بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

بررسی تاثیر میکروسیلیس و نانو سیلیس بر کیفیت و دوام بتن حاوی سربارهٔ کورهٔ بلند آهن گدازی در محیط سولفاتی

استاد راهنما:

دکتر یعقوب محمدی

توسط:

علیرضا محمودی

دانشگاه محقق اردبیلی

آذر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چراکه این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستیم بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان...

تشکر و قدردانی

اکنون که به لطف خداوند بزرگ انجام این تحقیق به پایان رسیده، بر خود واجب می دانم تا از همه ی کسانی که به نحوی اینجانب را در انجام و به پایان رساندن این مسیر یاری کردند تقدیر و تشکر نمایم.

در ابتدا از پدر، مادر و سایر اعضای خانواده ی عزیزم که با حمایت های بی دریغ و همه جانبه ی خود در پشت سر گذاشتن این مسیر باعث دلگرمی بنده بودند و تمام توفیقم را مدیون دعای خیر ایشان، هستم، متشکرم و همواره قدردان همدلی ها و محبت هایشان، هستم. سعادت، سلامت و بهروزی ایشان را از خداوند منّان خواستارم. از محضر استاد راهنمای ارجمندم، استاد علم و ادب، جناب آقای دکتر یعقوب محمدی که در تمام مراحل انجام پایان نامه از هیچ کمکی دریغ نورزیدند و در طول تحصیل با نظرات ارزشمند و راه گشای خویش اینجانب را در تهیه و تدوین این پایان نامه یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. از آقایان مهندس هوشمندی و اصغری (مسئولان محترم آزمایشگاه تحصیلات تکمیلی گروه عمران و آزمایشگاه بتن)، مهندس احمدوند (ریاست محترم شرکت وند شیمی) و از آقایان مهندس حمید دانا، مهندس حسن مصطفی زاده که در تمامی مراحل کمک یار و همراه بنده بودند صمیمانه کمال تشکر را دارم و از خداوند برای ایشان آرزوی موفقیت در تمامی مراحل زندگی شان را دارم.

همچنین از دوستان و برادران عزیزم، مهندس علیرضا خدادادی، مهندس نادر اسماعیلی، مهندس مهدی عقیقی و سایر افرادی که در طول دوره تحصیلی دلگرمی هایشان راه را بر من هموار نمود، تقدیر و تشکر می نمایم.

با آرزوی سعادت و شادکامی برای تمامی این عزیزان

علیرضا محمودی

پاییز ۹۰

نام خانوادگی دانشجو: محمودی رحمانلو		**نام:** علیرضا
عنوان پایان نامه: بررسی تاثیر میکروسیلیس و نانو سیلیس بر کیفیت و دوام بتن حاوی سربارهٔ کورهٔ بلند آهن گدازی در محیط سولفاتی		
استاد راهنما: دکتر یعقوب محمدی		
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** عمران **گرایش:** سازه	**دانشگاه:** محقق اردبیلی
دانشکده: فنی و مهندسی	**تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۰/۹/۲۳**	**تعداد صفحه: ۱۷۹**
کلید واژه ها: ۱- نانوسیلیس	۲- سربارهٔ کورهٔ بلند آهن گدازی	۳- یون سولفات

چکیده: مطالعهٔ حاضر به گزارش نتایج مطالعات آزمایشگاهی بر روی استفاده از سربارهٔ کورهٔ بلند آهن گدازی آسیاب نشده (NGGBFS) به عنوان جایگزین ریزدانه و استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیس به عنوان مادهٔ افزودنی در بتن می پردازد. خواص مقاومتی، کیفیت و دوام بتن با نمونه های مرجع مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور تعدادی از آزمایشات مانند آزمایش مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، سرعت پالس اولتراسونیک و جذب آب حجمی انجام گرفت. علاوه بر این ریزساختار این نوع بتن ها نیز توسط میکروسکوپ الکترونی بررسی گردید. کلاً ۳۲٤ نمونهٔ مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰cm) ساخته شد که در آن نمونه ها در دو محیط (محلول سولفات منیزیم و آب) به مدت ۲۸ و ۹۰ روز عمل آوری شدند. ماسه توسط سرباره در سه مرحله بر حسب درصد وزنی۰، ۲۵ و ۵۰ درصد و سیمان نیز توسط میکروسیلیکا و نانوسیلیکا به ترتیب در سه مرحله بر حسب درصد وزنی ۰، ٦، ۱۰ درصد و ۰، ۱، ۳ درصد وزنی به صورت مجزا یا ترکیب جایگزین گردیدند. نتایج آزمایشات نشان دادند که مقاومت بتن با افزایش نسبت جایگزینی سرباره، در مقایسه با بتن مرجع کاهش می یابد. نتیجه گرفته شد که دلیل اصلی کاهش مقاومت در بتن جدید مربوط به شکل گیری ساختار بتنی متخلخل می باشد. از طرف دیگر به عنوان یک نتیجهٔ کلی، سرباره در حالتی که ۲۵ درصد به عنوان جایگزین ماسه مورد استفاده قرار گیرد، بر خواص دوامی بتن تاثیر مثبت می گذارد. نانو ذرات سیلیس به عنوان جایگزین سیمان تا ۱ درصد وزنی توانست خواص مکانیکی نمونه های بتنی را افزایش دهد. افزایش مقدار نانوسیلیس بیشتر از ۱ درصد، به دلیل کاهش مقادیر $Ca(OH)_2$ کریستالی مورد نیاز جهت تشکیل ژل C-S-H، مقاومت فشاری را کاهش می دهد. همچنین استفاده از میکروسیلیکا بر حسب درصد وزنی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، باعث افزایش قابل توجه در خواص مکانیکی و دوام بتن گردید.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ استفاده از سرباره ها در صنعت ساخت و ساز ۳

۱-۳ خرابی سولفاتی بتن ۳

۱-٤ اهمیت و ضرورت تحقیق ٤

۱-۵ اهداف تحقیق ۵

۱-٦ تاریخچهٔ استفاده از سرباره دانه ای کوره بلند (GGBFS) [۹] ۷

۱-٦-۱ تحقیقات انجام گرفته در زمینه استفاده از GGBFS و GBFS به عنوان ماده سیمانی ۸

۱-٦-۲ تحقیقات انجام گرفته در زمینه استفاده از GGBFS به عنوان ریزدانه جایگزین ماسه ۱۱

۱-۷ مروری بر گذشته آزمایشات انجام گرفته در مقابل حملات سولفاتی ۱۳

فصل دوم: مواد و روش ها

۲-۱ بتن ۱۹

۲-۲ سنگدانه ها ۱۹

۲-۲-۱ خواص مورد نیاز سنگدانه ها جهت طرح اختلاط ۲۰

۲-۳ سنگدانه های غیر سنتی (سنگدانه های غیر متعارف) ۲۱

۲-٤ سرباره ۲۲

۲-٤-۱ انواع سرباره های کارخانه های تولید آهن و فولاد ۲۳

۲-٤-۱-۱ سرباره کوره بلند آهن گدازی ۲۳

۲-٤-۱-۲ سرباره فولاد سازی ۲٤
۲-٤-۲ انواع سرباره های کوره بلند آهن گدازی بر حسب روش سرد شدن [۵۱] ۲۵
۲-٤-۲-۱ سرباره خنک شده در هوای آزاد (BFS) ۲۵
۲-٤-۲-۲ سرباره گلوله ای یا کلوخه ای ۲٦
۲-٤-۲-۳ سرباره پف کرده ۲٦
۲-٤-۲-٤ سرباره دانه ای کوره بلند (GBFS) ۲۷
۲-٤-۳ سربارهٔ آسیاب نشدهٔ کورهٔ بلند (NGGBFS) ۲۷
۲-٤-٤ مقایسه سرباره های فولاد و کوره بلند آهنگدازی ۲۸
۲-٤-٤-۱ مشخصه های شیمیایی ۲۸
۲-٤-٤-۲ مشخصه های فیزیکی ۲۸
۲-٤-٤-۳ مشخصه های مکانیکی ۲۹
۲-٤-۵ نشانهٔ فعالیت سرباره ۳۰
۲-٤-٦ حجم تولید سرباره ۳۱
۲-٤-۷ میزان مصرف سرباره ۳۲
۲-٤-۸ برخی از کاربرد های سرباره ۳۳
۲-٤-۹ کاربرد سرباره در ایران ۳۵
۲-۵ پوزولان ها ۳٦
۲-۵-۱ انواع پوزولان ها ۳۷
۲-۵-۲ کاربرد پوزولان ها ۳۷
۲-٦ نانو تکنولوژی ۳۸
۲-٦-۱ نانو سیلیس در بتن ۳۹
۲-٦-۲ تاثیرات نانوسیلیس بر بتن ۳۹
۲-٦-۳ تولید نانوسیلیس ٤۰
۲-۷ میکروسیلیس ٤۱

۲-۸ دوام بتن ٤٢
۲-۸-۱ عوامل تاثیر گذار بر دوام بتن ٤٢
۲-۸-۱-۱ عوامل خارجی ٤٢
۲-۸-۱-۲ عوامل داخلی ٤٣
۲-۹ نفوذپذیری ٤٣
۲-۱۰ رابطه بین نفوذپذیری و دوام ٤٣
۲-۱۱ خرابی سولفاتی ٤٤
۲-۱۱-۱ مکانیزم حمله سولفاتی ٤٥
۲-۱۱-۲ مکانیزم حمله سولفاتی به بتن توسط آب دریا [۹۳] ٤٨
۲-۱۲ نقش پوزولان ها در کاهش و از بین بردن عوامل مخرب ٥٠

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ مواد مورد استفاده ٥٣
۳-۱-۱ آب ٥٣
۳-۱-۲ سیمان ٥٣
۳-۱-۳ شن و ماسه مصرفی ٥٤
۳-۱-۳-۱ آزمایش لس آنجلس بر روی سنگدانه های درشت ٥٥
۳-۱-٤ سرباره ٥٧
۳-۱-٥ فوق روان کننده ٥٨
۳-۱-٦ نانوسیلیس ٥٨
۳-۱-۷ میکروسیلیس ٥٩
۳-۲ روش انجام آزمایشات ٦٠
۳-۳ طرح اختلاط ٦١

۳-۳-۱ روش اختلاط مواد و نحوهٔ ساخت نمونه ها..... ٦٥
۳-٤ کارایی..... ٦٦
۳-٤-۱ نانوسیلیس..... ٦٧
۳-٤-۲ سرباره..... ٦٧
۳-٥ آزمایش مقاومت فشاری..... ٦٧
۳-٥-۱ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۱..... ۷۳
۳-٥-۲ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۲..... ۷٥
۳-٥-۳ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۳..... ۷۷
۳-٥-٤ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ٤..... ۷۹
۳-٥-٥ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ٥..... ۸۱
۳-٥-٦ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ٦..... ۸۳
۳-٥-۷ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۷..... ۸٥
۳-٥-۸ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۸..... ۸٦
۳-٥-۹ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۹..... ۸۸
۳-٦ آزمایش تعیین سرعت پالس اولتراسونیک (ULTRASONIC PULSE VELOCITY)... ۹۲
۳-٦-۱ دامنه کاربرد..... ۹۲
۳-٦-۲ عوامل تاثیر گزار در نتایج بدست آمده از روش پالس فراصوت..... ۹۳
۳-٦-۳ دستگاه اندازه گیری پالس فراصوت..... ۹۳
۳-٦-٤ روش های اندازه گیری مدت زمان پالس های عبوری فراصوت..... ۹٤
۳-٦-٥ روش تعیین مدول الاستیسیته..... ۹٥
۳-٦-٦ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۱..... ۱۰۰
۳-٦-۷ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۲..... ۱۰۲
۳-٦-۸ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۳..... ۱۰۳
۳-٦-۹ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ٤..... ۱۰٥

۳-٦-۱۰ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۵..... ۱۰۷
۳-٦-۱۱ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ٦..... ۱۰۹
۳-٦-۱۲ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۷..... ۱۱۰
۳-٦-۱۳ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۸..... ۱۱۲
۳-٦-۱٤ تحلیل نتایج مربوط به طرح اختلاط های گروه ۹..... ۱۱٤
۳-۷ آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی..... ۱۱۸
۳-۷-۱ روش آزمایش و اندازه گیری مقاومت الکتریکی..... ۱۲۱
۳-۷-۲ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۱..... ۱۲۷
۳-۷-۳ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۲..... ۱۲۸
۳-۷-٤ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۳..... ۱۲۹
۳-۷-۵ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ٤..... ۱۳۰
۳-۷-٦ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۵..... ۱۳۱
۳-۷-۷ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ٦..... ۱۳۲
۳-۷-۸ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۷..... ۱۳۳
۳-۷-۹ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۸..... ۱۳٤
۳-۷-۱۰ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۹..... ۱۳۵
۳-۷-۱۱ نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی..... ۱۳۹
۳-۸ آزمایش تعیین جذب آب حجمی..... ۱٤۱
۳-۸-۱ روش انجام آزمایش جذب آب حجمی..... ۱٤۱
۳-۸-۲ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۱..... ۱٤٦
۳-۸-۳ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۲..... ۱٤۷
۳-۸-٤ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۳..... ۱٤۸
۳-۸-۵ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ٤..... ۱٤۹
۳-۸-٦ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۵..... ۱۵۰

۳-۸-۷ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ٦..... ۱۵۱
۳-۸-۸ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۷..... ۱۵۲
۳-۸-۹ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۸..... ۱۵۳
۳-۸-۱۰ نمودارهای مربوط به طرح اختلاط های گروه ۹..... ۱۵٤
۳-۸-۱۱ نتایج آزمایش درصد جذب آب حجمی ۱۵۵
۳-۹ مطالعهٔ ریز ساختار بتن توسط عکس های SEM..... ۱

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

٤-۱ نتایج ۵
٤-۲ پیشنهاد هایی برای انجام تحقیقات در آینده..... ۱۱
منابع..... ۱۷۱

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱ تاثیرات GGBFS و یا خاکستر بادی بر روی مقاومت خمشی نمونه ها [۲۸]..... ۱۰

شکل ۱-۲ مقاومت کششی نمونه های حاوی GGBFS [۲۹]..... ۱۱

شکل ۱-۳ تغییرات مقاومت فشاری نمونه ها [۳٤]..... ۱۳

شکل ۲-۱ فرآیند ذوب آهن و تشکیل سرباره [۵۲]..... ۳۱

شکل ۲-۲ استفاده از سرباره در جاده سازی و آسفالتهای مقاوم..... ۳٤

شکل ۳-۱ منحنی دانه بندی شن و ماسهٔ مصرفی..... ۵۵

شکل ۳-۲ نمونه ای از نانوسیلیس مصرفی ۵۸

شکل ۳-۳ محیط های عمل آوری..... ٦۱

شکل ۳-٤ آون..... ٦٦

شکل ۳-۵ دستگاه آزمایش مقاومت فشاری UTM..... ٦۸

شکل ۳-٦ دستگاه آزمایش مقاومت فشاری..... ٦۸

شکل ۳-۷ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۷۳

شکل ۳-۸ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۷٤

شکل ۳-۹ نمودار SDF نمونه های گروه ۱..... ۷٤

شکل ۳-۱۰ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۷۵

شکل ۳-۱۱ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۷٦

شکل ۳-۱۲ نمودار SDF نمونه های گروه ۲..... ۷٦

شکل ۳-۱۳ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۷۷

شکل ۳-۱٤ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۷۸
شکل ۳-۱۵ نمودار SDF نمونه های گروه ۳..... ۷۹
شکل ۳-۱٦ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۷۹
شکل ۳-۱۷ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۸۰
شکل ۳-۱۸ نمودار SDF نمونه های گروه ٤..... ۸۱
شکل ۳-۱۹ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۵..... ۸۱
شکل ۳-۲۰ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۵..... ۸۲
شکل ۳-۲۱ نمودار SDF نمونه های گروه ۵..... ۸۲
شکل ۳-۲۲ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٦..... ۸۳
شکل ۳-۲۳ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٦..... ۸۳
شکل ۳-۲٤ نمودار SDF نمونه های گروه ٦..... ۸٤
شکل ۳-۲۵ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۷..... ۸۵
شکل ۳-۲٦ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۷..... ۸۵
شکل ۳-۲۷ نمودار SDF نمونه های گروه ۷..... ۸٦
شکل ۳-۲۸ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۸..... ۸۷
شکل ۳-۲۹ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۸..... ۸۷
شکل ۳-۳۰ نمودار SDF نمونه های گروه ۸..... ۸۸
شکل ۳-۳۱ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۹..... ۸۸
شکل ۳-۳۲ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۹..... ۸۹
شکل ۳-۳۳ نمودار SDF نمونه های گروه ۹..... ۸۹
شکل ۳-۳٤ نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ کل نمونه ها..... ۹۰

شکل ۳-۳۵ نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزهٔ کل نمونه ها..... ۹۱
شکل ۳-۳٦ دستگاه سنجش پالس های فراصوت..... ۹۳
شکل ۳-۳۷ دستگاه سنجش پالس های فراصوت و نحوهٔ اندازه گیری..... ۹٤
شکل ۳-۳۸ نمای شماتیک مدار دستگاه پالس اولتراسونیک..... ۹٤
شکل ۳-۳۹ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۱۰۰
شکل ۳-٤۰ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۱۰۰
شکل ۳-٤۱ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۱ در محیط سولفاتی..... ۱۰۱
شکل ۳-٤۲ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۱۰۲
شکل ۳-٤۳ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۱۰۲
شکل ۳-٤٤ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۲ در محیط سولفاتی..... ۱۰۳
شکل ۳-٤۵ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۱۰٤
شکل ۳-٤٦ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۱۰٤
شکل ۳-٤۷ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۳ در محیط سولفاتی..... ۱۰۵
شکل ۳-٤۸ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۱۰۵
شکل ۳-٤۹ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۱۰٦
شکل ۳-۵۰ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ٤ در محیط سولفاتی..... ۱۰٦
شکل ۳-۵۱ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۵..... ۱۰۷
شکل ۳-۵۲ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۵..... ۱۰۸
شکل ۳-۵۳ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۵ در محیط سولفاتی..... ۱۰۸
شکل ۳-۵٤ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٦..... ۱۰۹
شکل ۳-۵۵ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٦..... ۱۰۹

شکل ۳-۵٦ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ٦ در محیط سولفاتی..... ۱۱۰
شکل ۳-۵۷ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۷..... ۱۱۱
شکل ۳-۵۸ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۷..... ۱۱۱
شکل ۳-۵۹ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۷ در محیط سولفاتی..... ۱۱۲
شکل ۳-٦۰ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۸..... ۱۱۲
شکل ۳-٦۱ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۸..... ۱۱۳
شکل ۳-٦۲ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۸ در محیط سولفاتی..... ۱۱۳
شکل ۳-٦۳ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۹..... ۱۱٤
شکل ۳-٦٤ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۹..... ۱۱۵
شکل ۳-٦۵ نمودار درصد کاهش مدول الاستیسیتهٔ نمونه های گروه ۹ در محیط سولفاتی..... ۱۱۵
شکل ۳-٦٦ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزهٔ کل نمونه ها..... ۱۱٦
شکل ۳-٦۷ نمودار مدول الاستیسیتهٔ ۹۰ روزهٔ کل نمونه ها..... ۱۱۷
شکل ۳-٦۸ مسیرهای انتقال جریان الکتریکی در داخل بتن..... ۱۱۹
شکل ۳-٦۹ دستگاه سنجش مقاومت الکتریکی و نحوهٔ اندازه گیری..... ۱۲۲
شکل ۳-۷۰ نمای شماتیک مدار دستگاه اندازه گیری مقاومت الکتریکی..... ۱۲۳
شکل ۳-۷۱ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۱۲۷
شکل ۳-۷۲ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۱۲۷
شکل ۳-۷۳ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۱۲۸
شکل ۳-۷٤ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۱۲۸
شکل ۳-۷۵ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۱۲۹
شکل ۳-۷٦ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۱۲۹

شکل ۳-۷۷ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۱۳۰
شکل ۳-۷۸ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۱۳۰
شکل ۳-۷۹ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٥..... ۱۳۱
شکل ۳-۸۰ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٥..... ۱۳۱
شکل ۳-۸۱ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٦..... ۱۳۲
شکل ۳-۸۲ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ٦..... ۱۳۲
شکل ۳-۸۳ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۷..... ۱۳۳
شکل ۳-۸٤ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۷..... ۱۳۳
شکل ۳-۸٥ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۸..... ۱۳٤
شکل ۳-۸٦ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۸..... ۱۳٤
شکل ۳-۸۷ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۹..... ۱۳٥
شکل ۳-۸۸ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۹..... ۱۳٥
شکل ۳-۸۹ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۲۸ روزهٔ کل نمونه ها..... ۱۳٦
شکل ۳-۹۰ نمودار مقاومت ویژهٔ الکتریکی ۹۰ روزهٔ کل نمونه ها..... ۱۳۷
شکل ۳-۹۱ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۱٤٦
شکل ۳-۹۲ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۱..... ۱٤٦
شکل ۳-۹۳ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۱٤۷
شکل ۳-۹٤ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۲..... ۱٤۷
شکل ۳-۹٥ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۱٤۸
شکل ۳-۹٦ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزهٔ نمونه های گروه ۳..... ۱٤۸
شکل ۳-۹۷ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزهٔ نمونه های گروه ٤..... ۱٤۹

شکل ۳-۹۸ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ نمونه های گروه ٤ ..... ۱٤۹
شکل ۳-۹۹ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزۀ نمونه های گروه ٥ ..... ۱٥۰
شکل ۳-۱۰۰ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ نمونه های گروه ٥ ..... ۱٥۰
شکل ۳-۱۰۱ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزۀ نمونه های گروه ٦ ..... ۱٥۱
شکل ۳-۱۰۲ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ نمونه های گروه ٦ ..... ۱٥۱
شکل ۳-۱۰۳ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزۀ نمونه های گروه ۷ ..... ۱٥۲
شکل ۳-۱۰٤ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ نمونه های گروه ۷ ..... ۱٥۲
شکل ۳-۱۰٥ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزۀ نمونه های گروه ۸ ..... ۱٥۳
شکل ۳-۱۰٦ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ نمونه های گروه ۸ ..... ۱٥۳
شکل ۳-۱۰۷ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزۀ نمونه های گروه ۹ ..... ۱٥٤
شکل ۳-۱۰۸ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ نمونه های گروه ۹ ..... ۱٥٤
شکل ۳-۱۰۹ نمودار درصد جذب آب حجمی ۲۸ روزۀ کل نمونه ها ۱٥۷
شکل ۳-۱۱۰ نمودار درصد جذب آب حجمی ۹۰ روزۀ کل نمونه ها ۱٥۸
شکل ۳-۱۱۱ عکس SEM از نانوسیلیس مصرفی ۱
شکل ۳-۱۱۲ عکس SEM از ریز ساختار نمونۀ ۹۰ روزۀ C 0.1.0 ..... ۲
شکل ۳-۱۱۳ عکس SEM از ریزساختار نمونۀ ۲۸ روزۀ C 10.3.0 ..... ۳
شکل ۳-۱۱٤ عکس SEM از ریزساختار نمونۀ ۲۸ روزۀ C 10.3.0 ..... ۳

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۲-۱ مقایسه ای بین ۳ نوع سرباره [٥٤]..... ٢٦

جدول ۲-۲ نتایج آنالیز شیمیایی سرباره های فولاد و کوره بلند [٤٨]..... ٢٨

جدول ۲-۳ مقایسه مشخصه های فیزیکی سرباره های فولاد و کوره بلند [٤٨]..... ٢٩

جدول ۲-٤ مقایسه مشخصه های مکانیکی سرباره های فولاد، کوره بلند، کوارتز و سنگ آهک [٤٨].. ٢٩

جدول ۲-٥ ویژگی های استاندارد شماره ASTM C989 برای سه نوع سرباره [٦٠]..... ٣٠

جدول ۲-٦ مقایسه ای بین نوع خاصی از سرباره با سیمان تیپ ۱ و دو نوع خاکستربادی [٦٢]..... ٣١

جدول ۲-۷ بازار سرباره در ایالات متحده بین سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲- واحد: هزارتن [٤٧]..... ٣٣

جدول ۳-۱ ترکیب سیمان مصرفی..... ٥٣

جدول ۳-۲ دانه بندی شن وماسه..... ٥٤

جدول ۳-۳ الک ها و تعداد گلوله های مورد نیاز برای ترکیب A..... ٥٦

جدول ۳-٤ الک ها و تعداد گلوله های مورد نیاز برای ترکیب B..... ٥٦

جدول ۳-٥ الک ها و تعداد گلوله های مورد نیاز برای ترکیب C..... ٥٦

جدول ۳-٦ نتایج آزمایش لس آنجلس..... ٥٧

جدول ۳-۷ ترکیبات شیمیایی سرباره مصرفی..... ٥٧

جدول ۳-۸ نمونهٔ سربارهٔ دانه بندی شده..... ٥٧

جدول ۳-۹ مشخصات فیزیکی و شیمیایی میکروسیلیس مصرفی..... ٥٩

جدول ۳-۱۰ تغییرات مقاومت فشاری بتن دارای بتن شیمی ۱۲۱ در عیار سیمان ۳٥۰ KG/M^3..... ٥٩

جدول ۳-۱۱ تعداد کل نمونه ها..... ٦٠

جدول ۳-۱۲ مشخصات لازم جهت طرح اختلاط به روش ACI..... ٦١

جدول ۳-۱۳ طرح اختلاط برای ۱ متر مکعب بتن..... ٦٤

جدول ۳-۱٤ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه در ۲ محیط ۷۰

جدول ۳-۱۵ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و مقاومت فشاری نمونه های ۹۰ روزه در ۲ محیط ۷۱

جدول ۳-۱٦ ضریب افت مقاومت فشاری SDF..... ۷۲

جدول ۳-۱۷ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و مدول الاستیسیته نمونه های ۲۸ روزه در ۲ محیط ۹۷

جدول ۳-۱۸ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و مدول الاستیسیته نمونه های ۹۰ روزه در ۲ محیط ۹۸

جدول ۳-۱۹ درصد کاهش مدول الاستیسیته در محیط سولفاتی..... ۹۹

جدول ۳-۲۰ ارتباط بین مقاومت الکتریکی و نرخ خوردگی آرماتور در بتن [۱۰۷]..... ۱۲۰

جدول ۳-۲۱ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و مقاومت ویژهٔ الکتریکی نمونه های ۲۸ روزه در ۲ محیط ۱۲٤

جدول ۳-۲۲ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و مقاومت ویژهٔ الکتریکی نمونه های ۹۰ روزه در ۲ محیط ۱۲۵

جدول ۳-۲۳ درصد افزایش مقاومت الکتریکی در محیط سولفاتی..... ۱۲٦

جدول ۳-۲٤ مقادیر تحرک نسبی یون ها [۱۰۹]..... ۱۳۸

جدول ۳-۲۵ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و درصد جذب آب حجمی نمونه های ۲۸ روزه در ۲ محیط ۱٤۳

جدول ۳-۲٦ طرح اختلاط در M^3 ۱ بتن، و درصد جذب آب حجمی نمونه های ۹۰ روزه در ۲ محیط ۱٤٤

جدول ۳-۲۷ درصد افزایش جذب آب حجمی در محیط سولفاتی..... ۱٤۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

بعد از آب، ماده ای که در روی زمین به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد بتن می باشد. بسیاری از جنبه های زندگی روزمرۀ ما به طور مستقیم یا غیر مستقیم وابسته به بتن می باشد. بتن از اختلاط اجزاء مختلف مانند سیمان، سنگدانه ها، آب و غیره که از لحاظ اقتصادی در دسترس می باشند بدست می آید. بتن در بین مصالح عمدۀ سازه ای، بی همتا می باشد چرا که در طراحی پروژه های خاص مهندسی عمران به طور گسترده استفاده می شود [۱]. بتن یک ماده مرکب می باشد که تشکیل شده است از مصالح دانه ای مانند درشت دانه ها که در یک ملات قرار گرفته و توسط سیمان یا بیندر که فضای بین ذرات را پر می کند، به همدیگر چسبانده می شود [۲]. بتن در طراحی و ساخت زیر بناهای یک کشور نقش حیاتی را ایفا می کند.

بر طبق تعدادی از برآورد های انجام گرفته بعد از سال ۲۰۱۰، صنعت جهانی بتن سالیانه به ۸ الی ۱۲ میلیارد تن سنگدانه طبیعی نیاز خواهد داشت [۳]. در طی ۲۵ سال گذشته نرخ تولید سنگهای شکسته و خرد شده سالیانه به طور متوسط ۳/۳ درصد و نرخ تولید شن وماسه سالیانه کمتر از ۱ درصد افزایش داشت. بر اساس این اعداد تا سال ۲۰۲۰ تولید سنگ خرد شده در ایالات متحده که انتظار می رود به بیش از ۲۰ درصد افزایش یابد، چیزی در حدود ۱/٦ میلیارد تن خواهد بود، در حالی که تولید شن وماسه با افزایش ١٤ درصدی کمتر از ۱/۱ میلیارد تن خواهد بود. در اصل مقدار سنگ خرد شده که باید در ۲۰سال آینده تولید شود با کل مقدار سنگ های تولید شده در طی قرون گذشته که چیزی در حدود