فصلنامه آنالیز سازه- زلزله دوره ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶

بررسی خواص مکانیکی بتن خاک اره‌ای

سحر نوظهور
کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
علی فروغی‌اصل*
دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
Aforough@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۰۵/۲۲

چکیده:

بتن به‌عنوان پرمصرف‌ترین مصالح در احداث سازه‌های بتنی مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با توجه به مقاوم‌سازی سازه‌ها در مقابل نیروهای جانبی مختلف جهت کاهش صدمات انسانی و اقتصادی، سبک‌سازی و تاثیر آن در رفتار بهینه سازه‌ها همواره مورد توجه بوده‌است و بتن‌های با چگالی کمتر می‌تواند به ساخت سازه‌های سبک‌تر منجر شود بطوری که استفاده از بتن‌های با وزن مخصوص کمتر از ۱۹۰۰کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگاپاسکال در سازه‌های بتن مسلح، همواره مورد توجه بسیاری ازمهندسین طراح بوده‌است. یکی از روش‌های کاهش چگالی بتن استفاده از خاک اره در طرح اختلاط بتن‌هاست که نه تنها دارای مزایای اقتصادی است بلکه نقش چشمگیری در حفظ محیط‌زیست در مصرف مجدد ضایعات کارخانجات چوب‌بری دارد. در این پژوهش از خاک اره به‌عنوان جایگزین بخشی از ماسه بتن به میزان صفر (بتن بدون خاک اره به عنوان نمونه شاهد) ، ۱۵٪، ۲۵ ٪ و ۳۵٪ استفاده شده است. نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت فشاری به ابعاد۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر و برای آزمایش مقاومت کششی به ابعاد ۲۰۰×۱۰۰ میلیمتر تهیه و پس از عمل‌آوری های ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری، مقاومت کششی و چگالی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که خاک اره ۲۵٪ جایگزین ماسه با مقاومت فشاری ۱۹۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و چگالی ۱۹۰۴کیلوگرم بر متر مکعب انتخاب بهینه‌ای است.

کلید واژگان: خاک‌اره، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، چگالی

۱- مقدمه

بتن ترکیبی از سیمان، ماسه، شن و آب است که برای رسیدن به مقاومت ویژه در نسبت‌های مختلف و مشخص مخلوط می‌شوند. در این اختلاط، آب با سیمان واکنش شیمیایی می‌دهند تا با تولید خمیر سیمان ذرات شن و ماسه را به هم چسبانده و با ایجاد کریستال‌های مقاوم سیلیکاته مخلوط را به یک توده جامد با مقاومت فشاری تبدیل نمایند. در مخلوط بتن، ماسه به‌عنوان یک ریزدانه جاگیری فوق‌العاده‌ای ایجاد و با به‌کارگیری آن به‌عنوان پرکننده مقاومت بتن را فراهم می‌کند[۱]. توسعه در صنعت ساخت‌وساز در سراسر جهان در حال پیشرفت است و سازه‌های بسیاری، مسکونی و غیرمسکونی در حال ساخت هستند لذا اهمیت بتن به‌عنوان ماده اصلی ساخت‌وساز هرروز در حال افزایش است. هرساله هزینه مصالح ساخت‌وساز به‌شدت افزایش می‌یابد و با توجه به تحقیقات قبلی، هزینه مصالح ساخت‌وساز حدود یک‌سوم هزینه کل جامعه است لذا محققان تلاش زیادی برای کاهش هزینه مواد و درنتیجه هزینه کل با استفاده از مواد مناسب که به‌عنوان مصالح محلی می‌باشند، انجام می‌دهند[۲]. صنعت ساخت‌وساز به مصالحی همچون سیمان، شن و ماسه برای ساخت بتن وابسته است و هزینه بالا و رو به افزایش این مصالح مانع از توسعه سرپناه و دیگر امکانات زیربنایی در کشورهای درحال‌توسعه است. برای توسعه زیربنای کل جهان، صنعت ساخت‌وساز نیازمند مقدار بزرگی از مصالح خام است و نگرانی روبه رشد منابع روبه پایان و آلودگی جهانی، بسیاری از محققان و مهندسان را برای یافتن منابع مصالح تجدیدپذیر که استفاده از مواد زائد را در ساخت‌وساز شامل شود، به چالش کشیده است و بسیاری از این مصالح به‌عنوان سنگدانه در بتن مورداستفاده قرار می‌گیرند. مصرف جهانی ماسه به‌عنوان سنگدانه در ساخت بتن بسیار بالا است به‌طوری‌که برخی از کشورهای درحال‌توسعه در تهیه ماسه طبیعی در مواجه با نیاز بالای پیشرفت زیربنای اقتصادی خود در سال‌های اخیر با سختی و مشکلات زیادی مواجه شده‌اند و بیشترین سنگدانه مورداستفاده برای ساخت بتن ماسه طبیعی بستر رودخانه است اما به دلیل استخراج بیش‌ازحد از بستر رودخانه‌ها، ماسه رودخانه‌ای برای ساخت بتن کمیاب شده‌است[۳]. یکی از اصلی‌ترین مشکلات در طراحی لرزه‌ای و اجرای ساختمان‌ها، خصوصاً ساختمان‌های بلند، وزن قابل‌توجه بار مرده که عمدتاً ناشی از وزن سقف‌ها و دیوارهای جداکننده است، می‌باشد و ازآنجایی‌که وزن بتن قسمت عمده‌ای از کل بار وارده بر سازه را تشکیل می‌دهد لذا در صورت استفاده از بتن‌های سبک در کارهای ساختمانی امتیازات قابل‌توجهی در کاهش وزن سازه به وجود خواهد آمد و به این دلیل است که در سال‌های اخیر تولیدکنندگان مصالح ساختمانی توجه بیشتری به بتن سبک معطوف داشته‌اند و امکان استفاده از مواد زائد بازیافتی برای استفاده در بتن سبک مورد توجه محققین و برنامه‌ریزان صنعت ساختمان قرارگرفته است[۴]. در سال‌های اخیر گرانی مصالح ساختمانی مالکیت خانه را برای افراد متوسط و کم‌درآمد دشوار می‌کند و از طرفی یکی از مشکلات محیط‌زیست دفع نامناسب زائدات چوب است که صنعت تولیدات چوبی مقدار زیادی از این زائدات را تولید می‌کند و تولید انرژی با سوزاندن زائدات چوب منجر به اثرات گلخانه‌ای می‌شود لذا استفاده از این مصالح به‌عنوان تسلیح‌کننده در بتن می‌تواند ایده خوبی در جهت کاهش هزینه مصالح ساختمانی و حفظ محیط‌زیست باشد[۵]. اغلب ساختمان‌های موجود در کشورمان را می‌توان جزء ساختمان‌های نیمه‌مقاوم و یا غیرمقاوم در مقابل زمین‌لرزه‌ها طبقه‌بندی کرد. نیروی وارد بر سازه‌های بتنی هنگام زلزله به عوامل مختلفی بستگی دارد و با تغییر هر یک از این عوامل به‌نحوی‌که در کاهش نیروی زلزله مؤثر باشد، می‌توان از نیروی وارد بر ساختمان کاست. کاهش وزن ساختمان در روش‌های بار جانبی معادل استاتیکی که در بسیاری از ساختمان‌ها مورد استفاده می‌گیرد به‌طور مستقیم در کاهش نیروی برش پایه ساختمان مؤثر است. سبک‌سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روزبه‌روز در حال گسترش و پیشرفت است و این فن‌آوری عبارت است از کاهش وزن تمام‌شده ساختمان با استفاده از تکنیک‌های نوین ساخت مصالح جدید و بهینه‌سازی روش‌های اجرا. کاهش وزن ساختمان علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه، زمان و انرژی، زیان‌های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله را کاهش داده و صدمات ناشی از وزن زیاد ساختمان را به حداقل می‌رساند[۶]. صنعت ساخت‌و ساز عمرانی بخش تولیدکننده است و با استخراج و استفاده مواد اولیه با چرخه بدون بازگشت اثرات نامطلوبی برای محیط‌زیست ایجاد می‌کند و از طرفی قابلیت استفاده مجدد از پس‌ماندهای بخش‌های صنعتی دیگر را دارد لذا با بر عهده گرفتن موضع مسئولیت محیط‌زیستی می‌تواند روشی مناسب برای استفاده دوباره از پس‌ماندها، بدون عوامل آلاینده در جهت کاهش استخراج منابع اولیه ابداع کند[۷]. در سال‌های اخیر، نگرانی سازمان جهانی محیط‌زیست و عدم تأمین انرژی، لزوم استفاده از انرژی تجدیدپذیر و منابع آن را در پی دارد و منابع زنده همچون جنگل و زائدات کشاورزی منبعی از انرژی تجدیدپذیر با هزینه اندک عملیاتی و بازسازی مستمر سوخت است. استفاده از جنگل و فرآورده‌های صنعت چوب مانند خاک اره و تراشه چوب در تولید نیرو روشی برای دفع زائدات است اما تولید خاکستر بادی آلاینده محیط‌زیست و برای سلامتی خطرناک است لذا استفاده از خاک اره در ساخت بتن به عنوان جایگزینی برای ماسه می‌تواند روشی کارآمد باشد[۸ و ۹]. سبک‌سازی را می‌توان راهکاری محوری و عملی برای افزایش ایستادگی و ایمنی بناها در برابر زلزله محسوب داشت. ویژگی‌هایی چون کاهش جدی وزن سازه و ابعاد برخی اجزا، صرفه‌جویی زیاد در میزان فولاد مصرفی در اسکلت و پی، حائل صدا و رطوبت و به‌ویژه عایق حرارت بودن، افزایش مؤثر فضای

مفید داخل بنا، انعطاف و تنوع در اشکال، سادگی، سرعت و سهولت در حمل و اجرا، کاهش خستگی بنا می‌توانند از مزایای این بتن‌ها با موارد کاربری متعدد در ساخت و سازها باشند[۱۰]. بتن‌های سبک از دیدگاه مقاومتی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: بتن سبک غیرسازه‌ای، بتن سبک با مقاومت متوسط و بتن سبک سازه‌ای. بتن سبک غیرسازه‌ای با وزن مخصوص ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمتر دارای مقاومت فشاری حدود ۰/۳۵ تا ۷ نیوتن بر میلیمترمربع است. از معمولی‌ترین سنگدانه‌های مورد مصرف در این نوع بتن می‌توان به پرلیت (نوعی سنگ آذرین) و ورمیکولیت (ماده‌ای با ساختار ورقه‌ای شبیه لیکا) اشاره کرد. این نوع بتن می‌تواند در ترکیب با مواد دیگر در دیوار، کف و سیستم‌های مختلف سقف مورد استفاده قرار گیرد. بتن‌های سبک با مقاومت متوسط، از لحاظ وزن مخصوص و مقاومت فشاری در محدوده‌ای بین بتن‌های سبک غیرسازه‌ای و سازه‌ای قرار دارند، به گونه‌ای که مقاومت فشاری آنها بین ۷ تا ۱۷ نیوتن بر میلیمترمربع و جرم مخصوص آن‌ها بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. بتن‌های سبک موجود در این طبقه عمدتاً از نوع بتن‌های سبکدانه و بتن‌های با ساختار باز می‌باشند و به عبارت دیگر برای کاهش چگالی بتن از سنگدانه‌های سبک طبیعی یا مصنوعی استفاده شده است. سبکدانه‌های مورد استفاده در بتن‌های سبک با مقاومت متوسط معمولاً از یکی از روشهای آهکی شدن (تکلیس)، سنگدانه‌ی کلینگر، محصولات منبسط شده‌ای نظیر روباره‌های منبسط شده، خاکستر بادی، شیل و اسلیت یا سنگدانه‌های تولیدی از مصالح طبیعی مانند پوکه سنگ‌های آذرین و سنگ‌های آذرین متخلخل (توف) تولید می‌شوند. بتن‌های سبک سازه‌ای دارای چگالی بین ۱۴۰۰–۱۹۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری بیش از ۱۷ MPa هستند و در بعضی حالات امکان افزایش مقاومت تا ۶۰ MPa نیز وجود دارد.

تعریف خاک اره

خاک‌اره محصول برش، سمباده زدن و یا در غیر این صورت ساییدن چوب با اره یا ابزار دیگر است که از ذرات ریز چوب تشکیل می شود. زائدات خاک‌اره چوب در تمام کشورهای جهان انباشته می‌شوند و مشکلات زیست‌محیطی جدی و خطرات سلامتی گوناگونی را موجب می‌شوند و از آنجائی که تولید زائدات چوبی در کارخانه‌های چوب‌بری و صنایع چوبی گوناگون غیرقابل‌اجتناب است لذا برای استفاده از این زائدات تلاش زیادی به عمل می‌آید[۱۱]. در سوئد از خاک‌اره در تولید نئوپان استفاده می‌شود، در نیوزلند خاک‌اره به عنوان افزودنی در صنعت خمیر کاغذ و تهیه کاغذ روزنامه‌دیواری و در کشورهای فنلاند، استرالیا و انگلستان در ساخت آجرنسوز استفاده می‌شود [۱۲].

دلیل استفاده از خاک اره در بتن

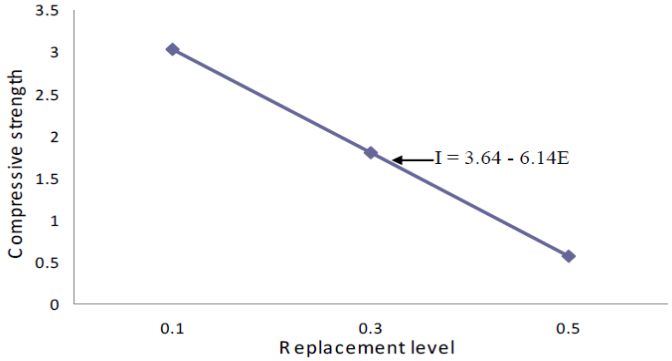
بدلیل گران بودن مواد افزودنی شیمیائی برای بهبود برخی خواص بتن، مهندسان برای جایگزینی مصالح ارزان و محلی جهت کاهش هزینه‌ها، از چوب به عنوان یکی از قدیمی‌ترین مصالح مورداستفاده قرار دهند معابد و بناهای تاریخی چندین سال پیش که در وضعیتی عالی باقی مانده‌اند دوام و مورداستفاده بودن چوب را نشان می‌دهند[۱۳]. از خاک اره نیز می‌توان به عنوان جایگزین ریزدانه در ساخت بتن استفاده نمود. وجود مقدار زیادی پوست درختان در درون خاک‌اره می‌توانند بر زمان گیرش و گرمای هیدراتاسیون سیمان تاثیر بگذارند. بتنی که از خاک اره بدست می‌آید مخلوطی از خاک اره، ماسه و شن با درصد معینی آب برای رسیدن به کارآیی و هیدراتاسیون کامل سیمان است. بتن خاک اره سبک وزن، عایق گرما و مقاوم در برابر آتش است. اگر هر ذره‌ای از خاک‌اره در زمان هیدراتاسیون آب کافی جذب کند می‌تواند به فرآیند هیدراتاسیون بویژه در بخش مرکزی بتن که در عمل‌آوری با آب غیرممکن است، کمک کند[۱۴].

تاثیر خاک اره بر مقاومت فشاری بتن

طبق پژوهش‌های انجام یافته، تاثیر درصدهای مختلف خاک اره بر مقاومت فشاری بتن به صورت رابطه (۱) است و شکل (۱) رگرسیون مقاومت فشاری و درصد جایگزینی خاک اره را نشان می‌دهد و می‌توان گفت با افزایش خاک اره به بتن مقاومت بتن کاهش می یابد[۱۵].

$$I = \alpha+\beta E \qquad (۱)$$

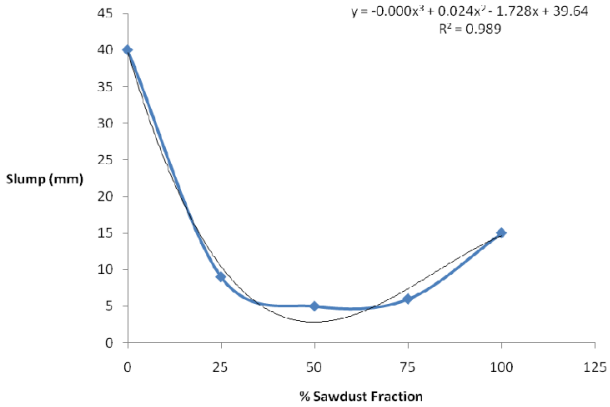
که درآن α مقداری است ثابت و β تأثیر مقدار خاک اره جایگزین شده.



شکل ۱- نمودار رگرسیون مقاومت فشاری و درصد جایگزینی خاک اره [۲۷]

تأثیر خاک اره بر کارآئی بتن تازه

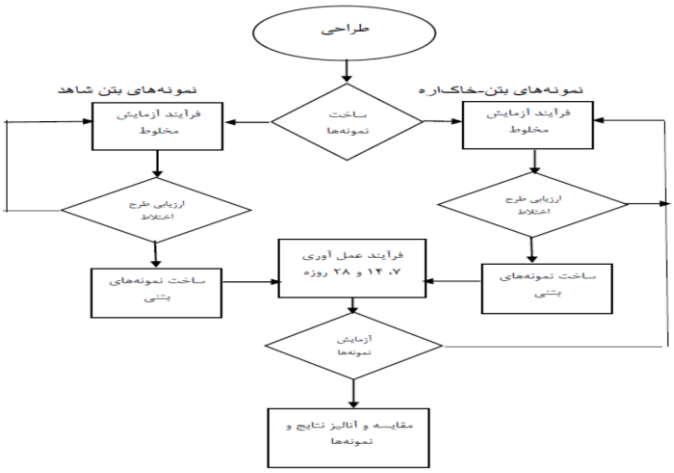
در آزمایش اسلامپ انجام شده در تحقیقات قبلی درصدهای مختلف خاک‌اره بر روی کارآیی بتن تاثیر می‌گذارد و نتایج حاصل از آزمایش اسلامپ بتن دارای خاک‌اره و در یک نسبت آب به سیمان ثابت نشان می‌دهد کارآیی بتن با افزایش مقدار خاک اره تا ۵۰٪ کاهش و در درصدهای بیشتر از ۵۰٪ افزایش می‌یابد[۲۶]. در شکل (۲) تأثیر درصدهای مختلف خاک اره بر روی اسلامپ بتن نشان داده‌شده است.



شکل ۲- تأثیر درصدهای مختلف خاک اره بر اسلامپ بتن[۲۶]

لگوریتم طراحی

به منظور همگون کردن نتایج، دو مجموعه از نمونه‌ها همانند شکل (۴) آورده شده‌است. یکی از آنها از اختلاط بتن استاندارد و دیگری از اختلاط بتن خاک‌اره ساخته شده است. در ابتدا طرح اختلاطی براساس استانداردهای مطابق آیین‌نامه نوشته و نمونه اولیه ساخته و تحت آزمایش‌های (آزمایش اسلامپ) اولیه قرار گرفته است سپس به ارزیابی طرح اختلاط پرداخته و باتوجه به اعداد بدست آمده از آزمایش ها تغییراتی در طرح اختلاط اعمال شده و نمونه‌های جدید ساخته شده سپس تحت آزمایش‌های اولیه قرار گرفته و این کار تا رسیدن به اعداد مطلوب حاصل از آزمایش‌های اولیه ادامه داشته، با بدست آمدن نتایج قابل قبول از آزمایش‌های اولیه، نمونه‌ها ساخته و برای عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه در مخزن آب عمل‌آوری و سپس آزمایش‌های مقاومت کششی و فشاری مقدار چگالی نمونه‌های تازه و سخت شده بر روی نمونه‌ها انجام شده و در آخر به مقایسه و آنالیز نتایج و نمونه‌ها پرداخته می‌شود. در نمونه‌های دارای خاک اره درصدهای مختلفی از خاک اره در طرح اختلاط اعمال می‌شود تا به نتایج مطلوب برسد.



شکل ۳- الگوریتم طراحی

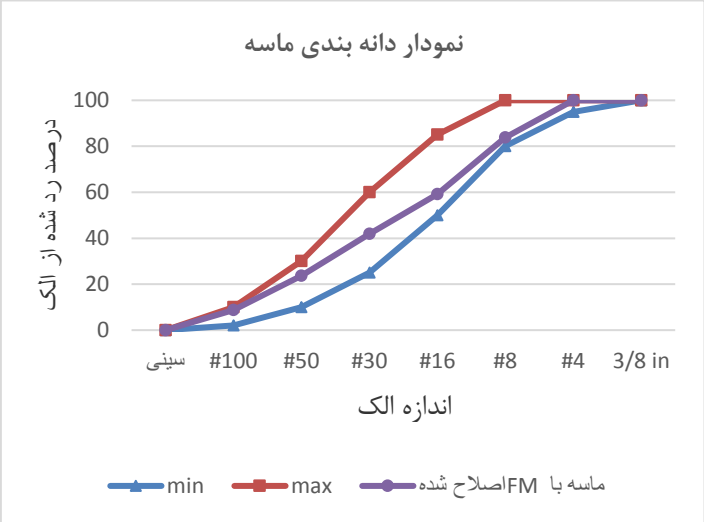
بررسی منابع

A.S. Akinwonmi(۲۰۱۲) رفتار شکست بتن با خاک‌اره تحت بار فشاری تک‌محوره، سبک وزن و کم هزینه بودن مخلوط خاک‌اره سیمان و شن را بررسی کرد. نتایج آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها نشان می‌دهد که مقاومت آجرهای کامپوزیت پایین است و فقط می‌توانند برای اهداف غیر سازه‌ای باشند اما چگالی و وزنشان پایین است و این می‌تواند وزن کل سازه را کاهش دهد[۵]. L.M.H. Bdeir(۲۰۱۲) بر روی برخی خواص مکانیکی ملات با خاک‌اره جایگزین ماسه آزمایش‌هایی انجام داد و به این نتیجه رسید که با افزایش مقدار خاک‌اره مقاومت فشاری کاهش می‌یابد و با درصد جایگزینی ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ مقدار سختی به میزان اندکی کاهش می یابد در حالیکه سختی با درصد جایگزینی ۱۵٪، ۲۵٪ به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد[۱۶]. I.H. Adebakin و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از خاک‌اره در ساخت سازه‌های کم‌هزینه و سبک را مطالعه و به این نتایج رسیدند که با افزایش درصد خاک‌اره مقاومت فشاری کاهش و نسبت آب به سیمان افزایش می‌یابد و بهینه‌ترین جایگزینی سنگدانه با خاک‌اره ۱۰٪ است و زمانی که وزن ساختمان عامل مهمی باشد استفاده از این نوع بتن ایده مناسبی است[۱۵]. A. A. Raheem و همکاران (۲۰۱۲) درمورد استفاده از خاکستر خاک اره به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان در ساخت بتن آزمایش‌هایی انجام دادند و به نتیجه رسیدند که خاکستر خاک اره به دلیل داشتن ترکیبات ($SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$) بیش از ۷۰٪ می‌تواند به‌عنوان پوزولان در بتن استفاده شود همچنین خاکستر خاک اره کارآئی بتن را کاهش می‌دهد. با افزایش روزهای عمل‌آوری مقاومت فشاری افزایش و با افزایش خاکستر خاک اره کاهش می‌یابد. استفاده از ۵٪ خاکستر خاک اره جایگزین سیمان درصد بهینه است[۱۷]. A.B.S. Moreira و همکاران (۲۰۱۲) مقاومت فشاری بلوک‌های بتنی دارای خاک‌اره را بررسی کردند و قبل از افزودن پس‌ماندهای چوب به بتن برای سازگاری با سیمان آن‌ها را به دو روش (شستشو در محلول قلیایی و محلول سولفات آلومینیوم) اصلاح کردند و به نتیجه رسیدند که بلوک‌های بتنی خاک‌اره اصلاح‌شده با محلول آلومینیوم سولفات مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بلوک‌های بتنی خاک‌اره اصلاح‌شده با محلول قلیایی دارند[۷]. Y. Cheng و همکاران (۲۰۱۳) خواص مکانیکی، حفاظت گرمایی و نیز عایق گرمایی و نیز عایق گرمایی بتن با درصدهای مختلف خاک‌اره را بررسی کردند و به این نتایج رسیدند که با افزایش مقدار خاک‌اره مقاومت فشاری کاهش می‌یابد و وقتی نسبت جایگزینی ۵٪ است حفاظت گرمایی و عایقکاری بهتر از بتن معمولی است لذا نسبت بهینه ۵٪ است[۱۸]. T.U. Ganiron Jr (۲۰۱۴) تأثیر خاک‌اره به عنوان جایگزینی برای ریزدانه در بتن را مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که نمونه‌های هفت‌روزه بدون عمل‌آوری در آب مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌هایی که در آب عمل‌آوری می‌شوند از خود نشان می‌دهند [۱]. O.J. Oyedepo و همکاران (۲۰۱۴) خواص مکانیکی بتن دارای خاک‌اره و پتانسیل استفاده از زائدات خاک اره چوب برای تولید کامپوزیت کم‌هزینه و سبک‌وزن ساختمانی را بررسی و در این مطالعه از سیمان پرتلند معمولی، سنگدانه، خاک اره رد شده از الک $425\ \mu m$ با درصدهای مختلف جایگزینی و آب عاری از مواد آلی و گردوخاک با نسبت آب به سیمان ۰/۶۵ استفاده کردند. [۱۴]. D. Kumar و همکاران (۲۰۱۴) مصالح سازه‌ای کم‌هزینه برای بتن مانند خاک‌اره و مقاومت مکانیکی بتن هنگام استفاده از خاک اره به‌عنوان تسلیح‌کننده در جهت رفع مشکل دفع را بررسی و از سیمان پرتلند سفید، خاک‌اره، ماسه، گرانیت خردشده با بزرگ‌ترین اندازه ۲۰ mm و آب آشامیدنی عاری از مواد آلی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار خاک اره مقاومت فشاری کاهش و وزن بتن کاهش می‌یابد[۱۴]. Z. Xing و همکاران (۲۰۱۵) در مورد بلوک بتنی با پس ماند چوب و ساخته‌شده با دستگاه ویبره وکامپکشن بررسی‌هایی انجام دادند و به نتیجه رسیدند که با این روش ساخت مقاومت بلوک‌های بتنی به بیشتر از ۶ MPa و با وزن کمتر می‌رسد و برای بتن با ۳۰٪ خاک اره ۱۰۰٪ و برای جایگزینی ۴۰٪ افزایش ۴۰٪ افزایش مقاومت مکانیکی را نشان دادند[۲۰].

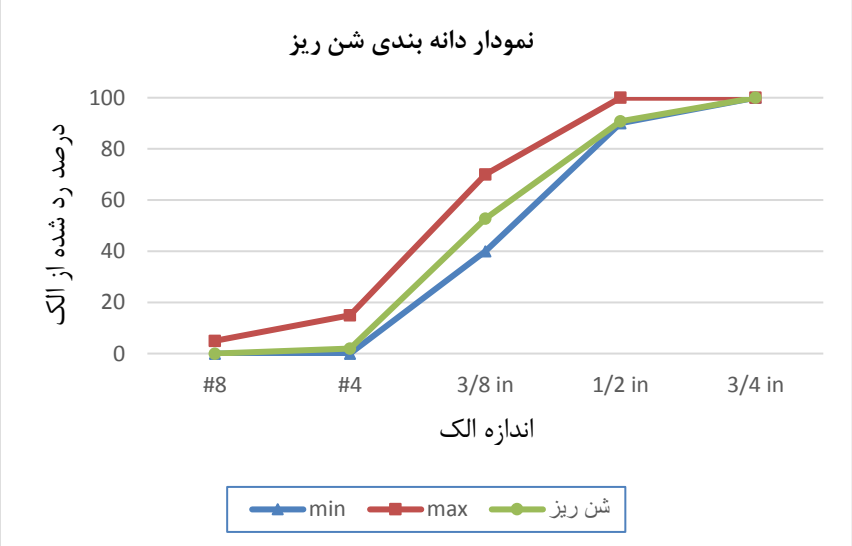
مواد و روش‌ها

در این پژوهش از مصالح محلی و مواد تولیدی داخل و یا وارداتی معتبربشرح زیراستفاده شود:

سنگدانه‌ها: ماسه از کارخانه سرام و شن نخودی از کارخانه فتح المبین ، دانه‌بندی مطابق استاندارد ASTM C 33-83 که نمودار دانه‌بندی‌ها بترتیب در اشکال (۴) و (۵) ارائه شده است.



شکل ۴- نمودار دانه‌بندی ماسه



شکل۵- نمودار دانه‌بندی شن‌ریز

آب: از شبکه آبرسانی شهر تبریز که آنالیز شیمیائی آن مطابق جدول (۱) است [۲۱].

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب شرب تبریز[۲۱]

سختی کل	HT	۲۱۸/۶
سختی کلسیمی	HCa	۱۳۸/۲۲
سختی منیزیمی	HMg	۸۰/۳۸
هدایت الکتریکی	EC	۳۴۸
کل مواد جامد	TDS	۲۲۲/۷۲

سیمان: تیپ II از کارخانه سیمان صوفیان که میزان درصد اکسیدها و مولفه‌های آن بترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است [۲۲]. در ضمن تمام سیمان‌ها قبل از مصرف با همدیگر آمیخته شده و در ظروف در بسته نگهداری می‌شدند.

جدول ۳- مولفه‌های سیمان تیپ دو [۲۲]

مؤلفه‌های سیمان	درصد
$C_3S(3CaO.SiO_2)$	۴۸/۴۸
$C_2S(2CaO.SiO_2)$	۲۶/۶۵
$C_3A(3CaO.Al_2O_3)$	۷/۴۹
$C_3AF(4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3)$	۱۰/۵۵
CaO	۱/۲۳

جدول ۲- اکسیدهای سیمان پرتلند تیپ دو[۲۲]

اکسیدهای سیمان	سیمان پرتلند	سیمان استاندارد	مقایسه با استاندارد
CaO	۶۴/۵۹	۶۳ - ۶۶	مجاز
SiO_2	۲۲/۰۵	۲۰ - ۲۲	مجاز
Al_2O_3	۵/۰۴	۵/۵ - ۷/۵	مجاز
Fe_2O_3	۳/۴۷	۳ - ۴/۵	مجاز
SO_3	۱/۷۳	۱ - ۳	مجاز

میکروسیلیس: از شرکت سراپوش که مشخصات شیمیائی آن در جدول (۴) آورده شده است[۲۳].

فوق روان‌کننده: بر پایه کربوکسیلیک و ازشرکت آبادگران که مشخصات آن مطابق جدول (۵) است[۲۴].

جدول ۴-آنالیز شیمیایی میکروسیلیس [۲۳]

مؤلفه‌ها		درصد
آب	H_2O	۰/۰۸
کاربید سیلیسیوم	SiC	۰/۵
کربن	C	۰/۳
سیلیس	SiO_2	۹۶/۴
اکسید آهن	Fe_2O_3	۰/۸۷
اکسید آلومینیوم	Al_2O_3	۱/۳۲
آهک	CaO	۰/۴۹
اکسید منیزیم	MgO	۰/۹۷
اکسید سدیم	Na_2O	۰/۳۱
اکسید پتاسیم	K_2O	۱/۰۱
پنتا اکسید فسفر	P_2O_5	۰/۱۶
تری اکسید گوگرد	SO_3	۰/۱
کلر	Cl	۰/۰۴

جدول ۵- مشخصات فنی فوق‌روان‌کننده [۲۴]

حالت فیزیکی	مایع
رنگ	زرد روشن
وزن مخصوص	۱/۱۲gr/cm^3
یون کلر	ندارد
نوع ماده مضاف بر اساس استاندارد ASTM C 494	F

خاک‌اره: در این پژوهش از خاک‌اره تولید شده از فرآیند مکانیکی چوب خام در صنایع چوب‌بری اطراف شهر تبریز استفاده شده‌است. خاک‌اره قبل از استفاده در آون خشک و از الک رد شده و سپس در کیسه‌های ضد آب نگهداری می‌شدند. برای رسیدن به نتایج دقیق در آزمایش‌ها، وزن مخصوص خشک میله خورده ماسه و خاک اره اندازه‌گیری شده است تا هنگام جایگزینی خاک اره با ماسه در مخلوط بتن به‌علت چگالی پایین خاک‌اره طرح اختلاط تغییر نکند. برای رسیدن به اسلامپ یکسان در تمامی درصدهای جایگزینی، درصد جذب خاک اره تعیین شده و در اصلاح مقادیر مصالح طرح اختلاط اعمال شده است. برای رسیدن به نتایج مطلوب، خاک‌اره استفاده شده در بتن یک روز قبل از بتن‌ریزی در آب اشباع شده است.

طرح اختلاط

مطابق دستورالعمل ACI 318 , ACI 211 با تعیین بعد اسمی سنگ‌دانه‌ها(D_{max}) و ضریب نرمی ماسه و با در نظر گرفتن رطوبت و چگالی سنگدانه ها در حالت SSD و خشک و با لحاظ نمودن نسبت آب به سیمان برابر ۰/۶۱ و با اسلامپ در محدوده (۷۵– ۱۰۰) میلی متر، طرح اختلاط‌های نمونه شاهد (بدون خاک اره) و نمونه‌های آزمایشی با درصدهای مختلف خاک‌اره مطابق جدول (۶) بوده است که پس از چندین تکرار و کنترل نمونه‌ها انتخاب شده است.

جدول ۶- طرح اختلاط نهائی بتن خاک اره‌ای

مصالح	مقدار (Kg/m^3)			
	نمونه شاهد	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه۳
ماسه	1237/6	1054/62	933/1	811/2
شن‌ریز	556/5	556/6	557/6	557/45
سیمان	318/69	318/69	318/69	318/69
میکروسیلیس	35/41	35/41	35/41	35/41
آب ❋	200/26	194/95	192/61	186/57
خاک اره	صفر	20/22	33/71	47/19
فوق‌روان‌کننده	1/23	1/23	1/23	1/23

❋ باید آب حالت اشباع خاک اره نیز در مقدار آب منظور شود (مقدار کل آب= آب + آب حالت اشباع خاک اره)

آزمایش‌های پژوهش

با ثابت نگه داشتن تمام پارامترهای طرح اختلاط و فقط با جایگزینی درصدهای مختلف خاک اره جایگزینی در نمونه‌های آزمایشی به میزان ۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪، نمونه‌ها پس از اختلاط، لرزاندن و عمل‌آوری تا سنین ۷، ۱۴و ۲۸ روزه در آب معمولی تحت آزمایش‌های خواص مکانیکی و چگالی نمونه‌ها قرار گرفته و با نمونه شاهد بدون خاک‌اره مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

$$f_c = P/A$$

آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها با قالب‌های به ابعاد۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و با استفاده از جک هیدرولیکی آزمایشگاه بتن انجام شده است (شکل۶). در محاسبه مقاومت فشاری نمونه‌ها از رابطه (۲) استفاده شده است و نتایج در جدول (۷) مندرج است.

$$F_c = P/A$$

که در آن f_c مقاومت فشاری (Kg/cm^2)، P مقدار بار اعمال شده(Kg) و A سطح اعمال بار (Cm^2).

شکل۶- آزمایش مقاومت فشاری (آزمایشگاه بتن)

شکل ۷- آزمایش مقاومت فشاری (آزمایشگاه بتن)

آزمایش مقاومت کششی – آزمایش شکافت (روش غیرمستقیم)

از آنجا که اعمال کشش محوری به نمونه‌ی بتنی مشکل می‌باشد لذا مقاومت کششی بتن با روش غیرمستقیم آزمایش شکافت (Splitting Test) با نمونه‌های استوانه‌ای 100×200 میلیمتری انجام می‌گیرد (شکل ۷) و رابطه (۳) برای محاسبه مقاومت کششی نمونه‌های بتنی استوانه‌ای ارائه شده است.

$$f_t = 2P/\pi\, d\, l \qquad (۳)$$

که در آن f_t مقاومت کششی (Kg/cm^2)، P بار اعمال شده به نمونه (Kg)، l طول نمونه استوانه‌ای (Cm) و d قطرنمونه استوانه‌ای (Cm).

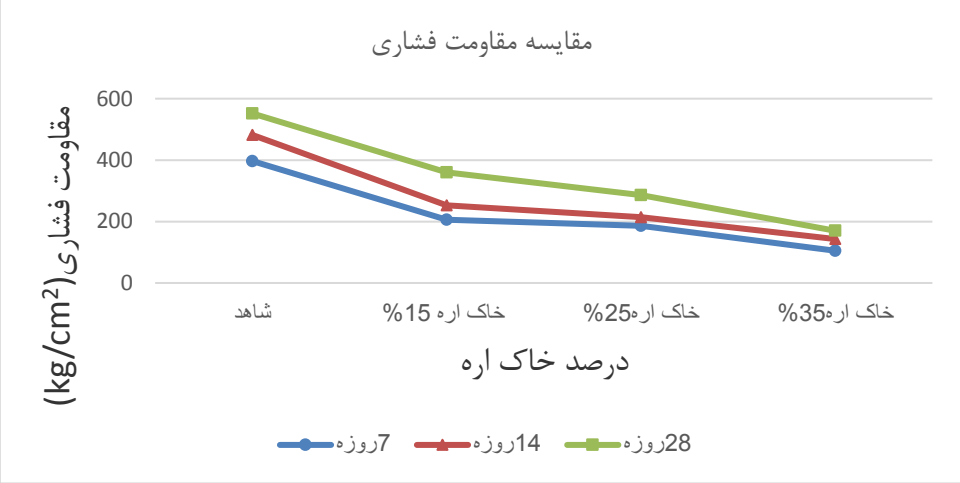
تعیین چگالی نمونه‌ها

با توجه به چگالی پائین خاک‌اره نسبت به دیگر مصالح متشکله بتن باید چگالی نمونه‌های بتن خاک اره‌ای کمتر از بتن معمولی (شاهد) باشد که جهت مقایسه و ارزیابی چگالی نمونه‌ها کنترل می‌گردد.

نتایج

مقاومت فشاری نمونه‌ها

برای هریک از مخلوط‌ها سه نمونه ساخته شده و پس از عمل‌آوری تعریف شده، تحت آزمایش تعیین مقاومت فشاری قرار گرفتند که میانگین نتایج در شکل (۸) و تغییرات مقادیر در جدول (۷) ارائه شده اند.



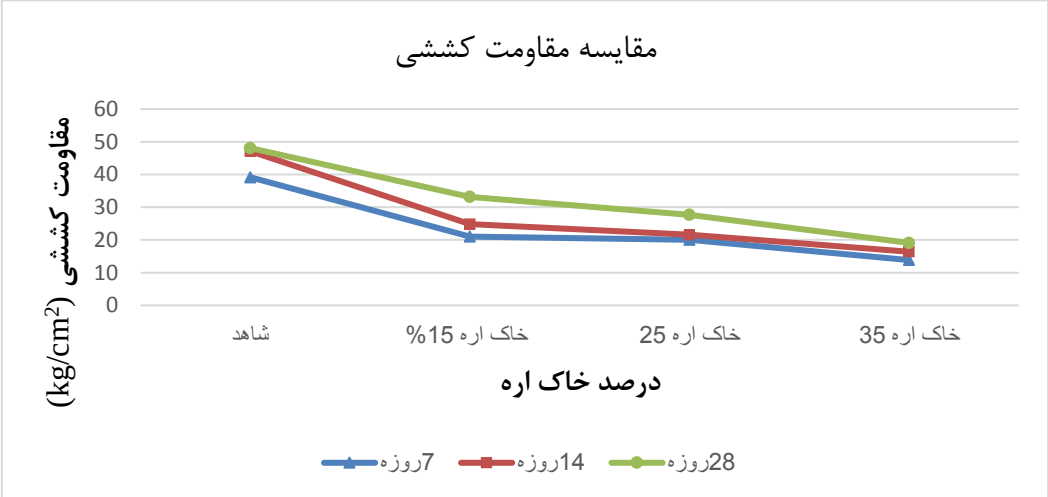
شکل ۸- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی خاک‌اره‌ای و شاهد

جدول ۷- مقادیر کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌های بتن خاک اره‌ای نسبت به نمونه شاهد

شماره اختلاط	درصد جایگزینی خاک اره	مقادیر کاهش مقاومت فشاری (٪)		
		۷روزه	۱۴روزه	۲۸روزه
۱ (شاهد)	۰	-	-	-
۲	۱۵	48	47	34
۳	۲۵	53	55	48
۴	۳۵	73	70	69

مقاومت کششی نمونه‌ها

نتایج میانگین سه نمونه استوانه‌ای بتن خاک اره‌ای و شاهد در شکل (۹) و تغییرات مقادیر در جدول (۸) آورده شده‌اند.



شکل ۹- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی خاک‌اره‌ای و شاهد

جدول ۸- مقادیر کاهش مقاومت کششی در نمونه‌های بتن خاک اره‌ای نسبت به نمونه شاهد

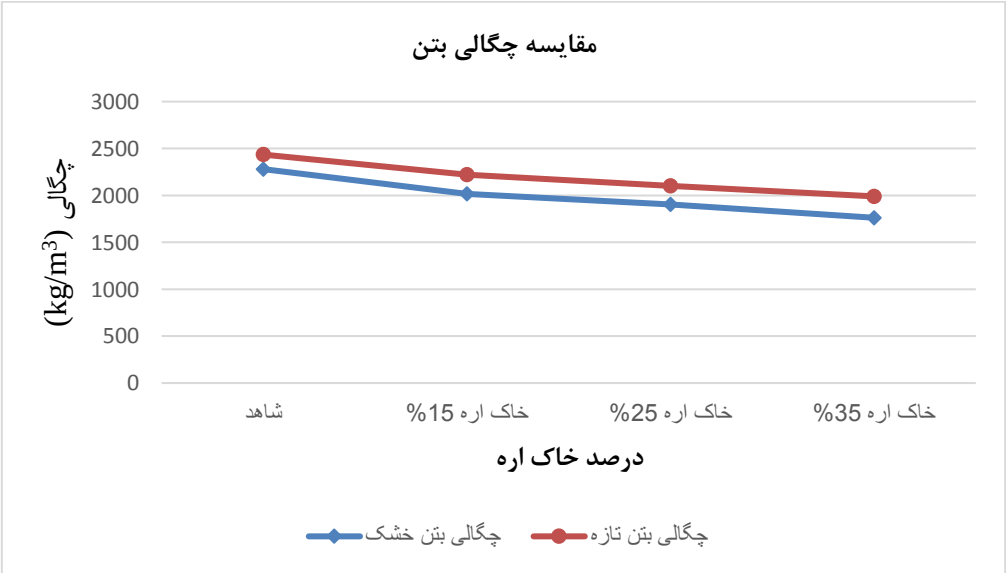
شماره اختلاط	درصد جایگزینی خاک اره	مقادیر کاهش مقاومت کششی (٪)		
		۷روزه	۱۴روزه	۲۸روزه
۱ (شاهد)	۰	-	-	-
۲	۱۵	۴۶	۴۷	۳۱
۳	۲۵	۴۸	۵۴	۴۲
۴	۳۵	۶۴	۶۵	۶۰

چگالی نمونه‌ها

از مهم‌ترین پارامترها در سازه‌های سبک چگالی بتن مورد استفاده است. نتایج میانگین چگالی نمونه‌ها با درصدهای مختلف خاک‌اره (۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪) و با طرح اختلاط ثابت و در دو حالت تازه و سخت شده در جدول (۹) و درشکل (۱۰) بصورت دیاگرامی آورده شده است.

جدول ۹- چگالی نمونه‌های بتن خاک‌اره‌ای و شاهد با تغییرات کاهش چگالی

شماره اختلاط	درصد جایگزینی خاک اره	چگالی بتن تازه (Kg/m^3)	درصدکاهش چگالی بتن تازه	چگالی بتن سخت شده(Kg/m^3)	درصد کاهش چگالی بتن سخت شده
۱ (شاهد)	۰	۲۴۳۵	----	۲۲۸۰	----
۲	۱۵	۲۲۲۰	۹	۲۰۱۷	۱۱/۵
۳	۲۵	۲۱۰۰	۱۴	۱۹۰۴	۱۶/۵
۴	۳۵	۱۹۹۰	۱۸	۱۷۶۲	۲۳



شکل ۱۰- بررسی تغییرات چگالی نمونه‌های بتن خاک اره‌ای تازه و سخت شده

آنالیز قیمت

استفاده از خاک اره در بتن نسبت به بتن معمولی، هزینه‌های ساخت را کاهش می‌دهد. جدول (۱۰) آنالیز قیمت دو نوع بتن و کاهش هزینه ساخت در بتن خاک اره‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- آنالیز قیمت بتن و بتن خاک اره‌ای (تومان)

مصالح	مقادیر مصالح مصرفی در واحد حجم بتن با درصدهای مختلف خاک اره (Kg/m^3)				قیمت مصالح در واحد وزن	قیمت مصالح در واحد حجم بتن در درصدهای مختلف خاک اره			
	شاهد	٪۱۵	٪۲۵	٪۳۵		شاهد	٪۱۵	٪۲۵	٪۳۵
سیمان	۳۱۸/۷				۱۵۰	۴۷۸۰۵			
شن	۵۵۶/۵				۱۲	۶۶۷۸			
ماسه	۱۲۳۷/۶	۱۰۵۴/۶۲	۹۳۳/۱	۸۱۱/۲	۱۲	۱۴۸۵۲	۱۲۶۵۵	۱۱۱۹۷	۹۷۳۴
آب	۲۰۰/۲۶				۳۴	۶۸۰۹			
خاک اره	۰	۲۰/۲۲	۳۳/۷۱	۴۷/۱۹	۰	۰			
قیمت کل ساخت یک متر مکعب بتن						۷۶۱۴۴	۷۳۹۴۷	۷۲۴۸۹	۷۱۰۲۶

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج ارائه شده و مقایسه نتایج در جداول (۷، ۸ و ۹) می توان نتیجه‌گیری زیر را ارائه داد:

۱- با توجه به کاربرد بتن در سازه‌های بتن مسلح، نمونه‌های دارای ۳۵٪ خاک‌اره کاربردی نداشته و از طرفی کاهش چگالی در نمونه‌های دارای ۱۵٪ خاک اره نیز چندان قابل قبول نخواهد بود لذا نمونه‌های دارای ۲۵٪ خاک‌اره جایگزین ماسه با مقاومت فشاری19MPa و چگالی$1904Kg/m^3$ می‌تواند انتخاب بهینه‌ای در اجرای سازه‌های سبک گردد و بدیهی است سازه‌ها می‌توانند 16/5% سبک‌تر طراحی شوند.

۲- استفاده از مواد زائد در بتن‌های خاک اره‌ای دارای ۲۵٪ خاک اره، علاوه بر کاهش ۵٪ هزینه ساخت به حفظ منابع طبیعی نیز کمک خواهد کرد.

پیشنهادات

با توجه به جدید و کاربردی بودن این پژوهش در ایران، بررسی‌های زیادی می‌توان انجام داد از جمله:

۱- بررسی رفتار تراشه‌های چوب در رفتار مکانیکی بتن

۲- بررسی کاربرد بتن خاک‌اره‌ای در بتن‌های ویژخ مانند بتن خود تراکم، بتن غلتکی و . . .

۳- بررسی دوام و پایداری بتن خاک‌اره‌ای در سنین بیشتر ۵۶، ۹۰، ۲۰۰ و ۳۶۵ روز.

منابع

[1] Ganiron Jr T. U.,(2014), Effect of Sawdust as Fine Aggregate in Concrete Mixture for Building Construction, International Journal of Advanced Science and Technology, Vol.63, pp.73-82.

[2] Zhao W.,(2013), The Implementation of New Building Materials in Our Country, The Word Garden, Vol. 4, p. 20.

[3] Mageswari M. and Vidivelli B.,(2010), The Use of Sawdust Ash as Fine Aggregate Replacement in Concrete, Journal of Environment Research and Development, vol. 3, pp. 720-726.

[۴] نویل، آ.، ۱۳۷۸، ترجمه: فامیلی، ه.، خواص بتن، انتشارات ابوریحان بیرونی.

[5] Ademola S. A,(2012), Fracture Behaviour Of Concrete With Sawdust Replacementunder Uniaxial Compressive Loading, International Journal of Innovative research & development.

[۶] مخدومی، ح.، رهگذرسی، ر.،(۱۳۸۹)، سبک‌سازی بتن و افزودنی‌های آن، کنفرانس بین المللی سبک سازی و زلزله.

[7] Moreira A. B. S., Macêdo A. N. and Souza P.S.L,(2012), Masonry concrete block strength compound with sawdust, Technology Maringá, v. 34, n. 3, p. 269-276.

[8] Rejini R., Ball Richard J., Tarelho Luis A.C., Allen Geoff C., Labrincha Joao A., Ferreira Victor M.,(2009), Characteristics and use of biomass fly ash in cement based materials, J Hazard Mater.

[9] Loo S. V., Koppejan J.,(2003), Handbook of Biomass Combustion and Co

firing. The Netherlands: Twente University Press.
[10] http://omranyazd.ir
[۱۱] Zziwa A., Kizito S., Banana A. , Kaboggoza J. and Sseremba O.,(2006), Production of Composite Bricks from Sawdust Using Portland Cement as a Binder, Uganda Journal of Agricultural Sciences.
[۱۲] Gutt W., Nixon P. J.,(1979), Use of waste materials in the construction industry. Analysis of rilem symposium by correspondence.
[۱۳] Kulkarni P.D.,(2005), Civil Engineering Materials, Technical Teachers Training Institute Chadigash, pp. 10-21.
[۱۴] Dilip K., Smita S., Neetesh K And Ashish G.,(2014), Low Cost Construction Material for Concrete as Sawdust, Global Journal of Researches in Engineering.
[۱۵] Adebakin I. H., Adeyemi A. A, Adu J. T,Ajayi F. A, Lawal A. A and Ogunrinola O. B,(2012), Uses of sawdust as admixture in production of lowcost and light-weight hollow sandcrete blocks, American Journal of Scientific And Industrial Reserch, pp.
458-463.
[16] Layla M. H. B.,(2012), Study Some Mechanical Properties of Mortar with Sawdust as a Partially Replacement of Sand, Material Engineering Department.
[17] Raheem A. A., Olasunkanmi B. S., Folorunso C. S.,(2012), Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete, Department of Civil Engineering, pp. 474-479.
[18] Cheng Y., You W., Huanhian Li. C. Z., Hu J.,(2013), The Implementation of Sawdust in Concrete.
[19] Olugbenga J. O., Senu D. O., Sunmbo P. A.,(2014), Investigation of Properties of Concrete Using Sawdust as Partial Replacement for Sand, Civil and Environmental Research.
[20] Xing Z., Djelal1 C., Vanhove Y. And Kada H.,(2015), Wood Waste in Concrete Blocks Made by Vibrocompression
[۲۱] گزارش دانشکده شیمی‌دانشگاه تبریز
[۲۲] کاتالوگ کارخانه سیمان صوفیان
[۲۳] کاتالوگ شرکت سراپوش، تولیدکننده و ارائه انواع افزودنی های بتن و مواد شیمیایی ساختمان
[۲۴] کاتالوگ شرکت آبادگران، طراحی و تولید گونه‌های پیشرفته مواد مهندسی صنعت بتن

Consideration of the Mechanical Properties of Sawdust Concrete

Sahar Nozohour
M.Sc. Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Ali Foroughi-Asl
Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Aforough@tabrizu.ac.ir

Abstract:

Concrete as the most commonly used materials in the construction is of particular importance and according to structures retrofitting in various lateral forces to reduce human and economic damage, light and its impact are considered on a variety of structures. Concrete with lower density can lead to lighter structures in a way that using concrete with specific gravity of less than 1900 Kg/m^3 and compressive strength more than 17 MPa in reinforced concrete structures is considered by many design engineers. Using of Sawdust in mix design of concrete is one way to reduce the density of concrete. In this research the percentage replacements of sand by sawdust were (0%, 15%, 25% and 35%). The size of test sample concrete adopted was 100x100x100 for compressive strength and 200x100 for tensile strength. The samples were removed from their moulds after 24 hours and allowed to cure 7,14 and 28 days. The results show that 25% Sawdust replacement of Sand with the compressive strength of 19MPa and density of 1904 is the optimal choice.

Keywords: Sawdust, Compressive Strength, Tensile Strength, Density