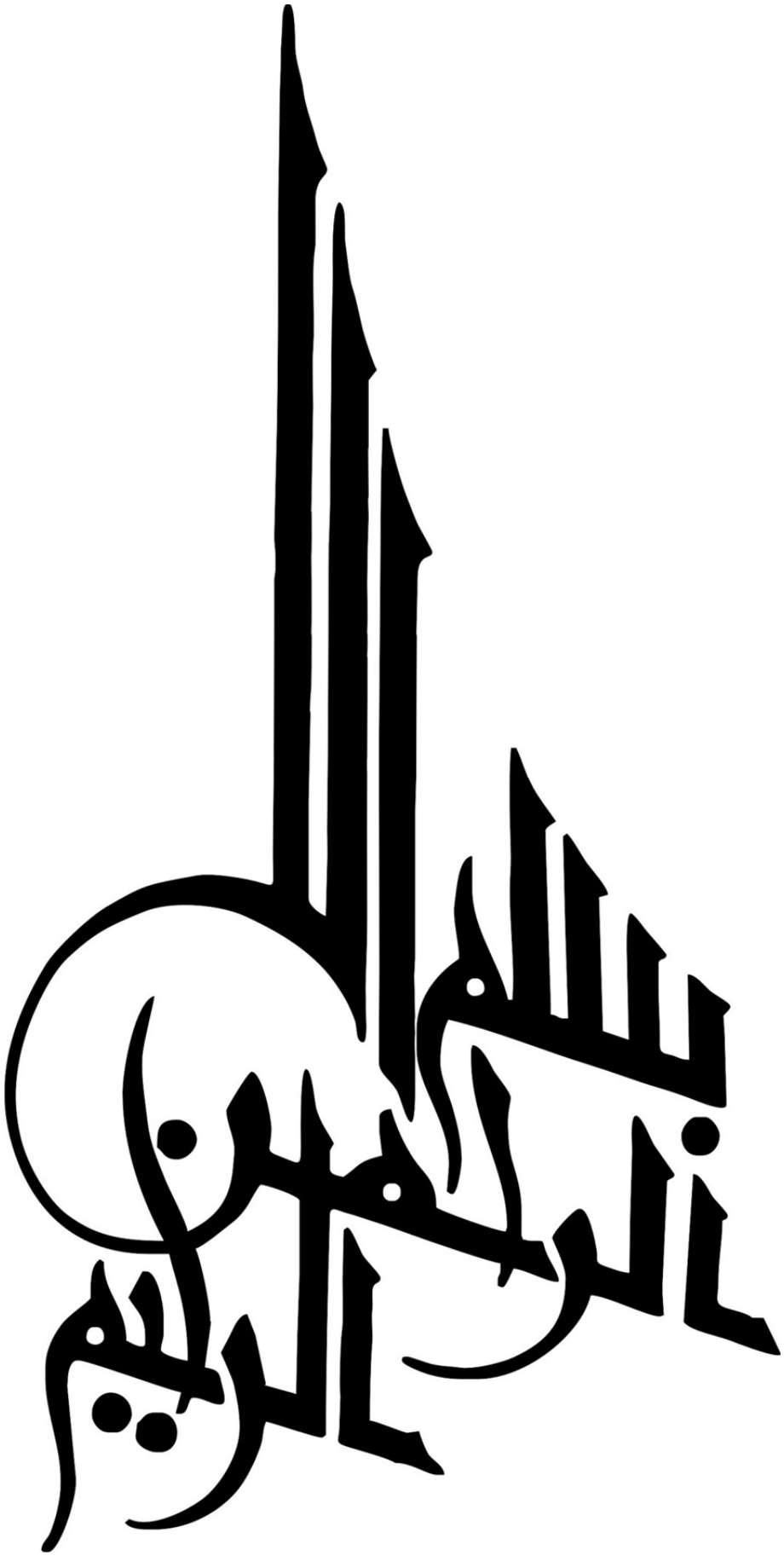
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه گیلان
دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی عملکرد بتن حاوی خاکستر پوسته برنج در دو حالت عمل آوری شده به همراه نانوسیلیس

از

پویا رحیمی پله شاه

استاد راهنما:

دکتر رحمت مدندوست

آذر ۱۳۹۰

دانشکده فنی

گروه عمران

گرایش سازه

بررسی عملکرد بتن حاوی خاکستر پوسته برنج در دو حالت عمل آوری شده به همراه نانوسیلیس

از:

پویا رحیمی پله شاه

استاد راهنما:

دکتر رحمت مدندوست

استاد مشاور:

دکتر ملک محمد رنجبر

آذر ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تهیه و تنظیم مجموعه پیش رو را مدیون راهنمایی های استاد ارجمندم دکتر مدندوست و همچنین استاد مشاورم دکتر رنجبر می باشم. ضمن اینکه لازم می دانم از تمامی مسئولان دانشکده فنی، بویژه مسئولان آزمایشگاه بتن و همینطور خانم مهندس بلالایی و سازمان پارک فناوری استان گیلان به خاطر فراهم آوردن بهترین شرایط جهت انجام امور مربوط به این پایان نامه تشکر و قدر دانی نمایم.

پویا رحیمی پله شاه

فهرست مطالب

چکیده فارسی م

چکیده انگلیسی ن

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

فصل دوم: خاکستر پوسته شلتوک برنج ۴

۲-۱- پیشگفتار ۵

۲-۲- مزایای استفاده از خاکستر پوسته برنج در بتن ۶

۲-۳- کاربردهای خاکستر پوسته برنج ۷

۲-۴- اثرات زیست محیطی ۹

۲-۵- تهیه خاکستر پوسته برنج ۱۴

۲-۶- اثر دمای سوزاندن ۱۵

۲-۷- اثر زمان سوزاندن و شرایط (محیط) کوره ۱۹

۲-۸- اثر دما و زمان سوزاندن روی سطح ویژه و فعالیت خاکستر پوسته برنج ۲۱

۲-۹- منحنی سیر تکاملی گرمایی ملات / RHA ۲۳

۲-۱۰- ریز ساختار ملات سیمان حاوی RHA ۲۴

۲-۱۱- مکانیسم هیدراسیون ملات حاوی RHA ۲۶

۲-۱۲- فعالیت پوزولانی ۲۹

۲-۱۳- ویژگی های فیزیکی و ترکیبات شیمیایی ۳۲

۲-۱۴- خاکستر پوسته برنج تصفیه شده ۳۴

۲-۱۵- توزیع اندازه ذرات ۳۶

فصل سوم: نانوسیلیس ۳۸

۳-۱- مقدمه ۳۹

۳-۲- هیدراسیون نانوسیلیس ۴۰

۳-۳- مروری بر مطالعات انجام شده ۴۱

فصل چهارم: برنامه آزمایشگاهی ۵۳

۴-۱- مقدمه ۵۴

۴-۲- مصالح ۵۴

۴-۲-۱- مصالح سنگی ۵۴

۴-۲-۲- سیمان ۵۵

۴-۲-۳- خاکستر پوسته برنج ۵۵

۴-۲-۴- خاکستر پوسته برنج تصفیه شده ۵۶

۴-۲-۵- نانوسیلیس ۵۷

۴-۲-۵-۱ –نحوه کاربرد نانوسیلیس ۵۸

۴-۳- طرح اختلاط ۵۹

۴-۴- آزمایش ها ۶۰

۴-۴-۱- مقاومت فشاری ۶۰

۴-۴-۲- مقاومت کششی ۶۰

۴-۴-۳- مدول الاستیسیته ۶۰

۴-۴-۴- درصد جذب آب ۶۲

۴-۴-۵- انقباض بتن (تغییر طول) ۶۳

فصل پنجم: ارائه نتایج، تحلیل و مقایسه ۶۴

۵-۱- مقدمه ۶۵

۵-۲- ارائه و تحلیل نتایج ۶۵

۵-۲-۱- اسلامپ ۶۵

۵-۲-۲- مقاومت فشاری ۶۶

۵-۲-۳- مقاومت کششی ۷۳

۵-۲-۴- مدول الاستیسیته ۷۶

۵-۲-۵- درصد جذب آب ۷۸

۵-۲-۶- انقباض ۸۲

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد ها ۸۴

۶-۱- مقدمه ۸۵

۶-۲- جمع بندی ۸۵

۶-۴- پیشنهادها ۸۷

فهرست منابع ۸۸

فهرست جداول

۲-۱- تولید برنج در جهان	۶
۲-۲- گازهای گلخانه ای تولید شده در اثر فعالیت های بشر	۱۰
۲-۳- ترکیبات مختلف پوسته برنج	۱۵
۲-۴- ترکیبات شیمیایی RHA تحت دماهای متفاوت سوزاندن	۱۶
۲-۵- آنالیز منافذ خاکستر تحت دماهای متفاوت	۱۹
۲-۶- اثر شرایط سوزاندن روی ساختار بلوری و سطح ویژه خاکستر پوسته برنج	۱۹
۲-۷- شرایط سوزاندن، ترکیبات شیمیایی، مشخصات و مقاومت خاکستر پوسته برنج	۲۲
۲-۸- تغییرات رسانایی خاکستر در اثر نوع سرد کردن	۲۰
۲-۹- مقادیر PH خاکستر پوسته برنج حل شده در آب	۲۳
۲-۱۰- میکروآنالیز از خاکستر پوسته برنج	۲۹
۲-۱۱- مقاومت ملات خاکستر پوسته برنج	۳۰
۲-۱۲- شاخص پوزولانی سریع RHA	۳۱
۲-۱۳- مقایسه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی RHA تولید شده، با استاندارد ASTM C618	۳۲
۲-۱۴- ترکیبات شیمیایی خاکستر پوسته برنج	۳۳
۲-۱۵- ویژگی های فیزیکی و درصد سیلیس خاکستر پوسته برنج در چند پژوهش متفاوت	۳۳
۲-۱۶- مقایسه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی یک نمونه خاکستر پوسته برنج با نوع تصفیه شده	۳۵
۳-۱- طرح اختلاط مطالعه Belkowitz	۴۱
۳-۲- ویژگی های فیزیکی و شیمایی مواد سیمانی	۴۶
۳-۳- طرح اختلاط، مقاومت فشاری و مقاومت پیوند	۴۵
۳-۴- نتایج زمان گیرش، مقاومت فشاری و مقاومت پیوند	۴۶
۳-۵- مشخصات سیمان و خاکستر بادی	۴۸
۳-۶- مشخصات نانوسیلیس	۴۸

۳-۷- جدول طرح اختلاط	۴۸
۳-۸- نتایج آزمایش ها	۴۹
۳-۹- مشخصات سیمان و سرباره کوره ذوب آهن	۵۱
۳-۱۰- مشخصات نانوسیلیس	۵۱
۳-۱۱- نسبت اختلاط مخلوط های بتنی	۵۱
۴-۱- مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سیمان	۵۵
۴-۲- چگالی انبوهی خاکستر پوسته برنج	۵۶
۴-۳- مشخصات نانوسیلیس	۵۸
۴-۴- طرح اختلاط مخلوط های بتنی ساخته شده	۵۹
۵-۱- درصد فوق روان کننده مصرف شده برای هر مخلوط	۶۵
۵-۲- نتایج آزمایش های مقاومت فشاری	۶۶
۵ -۳- مقاومت کششی مخلوط های بتنی حاوی خاکستر پوسته برنج معمولی	۷۳
۵-۴- مقادیر مدول الاستیسیته	۷۶
۵-۵- نتایج جذب آب تمامی نمونه های آزمایش شده برحسب ٪	۷۹
۵-۶- کرنش طولی نمونه ها پس از ۱۸۰ روز	۸۲

فهرست اشکال

۲-۱- پوسته برنج ۵

۲-۲- دیاگرام مثلثی نشان دهنده عمده مواد تشکیل دهنده سیمان پرتلند و پوزولان ها ۸

۲-۳- پراکندگی تولید برنج در سطح جهان ۹

۲-۴- تولید سیمان کل جهان به تفکیک کشورها در سال ۲۰۰۵ ۱۱

۲-۵- پراکندگی تولید سیمان در جهان ۱۲

۲-۶- افزایش تولید سیمان در خلال سال های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ میلادی ۱۲

۲-۷- تغییر در مقدار سیمان پرتلند مورد نیاز با استفاده از ۳۰٪ جایگزین کردن مواد مکمل سیمان ۱۳

۲-۸- مقدار درصد مورد نیاز جایگزین کردن سیمان برای صفر شدن انتشار گازکربنیک صنایع سیمان ۱۳

۲-۹- طیف TGA و DTA برای پوسته برنج تحت تحت دماهای سوزاندن متفاوت ۱۷

۲-۱۰- نمونه پرتونگاری ایکس خاکستر پوسته برنج تحت دماهای متفاوت سوزاندن ۱۷

۲-۱۱- اسکن الکترونی خاکستر در دماهای متفاوت ۱۸

۲-۱۲- اسکن الکترونی خاکستر در دماهای متفاوت ۱۸

۲-۱۳- اسکن الکترونی خاکستر در دماهای متفاوت ۱۸

۲-۱۴- شرایط بهینه سوزاندن برای حصول خاکستر متخلخل و فعال ۲۰

۲-۱۵- ذرات خاکستر که به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۷۰۰ درجه سوزانده شده و سپس اجازه داده شد که به تدریج داخل کوره سرد شدند (کند سرد کدن) ۲۱

۲-۱۶- ذرات خاکستر که به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۷۰۰ درجه سوزانده شده و سپس به سرعت از کوره خارج شدند (سریع سرد کردن) ۲۱

۲-۱۷- منحنی سیر تکامل گرمایی خمیر سیمان حاوی خاکستر پوسته برنج ۲۳

۲-۱۸- زمان گیرش خمیر سیمان حاوی RHA ۲۴

۲-۱۹- اسکن الکترونی خمیر سیمان هیدراته شامل RHA ۲۵

۲-۲۰- آنالیز منافذ ملات سیمان ۲۶

۲-۲۱- رابطه منحنی گرمامتر، منحنی موج اولتراسونیک، منحنی مقاومت نفوذ و زمان گیرش (W/C = 0.47) ۲۷

۲-۲۲- تصویر فرضی از خمیر سیمان حاوی RHA ۲۸

۲-۲۳- نمونه پرتونگاری اشعه ایکس از خاکستر پوسته برنج ۳۱

۲-۲۴- نمونه پرتونگاری اشعه ایکس از خاکستر پوسته برنج ۳۲

۲-۲۵- توزیع اندازه ذرات خاکستر پوسته برنج، بعد از آسیاب مرطوب به مدت ۸۰ دقیقه ۳۶

۲-۲۶- توزیع اندازه ذرات خاکستر پوسته برنج ۳۷

۲-۲۷- ذرات خاکستر پوسته برنج ۳۷

۲-۲۸- ذرات آسیاب شده خاکستر پوسته برنج ۳۷

۳-۱- ریزنگار ذرات نانوسیلیس ۳۹

۳-۲- اندازه ذرات و سطح ویژه موادی که در بتن بکار می روند ۴۰

۳-۳- مراحل پروسه هیدراسیون نانوسیلیس ۴۰

۳-۴- عکس مربوط به مراحل پروسه هیدراسیون نانوسیلیس ۴۰

۳-۵- نتایج مقاومت فشاری ملات های حاوی نانوسیلیس، میکروسیلیس و ملات کنترل ۴۱

۳-۶- اسکن الکترونی مخلوط کنترل ۴۲

۳-۷- اسکن الکترونی مخلوط حاوی میکروسیلیس ۴۲

۳-۸- اسکن الکترونی مخلوط نانوسیلیس ۸ ۴۳

۳-۹- اسکن الکترونی مخلوط حاوی نانوسیلیس ۵۰ ۴۳

۳-۱۰- اسکن الکترونی مخلوط حاوی نانوسیلیس ۵۰۸ ۴۴

۳-۱۱- اسکن الکترونی با مقیاس نانومتری از مخلوط ۸ ۴۴

۳-۱۲- اسکن الکترونی با مقیاس نانومتری از مخلوط ۵۰۸ ۴۵

۳-۱۳- اسکن الکترونی از بلورهای هیدروکسید کلسیم از سطح مشترک بین سنگدانه و خمیر سیمان: ۴۷

(۱) مخلوط کنترل، (۲) حاوی ۳٪ میکروسیلیس

۳-۱۴- اسکن الکترونی از بلورهای هیدروکسید کلسیم از سطح مشترک بین سنگدانه و خمیر سیمان: ۴۷

(۲) مخلوط حاوی ۳٪ نانوسیلیس

۳-۱۵- اسکن الکترونی بتن کنترل (بدون نانوسیلیس) در سن ۲۸ روز	۴۹
۳-۱۶- اسکن الکترونی بتن حاوی نانوسیلیس (SC) در سن ۲۸ روز	۵۰
۳-۱۷- اسکن الکترونی بتن کنترل (بدون نانوسیلیس) در سن ۱۸۰ روز	۵۰
۳-۱۸- اسکن الکترونی بتن حاوی نانوسیلیس (SC) در سن ۱۸۰ روز	۵۰
۳-۱۹- نتایج آزمایش مقاومت کششی	۵۲
۴-۱- قرار گرفتن مصالح سنگی در محدوده استاندارد	۵۴
۴-۲- پوسته برنج	۵۵
۴-۳- پوسته برنج پس از سوزاندن	۵۵
۴-۴- آسیاب سرامیکی	۵۵
۴-۵- خاکستر پوسته برنج تصفیه شده پس از آسیاب شدن	۵۶
۴-۶- خاکستر پوسته برنج معمولی پس از آسیاب شدن	۵۶
۴-۷- آنالیز اشعه ایکس نانوسیلیس	۵۷
۴-۸- تصویر TEM با مقیاس ۱۰۰ نانومتر از ذرات نانوسیلیس	۵۸
۴-۹- نمودار منحنی تنش – کرنش بتن و انواع مدول الاستیسیته	۶۲
۴-۱۰- نمونه استوانه ای داخل قاب اندازه گیری مدول الاستیسیته	۶۱
۴-۱۱- نمونه مکعبی به همراه گیج اندازه تغییر طول	۶۳
۵-۱- تغییرات مقاومت فشاری مخلوط کنترل و مخلوط های RHA در کوتاه مدت	۶۷
۵-۲- نمودار مقاومت فشاری مخلوط های شامل خاکستر پوسته برنج و بتن کنترل	۶۸
۵-۳- نمودار مقاومت فشاری مخلوط های حاوی خاکستر پوسته برنج تصفیه شده	۶۸
۵-۴- نمودار مخلوط های بتنی حاوی خاکستر پوسته برنج معمولی و نانوسیلیس	۶۸
۵-۵- مقاومت فشاری تمامی مخلوط ها در ۷ روز	۶۹
۵-۶- نتایج مقاومت فشاری تمامی مخلوط ها در ۴۲ روز	۶۹
۵-۷- نتایج مقاومت فشاری تمامی مخلوط ها در ۹۰ روز	۷۰

۵-۸- مقایسه میان مخلوط ها با بیشترین مقاومت فشاری از مطالعه Naji Givi و پایان نامه حاضر ۷۲

۵-۹- نمودار نتایج مقاومت کششی در ۴۲ روز ۷۳

۵-۱۰- نمودار نتایج مقاومت کششی خاکستر پوسته برنج معمولی در ۹۰ روز ۷۴

۵-۱۱- رابطه بین مقاومت فشاری وکششی ۷۵

۵-۱۲- مقایسه نتایج مقاومت کششی با رابطه تجربی آیین نامه ACI ۷۵

۵-۱۳- تغییرات مقاومت کششی مخلوط های بتنی حاوی خاکستر معمولی و تصفیه شده نسبت به مخلوط کنترل ۷۶

۵-۱۴- نتایج مدول الاستیسیته ۷۹

۵-۱۵- مقایسه نتایج مدول الاستیسیته با روابط تجربی آیین نامه ACI ۸۰

۵-۱۶- رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته ۸۰

۵-۱۷- نمودار درصد جذب آب نمونه های آزمایش شده در ۴۲ روز ۸۱

۵-۱۸- نمودار درصد جذب آب نمونه های آزمایش شده در ۹۰ روز ۸۲

۵-۱۹- نمودار درصد جذب آب نمونه های آزمایش شده در ۱۸۰ روز ۸۲

۵-۲۰- مقایسه درصد جذب مخلوط های حاوی خاکستر این پایان نامه با مطالعه Naji Givi ۸۱

۵-۲۱- نمودار تغییر طول نمونه های مخلوط های مختلف در طول مدت دوره آزمایش ۸۳

چکیده

بررسی عملکرد بتن حاوی خاکستر پوسته برنج در دو حالت عمل آوری شده به همراه نانوسیلیس

پویا رحیمی پله شاه

از آغاز قرن بیستم میلادی که مصرف سیمان در صنعت ساختمان به طور فزاینده ای افزایش یافته است محققان صنعت سیمان و بتن همواره درصدد جایگزین کردن بخشی از سیمان با موادی هستند که علاوه بر کاهش هزینه و آلودگی های ناشی از تولید سیمان، بتن مقاوم تر و با دوام بیشتری نیز ایجاد شود. کاربرد پوزولان ها در راستای همین اهداف به عنوان موادی که قابلیت جایگزین شدن با درصدی از سیمان را دارند، می باشد. در این میان خاکستر پوسته برنج با داشتن میزان بالای سیلیس، مورد توجه محققان قرار گرفته است .در طول چند دهه گذشته همواره بهبود در روش های تولید و مصرف این پوزولان مد نظر بوده است. روشهایی که در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفتند علاوه بر مصرف خاکستر معمولی (خاکستری که به صورت کنترل شده در یک کوره استاندارد سوزانده می شود)، خاکستر حاصل از تصفیه پوسته برنج توسط اسید هیدروکلریک به صورت مخلوط با سیمان (سیمان آمیخته دو ماده ای) را نیز دربرمی گیرد. در این مطالعه امکان بالا بردن درصد جایگزینی سیمان با خاکستر به کمک همراه شدن خاکستر پوسته برنج با نانوسیلیس مورد بررسی قرار گرفت.کاربرد نانوذرات در بهبود ویژگی های ساختاری و میکروسکوپی محصولات صنعت ساختمان به شدت در حال افزایش است. به همین منظور در این پایان نامه دو پوزولان خاکستر پوسته برنج و نانوسیلیس در کنار هم برای بررسی تاثیری که بر ویژگی های بتن خواهند داشت مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج نشان دادند که خاکستر پوسته برنج باعث افزایش مقاومت بتن می شود. افزایش مقاومت فشاری میانگین، در نمونه های حاوی خاکستر تصفیه شده ۱۰درصد بیشتر از نوع تصفیه نشده بود. همچنین با افزودن ۵ درصد نانوسیلیس امکان افزایش حجم مصرف خاکستر در بتن امکان پذیر شد. نتایج مقاومت فشاری مخلوط های بدون نانوسیلیس تنها تا ۱۰ درصد جایگزینی سیمان با خاکستر، سیر صعودی داشتند. با کاربرد ۵ درصد نانوسیلیس، نتایج مقاومت فشاری حتی تا جایگزینی ۳۰ درصد خاکستر به ویژه در بلند مدت قابل مقایسه با حالت بدون نانوسیلیس می باشند. البته بالا بردن درصد خاکستر، باعث افزایش مصرف فوق روان کننده برای رسیدن به کارایی دلخواه می شود.

واژه های کلیدی:

خاکستر پوسته برنج، نانوسیلیس، مقاومت بتن

Abstract:

Investigation on performance of concrete containing rice husk ash and nano-sio_2 in two different processes of treating for rice husk ash

Pouya Rahimi Palehshah

From the beginning of the 20^{th} century, use of cements in making architectural structures and foundations has incredibly increased. So, the researchers of concrete and cement industry are looking for ways to replace some applications with other materials, so they could reduce costs as well as the pollution caused by cement production. Also, they might be able to produce even stronger concretes.

Therefore, Pozzolans has been applied as a material to replace a percentage of cement in concrete. Among them, rice husk ash is rich in silica and hence, it has gained a great deal of attention from researchers. Within the last decades the methods for producing and consuming this Pozzolan has continuously improved. In the present research work two methods have been considered: ordinary ash (the ash burned under control in a standard furnace) and rice husk ash produced from refining by hydrochloric acid and blended with cement. In this study, rice husk ash accompanied by nano-silica was used, so the percentage of rice husk ash in the cement mixture could be increased.

Today, there is an increasing tendency toward using nano-aggregates in building industry to improve the structural and microscopic characteristics. Hence, in the present research, adding rice husk ash together with nano-silica was studied to find out their impact on concrete characteristics.

The results showed that rice husk ash increases the strength of concrete. The increase in compressive strength of concrete containing refined ash was %10 higher than the concrete with non-refined ash. Also, adding %5 nano-silica made it possible to use a higher volume of ash in the concrete. After adding rice husk ash without nano-silica, compressive strength only increased up to %10. Adding %5 nano-silica and up to % 30 rice husk ash, the compressive strength was still comparable to that of the concrete with no nano-silica.

However, it should be noted that in order to achieve a good efficiency, adding a higher percentage of rice husk ash necessitates adding more super plasticizer too.

Keywords:

Rice Husk Ash, Nano-silica, Concrete strength

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

با افزایش جمعیت جهان و توسعه شهرها از ابتدای قرن بیستم میلادی که باعث مصرف بسیار زیاد سیمان در صنعت ساختمان شده است بشر همواره با چالش های بزرگی در زمینه های اقتصادی و محیط زیستی روبرو شده است. زندگی در جهان امروز بدون هماهنگی بین بخش های مختلف صنعت امکان پذیر نمی باشد. همان طور که افزایش جمعیت، توسعه بی رویه شهرها و مصرف زیاد مصالح ساختمانی را باعث شده است پیش از آن تولید روز افزون مواد غذایی را در پی داشته است. محصول کشاورزی برنج همواره در بین بیشترین تولیدات کشاورزی قرار دارد. یک پنجم وزن برنج تولیدی را پوسته آن تشکیل می دهد که با تولید قریب به ۷۰۰ میلیون تن برنج سالانه در سراسر جهان می توان به حجم بالای پوسته برنج تولیدی پی برد. پوسته برنج محصولی زاید است، ساختار خشن آن در برابر تجزیه طبیعی بسیار مقاوم است و سوزاندن آن به صورت سوخت در کوره های صنعتی به عنوان یک راهکار مصرف بهینه این محصول آلودگی های زیست محیطی و مشکلات دفع خاکستر ناشی از سوختن آن را در پی دارد.

تلاش ها برای صرفه جویی اقتصادی روند تولید سیمان و کاهش تولید گازهای گلخانه ای ناشی از کارخانه های سیمان، محققین را متوجه مواد جایگزین کرده است. بهترین گزینه های جایگزین برای سیمان یا بخشی از آن موادی هستند که خود پسماند دیگر صنایع هستند چرا که تولید این مواد ناخواسته و بدون صرف هزینه مازاد انجام می گیرد و مصرف این مواد که پوزولان نامیده می شوند علاوه بر صرفه جویی اقتصادی اثرات مثبتی بر کاهش تولید گازهای آلوده کننده خواهد داشت. در فصل دوم مقدار جایگزین کردن سیمان با این مواد برای از بین بردن انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از فرایند تهیه سیمان با نمودار و به تفکیک هر قاره نشان داده شده است.

همواره توجه به این نکته از اهمیت بیشتری برخودار می باشد که بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی نباید کیفیت پایین تری از بتن ساخته شده با سیمان خالص داشته باشد. خاکستر پوسته برنج حاصل سوزاندن پوسته آن است. حدود یک پنجم وزن پوسته برنج پس از سوزاندن به خاکستر تبدیل می شود. عامل اصلی جلب توجه محققین صنعت سیمان به خاکستر پوسته برنج درصد بالای سیلیس این ماده است که اگر در کوره های استاندارد سوزانده شود حجم آن حدود ۸۰ درصد و گاهی حتی بیشتر از ۹۰ درصد است. به این ترتیب خاکستر پوسته برنج را از نظر دارا بودن درصد سیلیس می توان در کنار میکروسیلس قرار داد. تحقیقات گسترده ای بر روی خاکستر پوسته برنج و تاثیر آن بر ویژگی های مکانیکی و دوام بتن انجام شده است و تا به امروز همچنان ادامه دارد. این تحقیقات روش های بهینه سوزاندن پوسته برنج، تاثیر اندازه ذرات آن و میزان حجم کاربرد آن در بتن را در برمی گیرد.

در سال های اخیر کاربرد سیمان آمیخته سه ماده ای شامل نانوذرات افزایش یافته است. کاربرد نانوذرات و به ویژه نانوسیلیس تاثیرات مثبتی را بر ویژگی های بتن و مخصوصا به خاطر ابعاد نانومتری ذرات بر ویژگی های دوام بتن دارد. هزینه بالای تهیه این ماده باعث شده است که محققان، این پوزولان فعال را در کنار سایر پوزولان ها به عنوان یک عامل تصحیح کننده مورد استفاده قرار دهند. در همین راستا و از آنجایی که جای خالی کاربرد نانوسیلیس به همراه خاکستر پوسته برنج حس می شد در پروژه حاضر هدف اصلی بالا بردن درصد جایگزینی خاکستر پوسته برنج به کمک کاربرد ۵ درصد نانوسیلیس است. اما پیش از پرداختن به موضوع اصلی برای برخورداری از دید درستی از تاثیرات خاکستر پوسته برنج بر ویژگی های بتن این پوزولان به تنهایی مورد استفاده قرار گرفت. روش عمل آوری پوسته برنج توسط اسید هیدروکلریک که پیش از این امتحان شده است و تاثیر بهتر آن بر ویژگی های بتن نسبت به خاکستر پوسته برنج تایید شده است نیز برای مطالعه بیشتر در برنامه آزمایشگاهی گنجانده شد.

مخلوط های بتنی ساخته شده توسط آزمایش های مقاومت فشاری، کششی، مدول الاستیسیته، جذب آب و انقباض بتن مورد بررسی قرار گرفتند. استانداردها و شرح و تفصیل آزمایش ها در فصل مربوط به برنامه آزمایشگاهی (فصل چهارم) آورده شده است.

در فصل دوم و سوم به خاکستر پوسته برنج و نانوسیلیس پرداخته شده است. معرفی روش های عمل آوری و نوع سوزاندن خاکستر پوسته برنج، اندازه ذرات و تاثیرات مثبت زیست محیطی کاربرد پوزولان ها در کاهش آلودگی ناشی از تولید سیمان و پرداختن به پژوهش های سایر محققین در این دو فصل مد نظر قرار گرفته است.

در فصل پنجم نتایج آزمایش ها به همراه تحلیل و مقایسه با سایر نتایج بدست آمده از پژوهش های دیگر و همراه با نتیجه گیری نهایی در پایان هر بخش ارائه شده است.

فصل ششم نیز به یک جمع بندی کلی از پژوهش انجام شده اختصاص یافته است. امید است که مجموعه پیش رو برای خواننده علاقه مند حاوی مطالب مفید و ارزنده باشد.

فصل دوم:

خاکستر پوسته شلتوک برنج