

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش: ژئوتکنیک (خاک و پی)

موضوع:

ارزیابی فنی استفاده از نخاله‌های ساختمانی تثبیت شده در راهسازی

نگارش:

بهنام امانی

استاد راهنما:

دکتر حسن طاهرخانی

زمستان ۱۳۹۱

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت، هر نفسی که فرومی رود مدحیات است  
و چون برمی آید مفرح ذات، پس در هر نفسی دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی شکری واجب

تقدیم بابوسه بردستان پدرم

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، مهربانی، سکوت و...

اکنون حاصل دستان خستات رنزموفتیم شد

تقدیم بابوسه بردستان مادر عزیزتر از جانم

به او که دریای بی کران فداکاری و عشق است و وجودم برایش همه رنج است و وجودش برایم همه مهر

تقدیم به خواهرم

که وجودش شادی بخش و مایه آرامش من است

و تقدیم به برادرانم

که همواره متحمل زحمتم بوده و وجودشان مایه دلگرمی من است.

## تشکر و قدردانی

در این قسمت لازم است از اشخاصی که اینجانب را در انجام مراحل مختلف پایان نامه کمک و یاری رسانده‌اند، تشکر و قدردانی داشته باشم.

در ابتدا از استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر حسن طاهرخانی، بسیار متشکرم. حمایت‌ها و کمک‌های ایشان در پیشبرد مراحل مختلف این تحقیق، چه در انجام صحیح آزمایش‌ها و چه در نحوه نگارش و طبقه بندی مطالب مختلف این پایان نامه، ستودنی و بسیار مفید و ارزشمند بود.

همچنین از اساتید دیگر، جناب آقای دکتر فرهنگ فرخی، جناب آقای دکتر روحانی، جناب آقای دکتر مهران جوانمرد و جناب آقای دکتر سارنگ صیرفیان کمال تشکر را دارم. اینجانب از مسئول آزمایشگاه بتن دانشگاه زنجان، آقای مهندس محمدی که شرایط مناسبی را برای انجام آزمایشات فراهم نمودند، نیز متشکرم.

در اینجا لازم است که از تمامی دوستان خود، از جمله دوستان هم دوره‌ای و هم اتاقی، که سبب شدند تا خاطراتی بسیار خوب و به یاد ماندنی در ذهن اینجانب نقش گیرد، تشکر نمایم.

در خاتمه از برادر عزیزم که مشوق اصلی و همیشگی من بوده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می

کنم.

زمستان ۱۳۹۱

بهنام امانی

## چکیده

امروزه آلودگی محیط زیست یکی از نگرانی‌های مهم می‌باشد. یکی از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های محیط زیست نخاله‌های ساختمانی است که در تمامی شهرها، هر ساله مقادیر قابل توجهی از آن تولید و دپو می‌شود. از طرف دیگر، کمبود مصالح مناسب برای اجرای پروژه‌های عمرانی نیز یکی از مشکلاتی است که مهندسين در بعضی از مناطق با آن درگیر هستند. استفاده از نخاله‌های ساختمانی در این پروژه‌ها هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی دارای اهمیت می‌باشد.

آمارهای موجود از ترکیب نخاله‌های ساختمانی شهرهای بزرگ نشان می‌دهد که آجر و بتن، دو ماده اصلی تشکیل دهنده نخاله‌های ساختمانی هستند. در این تحقیق به ارزیابی فنی استفاده از نخاله‌های ساختمانی تثبیت شده در راهسازی پرداخته شده است. در این راستا نخاله‌های آجر و بتن خرد و دانه بندی شده و در درصدهای حجمی مختلف با هم مخلوط و با درصدهای مختلفی از سیمان تثبیت شده و تحت آزمایش تراکم، درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر برای هر کدام از ترکیبات بدست آمد. با افزایش مقدار سیمان، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافت، ولی برای درصد سیمان بالای ۹ درصد مقاومت فشاری نمونه کاهش پیدا کرد. مقاومت کششی و خمشی نمونه‌ها نیز با افزایش مقدار سیمان روند افزایشی داشت. با افزایش درصد حجمی آجر نسبت به بتن و همچنین با افزایش درصد سیمان میزان افت وزنی نمونه‌ها کاهش یافت.

کلمات کلیدی: نخاله‌های ساختمانی، تثبیت، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول: مقدمه.....
۲.....	۱-۱ کلیات.....
۳.....	۲-۱ تعریف مسئله.....
۴.....	۳-۱ اهداف تحقیق.....
۴.....	۴-۱ فرضیات تحقیق.....
۴.....	۵-۱ روش تحقیق.....
۵.....	۶-۱ ساختار پایان نامه.....
۶.....	فصل دوم: مفاهیم اولیه و مروری بر تحقیقات گذشته.....
۷.....	۲-۱ مقدمه.....
۷.....	۲-۲ بازیافت نخاله‌های ساختمانی.....
۷.....	۱-۲-۲ تعریف نخاله‌های ساختمانی.....
۸.....	۲-۲-۲ مواد زائد صنعت ساختمان سازی.....
۱۰.....	۳-۲-۲ پتانسیل بازیافت نخاله‌های ساختمانی.....
۱۰.....	۴-۲-۲ کاربرد نخاله‌های ساختمانی.....
۱۱.....	۵-۲-۲ عوامل زیست محیطی.....
۱۱.....	۶-۲-۲ عوامل اقتصادی.....

- ۳-۲ روسازی ..... ۱۲
- ۱-۳-۲ هدف از روسازی ..... ۱۲
- ۲-۳-۲ لایه‌های روسازی ..... ۱۲
- ۱-۲-۳-۲ بستر روسازی ..... ۱۳
- ۲-۲-۳-۲ زیر اساس ..... ۱۳
- ۳-۲-۳-۲ اساس ..... ۱۴
- ۱-۳-۲-۳-۲ انواع اساس ..... ۱۴
- ۲-۳-۲-۳-۲ مشخصات فنی اساس ..... ۱۵
- ۴-۲-۳-۲ قشرهای آسفالتی ..... ۱۷
- ۳-۳-۲ انواع روسازی ..... ۱۸
- ۱-۳-۳-۲ روسازی سخت یا بتنی ..... ۱۸
- ۲-۳-۳-۲ روسازی انعطاف پذیر یا آسفالتی ..... ۱۸
- ۳-۳-۳-۲ روسازی مختلط ..... ۱۹
- ۴-۲ تثبیت ..... ۱۹
- ۱-۴-۲ اهداف تثبیت ..... ۲۰
- ۲-۴-۲ انواع تثبیت ..... ۲۰
- ۱-۲-۴-۲ تثبیت خاک و مصالح شنی با آهک ..... ۲۰
- ۱-۲-۴-۲-۱-۱ خصوصیات و ویژگی‌های فنی خاک‌های تثبیت شده با آهک ..... ۲۱
- ۲-۲-۴-۲ تثبیت خاک‌ها با سیمان ..... ۲۱

۲۲	۱-۲-۲-۴-۲ خصوصیات و ویژگی‌های فنی خاک‌های تثبیت شده با سیمان ....
۲۵	۳-۲-۴-۲ تثبیت خاک و مصالح شنی با قیر .....
۲۵	۱-۳-۲-۴-۲ خصوصیات و ویژگی‌های فنی خاک‌های تثبیت شده با قیر .....
۲۵	۵-۲ مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه نخاله‌های ساختمانی .....
۲۶	۱-۵-۲ بررسی بازیافت نخاله‌های ساختمانی از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی .....
۳۰	۲-۵-۲ بررسی بازیافت نخاله‌های ساختمانی از نظر فنی .....
۳۶	<b>فصل سوم: روش تحقیق.....</b>
۳۷	۱-۳ مقدمه .....
۳۷	۲-۳ برنامه آزمایشگاهی .....
۳۸	۳-۳ آزمایش دانه بندی .....
۳۸	۳-۳-۱ هدف .....
۳۹	۳-۳-۲ وسایل مورد نیاز آزمایش .....
۴۱	۳-۳-۳ روش انجام آزمایش دانه بندی .....
۴۲	۴-۳ آزمایش حد روانی .....
۴۲	۴-۳-۱ هدف .....
۴۲	۴-۳-۲ وسایل مورد نیاز آزمایش .....
۴۴	۴-۳-۳ روش انجام آزمایش .....
۴۵	۵-۳ آزمایش تراکم .....
۴۵	۵-۳-۱ هدف .....



۴۶	..... ۲-۵-۳ وسایل مورد نیاز آزمایش
۴۷	..... ۳-۵-۳ روش انجام آزمایش
۴۸	..... ۶-۳ آزمایش فشاری
۴۸	..... ۱-۶-۳ هدف
۴۸	..... ۲-۶-۳ وسایل مورد نیاز آزمایش
۵۰	..... ۳-۶-۳ روش انجام آزمایش
۵۴	..... ۷-۳ آزمایش کششی
۵۴	..... ۱-۷-۳ هدف
۵۴	..... ۳-۷-۲ وسایل مورد نیاز آزمایش
۵۶	..... ۳-۷-۳ روش انجام آزمایش
۵۸	..... ۸-۳ آزمایش خمشی
۵۸	..... ۱-۸-۳ هدف
۵۸	..... ۲-۸-۳ وسایل مورد نیاز آزمایش
۶۰	..... ۳-۸-۳ روش انجام آزمایش
۶۲	..... ۹-۳ آزمایش دوام
۶۳	..... ۱-۹-۳ هدف
۶۳	..... ۲-۹-۳ روش انجام آزمایش
۶۴	..... فصل چهارم: نتایج آزمایشات
۶۵	..... ۱-۴ مقدمه

۶۵	.....	۲-۴ آزمایش دانه بندی
۶۶	.....	۳-۴ آزمایش حد روانی
۶۷	.....	۴-۴ آزمایش تراکم
۷۲	.....	۵-۴ آزمایش فشاری
۸۰	.....	۶-۴ آزمایش کششی
۸۲	.....	۷-۴ آزمایش خمشی
۸۴	.....	۸-۴ رابطه بین مقاومت کششی و فشاری و خمشی
۸۶	.....	۹-۴ آزمایش دوام
۸۸	.....	<b>فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۸۹	.....	۱-۵ مقدمه
۸۹	.....	۲-۵ نتایج
۹۱	.....	۳-۵ پیشنهادات
۹۲	.....	<b>فهرست مراجع</b>

## فهرست شکل ها

۲۹	هزینه بازیافت در برابر دفن نخاله‌ها	شکل ۱-۲
۳۹	روی هم گذاشتن مجموعه الک‌های مورد استفاده جهت انجام آزمایش دانه بندی	شکل ۱-۳
۴۰	دستگاه شیکر موجود در آزمایشگاه به همراه مجموعه الک‌ها بر روی آن	شکل ۲-۳
۴۰	ترازوی دیجیتالی موجود در آزمایشگاه با دقت ۰/۱ گرم	شکل ۳-۳
۴۲	آجر خرد شده	شکل ۳-۴-الف
۴۲	بتن خرد شده	شکل ۳-۴-ب
۴۳	دستگاه کاساگرانده موجود در آزمایشگاه	شکل ۵-۳
۴۴	اون موجود در آزمایشگاه جهت خشک کردن مصالح	شکل ۶-۳
۴۵	آزمایش حد بر روی بتن خرد شده	شکل ۳-۷-الف
۴۵	آزمایش حد روانی بر روی آجر خرد شده	شکل ۳-۷-ب
۴۶	قالب‌های آزمایش تراکم	شکل ۳-۸-الف
۴۶	چکش‌های آزمایش تراکم	شکل ۳-۸-ب
۴۷	آزمایش تراکم بر روی ۱۰۰٪ آجر خرد شده	شکل ۹-۳
۴۸	جک فشاری موجود در آزمایشگاه جهت شکستن نمونه‌ها	شکل ۱۰-۳
۴۹	قالب استوانه‌ای جهت ساخت نمونه‌های فشاری	شکل ۱۱-۳
۵۰	حوضچه آب موجود در آزمایشگاه جهت عمل آوری نمونه‌ها	شکل ۱۲-۳
۵۱	نمونه فشاری ۲۰٪ بتن و ۸۰٪ آجر تثبیت شده در داخل قالب استوانه‌ای	شکل ۱۳-۳

۵۲	نمونه‌های فشاری در داخل حوضچه آب جهت عمل آوری	شکل ۳-۱۴
۵۲	نمونه ۱۰۰٪ آجر تثبیت شده	شکل ۳-۱۵-الف
۵۲	نمونه ۱۰۰٪ بتن تثبیت شده	شکل ۳-۱۵-ب
۵۳	نمونه فشاری گسیخته شده	شکل ۳-۱۶
۵۵	گیره نگه‌دارنده نمونه کششی	شکل ۳-۱۷
۵۵	نوار تکیه گاهی موجود در آزمایشگاه	شکل ۳-۱۸
۵۷	نمونه کششی گسیخته شده	شکل ۳-۱۹
۵۹	دستگاه آزمایش خمشی موجود در آزمایشگاه	شکل ۳-۲۰
۵۹	قالب مکعبی جهت ساخت نمونه‌های خمشی	شکل ۳-۲۱
۶۰	نمونه خمشی ۸۰٪ بتن و ۲۰ آجر تثبیت شده در داخل قالب مکعبی	شکل ۳-۲۲
۶۱	نمونه‌های خمشی در داخل حوضچه آب جهت عمل آوری	شکل ۳-۲۳
۶۱	نمونه خمشی گسیخته شده	شکل ۳-۲۴
۶۶	حد بالا، حد پایین و دانه بندی استفاده شده در این تحقیق	شکل ۴-۱
۶۸	وزن مخصوص خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه به ازای ۵ درصد مختلف سیمان برای ۱۰۰٪ بتن	شکل ۴-۲
۶۹	وزن مخصوص خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه به ازای ۵ درصد مختلف سیمان برای ۱۰۰٪ آجر	شکل ۴-۳
۶۹	وزن مخصوص خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه به ازای ۵ درصد مختلف سیمان برای ۸۰٪ بتن و ۲۰٪ آجر	شکل ۴-۴
۷۰	وزن مخصوص خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه به ازای ۵ درصد مختلف سیمان برای ۵۰٪ بتن و ۵۰٪ آجر	شکل ۴-۵

۷۰	وزن مخصوص خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه به ازای ۵ درصد مختلف سیمان برای ۲۰٪ بتن و ۸۰٪ آجر	شکل ۴-۶
۷۱	نسبت وزن مخصوص خشک به درصد سیمان	شکل ۴-۷
۷۲	نسبت رطوبت بهینه به درصد سیمان	شکل ۴-۸
۷۵	تغییرات مقاومت فشاری نمونه ۱۰۰ بتن با عمر برای درصدهای مختلف سیمان	شکل ۴-۹
۷۵	تغییرات مقاومت فشاری نمونه ۸۰٪ بتن و ۲۰٪ آجر با عمر برای درصدهای مختلف سیمان	شکل ۴-۱۰
۷۶	تغییرات مقاومت فشاری نمونه ۵۰٪ بتن و ۵۰٪ آجر با عمر برای درصدهای مختلف سیمان	شکل ۴-۱۱
۷۶	تغییرات مقاومت فشاری نمونه ۲۰٪ بتن و ۸۰٪ آجر با عمر برای درصدهای مختلف سیمان	شکل ۴-۱۲
۷۷	تغییرات مقاومت فشاری نمونه ۱۰۰٪ آجر با عمر برای درصدهای مختلف سیمان	شکل ۴-۱۳
۷۷	تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها با عمر به ازای ۳ درصد سیمان برای ترکیبات مختلف	شکل ۴-۱۴
۷۸	تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها با عمر به ازای ۵ درصد سیمان برای ترکیبات مختلف	شکل ۴-۱۵
۷۸	تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها با عمر به ازای ۷ درصد سیمان برای ترکیبات مختلف	شکل ۴-۱۶
۷۹	تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با درصد سیمان	شکل ۴-۱۷
۸۰	تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با درصد سیمان	شکل ۴-۱۸

۸۲	تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه با درصد سیمان	شکل ۴-۱۹
۸۴	تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های ۲۸ روزه با درصد سیمان	شکل ۴-۲۰
۸۵	رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی	شکل ۴-۲۱
۸۵	رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت خمشی	شکل ۴-۲۲
۸۶	رابطه بین مقاومت کششی و مقاومت خمشی	شکل ۴-۲۳
۸۷	تغییرات افت وزنی نمونه‌ها با درصد سیمان	شکل ۴-۲۴

## فهرست جداول

۱۶	دانه بندی های مصالح اساس	جدول ۱-۲
۱۷	مشخصات مصالح اساس	جدول ۲-۲
۲۸	مزایا و معایب روش های مختلف مدیریت بازیافت ضایعات ساختمانی	جدول ۳-۲
۳۱	تأثیر سنگدانه بازیافتی بر روی خصوصیات بتن در مقایسه با سنگدانه های طبیعی	جدول ۴-۲
۴۱	دانه بندی مصالح اساس	جدول ۱-۳
۶۷	درصد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک نمونه ها	جدول ۱-۴
۷۳	مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه	جدول ۲-۴
۷۴	مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه	جدول ۳-۴
۸۱	مقاومت کششی نمونه های ۲۸ روزه	جدول ۴-۴
۸۳	مقاومت خمشی نمونه های ۲۸ روزه	جدول ۵-۴
۸۷	افت وزنی نمونه های تثبیت شده تحت آزمایش تر و خشک شدن	جدول ۶-۴

فصل اول:

مقدمه



## ۱-۱ کلیات

امروزه در اکثر کشورهای جهان مسئله بازیافت و ضرورت این امر بر هیچ کس پوشیده نمی‌باشد. مواد و مصالح بازیافتی شامل گستره وسیعی از مواد می‌شوند. این مواد می‌توانند زباله‌های شهری و صنعتی که خود بسیار گسترده‌اند و یا مصالح حاصل از تخریب ساختمان‌های فرسوده باشند.

یکی از مهم‌ترین مشکلات به وجود آمده در سال‌های اخیر در کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه جهان، انبوه نخاله‌های ساختمانی است که دلیل آن توسعه شهرها و تخریب و جایگزینی بافت قدیمی با ساختمان‌های جدید می‌باشد. توجه به این امر مهم می‌تواند به دلایل زیر باشد:

- مشکلات زیست محیطی
- مکان دفن زباله
- کمبود مصالح خام
- ایجاد چشم انداز نامناسب
- مسائل سیاسی و اجتماعی

پس از معین شدن ضرورت و دلایل امر بازیافت نخاله‌ها، نکته مهم ارزیابی ترکیب و مصالح و مواد تشکیل دهنده آن‌ها می‌باشد. کاربری نخاله‌های ساختمانی بازیافت شده به عوامل زیاد نظیر حجم و ترکیب نخاله، ماشین آلات بازیافت نخاله، میزان تقاضا، کیفیت مصالح تولیدی، نیاز پروژه‌های عمرانی به نوع مصالح حاصل و هزینه مواد خام اولیه بستگی دارد. در حال حاضر مصالح حاصل از بازیافت در دو زمینه زیر بیشترین استفاده را دارد:

➤ بتن: در کشورهای اروپایی که اکثر حجم نخاله‌ها را بتن تشکیل می‌دهد، در مورد امکان

استفاده از بتن بازیافتی در بتن جدید، پژوهش‌های زیادی انجام شده و معیارهایی نیز برای

استفاده از بتن‌های بازیافتی در بتن جدید ارائه شده است.

➤ آجر: همچنین استفاده از خرده آجر بازیافتی برای تهیه آجر و بلوک‌های بتنی که با قالب

گیری قابل تهیه است، توجه محققین بسیاری را به خود جلب کرده است.

در نهایت و برای استفاده از این مواد نیاز به تعیین مشخصات فنی این مواد و نیز تعیین مکان و

نحوه استفاده از آن‌ها می‌باشد. برای این کار می‌توان با بررسی کارهای انجام گرفته شده مشابه در

کشورهای دیگر جهان به ایده‌ای برای استفاده از این مصالح دست یافت. در این قسمت خلاصه‌ای از

محتوای پایان نامه معرفی می‌گردد تا پیش زمینه‌ای مناسب را برای خواننده فراهم آورد.

## ۲-۱ تعریف مسئله

تحقیقات مختصری در زمینه استفاده از نخاله‌های ساختمانی انجام شده است. یکی از بهترین

مکان‌های استفاده از نخاله‌های ساختمانی، لایه‌های روسازی راه است. با توجه به این که اثر درصد

سیمان و ترکیبات مختلف نخاله‌های ساختمانی تثبیت شده در لایه اساس بررسی نشده است، لذا در

این تحقیق مقاومت فشاری، کششی و خمشی ترکیبات مختلف بتن و آجر با درصد‌های متفاوتی از

سیمان مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳-۱ اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق تعیین میزان رطوبت بهینه برای ترکیبات مختلف مصالح، تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی برای ترکیبات مختلف بتن، آجر و سیمان و تعیین مقدار بهینه ماده تثبیت کننده می باشد.

### ۴-۱ فرضیات تحقیق

در این تحقیق فرضیات زیر در نظر گرفته شده اند:

- افزایش ماده تثبیت کننده باعث تغییر در خصوصیات تراکم نخاله ساختمانی می گردد.
- افزایش ماده تثبیت کننده باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی نخاله ساختمانی می گردد.
- رابطه ای بین مقاومت فشاری و کششی و خمشی وجود دارد.
- افزایش ماده تثبیت کننده باعث کاهش افت وزنی نخاله ساختمانی تحت آزمایش دوام می شود.

### ۵-۱ روش تحقیق

در این تحقیق از ترکیبات مختلف بتن و آجر که بیشترین درصد نخاله های ساختمانی را تشکیل می دهند، استفاده شده و با چند درصد مختلف سیمان تثبیت می شود. در این راستا مشخصات فشاری، کششی، خمشی و دوام مصالح تثبیت شده بررسی می شود و نتایج حاصل از این آزمایشها آنالیز می گردد.

## ۶-۱ ساختار پایان نامه

پس از مقدمه در فصل اول، در فصل دوم به بیان مفاهیم بازیافت نخاله‌های ساختمانی و تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، پرداخته شده است. در فصل سوم، برنامه آزمایش‌ها و ترکیبات مختلف مورد آزمایش و نحوه ساخت نمونه‌ها، عمل آوری و انجام آزمایش‌ها ارائه شده است. در فصل چهارم نتایج آزمایش‌های تراکم، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و دوام بر روی ترکیبات مختلف بتن، آجر و سیمان ارائه شده است. در نهایت در فصل پنجم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی در زمینه استفاده از نخاله‌های ساختمانی تثبیت شده در راهسازی پرداخته شده است.