دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- سازه

استفاده از خرده سفال به منظور عمل آوری داخلی بتن و تاثیر آن بر مقاومت فشاری و پیوستگی بتن و آرماتور

استاد راهنما:

دکتر رضا مرشد

استاد مشاور:

مهندس مرتضی احمدیه

پژوهش و نگارش:

حشمت الله منصوری بروجنی

اسفندماه ۱۳۹۱

تقدیم به پیشگاه عزیزانم

مرضیه و امیرحسین

که صبورانه سختی‌ها را تحمل نموده
و بهترین مشوقان من در راه تحصیل علم و دانش بوده‌اند.

بر خود لازم می‌دانم
از زحمات بی‌دریغ جناب آقای دکتر رضا مرشد، جناب آقای مهنـــدس مرتضـــی احمدیـــه و جناب آقای مهندس مجید نعمتی نیکو، که بدون راهنمایی‌های راه‌گشای آنها این پروژه بـــه انجام نمی‌رسید، کمال تشکر و سپاسگذاری را نمایم.

چکیده

موضوع عمل‌آوری داخلی در یک دهۀ گذشته بعنوان یک تکنولوژی جدید جهت ساخت بتن با مقاومت بالا در برابر ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی اولیه بتن مطرح شده است. به ویژه در ساخت سازه‌های بتنی با دوام بسیار زیاد، این تکنولوژی بسیار کارآمد می‌باشد.

در این کار تحقیقاتی، دو عامل مورد توجه قرار گرفته است: ۱) تاثیر استفاده از مصالح خرده آجر بازیافتی در مقاومت فشاری بتن و مقاومت پیوستگی آرماتور و بتن. ۲) نقش مصالح خرده آجر بازیافتی در عمل‌آوری داخلی بتن. با در نظر گرفتن موارد فوق، در این کار تحقیقاتی ابتدا خصوصیات مصالح از جمله، دانه بندی، میزان مقاومت سنگدانه، چگالی و میزان جذب آب مصالح و قابلیت نم پس دهی مصالح خرده آجر مورد استفاده در این تحقیق تعیین شده است. در مرحله بعد، با توجه به عدم اطلاعات کافی در زمینه تاثیر حداکثر اندازه ابعاد مصالح خرده آجر در عملکرد بتن، دو طرح مخلوط بتن با مصالح خرده آجر متوسط و درشت‌دانه تهیه شده است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری در این دو طرح مخلوط نشان می‌دهد که استفاده از مصالح خرده آجر درشت‌دانه در بتن سبب افت مقاومت بتن می‌شود. به منظور تعیین تأثیر میزان درصد جایگزینی مصالح سنگدانه طبیعی با مصالح خرده آجر بازیافتی در خصوصیات بتن تازه و بتن سخت شده، ۶ طرح مخلوط، با جایگزین نمودن مقادیر ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مصالح شن نخودی با مصالح خرده آجر متوسط دانه، آماده شده است. تأثیر میزان درصد جایگزین نمودن مصالح سنگدانه‌ای طبیعی با مصالح خرده آجر بازیافتی بر خصوصیات بتن تازه و خصوصیات بتن سخت شده، با انجام آزمایش مقاومت فشاری، آزمایش بیرون کشیدگی آرماتور و آزمایش اسلامپ مورد بررسی قرارگرفته است. همچنین میزان مشارکت مصالح خرده آجر بازیافتی اشباع شده در آب، در عمل‌آوری داخلی بتن با انجام آزمایش میزان جمع شدگی خودزا مورد توجه قرار گرفته است. بررسیهای صورت گرفته نشان می‌دهد، با جایگزین نمودن مصالح سنگدانه‌ای شن نخودی با مصالح خرده آجر متوسط‌دانه از قبل اشباع از آب به میزان ۴۰ درصد وزنی، می‌توان بتن با مقاومت و کارایی قابل قبول تهیه نمود.

فهرست مطالب

فصل اول ۱

۱-۱ انواع ضایعات خرده آجر ۲

۱-۲ انتخاب مصالح خرده آجر بازیافتی ۳

۱-۳ تجهیزات مربوط به فرآوری و بازیافت مصالح خرده آجر ۴

فصل دوم ۷

۲-۱ خصوصیات مصالح خرده آجر بازیافتی قابل استفاده در ساخت بتن جدید ۸

۲-۱-۱ تخلخل و قابلیت جذب آب مصالح خرده آجر بازیافتی ۸

۲- ۱-۲ ناخالصی‌های موجود در مصالح خرده آجر بازیافتی ۹

۲-۲ طرح اختلاط بتن ساخته شده با خرده آجر بازیافتی ۱۰

۲-۳ خصوصیات بتن ساخته شده با مصالح خرده آجر بازیافتی ۱۲

۲-۳-۱ مقاومت فشاری بتن ۱۲

۲-۳-۲ مقاومت خمشی بتن ۱۳

۲-۳-۳ مدول شکل پذیری بتن ۱۳

۲-۳-۴ جمع شدگی بتن ۱۴

۲-۳-۵ جذب آب بتن ۱۴

۲-۳-۶ مقاومت سایشی بتن ۱۵

۲-۳-۷ هدایت حرارتی بتن ۱۵

۲-۳-۸ مقاومت بتن در برابر آتش ۱۶

فصل سوم ۱۷

۳-۱ مقاومت پیوستگی آرماتور و بتن ۱۸

۳-۱-۱ مکانیسم پیوستگی آرماتور ۱۸

۳-۱-۲ نیروی پیوستگی آرماتور در بتن ۲۱

۳-۱-۳ آزمایش مقاومت پیوستگی آرماتور ۲۲

۳-۱-۴ جزئیات رفتار پیوستگی آرماتور و بتن ۲۳
۳-۲ عوامل موثر در مقاومت پیوستگی آرماتور ۲۴
۳-۲-۱ تأثیر عوامل سازه‌ای بر مقاومت پیوستگی آرماتور و بتن ۲۴
۳-۲-۱-۱ طول مهاری آرماتور در بتن ۲۴
۳-۲-۱-۲ پوشش بتن روی آرماتور و فاصلهٔ آرماتورها ۲۵
۳-۲-۱-۳ محصوریت ناشی از وجود آرماتور عرضی در مقطع ۲۵
۳-۲-۱-۴ موقعیت آرماتور در عضو ۲۶
۳-۲-۲ تأثیر ویژگی‌های آرماتور بر مقاومت پیوستگی آرماتور و بتن ۲۶
۳-۲-۴-۱ ابعاد آرماتور ۲۶
۳-۲-۲-۲ شکل هندسی آرماتور ۲۷
۳-۲-۲-۳ مقاومت تسلیم فولاد ۲۷
۳-۲-۲-۴ شرایط سطح خارجی آرماتور ۲۸
۳-۲-۳ تأثیر خصوصیات بتن بر مقاومت پیوستگی آرماتور و بتن ۲۸
۳-۲-۳-۱ مقاومت فشاری بتن ۲۸
۳-۲-۳-۲ نوع و مقدار مصالح سنگدانه‌ای بتن ۲۹
۳-۲-۳-۳ مقاومت کششی و انرژی گسیختگی بتن ۲۹
۳-۲-۳-۴ کارایی بتن ۳۰
۳-۲-۳-۵ میزان تراکم بتن ۳۰
فصل چهارم ۳۲
۴-۱ تاریخچهٔ عمل‌آوری داخلی ۳۳
۴-۲ تئوری عمل‌آوری داخلی ۳۵
۴-۳ تعیین طرح اختلاط بتن با در نظر گرفتن عمل‌آوری داخلی ۳۷
۴-۴ خصوصیات مصالح مورد استفاده جهت تأمین آب داخلی بتن ۴۰
۴-۵ نقش عمل‌آوری داخلی در کنترل جمع شدگی پلاستیک بتن ۴۱

۴-۶ نقش عمل‌آوری داخلی در کاهش خود جمع شدگی بتن ۴۲
۴-۷ نقش عمل‌آوری داخلی در کاهش جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن ۴۲
۴-۸ نقش عمل‌آوری داخلی در پیشرفت واکنشهای هیدراتاسیون سیمان ۴۳
۴-۹ تأثیر عمل‌آوری داخلی در خصوصیات مکانیکی بتن ۴۳
۴-۱۰ تأثیر عمل‌آوری داخلی در خزش بتن ۴۴
فصل پنجم ۴۵
فصل ششم ۴۷
۶-۱ مصالح مورد استفاده ۴۸
۶-۱-۱ مصالح سنگدانه طبیعی بتن ۴۸
۶-۱-۲ مصالح خرده آجر بازیافتی ۴۸
۶-۱-۳ سیمان ۴۸
۶-۱-۴ آب ۴۹
۶-۲ آزمایشهای صورت گرفته بر مصالح ۴۹
۶-۲-۱ آزمایش مصالح سنگدانه طبیعی ۴۹
۶-۲-۱-۱ آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه بوسیله الک ۴۹
۶-۲-۱-۲ آزمایش تعیین میزان مقاومت سنگدانه‌ها ۵۳
۶-۲-۱-۳ آزمایش تعیین چگالی (فضایی و ظاهری) و میزان جذب آب مصالح سنگی ریزدانه به کمک چگالی سنج ۵۴
۶-۲-۱-۴ آزمایش تعیین چگالی و میزان جذب آب مصالح سنگی درشت دانه ۵۵
۶-۲-۲ آزمایش مصالح خرده آجر بازیافتی ۵۶
۶-۲-۲-۱ آزمایش دانه‌بندی مصالح خرده آجر بازیافتی ریزدانه و درشت دانه ۵۷
۶-۲-۲-۲ آزمایش تعیین میزان مقاومت دانه‌های خرده آجر بازیافتی ۵۹
۶-۲-۲-۳ آزمایش تعیین چگالی و میزان جذب آب مصالح خرده آجر درشت دانه ۵۹
۶-۲-۲-۴ خصوصیت نم پس دهی مصالح خرده آجر بازیافتی در محیط اشباع ۶۰

۶-۲-۲-۵ آزمایش تجزیه شیمیایی مصالح خرده آجر بازیافتی ۶۲
۶-۲-۳ آزمایشات سیمان ۶۲
۶-۲-۳-۱ آزمایش تعیین غلظت نرمال سیمان هیدرولیکی ۶۳
۶-۲-۳-۲ آزمایش تعیین زمان گیرش سیمان هیدرولیکی توسط سوزن ویکات ۶۳
۶-۲-۳-۳ آزمایش تجزیه شیمیایی سیمان ۶۴
فصل هفتم ۶۵
۷-۱ ملاحظات در نظر گرفته شده در طرح اختلاط بتن ساخته شده با مصالح خرده آجر بازیافتی ۶۶
۷-۲ تعیین بهینه حداکثر ابعاد مصالح خرده آجر بازیافتی ۶۶
۷-۲-۱ مصالح خرده آجر ریزدانه ۶۷
۷-۲-۲ مصالح خرده آجر متوسط دانه و درشت دانه ۶۷
۷-۳ بررسی آزمایشگاهی تأثیر اندازهٔ دانه‌های مصالح خرده آجر در مقاومت بتن ۶۸
۷-۳-۱ طرح اختلاط بتن ۶۸
۷-۳-۲ قالب گیری ازنمونه‌ها ۷۰
۷-۳-۳ عمل‌آوری نمونه‌ها ۷۰
۷-۳-۴ نتیجه آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها ۷۰
۷-۴ طرح اختلاط بتن با در نظر گرفتن عمل‌آوری داخلی ۷۲
فصل هشتم ۷۴
۸-۱ مصالح مورد استفاده ۷۵
۸-۲ طرح اختلاط بتن بازیافتی ۷۵
۸-۳ آزمایش مقاومت فشاری ۸۰
۸-۳-۱ ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها ۸۰
۸-۳-۲ آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌های تحت عمل‌آوری خارجی ۸۲
۸-۳-۳ آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی ۸۲

۸-۴ آزمایش تعیین میزان کارایی بتن ۸۲
۸-۵ آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن ۸۲
۸-۶ آزمایش بیرون کشیدگی مستقیم آرماتور ۸۳
۸-۶-۱ ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها ۸۳
۸-۶-۲ انجام آزمایش بیرون کشیدگی و نصب تجهیزات آزمایش ۸۴
۸-۷ آزمایش خود جمع شدگی بتن ۸۶
فصل نهم ۸۷
۹- ۱ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۸۸
۹- ۱-۱ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌ها تحت عمل‌آوری خارجی ۸۸
۹- ۱-۱-۱ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۷ روزه ۸۸
۹-۱-۱-۲ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری۲۸ روزه ۹۰
۹-۱-۱-۳ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۹۰ روزه ۹۱
۹-۱-۱-۴ تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها بازمان ۹۳
۹-۱-۲ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌ها تحت عمل‌آوری داخلی ۹۴
۹-۱-۲-۱ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۷ روزه ۹۵
۹-۱-۲-۲ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۹۷
۹-۱-۲-۳ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۹۰ روزه ۹۹
۹-۱-۲-۴ تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها با زمان ۱۰۱
۹-۱-۳ مقایسهٔ نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی ۱۰۲
۹-۲ نتیجه آزمایش بیرون کشیدگی آرماتور ۱۰۵
۹-۲-۱ نمونه‌های تحت عمل‌آوری خارجی ۱۰۵
۹-۲-۱-۱ نتیجه آزمایش نمونه بتن شاهد BRC0 ..... ۱۰۶
۹-۲-۱-۲ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC20 ..... ۱۰۸
۹-۲-۱-۳ نتیجه آزمایش نمونهٔ بتن BRC40 ..... ۱۰۸

۹-۲-۱-۴ نتیجه آزمایش بتن BRC60 ..... ۱۰۸
۹-۲-۱-۵ نتیجه آزمایش نمونهٔ بتن BRC80 ..... ۱۰۹
۹-۲-۱-۶ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC100 ..... ۱۰۹
۹-۲-۲ نتیجه آزمایش بیرون کشیدگی آرماتور در نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی ۱۱۱
۹-۲-۲-۱ نتیجه آزمایش نمونه بتن شاهد BRC0 ..... ۱۱۱
۹-۲-۲-۲ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC20 ..... ۱۱۲
۹-۲-۲-۳ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC40 ..... ۱۱۴
۹-۲-۲-۴ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC60 ..... ۱۱۴
۹-۲-۲-۵ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC80 ..... ۱۱۵
۹-۲-۲-۶ نتیجه آزمایش نمونه بتن BRC100 ..... ۱۱۵
۹-۲-۳ مقایسه رفتار بیرون کشیدگی آرماتور از نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی ۱۱۶
۹-۳ نتایج آزمایشات خود جمع شدگی بتن ۱۱۹
۹-۴ نتیجه آزمایش میزان کارایی بتن ۱۲۱
۹-۵ نتیجه آزمایش وزن مخصوص بتن ۱۲۲
۱۰-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۵
۱۰-۲ پیشنهادات ۱۲۷
پیوست ها ۱۲۹
منابع و مراجع ۱۳۷

فهرست جدولها

جدول ۵-۱ کل نمونه‌های مورد نیاز در طرح آزمایشات ۴۶

جدول ۶-۱ انواع مصالح خرده آجر از نظر حداکثر ابعاد ۴۸

جدول شماره ۶-۲ نتیجه آزمایش دانه‌بندی ماسه ۵۰

جدول شماره ۶-۳ نتیجه آزمایش دانه‌بندی شن نخودی ۵۱

جدول شماره ۶-۴ نتیجه آزمایش دانه‌بندی شن بادامی ۵۲

جدول شماره ۶-۵ میزان اندیس خردشدگی مصالح سنگدانه‌ای ۵۴

جدول شماره ۶-۶ نتیجه آزمایش چگالی (فضایی و ظاهری) و میزان جذب آب ماسه ۵۵

جدول شماره ۶-۷ نتیجه آزمایش تعیین چگالی و میزان جذب آب مصالح سنگی درشت ۵۶

جدول شماره ۶-۸ نتیجه آزمایش دانه‌بندی خرده آجر متوسط دانه ۵۷

جدول شماره ۶-۹ نتیجه آزمایش دانه‌بندی مصالح خرده آجر درشت‌دانه ۵۸

جدول شماره ۶-۱۰ میزان اندیس خردشدگی مصالح سنگدانه‌ای ۵۹

جدول شماره ۶-۱۱ نتیجه آزمایش تعیین چگالی و میزان جذب آب مصالح خرده آجر ۶۰

جدول شماره ۶-۱۲ نتایج آزمایشات نم‌پس‌دهی مصالح خرده آجر ۶۱

جدول شماره ۶-۱۳ ترکیب شیمیایی مصالح خرده آجر ۶۲

جدول شماره ۶-۱۷ خصوصیات سیمان مورد استفاده ۶۳

جدول شماره ۶-۱۴ ترکیب شیمیایی سیمان ۶۴

جدول شماره ۷-۱ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن شماره ۱ ..... ۶۹

جدول شماره ۷-۲ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن شماره ۲ ..... ۶۹

جدول شماره ۷-۳ نتیجه آزمایشات مقاومت فشاری ۷۰

جدول شماره ۷-۹ محاسبات طرح اختلاط بتن ۷۳

جدول شماره ۸-۱ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن BRC0 ..... ۷۵

جدول شماره ۸-۲ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن BRC20 ..... ۷۶

جدول شماره ۸-۳ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن BRC40 ..... ۷۷

جدول شماره ۸-۴ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن BRC60 ..... ۷۸
جدول شماره ۸-۵ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن BRC80 ..... ۷۹
جدول شماره ۸-۶ نسبت اختلاط مصالح در طرح بتن BRC100 ..... ۸۰
جدول شماره ۹-۱ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری خارجی ۸۸
جدول شماره ۹-۲ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری خارجی . ۹۰
جدول شماره ۹-۳ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری خارجی . ۹۲
جدول شماره ۹-۴ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی ۹۵
جدول شماره ۹-۵ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی ۹۷
جدول شماره ۹-۶ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی ... ۹۹
جدول شماره ۹-۷ مقایسه مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی ۱۰۴
جدول شماره۹-۸ مقادیر نیرو و جابجایی در لحظه گسیختگی نمونه های تحت عمل آوری خارجی ۱۰۷
جدول شماره ۹-۹ مقادیر نیرو و جابجایی در لحظه گسیختگی نمونه های تحت عمل آوری داخلی ۱۱۳
جدول شماره ۹-۱۰ مقادیر نیرو و جابجایی در لحظه گسیختگی نمونه های تحت عمل آوری داخلی ۱۱۷
جدول شماره ۹-۱۱ مقادیر متوسط بار و جابجایی در لحظه گسیختگی (تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی) ۱۲۰
جدول شماره ۹-۱۲ میزان جمع شدگی ۱ روزه در نمونه‌های مختلف بتن ۱۲۰
جدول شماره ۹-۱۳ میزان جمع شدگی ۷ روزه در نمونه‌های مختلف بتن ۱۲۰
جدول شماره ۹-۱۴ میزان جمع شدگی ۲۸ روزه در نمونه‌های مختلف بتن ۱۲۱
جدول شماره ۹-۱۵ نتایج آزمایش اسلامپ طرح اختلاطهای مختلف بتن ۱۲۲
جدول شماره۹-۱۶ نتیجه آزمایش وزن مخصوص بتن بازیافتی تحت عمل‌آوری خارجی ۱۲۳

جدول شماره ۹-۱۷ نتیجه آزمایش وزن مخصوص بتن بازیافتی تحت عمل‌آوری داخلی ۱۲۳

فهرست اشکال

شکل شماره ۱-۱ ضایعات خرده آجر قبل از خردایش ۴
شکل شماره ۱-۲ تجهیزات خردایش ضایعات خرده آجر ۵
شکل شماره ۱-۳ نمایی از مصالح خرده آجر ۵
شکل شماره ۳-۱ مکانیسم انتقال نیرو در آرماتور تحت کشش ۱۹
شکل شماره ۳-۲ انواع مختلف الگوهای ترک‌خوردگی ۲۰
شکل شماره ۴-۱ میزان نفوذ آب طی فرایند عمل‌آوری داخلی و خارجی ۳۴
شکل شماره۴-۲ (الف) تعیین طرح اختلاط بتن با عمل‌آوری داخلی ۳۹
شکل شماره۴-۲ (ب) تعیین طرح اختلاط بتن با عمل‌آوری داخلی ۳۹
شکل شماره۴-۲ (ج) تعیین طرح اختلاط بتن با عمل‌آوری داخلی ۳۹
شکل شماره ۶-۱ میزان نم پس دهی هم دمای مصالح خرده آجر بازیافتی ۶۲
شکل شماره ۸-۱ نمایی از حوضچه‌های عمل‌آوری خارجی ۷۱
شکل شماره ۸-۲ نمایی از روش آماده‌سازی نمونه جهت عمل‌آوری داخلی ۷۱
شکل شماره ۸-۳ نمایی از نمونه آماده شده جهت انجام آزمایش بیرون کشیدن ۸۱
شکل شماره ۸-۴ نمایی از نحوهٔ آماده سازی نمونه جهت عمل‌آوری داخلی ۸۱
شکل شماره ۸-۵ نمای شماتیک آزمایش بیرون کشیدگی ۸۵
شکل شماره ۸-۵ نمایی از تجهیزات آزمایش بیرون کشیدگی ۸۵
شکل شماره ۸-۶ نمایی از تجهیزات آزمایش خود جمع‌شدگی ۸۶
شکل شماره ۹-۱ میزان مقاومت فشاری ۷ روزهٔ نمونه‌ها برحسب میزان درصد مصالح خرد آجر بازیافتی ۸۹
شکل شماره ۹-۲ میزان مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه‌ها برحسب میزان درصد مصالح خرد آجر بازیافتی ۹۰
شکل شماره ۹-۳ میزان مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه‌ها برحسب میزان درصد مصالح خرد آجر بازیافتی ۹۲

شکل شماره ۹-۴ میزان تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف بتن با زمان ۹۴
شکل شماره ۹-۵ میزان مقاومت فشاری ۷ روزهٔ نمونه‌ها برحسب میزان درصد مصالح خرد آجر بازیافتی ۹۵
شکل شماره ۹-۶ میزان مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه‌ها برحسب میزان درصد مصالح خرد آجر بازیافتی ۹۸
شکل شماره ۹-۷ میزان مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه‌ها برحسب میزان درصد مصالح خرد آجر بازیافتی ۱۰۰
شکل شماره ۹-۸ میزان تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف بتن با زمان ۱۰۱
شکل شماره ۹-۹ مقایسه مقادیر مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های مختلف تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی ۱۰۳
شکل شماره ۹-۱۰ مقایسه مقادیر مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های مختلف تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی ۱۰۳
شکل شماره ۹-۱۱ مقایسه مقادیر مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های مختلف تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی ۱۰۳
شکل شماره ۹-۱۲ نمایی از نمونه‌های مختلف پس از انجام آزمایش بیرون کشیدگی ۱۰۵
شکل شماره ۹-۱۳ منحنی‌های بار- جابجایی حاصله برای کلیه نمونه‌های تحت عمل‌آوری خارجی ۱۰۶
شکل شماره ۹-۱۴ میزان بار در لحظه گسیختگی بر حسب میزان درصد خرده آجر ۱۱۰
شکل شماره ۹-۱۵ میزان جابجایی در لحظه گسیختگی بر حسب میزان درصد خرده آجر ...۱۱۰
شکل شماره ۹-۱۶ منحنی‌های بار- جابجایی حاصله برای کلیه نمونه‌های تحت عمل‌آوری داخلی ۱۱۱
شکل شماره ۹-۱۷ میزان بار در لحظه گسیختگی بر حسب میزان درصد خرده آجر ۱۱۶
شکل شماره ۹-۱۸ میزان جابجایی در لحظه گسیختگی بر حسب میزان درصد خرده آجر ...۱۱۶

شکل شماره ۹-۱۹ مقایسه مقادیر بار در لحظه گسیختگی (تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی) ۱۱۷
شکل شماره ۹-۲۰ مقایسه مقادیر جابجایی در لحظه گسیختگی (تحت عمل‌آوری داخلی و خارجی) ۱۱۸
شکل شماره ۹-۲۱ میزان خود جمع شدگی نمونه‌های مختلف بر حسب زمان ۱۲۱
شکل شماره ۹-۲۲ میزان تغییرات وزن مخصوص نمونه‌های مختلف ۱۲۴
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC0 ..... ۱۳۰
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC20 ..... ۱۳۰
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC40 ..... ۱۳۱
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC60 ..... ۱۳۱
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC80 ..... ۱۳۲
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC100 ..... ۱۳۲
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC0 ..... ۱۳۴
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC20 ..... ۱۳۴
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC40 ..... ۱۳۵
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC60 ..... ۱۳۵
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC80 ..... ۱۳۶
شکل شماره پ-۱ سطح گسیختگی ایجاد شده در نمونه BRC100 ..... ۱۳۶

فصل اول

مقدمه

سالانه حجم بسیار زیادی ضایعات آجر[1] در نقاط مختلف دنیا، ازجمله کشور ایران، تولید می‌شود. به علت تخلیه این ضایعات در حوالی شهرها، مشکلات زیست محیطی بسیار زیادی ایجاد شده است. در نتیجه لازم است با انجام مدیریت صحیح، این مشکلات به حداقل ممکن کاهش یابد.

یکی از بهترین راههای مواجه با این ضایعات، یافتن راه‌حلهایی جهت فرآوری و بازیافت[2] این مصالح می‌باشد. به نحوی که بتوان این ضایعات را در صنایع دیگر و از جمله صنعت ساختمان مورد استفاده قرارداد [۱].

---

1 Brick Waste
2 Recycling and Processing

۱-۱ انواع ضایعات خرده آجر

از نقطه نظر امکان استفاده مجدد از ضایعات آجر در صنعت ساختمان، ناخالصی‌های موجود در این ضایعات بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بطور کلی ضایعات آجر را می‌توان در دو گروه طبقه بندی نمود: [۲]

۱) ضایعات آجر تولید شده در کارخانجات آجر پذیری

به دلایل مختلف از جمله، تغییرشکل خشت خام آجر در مرحلهٔ پخت آن و ضایعات ایجاد شده در مرحلهٔ بارگیری، حمل و مصرف آجر سالم، این ضایعات تولید می‌شوند. از مهمترین خصوصیت این ضایعات آن است که اغلب تمیز و عاری از هرگونه ناخالصی[1] می‌باشند. در نتیجه برای تولید مصالح خرده آجر این ضایعات، اغلب نیاز به فرآوری و پاکسازی چندانی نمی‌باشد.

۲) ضایعات آجر ناشی از تخریب سازه‌های قدیمی بنایی

معمولاً ناخالصی‌ها در این ضایعات بسیار بالاست، که در نتیجه می‌تواند در مقاومت و کارایی بتن اثر منفی ایجاد کند. این مصالح سنگدانه‌ای معمولاً در ساخت بتن‌های متوسط کاربرد دارند.

استفاده از این مصالح سنگدانه‌ای بازیافتی در ضوابط و استانداردها بسیار محدود می‌باشد. بعنوان مثال در استاندارد BS 8500-2: 2002 محدودیتهایی در میزان ناخالصی‌های موجود در سنگدانه‌های بازیافتی از جمله، میزان ذرات ریز، میزان آسفالت، میزان سولفاتهای قابل حل، مقدار شیشه، پلاستیک و . . . قرار داده شده است. در این استاندارد میزان جایگزین نمودن مصالح سنگدانه طبیعی بتن با مصالح سنگدانه بازیافتی را به حداکثر ۲۰ درصد محدود کرده است [۲]. در این تحقیق مصالح خرده آجر تولید شده از ضایعات گروه اول مورد بررسی قرارگرفته است.

۱-۲ انتخاب مصالح خرده آجر بازیافتی

امروزه در کشور ایران استفاده از مصالح خرده آجر بازیافتی بسیار محدود می‌باشد. در موارد جزئی بصورت پرکننده[2] یا جهت ترازکردن سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه تعداد محدودی از کارخانه‌های آجرپزی، اقدام به تهیهٔ تجهیزات جهت فرآوری و تولید مصالح خرده آجر

---

1 Impurity
2 Filling

بازیافتی و دانه‌بندی شده نموده‌اند. عمدهٔ خوراک این واحدهای بازیافتی، ضایعات آجر گروه (۱) می‌باشد.

در یک واحد فرآوری و بازیافت ضایعات آجر، اغلب ضایعات از کارخانه‌های مختلف وارد می‌شوند، در نتیجه، همگن بودن مصالح ضایعات آجر از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق، از جمله در شهر اصفهان، کلیهٔ کارخانه‌های آجرپزی در یک منطقه مشخص در حومهٔ شهر قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آجر تولید شده، به خواص خاک رس[۱] اولیهٔ آن بستگی دارد. از آنجا که خاک رس مورد استفاده تمام کارخانه‌های مورد بررسی در این تحقیق، در یک محدوده با وضعیت زمین شناسی[۲] یکسان تأمین می‌شود، لذا خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آجرهای تولید شده توسط کارخانه‌های مختلف تقریباً مشابه می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های مختلف آجر، تولید شده توسط کارخانجات مختلف در محدودهٔ شهر اصفهان، صحت این ادعا را ثابت می‌کند.

به عنوان بخشی از این کار تحقیقاتی، تعدادی از واحدهای تولید و فرآوری مصالح خرده آجر مورد بررسی قرار گرفته است. در هر مورد تجهیزات[۳] مربوط به فرآوری و خردایش ضایعات آجر از نظر سازگار بودن با تکنولوژی روز دنیا و همچنین نحوهٔ کنترل کیفیت صورت گرفته در حین تولید این مصالح مورد توجه ویژه قرار گرفته است.

پس از بررسی‌های صورت گرفته، مصالح خرده آجر تولید شده توسط واحد فرآوری و بازیافت کارخانه آجرپزی واحدی اصفهان از نظر کیفیت فرآوری، خردایش و دانه‌بندی مصالح، نسبت به سایر واحدهای مورد بررسی، ارجح شناخته شده و در این کار تحقیقاتی از محصولات این واحد بازیافت استفاده شده است.

---

1 Clay
2 Geology
3 Instrument

۱-۳ تجهیزات مربوط به فرآوری و بازیافت مصالح خرده آجر

همانطور که قبلاً اشاره شد، هنوز واحد فرآوری و بازیافت ضایعات آجر، جهت تولید مصالح خرده آجر مورد استفاده در ساخت بتن بعنوان جایگزین مصالح سنگدانه‌ای بتن، ایجاد نشده است. در نتیجه تجهیزات موجود در واحد فرآوری و بازیافت ضایعات آجر فقط به تولید مصالح خرده آجر بازیافتی با دانه‌بندی مناسب می‌پردازد.

به منظور تولید مصالح خرده آجر بازیافتی که قابل استفاده در تولید بتن باشد، لازم است یک واحد فرآوری مجزا در نظر گرفته شود. این واحد عمدتاً به پاکسازی و شستشوی مصالح خرده آجر جهت جداسازی مواد پودری و ریزدانه از مصالح می‌باشد. در این تحقیق عمل شستشو و جداسازی مواد پودری و ریزدانه در آزمایشگاه و بطور دستی صورت گرفته است. در شکل شماره ۱-۱ ضایعات خرده آجر قبل از خردایش[1] نشان داده شده است. این ضایعات از نوع سفال و آجر سوراخ‌دار می‌باشند. بخشی از تجهیزات مربوط به فرآوری و بازیافت مصالح خرده آجر در کارخانه واحدی اصفهان، در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. ضایعات پس از تخلیه شدن درون محوطه، به صورت دستی به سیلوی اولیه منتقل می‌شوند. در طی مسیر، بازدید چشمی بر روی ضایعات صورت می‌گیرد و ناخالصی‌های اضافی، که عمدتاً قطعات چوب می‌باشد، از آنها جدا می‌شود. ضایعات سپس وارد به یک سنگ شکن فکی[2]، تحت خردایش قرار می‌گیرند و سپس به کمک سه سری سرند[3] لرزان، مصالح خرده آجر حاصله طبقه بندی می‌شوند.

شکل شماره ۱-۱ ضایعات خرده آجر قبل از خردایش

1 Crushing
2 Jaw Crusher
3 Sieve