

## بررسی تأثیر باطله زغال سنگ بر رفتار مکانیکی بتن سبز

مرتضی نقی پور \*

استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

شیرین احمدی

دانشجوی ارشد سازه، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل.

فاطمه گرجی نژاد

دانشجوی ارشد سازه، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل.

### چکیده

کاهش منابع طبیعی سبب تجدید نظر در استفاده از سنگ‌دانه‌های طبیعی بتن شده است و محققین جهت کاهش بحران ضایعات و محیط زیست، به دنبال افزایش استفاده از ضایعات صنعتی می‌باشند، در این پژوهش جهت بررسی خصوصیات مکانیکی، سه سری نمونه بتنی با نسبت آب به سیمان یکسان ( $w/c=0.4$ ) و درصدهای مختلف باطله زغال سنگ در نظر گرفته شد. سری اول طرح شاهد، سری دوم و سوم به ترتیب شامل درشت دانه و ریزدانه باطله زغال سنگ بوده که جایگزین ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد از شن و ماسه شده است. طبق نتایج حاصل از آزمایشات در جایگزینی ۱۰ درصدی باطله زغال سنگ، عملکرد بهتری در مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و سرعت عبور امواج نسبت به طرح شاهد مشاهده شده است، همچنین جایگزینی باطله زغال سنگ در بتن همواره موجب کاهش مقاومت کششی بتن می‌شود. بنابراین جایگزینی مناسب باطله در بتن، سبب بهبود برخی خواص مکانیکی و کاهش اثرات مخرب باطله بر محیط زیست می‌شود.

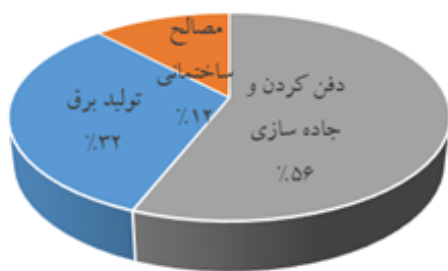
واژه‌های کلیدی: بتن سبز، باطله زغال سنگ، خواص مکانیکی، مواد جایگزین سنگ‌دانه.

## ۱- مقدمه



شکل ۱- باطله زغال سنگ دپو شده در طبیعت [۷]

نزدیک به نصف زغال سنگ تولیدی دنیا متعلق به چین می‌باشد. مصرف سالیانه زغال سنگ در چین در حدود ۴۲۴/۴ میلیون تن است [۸]. باطله‌ی زغال سنگ دپو شده در دامپ‌های اروپا در یک دهه حدود ۱۷۵ میلیون تن گزارش شده است. در سال ۲۰۰۹ در اسپانیا ۲/۲ میلیون تن زغال سنگ معدنی تولید شده است. بنابراین باطله زغال سنگ تبدیل به یک بحران زیست محیطی جهانی شده است و کشورهای مختلف به دنبال راه‌حلی برای بکارگیری آن به روش بهینه هستند [۹]. میزان کلی به کارگیری از سنگ باطله در کشورهای پیشرفته (آمریکا و اروپا) بیشتر از ۹۰ درصد است. در حالی که به کارگیری باطله‌ها در کشورهای در حال توسعه بسیار پایین است. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، باطله زغال سنگ می‌تواند در خاک دفن شود، در ساخت راه‌ها و به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار گیرد و یا برای تولید برق از آن بهره برد [۱۹-۱۰].



شکل ۲- عمده استفاده سنگ‌دانه باطله زغال سنگ در چین [۲۰]

صرفه‌جویی در هزینه و حفظ منابع طبیعی و محیط زیست از اصلی ترین مزیت استفاده از زباله‌ها به عنوان افزودنی مؤثر در مخلوط می‌باشد. محققین سعی کرده‌اند به علت تقلیل منابع طبیعی و افزایش فعالیت‌های ساختمان‌سازی و جاده‌سازی، ذخیره انرژی و

مفهوم مواد سبز در سال ۱۹۸۸ توسط اتحادیه بین‌المللی علوم تحقیقات<sup>۱</sup> مواد پیشنهاد شد که در آن رنگ سبز به معنی پایداری محیط زیست است. براساس کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه سازمان ملل متحد، پایداری به معنی رفع نیازهای حال حاضر بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده است. از سال ۱۹۹۲ به صورت علمی مواد سبز به موادی اطلاق می‌شود که باعث حداقل تخریب محیط‌زیست جهانی و بیشترین فایده به بدن انسان در مرحله انتخاب مواد اولیه، تولید محصول، کاربرد و استفاده مجدد داشته باشد. به منظور کاهش آسیب به سلامت، منابع زمین و محیط‌زیست در طراحی ساختمان‌ها و روند ساخت‌وساز، سه راه برای تشخیص مواد ساختمان‌سازی سبز وجود دارد. این مواد باید آلودگی و مصرف انرژی کمتر، تضمین سلامت در ساخت مواد استفاده شده در آن و طول عمر بیشتر داشته باشد [۱-۲]. موادی که می‌توان به عنوان جایگزین برخی مواد تشکیل‌دهنده بتن استفاده نمود شامل خاکستر بادی، بتن بازیافتی، ضایعات تخریب، ضایعات صنایع و ... هستند.

فعالیت‌های بی‌ملاحظه استخراج از معادن برای استفاده از مصالح، باعث کاهش منابع طبیعی شده است. از طرف دیگر، تقاضای ساخت و ساز رو به رشد در سراسر جهان، باعث افزایش استفاده از بتن می‌گردد. این در حالی است که مواد سازنده بتن معمولی به طور کامل سازگار با محیط زیست نمی‌باشد [۳].

باطله زغال سنگ در کشورهایی که منبع اصلی انرژی مصرفی آن‌ها زغال سنگ است، یکی از نگرانی‌های اصلی زیست محیطی جهان می‌شود. باطله زغال سنگ، پسماند اصلی جامدی است که طی فرآیند آماده‌سازی زغال سنگ بصورت فیزیکی از آن جدا می‌شود، حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد از باطله زغال سنگ که به روش وزنی تولید شده‌اند طی عمل‌آوری (تولید و ساخت) خارج می‌شوند [۴].

در کارخانه تولید زغال‌سنگ ناخالصی‌های زغال سنگ توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی، کاهش می‌یابد. این فرآیند مقدار زیادی باطله مایع و جامد تولید می‌کند که در دامپ‌ها و سدهای باطله انباشت می‌شوند [۵-۶]. شکل ۱ تصویر دپوی باطله را در اطراف کارخانه زغال شویی البرز مرکزی نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> International Union of Materials Research Societies

پودر باطله زغال سنگ جیگ و فلو تاسیون، ۵٪ برای نمونه‌های با سن ۲۸ روزه می‌باشد [۲۹]. کریم پور و همکاران به بررسی خواص مکانیکی بتن در اثر جایگزینی سنگ‌دانه‌های بازیافتی و باطله زغال سنگ پرداختند بیان کردند جایگزینی مشترک باطله زغال سنگ و سنگ‌دانه بازیافتی تا ۱۵٪، (۷/۵ درصد از هر کدام) با سنگ‌دانه طبیعی سبب بهبود مقاومت فشاری می‌شود [۳۰].

با توجه به اینکه اغلب مطالعات پیشین در زمینه مقاومت فشاری انجام شده است [۲۵، ۲۹]. در این پژوهش با توجه به مزایای کاهش نسبت آب به سیمان در بتن، همچنین خاصیت سیمانی ضعیف باطله نسبت به پوزولان های شیمیایی متداول [۳۱] به بررسی اسلامپ، وزن مخصوص، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، سرعت امواج فراصوت، ریزساختار در نسبت آب به سیمان ۰/۴ و جایگزینی باطله زغال سنگ بعنوان بخشی از سنگ‌دانه پرداخته شد.

## ۲- اهداف

در این پژوهش به منظور بررسی خواص مکانیکی، کاهش آلودگی ناشی از ضایعات صنعتی و بررسی جایگزین مناسب برای سنگ‌دانه طبیعی رو به کاهش، طرح‌های مختلفی با تغییرات درصد باطله زغال سنگ به عنوان جایگزین سنگ‌دانه مورد مطالعه قرار گرفت.

## ۳- مواد و روش ها

### ۳-۱- سنگ‌دانه ها

بر اساس استاندارد ASTM C33 [۳۲]، آزمایش دانه بندی جهت تعیین نحوه توزیع اندازه دانه‌های سنگی به کار گرفته شد. مدول نرمی مطابق با استاندارد ASTM C125 [۳۳] محاسبه شد.

### ۳-۱-۱- شن

شن مصرفی در این تحقیق از نوع مصالح تیز گوشه می‌باشد. وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک مطابق با استاندارد [۳۴]  $2/6 \text{ gr/cm}^3$  درصد، جذب آب آن ۱/۱ درصد و حداکثر اندازه سنگ‌دانه ۱۲/۵ mm است. منحنی دانه‌بندی شن در شکل ۳ ارائه شده است.

اثرات زیست‌محیطی، جایگزین مناسبی برای مصالحی که در صنعت ساخت و ساز و جاده‌سازی استفاده می‌شود بیانند [۲۲-۲۱]. تا به امروز باطله زغال سنگ در مخلوط آسفالت گرم، مخلوط سیمان، تثبیت خاک و بلوک بتنی پیاده‌روها (کف سازی) ساخت آجر، موزاییک مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴، ۱۹، ۲۳]. پودر باطله زغال سنگ با خاصیت پوزولانی سیلیس و آلومینا خواصی مانند پوزولان نوع F را دارا می‌باشد و می‌تواند باعث بهبود عملکرد کف پیاده‌روها شود [۲۴]. لو<sup>۱</sup> و همکاران به بررسی اثر باطله زغال سنگ بر خواص و ریزساختار بتن بازیافتی پرداختند، نتایج حاکی از آن بود که انقباض ناشی از خشک شدن بتن حاوی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ جایگزینی باطله به ترتیب ۱۷٪ و ۲۵٪ کمتر از بتن معمولی با سنگ‌دانه طبیعی است [۲۵]. ملودی<sup>۲</sup> و همکاران به بررسی اثر باطله زغال سنگ در مقاومت فشاری بتن با دمای بالا پرداختند و بیان نمودند تا ۴ درصد جایگزینی باطله زغال سنگ با ماسه سبب افزایش مقاومت فشاری بتن و با افزایش درصد جایگزینی باطله زغال سنگ با ماسه کارایی مخلوط بتن تازه کاهش می‌یابد [۲۶]. سانتوس<sup>۳</sup> و همکاران از باطله زغال سنگ در ساخت بلوک‌های بتنی سنگ فرش استفاده نمودند. آن‌ها گزارش نمودند که با جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصدی باطله زغال سنگ بازیافت شده با ماسه در بلوک‌های بتنی نتایج رضایت بخشی در مقاومت حاصل شده است [۲۷]. طی تحقیقاتی که با هدف یافتن راه حلی برای کاهش اثرات منفی باطله زغال سنگ در محیط زیست انجام گرفت، اثر باطله زغال سنگ بر بتن مسلح با الیاف فولادی و پلی اتیلن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که الیاف فولادی بطور قابل توجهی مقاومت فشاری، کششی و خمشی را افزایش می‌دهد و همچنین در جایگزینی ۱۰٪ باطله زغال سنگ با شن، ماسه و بکارگیری ۲٪ الیاف فولادی هیچ گونه کاهش در خصوصیات مکانیکی بتن مشاهده نشد [۲۸]. نقی پور و همکاران از باطله زغال سنگ بعنوان جایگزین بخشی از سیمان و ریز دانه مصرفی جهت ساخت بتن استفاده نمودند و تاثیر باطله زغال سنگ بر مقاومت فشاری بتن را مورد بررسی قرار دادند. بهترین درصد جایگزینی ماسه مصرفی با ریزدانه باطله زغال سنگ جیگ، ۱۰٪ و بهترین درصد جایگزینی سیمان مصرفی با

<sup>3</sup> Santos

<sup>1</sup> Lu

<sup>2</sup> Miloudi

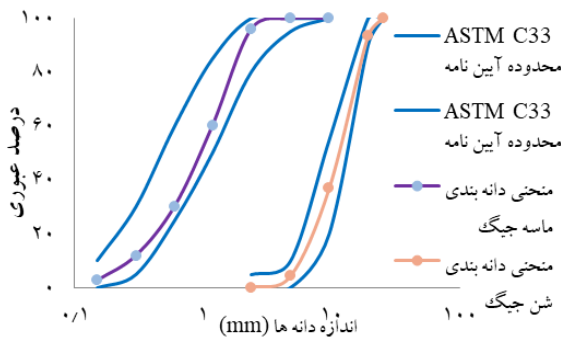
مرحله اول باطله زغال سنگ عبوری از الک ۱۲/۵ میلی متر جایگزین شده از الک ۴ جایگزین ماسه مصرفی شده است. باطله مورد استفاده در زیر نور آفتاب به طور کامل خشک شده و سپس استفاده شده است. نمونه‌ای از باطله زغال سنگ مصرفی در شکل ۵ نشان داده شده است، ترکیبات شیمیایی و منحنی دانه بندی آن به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۶ آورده شده است.



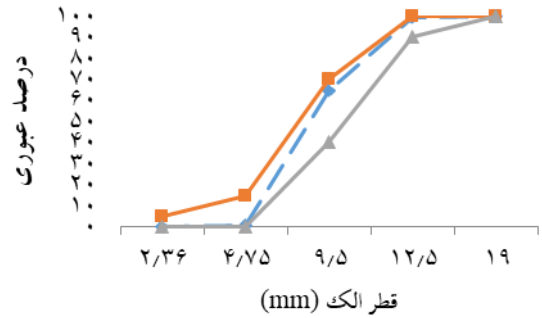
شکل ۵- باطله زغال سنگ در اندازه مختلف

جدول ۱- آنالیز ترکیب شیمیایی باطله زغال سنگ

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
SiO <sub>2</sub>	۳۳/۲	L.O.I	۴۴/۲۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۴/۰۱	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۳۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳/۴۵	Na <sub>2</sub> O	۰/۲۲
CaO	۰/۳۸	TiO <sub>2</sub>	۰/۹۵
MgO	۰/۸۶	K <sub>2</sub> O	۲/۳۱
Mno	۰/۰۲		



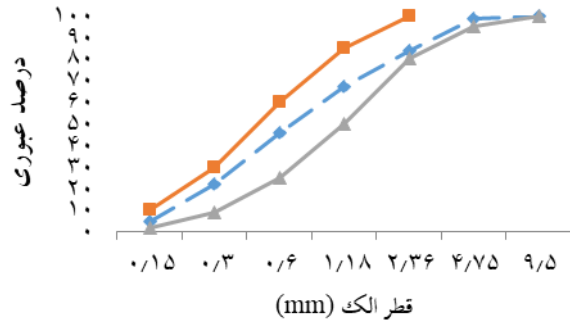
شکل ۶- منحنی دانه بندی باطله زغال سنگ



شکل ۳- منحنی دانه بندی شن  
 شن  
 محدوده مجاز آیین نامه ASTM C33  
 محدوده مجاز آیین نامه ASTM C33

### ۳-۱-۲- ماسه

ماسه مصرفی از نوع رودخانه‌ای و با اندازه ۰-۴/۷۵ میلی متر بوده که میزان نسبت‌های آن به حد مورد نظر استاندارد ASTM C33 [۳۲] رسیده است. وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک مطابق با استاندارد [۳۴]  $2.6 \text{ gr/cm}^3$  درصد، جذب آب آن ۰/۸ درصد و مدول نرمی ماسه مورد نظر نیز ۲/۷۸ تعیین گردید. منحنی دانه بندی ماسه در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- منحنی دانه بندی ماسه  
 ماسه  
 محدوده مجاز آیین نامه ASTM C33  
 محدوده مجاز آیین نامه ASTM C33

### ۳-۱-۳- باطله زغال سنگ

باطله زغال سنگ مورد استفاده از کارخانه زغال سنگ البرز مرکزی با وزن مخصوص  $1.24 \text{ gr/cm}^3$  تهیه شده است. باطله زغال سنگ جیگ، در دو مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرد، در

### ۳-۲- سیمان

سیمان مصرفی از سیمان تیپ دو کارخانه سیمان مازندران انتخاب گردید. کارخانه سیمان مازندران در شهر نکا واقع شده است.

### ۳-۳- آب

آب مصرفی در ساخت و عمل آوری نمونه‌ها از آب شرب شهر بابل می‌باشد که با توجه به مصرف آشامیدنی آن، برای ساخت بتن بدون مشکل است.

دانسیته سیمان مذکور برابر  $3/15 \text{ gr/cm}^3$  و سطح ویژه آن  $3050 \text{ gr/cm}^2$  می‌باشد. خواص فیزیکی و ترکیبات شیمیایی این سیمان به ترتیب در جدول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۲- خواص فیزیکی سیمان تیپ ۲

مشخصات فیزیکی سیمان	مقدار مشخصه
مازندران (نکا)	فیزیکی
زمان گیرش اولیه	۱۰۰ دقیقه
زمان گیرش نهایی	۱۸۰ دقیقه
مقاومت فشاری ۳ روزه	$220 \text{ Kg/cm}^2$
مقاومت فشاری ۷ روزه	$390 \text{ Kg/cm}^2$
مقاومت فشاری ۲۸ روزه	$520 \text{ Kg/cm}^2$

جدول ۳- خواص شیمیایی سیمان تیپ ۲

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
SiO <sub>2</sub>	۲۱/۲۵	CaO	۶۴/۰۷
Al <sub>2</sub> O	۴/۹۵	MgO	۱/۲۰
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳/۱۹	SO <sub>3</sub>	۲/۰۴
K <sub>2</sub> O	۰/۶۳	Na <sub>2</sub> O	۰/۳۸

### ۴- طرح مخلوط بتن

درصدهای اختلاط اجزا بتن مطابق با استاندارد ACI-211-1-89 [۳۵] تعیین گردیده است. طرح‌های مخلوط نمودن اجزا با یکدیگر در جدول ۴ داده شده است. برای اختلاط مصالح با یکدیگر ابتدا شن و نیمی از ماسه را با یکدیگر مخلوط نموده و در ادامه ذرات باطله را در میکسر ریخته تا با مصالح موجود مخلوط شود، سپس ۲۰٪ از آب موجود برای به اشباع رساندن سنگ‌دانه‌ها اضافه نموده و در ادامه باقی ماسه به مخلوط اضافه شده است. در مرحله بعد سیمان را در میکسر ریخته و در انتها پس از مخلوط شدن مصالح باقیمانده، آب به مصالح اضافه گردید. لازم به ذکر است با افزایش میزان ذرات باطله مدت زمان اختلاط مصالح را کمی افزایش داده تا این ذرات به‌طور یکنواخت با دیگر مصالح مخلوط گردند. نسبت آب به سیمان برای تمامی طرح‌ها ثابت و برابر با ۰/۴ می‌باشد. کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی بتن در جایگزینی ۵، ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی باطله با ماسه و شن موجود با بتن شاهد مقایسه شده است.

جدول ۴- جزییات طرح‌های اختلاط ( $\text{Kg/m}^3$ )

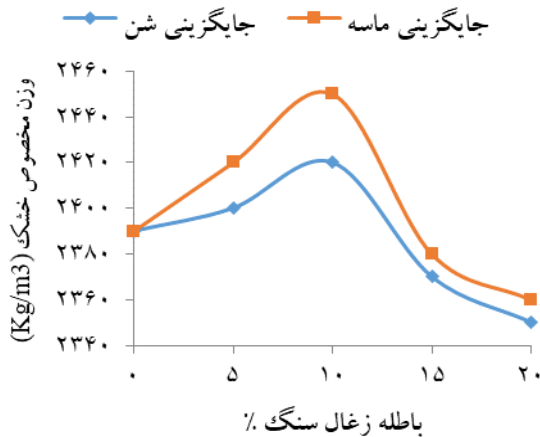
نام طرح	آب	سیمان	شن	ماسه	باطله درشت‌دانه	باطله ریزدانه
۱	۲۱۵	۵۳۸	۸۲۴	۷۸۰	۰	۰
۲	۲۱۵	۵۳۸	۷۷۵/۷۴	۷۸۰	۱۹/۶۵	۰
۳	۲۱۵	۵۳۸	۷۳۴/۵۴	۷۸۰	۳۹/۳۰	۰
۴	۲۱۵	۵۳۸	۶۹۳/۳۴	۷۸۰	۵۸/۹۵	۰
۵	۲۱۵	۵۳۸	۶۵۲/۱۴	۷۸۰	۷۸/۶۰	۰
۶	۲۱۵	۵۳۸	۸۲۴	۷۳۳/۹۴	۰	۱۸/۶
۷	۲۱۵	۵۳۸	۸۲۴	۶۹۴/۹۴	۰	۳۷/۲
۸	۲۱۵	۵۳۸	۸۲۴	۶۵۵/۹۴	۰	۵۵/۸
۹	۲۱۵	۵۳۸	۸۲۴	۶۱۶/۹۴	۰	۷۴/۴

### ۴-۱- تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی

مخلوط‌های بتنی مطابق با ASTM C143 [۳۶] اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی مقاومت فشاری و سرعت عبور امواج فراصوت، از

پس از اختلاط بتن، برای تعیین کارایی بتن تازه آزمایش اسلامپ

علت کاهش وزن مخصوص بتن حاوی باطله زغال سنگ، پایین بودن وزن مخصوص باطله نسبت به شن و ماسه می باشد. اگر چه با جایگزینی ۵ و ۱۰ درصدی باطله زغال سنگ با شن و ماسه وزن مخصوص بتن به طور ناچیز افزایش یافت. با توجه به ریزتر بودن ذرات باطله نسبت به شن و ماسه [۴۰]، حفرات توسط این مواد پر می شوند بنابراین سبب افزایش وزن مخصوص در درصد های پایین جایگزینی می گردند.



شکل ۸- وزن مخصوص بتن حاوی باطله زغال سنگ

### ۳-۵- مقاومت فشاری

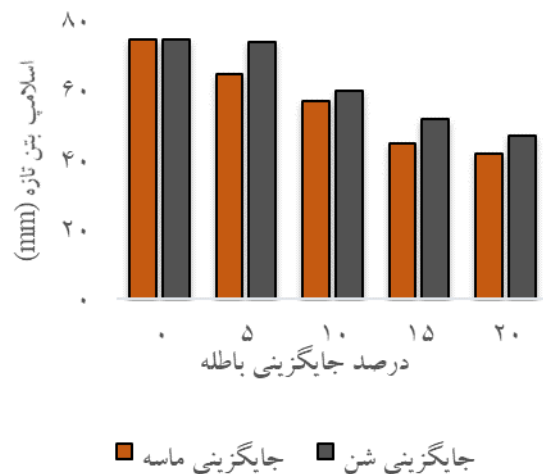
شکل ۹ و ۱۰ روند تغییرات مقاومت فشاری را در اثر باطله زغال سنگ نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود بهترین درصد جایگزینی باطله زغال سنگ با شن در آزمایش مقاومت فشاری ۱۰ درصد می باشد، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه آن به ترتیب ۸/۸۳ و ۴/۳۴ درصد نسبت به طرح شاهد افزایش می یابد. با افزایش ۱۵ و ۲۰ درصدی جایگزینی باطله زغال سنگ با شن مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن به ترتیب ۱۰/۰۲، ۲۲/۶ و ۸/۳، ۲۰ درصد کاهش یافت و همچنین، بهترین درصد جایگزینی باطله زغال سنگ با ماسه نیز در آزمایش مقاومت فشاری ۱۰ درصد می باشد، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه آن به ترتیب ۴/۹۵ و ۱/۸۹ درصد نسبت به طرح شاهد افزایش می یابد. با افزایش ۱۵ و ۲۰ درصدی جایگزینی باطله زغال سنگ با شن مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن به ترتیب ۶/۲، ۱۸/۷۴ و ۵/۳، ۱۴/۲ درصد کاهش یافت. در درصد های جایگزینی بالاتر، باطله جایگزین سنگ دانه می شود و ناحیه انتقال (ITZ) در مقایسه با بتن شاهد ضعیف تر می شود، علت آن است که اتصال بین باطله زغال سنگ و خمیر سیمان در مقایسه با سنگ دانه

هر طرح اختلاط تعداد ۳ نمونه مکعبی به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر ساخته شد و برای اندازه گیری مقاومت فشاری بر اساس استاندارد BS- EN 12390 [۳۷] عمل شده است. همچنین برای محاسبه مدول الاستیسیته استاتیکی و مقاومت کششی غیر مستقیم، برای هر طرح اختلاط ۶ نمونه استوانه ای به قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر ساخته شد و طبق استاندارد ASTM C469 [۳۸] و ASTM C496 [۳۹] انجام گردید. نمونه ها به مدت ۲۸ روز در آب آهک عمل آوری شده و مورد آزمایش قرار گرفته و مقادیر میانگین گزارش شد.

### ۵- نتایج

#### ۵-۱- اسلامپ

شکل ۷ نتایج آزمایش اسلامپ برای نمونه های بتنی حاوی باطله زغال سنگ را نشان می دهد. با مشاهده نمودار می توان نتیجه گرفت که با افزایش جایگزینی ذرات باطله، اسلامپ نمونه های بتنی کاهش می یابد و این کاهش در جایگزینی ماسه بیشتر از جایگزینی شن می باشد. علت این امر را می توان به ریزتر بودن ذرات باطله زغال سنگ نسبت داد، چون سطح مخصوص بزرگتری دارند جذب آب بیشتری داشته و از کارایی بتن تازه می کاهند [۴۰].

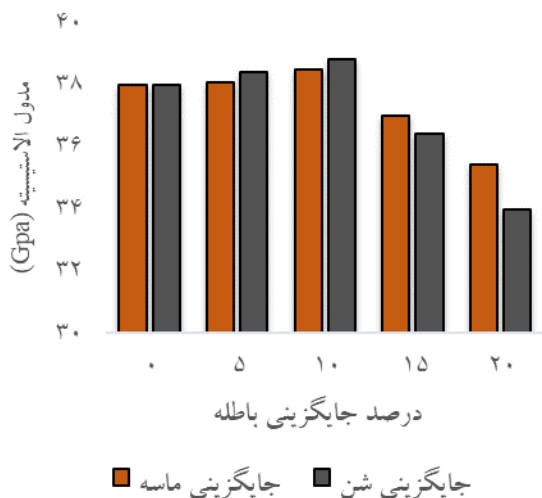


شکل ۷- نتایج آزمایش اسلامپ

#### ۵-۲- وزن مخصوص

شکل ۸ وزن مخصوص بتن با درصد های مختلف جایگزینی باطله زغال سنگ را نشان می دهد. همان طور که مشخص است با افزایش جایگزینی باطله زغال سنگ، وزن مخصوص بتن کاهش می یابد.

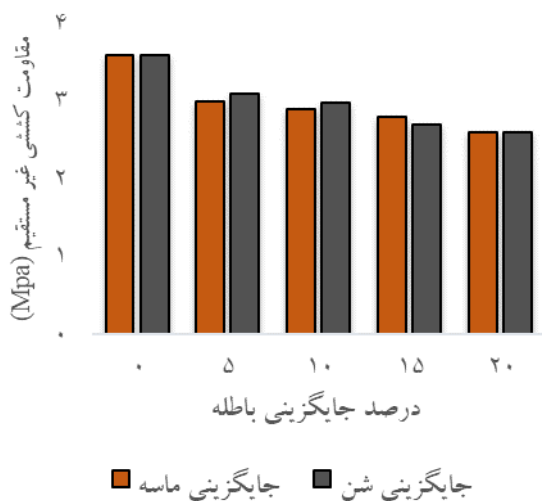
سنگ کاهش می یابد، اگرچه در درصد های پایین جایگزینی شاهد افزایش ناچیز مدول الاستیسیته نسبت به طرح شاهد هستیم.



شکل ۱۱- نتایج آزمایش مدول الاستیسیته بتن

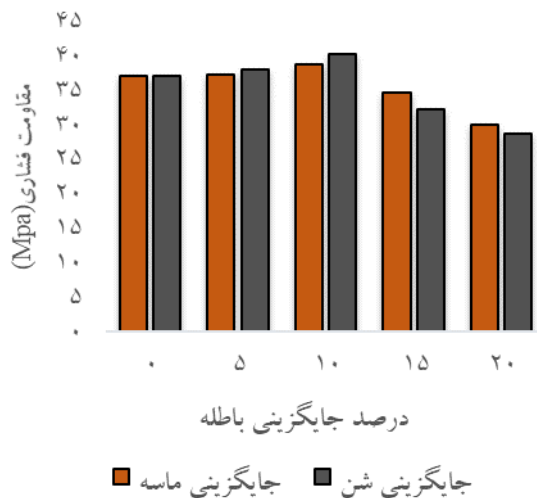
#### ۵-۵- مقاومت کششی

همان طور که در شکل ۱۲ نشان داده شد کاهش مقاومت کششی با افزایش درصد جایگزینی باطله زغال سنگ با شن و ماسه دیده می شود. مقدار این کاهش در جایگزینی ۵ درصد شن و ماسه به ترتیب ۱۳/۶۳، ۱۶/۴ درصد می باشد. می توان گفت به این علت که اندازه ی مقاومت کششی بتن به میزان زیادی به ناحیه ی انتقال بین سنگ دانه و خمیر سیمان بستگی دارد و با توجه به ضعیف بودن ناحیه ی انتقال بین ذرات باطله نسبت به سنگ دانه های طبیعی [۳۰]، با جایگزینی باطله زغال سنگ با سنگ دانه های طبیعی مقدار مقاومت کششی بتن کاهش پیدا می کند.

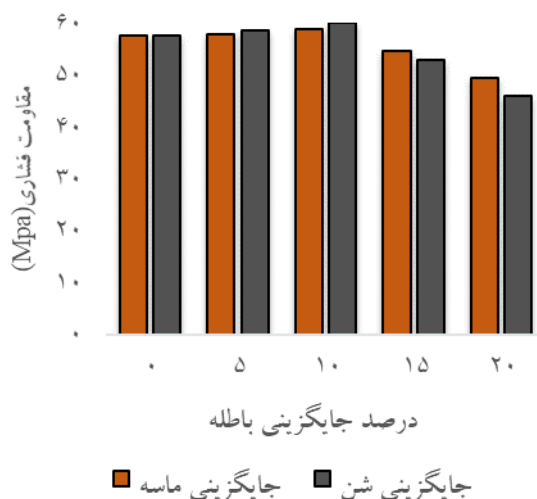


شکل ۱۲- نتایج آزمایش مقاومت کششی

طبیعی کمتر است [۴۳-۴۱]، بنابراین تمرکز تنش در ناحیه انتقال ضعیف، سبب شکست سریعتر در بتن حاوی باطله می شود.



شکل ۹- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه بتن



شکل ۱۰- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن

#### ۵-۴- مدول الاستیسیته

شکل ۱۱ روند تغییرات مدول الاستیسیته بتن را در اثر باطله زغال سنگ نشان می دهد. مطابق شکل با افزایش جایگزینی باطله زغال سنگ تا ۱۰ درصد با شن و ماسه، مدول الاستیسیته به ترتیب ۲/۱۵ و ۱/۳ درصد افزایش یافت و سپس با افزایش جایگزینی ۱۵ و ۲۰ درصد با شن و ماسه، مدول الاستیسیته به ترتیب ۴/۱۳، ۱۰/۶ و ۲/۶۸، ۶/۸ درصد کاهش می یابد، با توجه به آن که نوع و اندازه سنگ دانه در مقدار مدول الاستیسیته بتن مؤثر می باشد و با توجه به ساختار فیزیکی ضعیف باطله زغال سنگ در مقایسه با شن و ماسه [۴۴-۴۵]، مدول الاستیسیته بتن در اثر جایگزینی باطله زغال

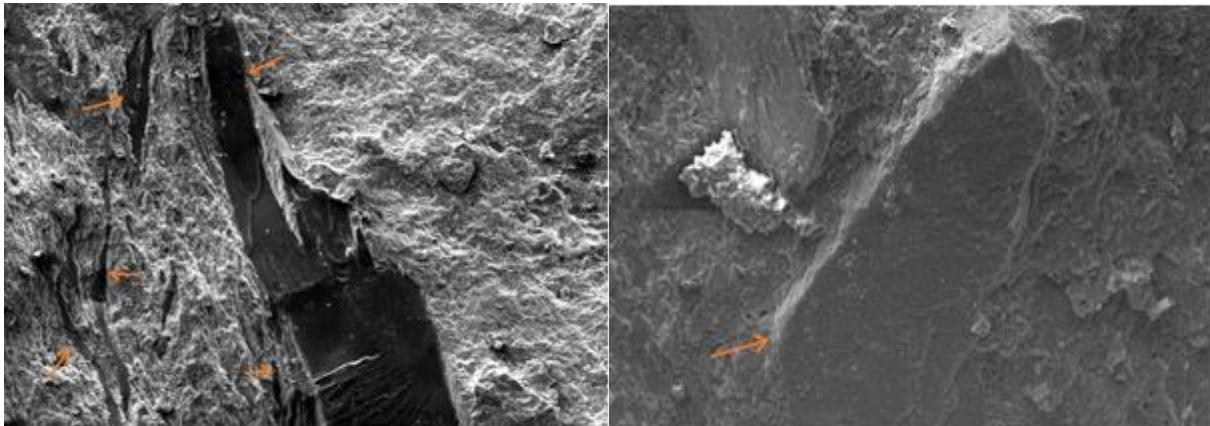


### ۵-۵-۱- بررسی شکست باطله زغال سنگ طی آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

بتن در تخمین باری که ترک‌ها در آن توسعه می‌یابند، با ارزش است. طی تحقیقات انجام شده بتن معمولاً در ناحیه انتقال (ITZ) [۴۰] و یا سنگ‌دانه ضعیف می‌شکند، سنگ‌دانه‌های بازبافتی سبب ضعیف شدن ناحیه انتقال می‌شوند و در نتیجه بتن سریع‌تر می‌شکند [۴۶]، با توجه به شکل ۱۳ بتن مورد بررسی از ناحیه انتقال ضعیف شکسته شد.

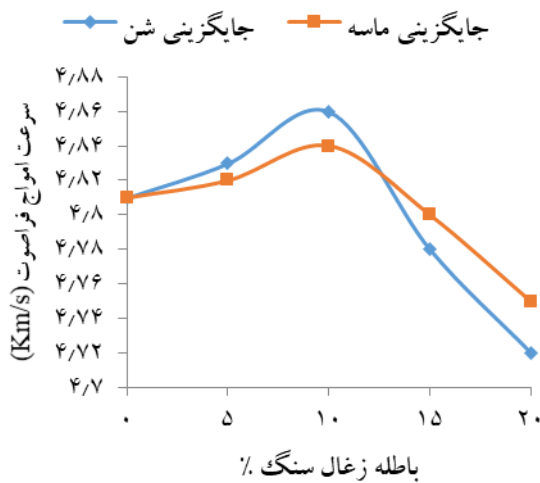
بعد از شکست نمونه‌ها تحت آزمایش کشش غیرمستقیم بوسیله میکروسکوپ الکترونی با استفاده از تصاویر بزرگنمایی شده از نمونه به بررسی نحوه رفتار باطله تحت کشش پرداخته شده است.

در مصالحی همچون بتن که دارای فضاهای خالی با اندازه‌های مختلف در خمیر آن و ترک‌های ریز در ناحیه انتقال خمیر و سنگ‌دانه درشت می‌باشد، حالت شکست تحت تنش‌های وارده بسیار پیچیده بوده و با تنش وارده تغییر می‌کند. به هر حال بررسی آن در درک کامل تر و کنترل عوامل موثر بر مقاومت بتن مفید خواهد بود. اگر چه معمولاً بتن به گونه‌ای طراحی نمی‌گردد که تنش کششی مستقیم را تحمل نماید، ولی دانستن مقاومت کششی



شکل ۱۳- نمونه‌هایی از شکست باطله طی آزمایش کشش غیرمستقیم  
الف) شکست نمونه از ناحیه انتقال خمیر سیمان به باطله ب) شکست نمونه از ناحیه باطله زغال سنگ

روش التراسونیک به عنوان یک روش غیرمخرب جهت پیشبینی مقاومت فشاری بتن توصیه نمود.



شکل ۱۴- میانگین نتایج آزمایش سرعت عبور امواج

### ۵-۶- سرعت عبور امواج فراصوت

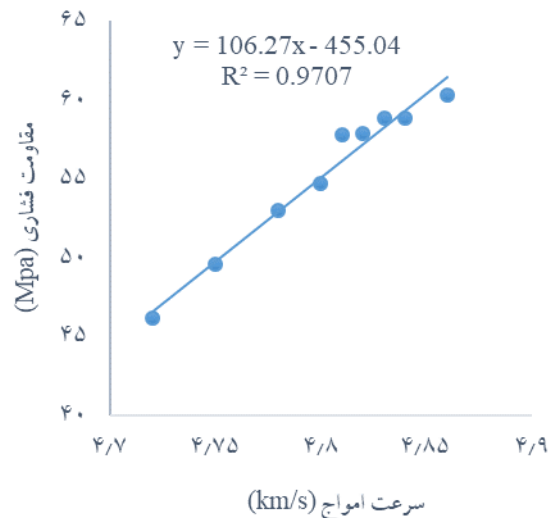
در این تحقیق آزمایش سرعت عبور امواج فراصوت<sup>۱</sup> به وسیله دستگاه پاندیت<sup>۲</sup> با فرکانس ۵۴ کیلوهرتز و دقت ۰/۱ میکروثانیه، به صورت انتقال مستقیم، بر روی ۴ وجه از ۶ وجه نمونه‌های مکعبی صورت گرفت (۴ وجه عمود بر جهت بتن ریزی) هر وجه به ۵ قسمت تقسیم شد و زمان عبور امواج در هر ۵ نقطه ثبت گردید. میانگین این اعداد به عنوان زمان عبور امواج در نظر گرفته شد. همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود سرعت عبور در ۵ و ۱۰ درصد جایگزینی شن افزایش می‌یابد و این افزایش در جایگزینی شن بیشتر از ماسه می‌باشد. در ادامه با افزایش درصد جایگزینی سرعت کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل ۱۵ و بررسی رابطه سرعت امواج التراسونیک با مقاومت فشاری و توجه به مقدار ضریب همبستگی مناسب این روابط، می‌توان استفاده از

<sup>2</sup> pundit tester

<sup>1</sup> Ultrasonic waves



- [2] Peake S. "Delivering the Kyoto baby: UNFCCC COP9 report" Refocus, 2004, Vol5, 52-53.
- [3] Mo K. H., Alengaram U. J., Jumaat M. Z., Yap S. P. & Lee S. C. "Green concrete partially comprised of farming waste residues" a review Journal of Cleaner Production, 2016, 117: 122-138.
- [4] Chen Y., Zhou S. & Zhang W. "Effect of coal gangue with different kaolin contents on compressive strength and pore size of blended cement paste" J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. 2008, Ed. 23, 12-15.
- [5] Safari Sinigani A. A., Abedi A., Asghari H. & Safari Sinigani S. "The Impact of Anjir-tangeh Coal Washing Plant on Concentration of Some Heavy Metals in the Native Vegetation" Mazandaran Province, Iran, Vol.47, No.2, Dec 2013. pp. 151-161.
- [6] Bahri Z., Shafaei Z. & karamoozian M. MSc Thesis: "Investigation of retreatment possibility of Zirab coal washing factory Jig tailings" Shahrood University of Technology, Faculty of Mining, 2011, Petroleum and Geophysics.
- [7] Modarres, A., Ayar, P. "Comparing the mechanical properties of cold recycled mixture containing coal waste additive and ordinary Portland cement" International Journal of Pavement Engineering 17, 2014. doi:10.1080/10298436.2014.979821.
- [8] Zhang L., He C., Yang A., Yang Q. & Han J. "Modeling and implication of coal physical input-output table in China—Based on clean coal concept" Resour. Conserv. Recycl, 2018, 129:355-365.
- [9] Frías M., De Rojas M.S., García R., Valdés A.J. & Medina C. "Effect of activated coal mining wastes on the properties of blended cement" Cem. Concr. Compos, 2012, 34 (5) 678-683.
- [10] Wu H., Wen Q., Hu L. & Gong M. "Feasibility study on the application of coal gangue as landfill liner material" Waste Manage. 2017, 63 161-171.
- [11] Querol X., Izquierdo M., Monfort E., Alvarez E., Fonta O., Moreno T., Alastuey A., Lu W. & Wang Y. "Environmental characterization of burnt coal gangue banks at Yangquan" Shanxi Province, China, Int. J. Coal Geol. 2008, 75 (2) 93-104.
- [12] Misz-Kennan M., Fabian'ska M.J. "Application of organic petrology and geochemistry to coal waste studies" Int. J. Coal Geol. 2011, 88 (1) 1-23.
- [13] Deng D., Cen W. "Environmental effect of coal gangue stack area" China Min. Ind. 1999, 06 90-94 (in Chinese).
- [14] Zhai X., Wu S., Wang K., Drebenstedt C. & Zhao J. "Environment influences and extinguish technology of spontaneous combustion of coal



شکل ۱۵- رابطه بین سرعت امواج و مقاومت فشاری ۲۸ روزه

## ۶- نتیجه گیری

- افزودن باطله زغال سنگ کاهش اسلامپ بتن را در پی دارد. به طوری که با افزایش میزان جایگزینی، کاهش بیشتری در مقادیر اسلامپ مشاهده شد.
- وزن مخصوص خشک بتن با افزایش جایگزینی باطله زغال سنگ کاهش می یابد.
- بهترین درصد جایگزینی درشت دانه و ریزدانه باطله زغال سنگ جیگ با شن و ماسه در آزمایش مقاومت فشاری در سن ۷ و ۲۸ روزه ۱۰ درصد می باشد، در درصدهای جایگزینی بالاتر مقاومت فشاری کاهش می یابد.
- بهترین درصد جایگزینی درشت دانه و ریزدانه باطله زغال سنگ جیگ با شن و ماسه در آزمایش مدول الاستیسیته بتن ۱۰ درصد می باشد، با افزایش جایگزینی باطله زغال سنگ، مدول الاستیسیته کاهش می یابد.
- با افزایش جایگزینی باطله زغال سنگ با شن و ماسه مقاومت کششی همواره کاهش می یابد.
- با جایگزینی ۱۰ درصدی باطله زغال سنگ با شن و ماسه، سرعت عبور امواج فراصوت افزایش یافت و با افزایش مقدار جایگزینی، سرعت عبور امواج فراصوت کاهش یافت. با توجه به رابطه مناسب به دست آمده، استفاده از این روش جهت پیشبینی مقاومت فشاری پیشنهاد می گردد.

## ۷- مراجع

- [1] Neville A. M. Properties of Concrete, Fourth and Final Edition, 1996. Inc, New York, John Wiley and Sons.

- paving blocks” *Geomaterials*, 2013, Vol. 3 No. 2, pp. 54-59.
- [28] Karimipour A. “Effect of untreated coal waste as fine and coarse aggregates replacement on the properties of steel and polypropylene fibres reinforced concrete” *Mechanics of Materials*, November 2020, Volume 150, 103592.
- [29] Naghipour M., Tazike M. “The use of coal waste in concrete construction & survey of compressive strength” *Concrete Research*, 2016, 9, pp43. (in Persian)
- [30] Karimipour A., Edalati M. “Influence of untreated coal and recycled aggregates on the mechanical properties of green concrete” *Journal of Cleaner Production*, 2020, 276:124291.
- [31] Cao Z., Cao Y., Dong H., Zhang J. & Sun C. “Effect of calcination condition on the microstructure and pozzolanic activity of calcined coal gangue” *Int. J. Miner. Process R*, 2016, 146:23–28.
- [32] ASTM C33/C33M, 16e1 Standard Specification for Concrete Aggregates, See also URL <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C33-C33M-16e1>.
- [33] ASTM C 125, Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 2008.
- [34] ASTM C127. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Annual book of ASTM standard, vol. 04.02. Piladelphia, USA: American Society for testing and Materials;2011.
- [35] ACI211.1-89, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, 1989.
- [36] ASTM C143/C143M-98, 2010 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standards.
- [37] BS- EN 12390, Part 3: Testing hardend concrete, Method of determination of compressive strength of concrete cubes, British Standards Institution, 2000.
- [38] ASTM C 469, Srandard Test Method for static modulus of elasticity and poisson 's ratio of concete in compression, American Society of Testing Materials, 2002.
- [39] ASTM C 4 Srandard Test Method for Splitting tnsile strength of cylindrical concrete specimens, American Society of Testing Materials, 2002.
- [40] Karimaei, M., Dabbaghi, F., Sadeghi-Nik, A., Dehestani, M. “Mechanical performance of green concrete produced with untreated coal waste aggregates” *Construction and Building Materials*, 2020, Volume 233, 117264.
- [41] Sorelli, L., Frech-Baronet, J., Charron, J.P. gangue heap of Baijigou coal mine in China” *Energy Procedia*, 2017, 136 :66–72.
- [15] Song Z., Kuenzer C., Zhu H., Zhang Z., Jia Y., Sun Y. & Zhang J. “Analysis of coal fire dynamics in the Wuda syncline impacted by fire-fighting activities based on in-situ observations and Landsat-8 remote sensing data” *Int. J. Coal Geol.* 2015, 141 :91–102.
- [16] Wu Z., Zhang Y., Yang W. & Yang B. “Co-pyrolysis behavior of microalgae biomass and low-rank coal: Kinetic analysis of the main volatile products” *Bioresour. Technol*, 2019, 271:202–209.
- [17] Bian Z.F., Jin D., Dong J.H. & Mu S.G. “Discussion on rational ways for coal gangue treatment and utilization” *J. Min. Saf. Eng.* 2007, 24 (2) 132–136 (in Chinese).
- [18] Liu H., Liu Z. “Recycling utilization patterns of coal mining waste in China” *Resour. Conserv. Recycl.* 2010, 54 (12)1331–1340.
- [19] Cong X.Y., Lu S., Yao Y. & Wang Z. “Fabrication and characterization of selfignition coal gangue autoclaved aerated concrete” *Materials & Design.* 2016, 97:155–162.
- [20] NDRC (National Development and Reform Commission), Annual Report on Comprehensive Utilization of Chinese Resources, 2014.
- [21] Ghasemi M., Marandi S. “Laboratory studies of the effect of recycled glass powder additive on the properties of polymer modified asphalt binders” *International Journal of Engineering-Transactions A: Basics*, 2013, Vol. 26, No. 10, 1183-1190.
- [22] Elchalakani M. “High strength rubberized concrete containing silica fume for the construction of sustainable road side barriers” in *Structures*, Elsevier, 2015, Vol. 1, 20-38.
- [23] Dong Z., Xia J., Fan C. & Cao J. “Activity of calcined coal gangue fine aggregate and its effect on the mechanical behavior of cement mortar” *Constr. Build. Mater*, 2015,100: 63–69.
- [24] Modarres A., Rahmanzadeh M. “Application of coal waste powder as filler in hot mix asphalt” *Construction and Building Materials*, 2014, Vol. 66, 476-483.
- [25] Lu B., Shi C., Cao Z., Guo M. & Zheng J. “Effect of carbonated coarse recycled concrete aggregate on the properties and microstructure of recycled concrete” *J. Clean. Prod.* 2019. 233, 421e428.
- [26] Miloudi M., Merbouh M. & Glaoui B. “Use of coal waste as fine aggregate on properties of concrete in hot weather” *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Volume 8, Issue 11, November 2017, pp. 959–966.
- [27] Santos C., Filho J., Tubino R. & Schneider I. “Use of coal waste as fine aggregates in concrete

“Creep behaviour of cement paste, Mortar, and Concrete: The Role of Relative Humidity and Interface Porosity” September 2015, DOI: 10.1061/9780784479346.034.

[42] Meng, W., Khayat, K. “Effects of saturated lightweight sand content on key characteristics of ultra-high performance concrete” *Cement Concr. Res.* Volume 101, November 2017, Pages 46-54.

[43] Ramezani, M., Kim, Y.H., Hasanzadeh, B., Sun, Z. “Influence of carbon nanotubes on SCC flowability” In: 8th International RILEM Symposium on Self- Compacting Concrete, 2016, pp. 397e406. Washington DC, USA.

[44] Bahari A., Berenjhan J., Sadeghi-Nik A. “Modification of Portland cement with nano Sic” *Proc. Natl. Acad. Sci. India Section A: Phys. Sci.* 2016, 86, 323e331.

[45] Bahari A., Sadeghi-Nik A., Roodbari M., Sadeghi-Nik A. & Mirshafiei E. “Experimental and theoretical studies of ordinary Portland cement composites contain nano LSCO perovskite with Fokker-Planck and chemical reaction equations” *Construct. Build. Mater.* 2018, 163, 247e255.

[46] Duarte G., Bravo M., de Brito J. & Nobre J. “Mechanical performance of shotcrete produced with recycled coarse aggregates from concrete” *Construction and Building Materials*, 2019, 210:696–708.

## Investigation the effect of coal waste on Mechanical performance of green concrete

Morteza Naghipour \*

Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology.

Shirin Ahmadi

Civil Eng. Dept, Mazandaran university of science and Technology.

Fatemeh Gorjinezhad

Civil Eng. Dept, Mazandaran university of science and Technology.

### Abstract

The reduction of natural resources makes researchers to revise the natural aggregates and find ways to reduce the negative effects of untreated wastes on the ecosystem of the region, so they have tried to increase the use of industrial waste material. In order to study the effect of untreated waste coal on mechanical performance of green concrete 9 mix designs with different contents of untreated coal waste (5%, 10%, 15%, 20%) as coarse and fine aggregates and constant water to cement ratio ( $w/c=0.4$ ) were prepared. The results show that, replacing 10% of the aggregate with untreated coal waste instead of sand and gravel, compressive strength, elastic modulus and ultrasonic pulse velocity increase compared to plain concrete (without untreated coal waste). However, by increasing the percentage of coal waste, the tensile strength of the concrete specimens decrease compared to plain concrete. Thus selecting an appropriate amount of replacement untreated coal waste as a substitute for aggregate in concrete not only minimizes the negative impact of waste coal dumps, but also it can improve some properties of concrete, and be considered as a step toward sustainability.

**Keywords:** Green concrete, Untreated coal wastes, Mechanical properties, substitution materials.

---

\* Corresponding Author: m-naghi@nit.ac.ir