بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش سازه

عنوان:

بررسی ویژگی‌های مکانیکی بتن حاوی پوزولان بش‌آقاج در محیط‌های فاضلاب شهری

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا سهرابی

تحقیق و نگارش:

مصطفی رستمی

بهمن ماه ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بررسی ویژگی‌های مکانیکی بتن حاوی پوزولان بش‌آقاج در محیط‌های فاضلاب شهری قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد سازه توسط دانشجو مصطفی رستمی با راهنمایی استاد پایان نامه آقای دکتر محمدرضا سهرابی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

مصطفی رستمی

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	محمدرضا سهرابی		
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:	محمدرضا قاسمی		
داور ۲:	مهدی اژدری مقدم		
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مصطفی رستمی تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مصطفی رستمی

امضاء

تقدیم به:

پدرم

که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، از نگاهش صلابت، از رفتارش محبت و

از صبرش ایستادگی، بیاموزم

مادرم

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

برادرانم که همواره وجودشان مایه دل گرمی من

و خواهرانم که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

دوست دار همیشگی شما

مصطفی

سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند بزرگ توانسته‌ام برگی دیگر از زندگی خویش را ورق بزنم، لازم می‌دانم از زحمات دلسوزانه استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر سهرابی که علاوه بر تحصیل علم و ادب به این اینجانب درس اخلاق و زندگی آموخت تشکر و قدردانی کنم. از جناب پروفسور رمضانیانپور، مهندس مرادیان و مهندس ساداتیان که با ارسال منابع متعدد و راهنمایی‌های ارزنده من را در تهیه و نگارش این پایان یاری نمودند متشکر می‌باشم.

بعد از گذشت سالیان بسیار از زمان تحصیل هرگز فراموش نمی‌کنم که چه کسی به من شیوه آموختن را آموخت، بر خود لازم میدانم که از زحمات معلم پنجم دبستانم جناب آقای شریعتی تشکر کنم.

از تمامی دانشجویان کارشناسی ارشد عمران ورودی ۸۸ کمال تشکر و قدردانی را دارم. از مهندس احسان برقی، مهندس عظیم قلی‌نژاد، مهندس محمد مهدی هوشمند، مهندس حمید خوش اندام، مهندس حمید نوروزی، مهندس ابراهیم امین الرعایایی، مهندس مریم مغنی‌نژاد، مهندس حبیب یلمه، مهندس محمد خدابخش، مهندس جعفر واحدی و مهندس فرزاد طوسی که همچون همراهی دلسوز در کنار من بودند متشکرم.

این پایان نامه حاصل همکاری و همراهی صمیمانه مدیریت شرکت بنیان بتن مشهد، بویژه جناب آقای مهندس ابراهیم اکرمی و مسئولین محترم آزمایشگاه جناب آقایان مهندس جواد مروتی و مهندس رسول داوودی می‌باشد، و از زحمات این عزیزان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان عزیزم مهندس آرش آتشی، مهندس احد جوان، مهندس امیر داورپناه، مهندس محمد وفایی و مهندس محمدرضا نادی که در شادی و غم مرا یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با کمال ادب و احترام

مصطفی رستمی

چکیده

بتن بیشترین ماده ساختمانی است که در ساخت لوله‌های فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. سازه‌های بتنی مورد استفاده در فاضلاب بصورت معمول برای ۵۰ سال طراحی می‌گردند، اما بعضی اوقات فقط با گذشت چندین سال در اثر حمله اسید سولفوریک دچار خوردگی شده و شکل اولیه، کیفیت و قابلیت خدمت دهی خود را از دست می‌دهند.

از اوایل قرن بیستم محققان متوجه این مساله شده بودند که سولفید هیدروژن و اسید سولفوریک در مجاری فاضلاب یک محیط خورنده ایجاد می‌کنند، ولی فرآیند تبدیل سولفید هیدروژن به اسید سولفوریک ناشناخته بود، زیرا تصور می‌کردند که تبدیل فوق یک فرآیند شیمیایی است، در حالی که بعداً مشخص گردید عمل فوق با یک فرآیند بیولوژیکی نیز همراه می‌باشد. در سال ۱۹۴۵ کشف شد که در فرآیند خوردگی بیولوژیکی اسید سولفوریک، باکتری‌ها مشارکت دارند. این باکتری‌ها شامل دو دسته هستند: دسته اول باکتری‌های احیا کننده سولفات و دسته دوم باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد. وقتی مجموعه شرایط برای حضور و رشد باکتری‌های احیا کننده سولفات فراهم باشد، این باکتری‌ها سولفات را احیا کرده و گاز H_2S تولید می‌نمایند. این گاز در اثر تلاطم وارد اتمسفر فوقانی لوله‌های فاضلاب می‌شود و در حضور رطوبت و اکسیژن باکتری‌های اکسید کننده با گاز سولفید هیدروژن آزاد شده واکنش نشان داده و در نتیجه اسید سولفوریک تولید می‌گردد. اسید سولفوریک که یک اسید بسیار متهاجم است با محصولات هیدراتاسیون ماتریس سیمان واکنش داده و تولید گچ و اترینگایت می‌کند که دارای استحکام سازه‌ای کمی می‌باشند، اما آن‌ها دارای حجم بزرگتری نسبت به مواد سازنده خود هستند که باعث فشار داخلی و ترک خوردن بتن شده و سرانجام منجر به از بین رفتن تراکم دیوار لوله‌های بتنی می‌گردند.

برای کنترل و کاهش خوردگی لوله‌های بتنی فاضلاب، راه‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آن‌ها تمرکز بر روی طرح اختلاط بتن می‌باشد، یعنی با استفاده از بتن‌های مقاوم در برابر اسید، عمر مفید لوله‌های بتنی افزایش داده شود. یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای افزایش مقاومت بتن در برابر اسید، استفاده از پوزولان می‌باشد.

یکی از روش‌های متداول برای شبیه‌سازی بتن در معرض اسید سولفوریک، قرار دادن نمونه بتن در محلول اسید سولفوریک قوی‌تر نسبت به محیط واقعی اسیدی می‌باشد. در این مطالعه آزمایشگاهی جهت تعیین دوام نمونه‌های بتنی در محیط شبیه‌سازی شده فاضلاب دو معیار درصد کاهش مقاومت فشاری و درصد کاهش وزن

مورد آزمایش قرار گرفته شده است. نمونه‌های مکعبی برای تعیین دو معیار بالا در چهار سن ۲۸، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روزه بکار رفته‌اند. پوزولان طبیعی بش آقاج در سه درصد، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ وزنی سیمان، میکروسیلیس در دو درصد ۱۰٪ و ۲۰٪ وزنی سیمان و نانوسیلیس در دو درصد، ۱٪ و ۲٪ وزنی سیمان استفاده شده‌اند. در مجموع با نمونه شاهد ۲۰ طرح اختلاط بتن با پوزولان طبیعی، میکروسیلیس و نانوسیلیس بصورت ترکیبی و مجزا ساخته شده است. لازم به ذکر است که تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز عمل آوری شده‌اند و سپس به مدت ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز در محیط تسریع شده فاضلاب (محلول اسید سولفوریک با PH یک) قرار گرفته‌اند. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها بعنوان معیار مقاومت نهایی در نظر گرفته شده و درصد کاهش مقاومت فشاری سنین دیگر با این مقاومت فشاری مقایسه شده است.

در نهایت و بعد از انجام آزمایشات مشخص شد که پوزولان طبیعی بش آقاج، میکروسیلیس و نانو سیلیس هم بصورت مجزا و هم ترکیبی اثرات مطلوبی روی دوام بتن در برابر محیط اسیدی دارند البته در مواردی ترکیب دو افزودنی ارتقای نسبتاً کمی نسبت به استفاده مجزای آنها داشته است.

کلمات کلیدی: فاضلاب، خوردگی، بتن، اسید سولفوریک، میکروسیلیس ، نانوسیلیس، پوزولان بش آقاج

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**
۱-۱-مقدمه ۲
۱-۲- هدف از انجام این پژوهش **۲**
۱-۳-فرضیات تحقیق ۳
۱-۴-روش انجام تحقیق ۴
۱-۵-مروری بر فصول تحقیق ۴
فصل دوم: کلیاتی در مورد بتن ۵
۲-۱-مقدمه ۶
۲-۲-بتن چیست؟ ۷
۲-۳-اجزاء تشکیل دهنده بتن ۷
۲-۳-۱- سیمان ۷
۲-۳-۱-۱-سیمان پرتلند ۸
۲-۳-۱-۲-نرمی سیمان ۱۰
۲-۳-۲- . سنگدانه ها ۱۱
۲-۳-۲-۱- نقش سنگدانه‌ها ۱۱
۲-۳-۲-۱-۱- نقش سنگدانه‌ها در بتن تازه ۱۱
۲-۳-۲-۱-۲- نقش سنگدانه‌ها در بتن سخت شده ۱۲
۲-۳-۲-۲- شکل و بافت سطحی و ظاهری ۱۲
۲-۳-۳- آب ۱۳
۲-۳-۴- مواد افزودنی ۱۴
۲-۳-۴-۱- مواد افزودنی شیمیایی در بتن ۱۴
۲-۳-۴-۱-۱- فوق روان کننده ۱۶
۲-۳-۴-۲- مواد افزودنی معدنی در بتن ۱۸
۲-۳-۴-۲-۱- مواد با فعالیت کم ۱۸
۲-۳-۴-۲-۲- مواد سیمانی ۱۹
۲-۳-۴-۲-۳- مواد پوزولانی ۱۹
۲-۴- ساختار بتن ۲۰
۲-۴-۱- ناحیه انتقال ۲۱
۲-۴-۲- مشخصات فازهای اصلی خمیر سیمان هیدراته شده ۲۲
۲-۵- بتن و توسعه پایدار ۲۳
۲-۵-۱- چالش‌های صنعت بتن با توسعه پایدار ۲۳

۲-۵-۲- راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار ۲۴
۲-۵-۳- بتن و توسعه پایدار در ایران ۲۵
فصل سوم: محیط فاضلاب و واکنش‌های میکروبیولوژی ۲۶
۳-۱- تاریخچه‌ی جمع‌آوری فاضلاب ۲۷
۳-۲- انواع فاضلاب ۲۸
۳-۲-۱- فاضلاب خانگی ۲۹
۳-۲-۲- فاضلاب‌های صنعتی ۲۹
۳-۲-۳- فاضلاب‌های سطحی ۲۹
۳-۳- مجاری فاضلاب ۳۰
۳-۳-۱- جنس فاضلابروها ۳۱
۳-۴- لوله‌های بتنی و بتنی مسلح ۳۱
۳-۵- آسیب‌های موجود در شبکه جمع آوری فاضلاب ۳۲
۳-۶- خوردگی میکروبیولوژی ۳۳
۳-۶-۱- سیکل گوگرد و میکروبیولوژی آن ۳۴
۳-۶-۲- باکتری‌های احیاء کننده سولفات ۳۴
۳-۶-۳- باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد ۳۵
۳-۷- مکانیزم تولید اسید سولفوریک در فاضلابروها ۳۷
۳-۸- عوامل موثر بر تولید سولفید هیدروژن در فاضلابروها ۴۱
۳-۸-۱- سرعت جریان ۴۱
۳-۸-۲- شیب جریان ۴۲
۳-۸-۳- جریان متلاطم ۴۳
۳-۸-۴- مواد جامد معلق در فاضلاب ۴۳
۳-۸-۵- اجرا ۴۳
۳-۸-۶- قطر لوله ۴۴
۳-۸-۷- زمان ماند فاضلاب در مسیر ۴۴
۳-۸-۸- دما ۴۴
۳-۸-۹- اکسیژن محلول ۴۵
۳-۸-۱۰- غلظت زیست اکسیژن (B.O.D) و سولفات در فاضلاب ۴۵
فصل چهارم: خوردگی میکروبیولوژیکی بتن درمحیط فاضلاب شهری ۴۶
۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- خوردگی ۴۷
۴-۳- واکنش اسید سولفوریک با بتن ۴۹
۴-۳-۱- گچ ۵۰
۴-۳-۲- اترینگایت ۵۱
۴-۴- محل خوردگی لوله‌های بتنی فاضلاب ۵۲
۴-۵- روش‌های پیشگیری از خوردگی بیولوژیکی لوله‌های بتنی فاضلاب ۵۴
۴-۶- روش‌های حفاظت فاضلابروها ۵۵

۴-۶-۱- راه‌کارهای افزایش مقاومت بتن ۵۶
۴-۶-۱-۱- سیمان تیپ ۵ (ضد سولفات) ۵۶
۴-۶-۱-۲- سنگدانه‌های آهکی ۵۷
۴-۶-۱-۳- پوزولان‌ها ۵۹
۴-۶-۱-۳-۱- مقاومت فشاری ۵۹
۴-۶-۱-۳-۲- نفوذپذیری و جذب آب ۵۹
۴-۶-۱-۳-۳- پوزولان طبیعی ۶۰
۴-۶-۱-۳-۳-۱- تاثیر پوزولان طبیعی بر مقاومت بتن ۶۰
۴-۶-۱-۳-۳-۲- اثر پوزولان طبیعی در نفوذپذیری ۶۰
۴-۶-۱-۳-۴- میکروسیلیس ۶۰
۴-۶-۱-۳-۴-۱- تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت بتن ۶۰
۴-۶-۱-۳-۴-۲- اثر میکروسیلیس در نفوذپذیری ۶۱
۴-۶-۱-۳-۵- نانوسیلیس ۶۱
۴-۶-۱-۳-۵-۱- تاثیر نانوسیلیس بر مقاومت بتن ۶۱
۴-۶-۱-۳-۵-۲- تاثیر نانوسیلیس بر نفوذپذیری بتن ۶۲
۴-۷-ارئه روش مناسب جهت مقاوم نمودن بتن در برابر اسید ۶۳
۴-۷-۱- نوع سیمان ۶۳
۴-۷-۲- پوزولان‌های مصرفی و نسبت آنها ۶۳
۴-۷-۳- دانه بندی مصالح سنگی و نسبت مصالح ریز دانه ۶۴
۴-۷-۴- نسبت آب به سیمان ۶۵
۴-۷-۵- دانه بندی مواد سیمانی ۶۵
فصل پنجم: مواد و مصالح مصرفی و طرح اختلاط ۶۶
۵-۱- مقدمه ۶۷
۵-۲- سنگدانه‌ها ۶۷
۵-۲-۱- دانه بندی ۶۸
۵-۲-۲- چگالی و وزن مخصوص ۷۳
۵-۲-۳- جذب و رطوبت سطحی سنگدانه‌ها ۷۴
۵-۳- سیمان ۷۵
۵-۴- پوزولان بش آقاج ۷۶
۵-۵- آب ۷۷
۵-۶- اسید سولفوریک ۷۷
۵-۷- میکروسیلیس ۷۸
۵-۸- نانوسیلیس ۷۹
۵-۹- فوق روان کننده ۷۹
۵-۱۰- طرح اختلاط ۷۹
۵-۱۰-۱-تعیین نسبت آب به سیمان ۸۰

۵-۱۰-۲-تعیین مقدار سیمان..... ۸۱
۵-۱۰-۳-تعیین سنگدانه‌ها..... ۸۱
فصل ششم : برنامه آزمایشگاهی..... ۸۶
۶-۱- مقدمه..... ۸۷
۶-۲- شرایط عمل آوری..... ۸۸
۶-۳- محیط تسریع شده فاضلاب..... ۸۸
۶-۴- مراحل ساخت طرح‌های بتنی..... ۸۹
۶-۵- آزمایش اسلامپ..... ۹۱
۶-۶- آزمایش مقاومت فشاری..... ۹۱
فصل هفتم: نتایج آزمایشها و تحلیل آنها..... ۹۴
۷-۱- مقدمه..... ۹۵
۷-۲- بررسی نتایج آزمایش اسلامپ..... ۹۷
۷-۳- بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری..... ۹۹
۷-۳-۱- مقاومت فشاری نمونه های حاوی۱۰٪، ۱۵٪ و۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۹۹
۷-۳-۲- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱٪، ۲٪ و۳٪ نانوسیلیس..... ۱۰۱
۷-۳-۳- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۳
۷-۳-۴- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۵
۷-۳-۵- بررسی تاثیر نانوسیلیس بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪پوزولان بش آقاج..... ۱۰۷
۷-۳-۶- بررسی تاثیر نانوسیلیس بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۵٪پوزولان بش آقاج..... ۱۰۹
۷-۳-۷- بررسی تاثیر نانوسیلیس بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪پوزولان بش آقاج..... ۱۱۱
۷-۳-۸- مقاومت فشاری نمونه های حاوی۱۰٪ و۲۰٪ میکروسیلیس..... ۱۱۳
۷-۳-۹- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۱۷
۷-۳-۱۰-مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ میکروسیلیس و۱۰٪، ۱۵٪ و۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۱۹
۷-۳-۱۱-بررسی تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۲۱
۷-۳-۱۲-بررسی تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۲۳
۷-۳-۱۳-بررسی تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۲۵

۷-۳-۱۴-بررسی و مقایسه تاثیر نانوسیلیس و میکروسیلیس در بهبود مقاومت فشاری بتن..... ۱۲۷
۷-۴- کاهش وزن..... ۱۳۲
۷-۴-۱- درصد کاهش وزن نمونه های حاوی۱۰٪، ۱۵٪ و۲۰٪ پوزولان بش‌آقاج..... ۱۳۲
۷-۴-۲- درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۱٪، ۲٪ و۳٪ نانوسیلیس..... ۱۳۳
۷-۴-۳- درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۱٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۳۴
۷-۴-۴- درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۲٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۳۵
۷-۴-۵- بررسی تاثیر نانوسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۳۶
۷-۴-۶- بررسی تاثیر نانوسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۳۷
۷-۴-۷- بررسی تاثیر نانوسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۳۸
۷-۴-۸- درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ میکروسیلیس..... ۱۳۹
۷-۴-۹- درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۴۰
۷-۴-۱۰-درصد کاهش وزن نمونههای حاوی ۲۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۴۱
۷-۴-۱۱-بررسی تاثیر میکروسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۴۲
۷-۴-۱۲-بررسی تاثیر میکروسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۴۳
۷-۴-۱۳-بررسی تاثیر میکروسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۴۴
۷-۴-۱۴-بررسی و مقایسه تاثیر نانوسیلیس و میکروسیلیس در بهبود درصد کاهش وزن بتن..... ۱۴۵
۷-۵- مشاهدات عینی..... ۱۴۸
فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۵۰
۸-۱- مقدمه..... ۱۵۱
۸-۲- نتیجه گیری..... ۱۵۱
۸-۳- پیشنهادات..... ۱۵۳
مراجع..... ۱۵۵
پیوست ها ۱۶۰
پیوست الف..... ۱۶۱

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱.ترکیبات اصلی سیمان پرتلند ۹
جدول ۲-۲.ترکیب ترکیبات سیمانهای پرتلند(٪)..... ۹
جدول۲-۳.حداقل سطح مخصوص سیمانهای پرتلند..... ۱۱
جدول ۲-۴. آزمون‌های الزامی مواد افزودنی ۱۵
جدول۴-۱.سرعت خوردگی قسمتهای مختلف مقطع لوله‌های فاضلاب در سال..... ۵۳
جدول ۵-۱. نتایج دانه بندی شن بادامی ۶۹
جدول۵-۲. نتایج دانه بندی شن نخودی..... ۶۹
جدول۵-۳. نتایج دانه بندی شن..... ۷۰
جدول۵-۴. نتایج دانه بندی ماسه..... ۷۱
جدول۵-۵. نتایج دانه بندی اصلاح شده ماسه..... ۷۲
جدول۵-۶. مشخصات فیزیکی شن..... ۷۴
جدول ۵-۷. مشخصات فیزیکی ماسه..... ۷۵
جدول۵-۸. ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند تیپII مشهد..... ۷۵
جدول ۵-۹. ویژگی های فیزیکی سیمان پرتلند تیپ II مشهد..... ۷۵
جدول ۵-۱۰. ویژگی های فازهای سیمان پرتلند تیپ II مشهد..... ۷۶
جدول ۵-۱۱ مقاومت سیمان پرتلند تیپII مشهد ۷۶
جدول۵-۱۲. مشخصات پوزولان بش آقاج با الزامات استاندارد ASTM C618. ..... ۷۶
جدول ۵-۱۳. مشخصات فیزیکی میکروسیلیس..... ۷۸
جدول ۵-۱۴. مشخصات شیمیایی میکروسیلیس..... ۷۸
جدول ۵-۱۵. مشخصات نانوسیلیس مصرفی..... ۷۹
جدول ۵-۱۶. مشخصات فوق روان کننده..... ۷۹
جدول ۵-۱۷. پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین مقدار سنگدانه‌ها بر اساس آیین نامه ACI-211..... ۸۱
جدول ۵-۱۸. نسبت‌های اختلاط بتن(kg/m3)..... ۸۵
جدول۷-۱. نتایج آزمایش اسلامپ و مقاومت فشاری ۲۸ روزه..... ۹۵
جدول۷-۲. نتایج آزمایش وزن نمونه‌ها قبل و بعد از غوطه‌وری در اسید سولفوریک..... ۹۶

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. نمایش عملکرد فوق روان کننده‌ها در خمیر سیمان ۱۸
شکل ۲-۲. مقایسه‌ای بین فعالیت سیمان پرتلند و پوزولان..... ۱۹
شکل ۳-۱. درصد لوله‌های به کار رفته در شبکه فاضلاب کشور..... ۳۲
شکل ۳-۲. سطح پوشیده شده بتن توسط باکترهای هوازی ۳۶
شکل ۳-۳ عدم ورود سولفید تولیدی در لایه لجن به درون فاضلاب در اثر وجود شرایط هوازی در فاضلاب..... ۳۹
شکل ۳-۴. فرآیند تولید سولفید در فاضلاب..... ۴۰
شکل ۳-۵. تولید گاز سولفید هیدروژن در فاضلابرو بر اثر احیاء بی‌هوازی مواد آلی موجود در رسوبات..... ۴۱
شکل ۴-۱. محصولات حاصل از واکنش اسید سولفوریک و بتن..... ۵۱
شکل ۴-۲.توزیع غیر متعادل در خوردگی لوله فضلاب..... ۵۳
شکل ۴-۳.نمونه‌ای از خوردگی تصفیه‌خانه‌ها در اثر تهاجم اسیدی..... ۵۴
شکل ۴-۴. یکسان بودن دوام سیمان‌های تیپ یک و پنج در محیط اسید سولفوریک..... ۵۷
شکل ۴-۵. تفاوت خوردگی بتن حاوی سنگدانه آهکی (راست) و بتن حاوی سنگدانه سیلیسی(چپ)..... ۵۸
شکل ۵-۱. منحنی دانه بندی شن..... ۷۱
شکل ۵-۲. منحنی دانه بندی ماسه..... ۷۲
شکل ۵-۳. منحنی دانه بندی اصلاح شده ماسه..... ۷۳
شکل ۵-۴. روند اصلاح نانوسیلیس محلول و آب مصرفی..... ۸۳
شکل ۶-۱. مراحل ساخت طرح های بتنی..... ۹۰
شکل ۶-۲. تعیین اسلامپ..... ۹۱
شکل ۶-۳. قرار دادن مصالح در دستگاه مخلوط کن..... ۹۲
شکل ۶-۴. PH متر استفاده شده، جهت تنظیم PH محیط اسیدی..... ۹۲
شکل ۶-۵. حوضچه عمل آوری ۲۸ روزه..... ۹۳
شکل ۶-۶. حوضچه اسید سولفوریک..... ۹۳
شکل ۷-۱. نتایج آزمایش اسلامپ..... ۹۷
شکل ۷-۲. مقاومت فشاری نمونه های حاوی۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۰
شکل ۷-۳. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه شاهد و نمونه های حاوی۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان

بش آقاج..... ۱۰۱
شکل ۷-۴. مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱٪، ۲٪ و ۳٪ نانوسیلیس..... ۱۰۲
شکل ۷-۵. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه شاهد و نمونه های حاوی۱٪، ۲٪ و ۳٪ نانوسیلیس..... ۱۰۳
شکل ۷-۶. مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۴
شکل ۷-۷. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۱٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۵
شکل ۷-۸. مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۶
شکل ۷-۹. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۷
شکل ۷-۱۰. تاثیر نانوسیلیس در مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج نسبت به مقاومت فشاری نمونه CP_{10}..... ۱۰۸
شکل ۷-۱۱. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی نانوسیلیس و ۱۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۰۹
شکل ۷-۱۲. تاثیر نانوسیلیس در مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج نسبت به مقاومت فشاری نمونه CP_{15}..... ۱۱۰
شکل ۷-۱۳. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی نانوسیلیس و ۱۵٪ پوزولان بش آقاج... ۱۱۱
شکل ۷-۱۴. تاثیر نانوسیلیس در مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج نسبت به مقاومت فشاری نمونه CP_{20}..... ۱۱۲
شکل ۷-۱۵. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی نانوسیلیس و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج... ۱۱۳
شکل ۷-۱۶. مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ میکروسیلیس..... ۱۱۴
شکل ۷-۱۷. نحوئ پر شدن خلل و فرج سیمان به واسطه ذرات میکروسیلیس..... ۱۱۵
شکل ۷-۱۸. نحوی فاصله گرفتن ذرات سیمان به واسطه افزایش ذرات میکروسیلیس..... ۱۱۶
شکل ۷-۱۹. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه شاهد و نمونه های حاوی۱۰٪ و۲۰٪ میکروسیلیس..... ۱۱۷
شکل ۷-۲۰. مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۱۸
شکل ۷-۲۱. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۱۹
شکل ۷-۲۲. مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج..... ۱۲۰
شکل ۷-۲۳. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۲۱
شکل ۷-۲۴. تاثیر میکروسیلیس در افزایش مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج نسبت به مقاومت فشاری نمونه CP10..... ۱۲۲

شکل ۷-۲۵. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی میکروسیلیس و ۱۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۲۳
شکل ۷-۲۶. تاثیر میکروسیلیس در افزایش مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج نسبت به مقاومت فشاری نمونه CP_{15} ۱۲۴
شکل ۷-۲۷. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی میکروسیلیس و ۱۵٪ پوزولان بش آقاج ۱۲۵
شکل ۷-۲۸. تاثیر میکروسیلیس در مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج نسبت به مقاومت فشاری نمونه CP_{20} ۱۲۶
شکل ۷-۲۹. درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه های حاوی نانوسیلیس و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج... ۱۲۷
شکل ۷-۳۰. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در مقاومت فشاری بتن ۱۲۸
شکل ۷-۳۱. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۲۹
شکل ۷-۳۲. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در بهبود مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۰
شکل ۷-۳۳. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در بهبود مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۱
شکل ۷-۳۴. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی پوزولان بش آقاج ۱۳۳
شکل ۷-۳۵. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی نانوسیلیس ۱۳۴
شکل ۷-۳۶. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی۱٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۵
شکل ۷-۳۷. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی۲٪ نانوسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۶
شکل ۷-۳۸. تاثیر نانوسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۷
شکل ۷-۳۹. تاثیر نانوسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۸
شکل ۷-۴۰. تاثیر نانوسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۳۹
شکل ۷-۴۱. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی میکروسیلیس ۱۴۰
شکل ۷-۴۲. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی۱۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۱
شکل ۷-۴۳. درصد کاهش وزن نمونه‌های حاوی۲۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۲
شکل ۷-۴۴. بررسی تاثیر میکروسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۳
شکل ۷-۴۵. بررسی تاثیر میکروسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۵٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۴
شکل ۷-۴۶. بررسی تاثیر میکروسیلیس بر درصد کاهش وزن نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۵
شکل ۷-۴۷. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در کاهش وزن بتن ۱۴۵

شکل ۷-۴۸. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در بهبود کاهش وزن نمونه های حاوی ۱۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۶
شکل ۷-۴۹. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در بهبود کاهش وزن نمونه های حاوی۱۵٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۷
شکل ۷-۵۰. مقایسه تاثیر نانوسیلیس با میکروسیلیس در بهبود کاهش وزن نمونه های حاوی ۲۰٪ پوزولان بش آقاج ۱۴۸
شکل ۷-۵۱ نحوء تغییرات نمونه شاهد در طول مدت آزمایش ۱۴۹

فهرست علائم

علامت	نشانه
$\gamma(kg/m^3)$	وزن مخصوص خشک میله خورده
ω_{CA}	درصد رطوبت شن در حالت طبیعی
$\omega_{SSD,CA}$	درصد جذب آب شن در حالت اشباع
ω_{FA}	درصد رطوبت ماسه در حالت طبیعی
$\omega_{SSD,FA}$	درصد جذب آب ماسه در حالت اشباع
FM	نیز مدول نرمی ماسه
G_c	وزن مخصوص سیمان
D_{max}	بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه
A	درصد هوای اتفاقی
W/C	نسبت آب به سیمان
G_{CA}	چگالی شن
G_{FA}	چگالی ماسه
PH	درجه اسیدی
SSD	اشباع شده با سطح خشک
C	شاهد
P	پودر پوزولان طبیعی بش آقاج
F	میکرو سیلیس
N	نانو سیلیس
C_3S	سه کلسیم سیلیکات
C_2S	دو کلسیم سیلیکات
C_3A	سه کلسیم آلومینات

C_4AF	چهار کلسیم آلومینو فریت
SiO_2	سیلیس
Al_2O_3	آلومین
$Ca(OH)_2$	هیدروکسید کلسیم
C-S-H	سیلیکات کلسیم هیدراته
H_2S	سولفید هیدروژن
S	گوگرد عنصری
SO_4	سولفات
H_2SO_4	اسید سولفوریک
B.O.D	غلظت زیست اکسیژن
SOB	باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد
SRB	باکتری‌های احیاء کننده سولفات
$CaSO_4.2H_2O$	گچ
$3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$	اترینگایت
PP	پرتلند پوزولانی (سیمان)
LOI	افت سرخ شدن
SO_3	سولفیت