان به راحتی پر نمی‌شود، به ایجاد بافت محکم‌تری در بتن می‌انجامد. این ماده با چسبندگی بیشتر به سیمان و انجام واکنش شیمیایی با آن، مقاومت بتن را افزایش می‌دهد. از این رو، میکروسیلیس به عنوان یک افزودنی موثر در بهبود خواص بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### سوپر روان کننده

سوپر روان کننده بتن یک نوع افزودنی شیمیایی است که در ساخت بتن با مقاومت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده به منظور افزایش روانی بتن و بهبود کارایی آن در زمان بتن‌ریزی، با توجه به دمای هوا و شرایط محیطی، و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان به منظور افزایش مقاومت بتن استفاده می‌شود. سوپر روان کننده‌ها به عنوان کاهنده‌های آب با دامنه بالا نیز شناخته می‌شوند. این افزودنی‌ها باعث کاهش میزان آب مورد نیاز بتن می‌شوند، بدون اینکه در روانی آن تأثیری بگذارند. حضور این افزودنی‌ها در مخلوط بتن، باعث تولید بتن مقاوم می‌شود؛ بتنی با کیفیت که کارایی لازم را دارد. به طور کلی، استفاده از سوپر روان کننده‌ها در ساخت بتن بهبودهایی در خصوص مقاومت، روانی، و کارایی بتن ایجاد می‌کند. این مواد می‌توانند تغییرات مثبتی در میزان آب مورد نیاز بتن، میزان هوای بتن، مقاومت فشاری و خمشی، اسلامپ بتن، روند رشد مقاومت بتن، و انقباض ناشی از خشک‌شدگی ایجاد کنند. برای استفاده بهینه از سوپر روان کننده‌ها، توصیه می‌شود مقادیر و روش مصرف آن‌ها را با دقت رعایت کنید.

### طرح اختلاط محاسبه شده

طرح اختلاط بتن همان گونه که توضیح داده شد یک فرآیند سیستماتیک برای تعیین نسبت‌های مناسب مواد تشکیل‌دهنده بتن است به گونه‌ای که بتن تولیدی دارای ویژگی‌های مورد نظر برای یک پروژه خاص باشد. در این پژوهش هدف دست یافتن به مقاومت‌های بالاتر از مقاومت رایج بتن و بهبود عملکرد بتن‌های بازیافتی است.

### طرح اختلاط پیشنهادی

طرح اختلاط‌های پیشنهادی برای افزایش مقاومت بتن ساخته شده با استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی، در جدول ۱-۳ ارائه شده است:

طرح اختلاط	آب $\frac{Kg}{(m^3)}$	سیمان $\frac{Kg}{(m^3)}$	درشتدانه طبیعی $\frac{Kg}{(m^3)}$	درشتدانه بازیافتی $\frac{Kg}{(m^3)}$	ماسه $\frac{Kg}{(m^3)}$	سوپر روان کننده	میکروسیلیس $\frac{Kg}{(m^3)}$
۱	۱۶۷	۵۰۰	۰	۱۲۰۶	۶۷۷	۰.۶	۵
۲	۱۶۱	۵۰۰	۵۰۳	۸۲۴	۶۷۷	۰.۶	-
۳	۱۶۴	۵۰۰	۲۵۱	۹۶۵	۶۷۷	۰.۶	۵
۴	۱۷۲	۳۵۰	۵۰۳	۷۲۴	۶۷۷	۰.۶	۳۵
۵	۱۹۰	۴۵۰	۵۰۳	۷۲۴	۶۷۷	۰.۶	-
۶	۲۱۶	۳۹۰	۴۴۰	۳۴۷	۸۵۴	۰.۶	۱۰
۷	۲۱۶	۴۶۰	۰	۶۹۴	۹۸۵	۰.۶	-
۸	۲۱۶	۳۶۰	۰	۶۹۴	۹۸۵	۰.۵۵	۴۰
۹	۲۱۶	۳۸۰	۰	۶۹۴	۹۸۵	۰.۳۵	۲۰

جدول (۱-۳)

توجه:

الف) دلیل این که سنگدانه‌های بازیافتی درصد جذب آب خیلی بالایی دارند باید به این نوع سنگدانه‌ها سوپر روان کننده یا سوپر روان کننده اضافه بشود. درصد افزودن این مواد بسیار اهمیت بالایی دارد زیرا در مقاومت نهایی نمونه‌ها تاثیر قابل توجهی دارد.

ب) مقدار میکروسیلیس افزوده شده حداکثر ۱۰٪ سیمان مصرفی است.

ج) سوپر روان کننده نسبتی از سیمان مصرفی می‌باشد.

### ساخت نمونه‌ها

برای پروژه مذکور به منظور بدست آوردن مقاومت‌های فشاری و کششی برای هر طرح اختلاط ۶ نمونه  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$  مطابق شکل ۱-۳، برای آزمایش مقاومت فشاری، که ۳ نمونه برای آزمایش ۷ روزه بتن و ۳ نمونه برای آزمایش ۲۸ روزه بتن در نظر گرفته شده است. همچنین برای آزمایش مقاومت کششی از قالب‌های استوانه‌ای به ابعاد ۱۰ cm و به ارتفاع ۲۰ cm استفاده شده است (شکل شماره ۲-۳).

### عمل آوری نمونه‌ها

برای عمل آوری نمونه‌ها مطابق شکل (۳-۳)، از روش غرق آبی استفاده شده است. عمل آوری در ۲ زمان متفاوت برای نمونه‌ها انجام گرفت بدین صورت که نصف نمونه‌های مکعبی برای آزمایش ۷ روزه و نصف نمونه‌های مکعبی به علاوه نمونه‌های استوانه‌ای برای آزمایش ۲۸ روزه، انجام گرفت. از مقدار مناسبی آهک به آب اضافه شد تا عمل آوری بهتری صورت گیرد.



شکل (۳-۲).



شکل (۳-۱).

### تحلیل و بررسی نتایج

تحلیل نتایج آزمایشگاهی برای اطمینان از کیفیت، دوام، و ایمنی مصالح و سازه‌ها اهمیت بسزایی دارد. از آنجایی که برای این پژوهش ۹ طرح اختلاط در نظر گرفته شده است برای هر یک از مشخصات مکانیکی بصورت جداگانه بررسی های لازم انجام خواهد شد.

### نتایج آزمایش نمونه‌ها

نتایج در جدول (۴-۱) به شرح ذیل است:

مقاومت کششی ۲۸ روزه Mpa	مقاومت فشاری نهایی Mpa	مقاومت فشاری ۷ روزه Mpa	وزن مخصوص بتن $\frac{Kg}{m^3}$	طرح اختلاط
۵.۱۶	۵۹.۱۴	۴۴.۹۱	۲۳۹۸.۹	۱
۴.۹۸	۵۲.۲۱	۳۸.۹۹	۲۴۱۰.۳	۲
۵.۷۴	۵۴.۷۵	۴۱.۱۸	۲۳۳۱.۱	۳
۴.۷۱	۴۵.۳۶	۳۴.۰۲	۲۳۶۶.۶	۴
۴.۱۲	۴۵.۸۷	۳۴.۴۶	۲۳۴۱.۳	۵
۳.۳۱	۳۴.۹۱	۲۶.۴۹	۲۲۴۳.۷	۶
۴.۶۸	۴۷.۲۲	۳۶.۲	۲۳۲۶.۳	۷
۴.۸۷	۵۰.۱۳	۳۷.۸۶	۲۳۴۱.۱	۸
۳.۸۱	۳۷.۲۱	۲۷.۹۸	۲۲۹۰.۳	۹

جدول (۴-۱).

### مقاومت فشاری ۷ روزه

بتن بازیافتی یک روش محیط پسنده برای استفاده از مواد بازیافتی در تولید بتن است. در آزمایش‌ها، با استفاده از ۹ طرح اختلاط بتن با سنگدانه‌های بازیافتی، مقاومت‌های بالای ۲۵ Mpa به دست آمد. بتن بازیافتی دارای مزایای زیادی است. از جمله این مواد می‌توان به کاهش مصرف منابع طبیعی و همچنین با استفاده از بازیافت بتن، میزان آلودگی محیطی را کاهش داده و به تولید کمتر زباله کمک می‌کند. با توجه به مقاومت‌های بالایی هفت روزه، با اختلاط بتن با سنگدانه‌های بازیافتی به دست آمده است می‌توان به نتایج نهایی این نوع از بتن‌ها بسیار امیدوار بود.

### مقاومت نهایی

مقاومت فشاری بتن پس از ۲۸ روز به ۹۹ درصد مقاومت واقعی خود می‌رسد. برای تخمین مقاومت ۲۸ روزه بتن از نتایج آزمایش ۷ روزه نیز می‌توان استفاده کرد. به عنوان مثال، مقاومت فشاری بتن ۷ روزه حدود ۶۵٪ تا ۷۵٪ مقاومت بتن ۲۸ روزه است. با توجه به نتایج آزمایش‌های ۲۸ روزه این مورد مورد تایید قرار می‌گیرد. بتن با مقاومت بالا یا بتن پر مقاومت، نوعی بتن است که دارای مقاومت فشاری بیشتر از ۵۰ مگاپاسکال است. این نوع بتن به دلیل مقاومت بیشتر نسبت به سایر انواع بتن، در پروژه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از کاربردهای بتن با مقاومت بالا عبارتند از:

تونل‌های ساختمانی بلند: بتن پر مقاومت در ساخت ستون‌های ساختمان‌های مرتفع مورد استفاده قرار می‌گیرد.  
سازه‌های دریایی: در سازه‌های دریایی مانند بنادر، موج‌شکن‌ها و سازه‌های دریایی دیگر، بتن با مقاومت بالا به عنوان ماده‌ای مقاوم در برابر عوامل زیستی و محیط دریا استفاده می‌شود.

روسازی جاده‌ها: در پروژه‌های روسازی جاده‌ها، بتن پر مقاومت برای ساخت پل‌ها و سازه‌های مرتبط با جاده‌ها به کار می‌رود.  
با توجه به مقاومت‌های نهایی به دست آمده از نتایج پژوهش مشاهده می‌شود که رسیدن به مقاومت‌های بالای ۵۰ مگاپاسکال برای بتن ساخته شده با سنگدانه‌های بازیافتی امری امکان پذیر است. اقتصادی بودن یک پروژه در صنعت، امری اجتناب ناپذیر است پس برای رسیدن به این هدف باید از مصالح ارزان و با کارایی زیاد استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی از لحاظ اقتصادی و محیط زیستی بسیار مفید است. همچنین استفاده از این نوع سنگدانه‌ها در بتن ریزی‌های حجیم اثرات قابل ملاحظه‌ای در کنترل گسترش کربن دی اکسید و حفظ منابع طبیعی دارد.

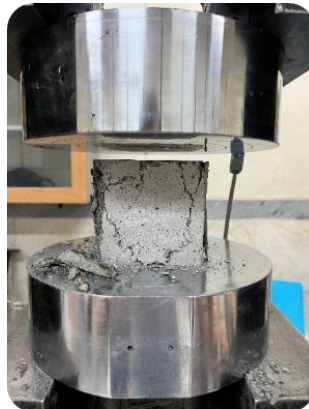
### مقاومت کششی

استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در تولید بتن می‌تواند تأثیر مهمی بر مقاومت کششی آن داشته باشد. در مطالعات مختلف، نتایج نشان داده‌اند که استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی می‌تواند منجر به کاهش مقاومت کششی بتن شود. این کاهش معمولاً به دلیل ویژگی‌های مختلف سنگدانه‌های بازیافتی نسبت به سنگدانه‌های طبیعی ایجاد می‌شود. برای بهبود مقاومت کششی بتن بازیافتی، می‌توان از ترکیب‌های مختلف سیمان، پوزولان‌ها و سنگدانه‌های بازیافتی استفاده کرد و این موضوع در پژوهش انجام شده هم قابل ملاحظه است با افزودن پوزولان به بتن می‌توان به مقاومت کششی بتن‌های رایج دست یافت.

### الگوی شکست

نمونه بتنی مطلوب باید با افزایش فشار، ۴ وجه کناری را به طور مساوی دچار ترک کند. پس از شکست، قطعه باقی‌مانده باید به صورت دو هرم معکوس روی هم قرار گیرد یا دو هرم جدا شده باشد.





شکل (۴-۱)

با توجه به شکل (۴-۱) ملاحظه می شود که الگوی شکست مطابق آیین نامه های متبر می باشد.

### نتیجه گیری

نمونه های مکعبی بتن با سنگدانه های بازیافتی ساخته شد. با توجه به پژوهش انجام شده مقاومت های بدست آمده بالای، ۵۰ Mpa است و می توان در سازه ها استفاده شود. الگوهای ترک خوردگی نیز مطابق با آیین نامه های موجود است و از لحاظ اقتصادی نیز طرح های اختلاط در نظر گرفته شده به صرفه است. از نتایج می توان نتیجه گرفت که با استفاده از سنگدانه های بازیافتی می توان گاز های بسیار مضر مانند: دی اکسید کربن را کنترل کرد از طرفی استفاده از این بتن، مقدار سنگدانه های استخراج شده از معادن را کاهش می دهد که برای محیط زیست بسیار مفید است.

### مراجع

- R. Soltanabadi and K. Behfarnia, "Shear strength of reinforced concrete deep beams containing recycled concrete aggregate and recycled asphalt pavement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 314, no. July 2021, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125597.
- I. Units, *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. 2019. doi: 10.14359/51716937.
- L. W. Zhang, A. O. Sojobi, V. K. R. Kodur, and K. M. Liew, "Effective utilization and recycling of mixed recycled aggregates for a greener environment," *J. Clean. Prod.*, vol. 236, p. 117600, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.07.075.
- C. Thomas, J. de Brito, A. Cimentada, and J. A. Sainz-Aja, "Macro- and micro- properties of multi-recycled aggregate concrete," *J. Clean. Prod.*, vol. 245, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118843.
- B. Wang, L. Yan, Q. Fu, and B. Kasal, "A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 171, no. September 2020, p. 105565, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105565.
- R. Soltanabadi, K. Behfarnia, and A. Mamazizi, "Numerical investigation of RC deep beams containing recycled aggregates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 324, no. December 2021, p. 126713, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126713.



## Concrete made with recycled aggregates to achieve high strength concrete

**Abolfazl arabzadeh**

Associate Professor of Structure Department,  
Faculty of Civil Engineering and Environment,  
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**Mahdi khakzad arablou**

Master's student, Faculty of Civil Engineering and  
Environment, Tarbiat Modares University, Tehran,  
Iran

### 1-1-

#### Abstract - ۲-۱

Recycled Concrete Aggregates (RCA) have gained popularity as a sustainable alternative to natural aggregates in construction. In this experimental study, we investigate the compressive and tensile strength of concrete mixes containing RCA. Additionally, we examine the effects of superplasticizers and micro silica on the mechanical properties of the resulting concrete. Nine separate mix designs were formulated, each varying in the ratios of RCA, superplasticizer, and micro silica. Six cubic samples and two cylindrical samples were produced for each mix design. The samples were cured for a specified duration and then tested. This study confirms that the selected mix design, including RCA, superplasticizer, and micro silica, can be effectively used in structural members. By using recycled materials and optimizing additives, we contribute to sustainable construction methods while maintaining acceptable performance.

**Keywords:** recycled aggregate, concrete, high strength concrete, micro silica. - ۱-۳