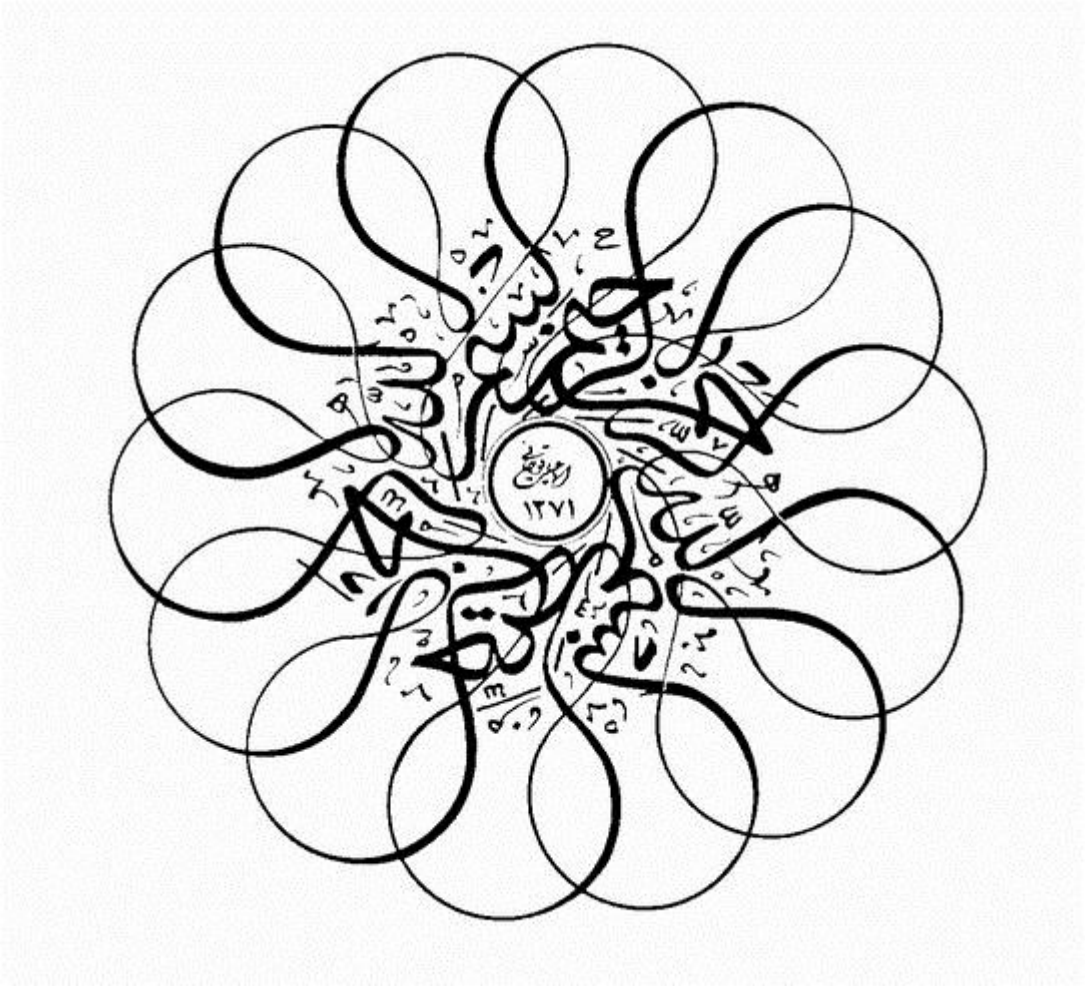


دانشکده مهندسی عمران

رشته مهندسی عمران گرایش محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد

# استفاده از دورریزهای جامد گیاهی در تولید آجرهای سازگار با محیط زیست

نگارنده: مونا قربانی

اساتید راهنما:

دکتر بهناز دهرآزما

دکتر فضل ا... ساغروانی

تیر ۱۳۹۵

# صورتجلسه دفاع

ماحصل تحصیلات چند ساله ام را پیشکش میکنم:

به خدایم که همه‌ی وجودم از آن اوست

و مهر آسمانی‌اش را در دل اطرافیانم گنجاند تا آرام بخش آلام زمینی‌ام شوند

به امید آنکه توفیق یابم جز خدمت به خلق او نکوشم

به همسر بی همتایم، امید بودنم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود

به خواهر عزیزم که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است

# من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

هر کس در مقابل احسان و نیکی بندگان خداوند شکرگزاری نکند خدای یکتا را شکر نگفته است.

با تقدیر فراوان از

مهربانو دکتر دهرآزما و مهربان دکتر ساغروانی

اساتیدی که لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست

# تعهد نامه

اینجانب **مونا قربانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **عمران- محیط زیست** دانشکده **عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **استفاده از دورریزهای جامد در تولید آجرهای سازگار با محیط زیست** تحت راهنمائی **سرکار خانم دکتر بهناز دهرآزما** و **جناب آقای دکتر سید فضل ا... ساغروانی** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University Of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

**تاریخ: ۱۳۹۵/٤/۳۰ امضای دانشجو**

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

در پی احساس نیاز روز افزون به کاهش مصرف انرژی و به دنبال آن کاهش آلاینده‌های محیط زیست در راستای توسعه‌ی پایدار، امروزه پژوهش های متعددی در جهت مدیریت بهینه دورریزهای جامد و استفاده از پسماندهای تولیدی در بخش‌های مختلف جامعه انجام می شود. در همین راستا تلاش بر آن گشت که در پژوهش حاضر پسماندی انتخاب شود که حجم قابل توجهی از مدفن‌ها را اشغال می‌نماید تا از آن برای تولید آجر استفاده شود. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر استفاده از پسماندهای گیاهی (برگ درخت نارنج و پوست سیب زمینی) بر خواص فیزیکوشیمیایی آجر از قبیل مقاومت فشاری، جذب آب، چگالی ظاهری خشک، چگالی ظاهری اشباع، تخلخل و جذب صوت انجام گردید. برای رسیدن به حالت بهینه در خصوصیات آجر، درصدهای انتخابی شامل ۳، ۵ و ۷ درصد از پودر خشک شده پسماندهای مذکور بود. رطوبت آجر به ۱۹ درصد تنظیم شد و برای خروج هوا از بین مواد اولیه‌ی آجر، روش پرس هیدرولیکی انتخاب گشت. همچنین برای جلوگیری از ترک خوردن، آجرها قبل از پخت در آون خشک و سپس در کوره با دمای ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت پخته شدند. خصوصیات خاک مصرفی در این آزمایش به روش پراش پرتو ایکس (XRD) بررسی گردید. نتایج به دست آمده از مقایسه‌ی آجر معمولی با آجر دارای پسماند نشان داد که با افزایش درصد برگ درخت نارنج تا ۷ درصد به آجر، مقاومت فشاری، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع آجر به ترتیب تا ۷۷٪، ۱۲/۵٪، ۴/۴٪ کاهش و تخلخل، درصد جذب آب، درصد نمک محلول و عایق صوت به ترتیب تا ۳۲/۴٪، ۵۱/۶٪، ۳۴/۲۱٪ و ۱۳/۶۸٪ افزایش یافت. همچنین با افزایش درصد پوست سیب‌زمینی تا ۷٪، مقاومت فشاری، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع آجر به ترتیب تا ۸۸٪، ۱۱/۹٪، ۵/۴٪ کاهش و تخلخل، درصد جذب آب، درصد نمک محلول و عایق صوت به ترتیب ۲۷٪، ۴۶٪، ۲۶/۳۲٪ و ۱۸/۶۲ افزایش نشان داد. کاهش بار ساختمان، کاهش وزن، عایق صوت بودن در فرکانس های معمول، کاهش حجم

پسماند های گیاهی و کمک به مدیریت مواد زاید و سازگاری بیشتر با محیط زیست از جمله مزایای آجر ساخته شده در این تحقیق بوده و توصیه می‌شود از این آجر در محلهایی از ساختمان که مقاومت فشاری آجر مهم نبوده و تنها نقش جداکننده‌ی فضاها را دارد، استفاده شود.

**کلمات کلیدی:** آجر ، پسماند گیاهی، عایق صوت، مدیریت مواد زاید.

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه :

**۱**- قربانی، مونا و همکاران، (۱۳۹۵)، " استفاده از پسماند گیاهی برگ درخت نارنج در تولید آجرهای سازگار با محیط زیست"، کنگره بین‌المللی نوآوری در مهندسی و توسعه تکنولوژی، ۳۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵، دانشگاه تبریز، تبریز.

**۲**- قربانی، مونا و همکاران، (۱۳۹۵)، " استفاده از پسماند گیاهی پوست سیب زمینی در تولید آجرهای سازگار با محیط زیست"، دومین کنفرانس علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط زیست، ۵ خرداد ماه ۱۳۹۵، دانشگاه تهران، تهران.

# فهرست مطالب

**عنوان**

**صفحات**

## فصل اول: کلیات


**۱-۱ مقدمه ..... ۲**

**۱-۲ بیان مسئله ..... ۲**

**۱-۳ ضرورت انجام تحقیق ..... ۳**

**۱-۴ اهداف تحقیق ..... ۳**

**۱-۵ روش انجام تحقیق ..... ۴**

**۱-۶ ساختار پایان نامه ..... ۴**


## فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین


**۲-۱ مقدمه ..... ۸**

**۲-۲ آجر ..... ۸**

**۲-۲-۱ انواع آجرها ..... ۹**

**۲-۲-۲ مراحل ساخت آجرهای رسی در کارخانه ..... ۹**

**۲-۲-۳ لایه های آب در اطراف کانی های رسی ..... ۱۴**

**۲-۳ پسماند و محیط زیست ..... ۱۵**

**۲-۳-۱ تولید کمپوست ..... ۱۶**

**۲-۳-۲ تولید مواد پایدار کننده خاک ..... ۱۶**

۲-۳-۳ سوخت حاصل از زیست توده ..... ۱۷
۲-۳-۴ پوشش محل دفن ..... ۱۷
۲-۳-۵ ساخت مصالح ساختمانی ..... ۱۷
۲-۴ آجر سازگار با محیط زیست ..... ۱۸
۲-۴-۱ استفاده از پسماندها در ساخت آجر سازگار با محیط زیست ..... ۱۹

## فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه ..... ۳۰
۳-۲ مواد ..... ۳۰
۳-۳ روشهای مورد استفاده ..... ۳۱
۳-۳-۱ مبنای انتخاب پسماند ..... ۳۱
۳-۳-۲ آماده سازی پسماند. ..... ۳۱
۳-۳-۳ آماده سازی گل آجر. ..... ۳۲
۳-۴ آزمایشهای صورت گرفته بر روی آجر ساخته شده ..... ۳۷
۳-۴-۱ مقاومت فشاری. ..... ۳۷
۳-۴-۲ درصد جذب آب. ..... ۳۸
۳-۴-۳ درصد نمک محلول. ..... ۳۹
۳-۴-۴ تخلخل ، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع ..... ۴۰
۳-۴-۵ عایق صوت ..... ۴۱
۳-۵ نرم‌افزارهای مورد استفاده ..... ۴۳

## فصل چهارم: نتایج و بحث


۴-۱ مقدمه ..... ۴۶

۴-۲ خصوصیات خاک مورد استفاده ..... ۴۶

۴-۳ تاثیر استفاده از پسماندهای گیاهی برگ درخت نارنج و پوست سیب زمینی بر پارامترهای مکانیکی و فیزیکو شیمیایی آجر ..... ۴۷

۴-۳-۱ مقاومت فشاری ..... ۴۷

۴-۳-۲ درصد جذب آب آجر ..... ۴۹

۴-۳-۳ تخلخل ، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع آجر ..... ۵۰

۴-۳-۴ درصد نمک محلول ..... ۵۳

۴-۳-۵ عایق صوت ..... ۵۴

۴-۴ بررسی اختلاف منافذ ایجاد شده در آجرهای حاوی پسماندهای گیاهی ..... ۶۰

۴-۵ همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آجرهای حاوی پسماندهای گیاهی ..... ۶۵


## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات


۵-۱ مقدمه ..... ۶۸

۵-۲ جمع بندی نتایج استفاده از پسماند در آجر ..... ۶۸

۵-۲-۱ انتخاب پسماند ..... ۶۸

۵-۲-۲ بهینه سازی میزان پسماند ..... ۶۸

۵-۲-۳ نتایج کلی آزمایشات و مقایسه ی آن بین دو پسماند منتخب ..... ۶۹

۵-۳ پیشنهادها برای مطالعات آتی ..... ۷۲

مراجع ..... ۷۳

## فهرست اشکال

شکل ۲-۱ کوره هوفمان .....۱۱

شکل ۲-۲ آجر چیده شده در کوره هوفمان .....۱۱

شکل ۲-۳ بنیان واحدهای رسی. الف: سیلیکا چهار وجهی ، ب: ورقه سیلیکا، ت: آلومینا هشت وجهی، پ: ورقه هشت وجهی (گیبسیت). ..... ۱۲.

شکل ۲-۴ : نمودار ساختمانی مونت موریلونیت، ایلیت و کائولینیت ..... ۱۴.

شکل ۳-۱ : پوست سیب‌زمینی ..... ۳۲

شکل۳-۲: برگ درخت نارنج..... ۳۲

شکل۳-۳: همزن مکانیکی طراحی شده در این تحقیق..... ۳۴

شکل۳-۴: قالب آجر ساخته شده در این تحقیق..... ۳۵

شکل ۳-۵: پرس هیدرولیکی مواد آجر تحت فشار ۱۵ مگاپاسکال ..... ۳۵

شکل ۳-۶: آجرهای ساخته شده حاوی برگ درخت نارنج در این تحقیق..... ۳۶

شکل ۳-۷: آجرهای ساخته شده حاوی پوست سیب‌زمینی در این تحقیق..... ۳۷

شکل ۳-۸: عبور دادن پودر آجر از کاغذ صافی ..... ۳۹

شکل ۳-۹: نرم افزار ONLINE TONE GENERATOR .....۴۲

شکل ۳-۱۰: جعبه‌ی آکوستیک عایق صوت ..... ۴۳

شکل ۴-۱ : نتایج XRD خاک رس مورد استفاده در این تحقیق..... ۴۷

شکل ۴-۲ : تغییرات مقاومت فشاری آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج ..... ۴۸

شکل ۴-۳ : تغییرات مقاومت فشاری آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی ..... ۴۸

شکل ۴-۴: تغییرات جذب آب آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج ..... ۴۹

شکل ۴-۵: تغییرات جذب آب آجر با تغییر درصد برگ پوست سیب زمینی..... ۵۰

شکل ۴-۶: تغییرات تخلخل آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج ..... ۵۱

شکل ۴-۷: تغییرات تخلخل آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی..... ۵۱

شکل ۴-۸: تغییرات چگالی ظاهری خشک آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج .....۵۲

شکل ۴-۹: تغییرات چگالی ظاهری خشک آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی .....۵۲

شکل ۴-۱۰: تغییرات چگالی ظاهری اشباع آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج .....۵۲

شکل ۴-۱۱: تغییرات چگالی ظاهری اشباع آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی ..... ۵۳

شکل ۴-۱۲: تغییرات درصد نمک محلول با تغییر درصد برگ درخت نارنج .....۵۴

شکل ۴-۱۳: تغییرات درصد نمک محلول آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی.....۵۴

شکل ۴-۱۴: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی ۳٪ پسماند در فرکانس‌های مختلف.....۵۶

شکل ۴-۱۵: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی ۵٪ پسماند در فرکانس‌های مختلف..... ۵۷

شکل ۴-۱۶: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی ۷٪ پسماند در فرکانس‌های مختلف..... ۵۸.

شکل ۴-۱۷: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی درصدهای مختلف پوست سیب‌زمینی در فرکانس‌های مختلف .....۵۹

شکل ۴-۱۸: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی درصدهای مختلف برگ درخت نارنج در فرکانس‌های مختلف ..... ۶۰

شکل ۴-۱۹: عکس میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده بدون پسماند..... ۶۱

شکل ۴-۲۰: عکس میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده دارای ۳٪ پسماند .....۶۲

شکل ۴-۲۱: عکس میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده دارای ۵٪ پسماند.....۶۳

**شکل ۴-۲۲: عکس میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده دارای ۷٪ پسماند .....۶۴**

## فهرست جداول

**جدول ۴- ۱: ترکیبات تشکیل دهنده خاک رس مورد استفاده در این تحقیق.....۴۶**

**جدول ۴- ۲: همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آجرهای حاوی پسماندهای گیاهی ..... ۶۵**

**جدول ۵-۱ : نتایج کلی آزمایشات انجام شده در این تحقیق.....۷۰**

**جدول ۵-۲: نتایج کلی میزان صوت عبوری از آجرهای ساخته شده در این .....۷۱**

# فصل اول

# کلیات

## ۱-۱ مقدمه

برای مدت طولانی یکی از مصالح اصلی مصرفی در ساختمان‌ها، آجر بوده است. قدمت آجر خام ساخته شده از خاک رس به ۴۵۰۰ سال قبل از میلاد و آجر خشک، به ۸۰۰۰ سال قبل از میلاد می‌رسد (Pacheco-Torgal and Jalali, 2011). با توجه به رشد جمعیت، تقاضا برای تولید آجر نیز افزایش یافته است. در بسیاری از نقاط جهان از جمله چین، به دلیل محدودیت منابع رس، پژوهشگران به دنبال کاهش برداشت از منابع رس و جایگزینی آن بوسیله مواد دیگر می‌باشند .(China Economic Trade Committee, 2001, Lingling et al, 2005) اصلی ترین ماده خام اولیه در تولید آجر، خاک رس است. با توجه به اهمیت حفاظت از محیط زیست، بهترین موقعیت قرارگیری معادن خاک رس در مجاورت یا در فاصلهٔ چند کیلومتری از محل تولید آجر می‌باشد که این مسئله موجب کاهش هزینه های مربوط به بخش حمل و نقل و آلاینده های منتشرهٔ زیست محیطی مرتبط با آن و همچنین ضایعات ناشی از حمل مواد استخراجی تا کورهٔ پخت آجر می‌گردد (Abdul Kadir et al, 2011).

این تحقیق با هدف استفاده از پسماندهای گیاهی در ساخت آجر با کارایی بیشتر و سازگار با محیط زیست در جهت مدیریت دورریزهای جامد و گامی در راستای توسعه‌ی پایدار پایه‌گذاری گردیده است.

## ۱-۲ بیان مسئله

ضایعات مواد گیاهی حجم عظیمی از مدفن های زباله را اشغال می‌نمایند، همچنین پس از مدت کوتاهی سلول مدفن که شامل پسماندهای گیاهی می‌باشد نشست کرده و در سازهٔ مدفن و تاسیسات جمع آوری شیرابه و گاز تولیدی، اختلال بوجود می آورد. در اکثر مناطق بنا بر دلایل مذکور ترجیح بر سوزاندن ضایعات گیاهی است که خود سبب آلودگی هوا می‌شود. در واقع می‌توان این معضل را با استفاده از ضایعات گیاهی به عنوان جایگزینی برای خاک رس

آجر تا اندازه‌ای رفع نمود.

## ۱-۳ ضرورت انجام تحقیق

توجه به ایجاد حجم عظیمی از پسماندهای گیاهی و نیاز به مدیریت پسماند از یک سو و نیاز به کاهش میزان مصرف مواد خام و منابع طبیعی در زمین در جهت توسعه پایدار از سویی دیگر، ضرورت انجام این تحقیق را در جهت ساخت مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست روشن می‌سازد.

دو پسماند گیاهی مورد استفاده به منظور ایجاد تخلخل در آجر، در این تحقیق پوست سیب-زمینی و برگ درخت نارنج می‌باشد. پوست سیب زمینی با مقادیر زیاد عمدتا در کارخانه های چیبس سازی و آشپزخانه های صنعتی تولید می‌شود. برگ درخت نارنج نیز سالیانه حجم زیادی از پسماندهای کشاورزی در شمال ایران را تشکیل می‌دهد.

انتظار می‌رود که با استفاده از نتایج این تحقیق بتوان سالیانه حجم قابل ملاحظه‌ای از این پسماندها را در تولید آجر به کار گرفت.

## ۱-۴ اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق عبارت است از: " استفاده از دورریزهای جامد در تولید آجرهای سازگار با محیط زیست ".

در این تحقیق اهداف جزئی زیر دنبال می‌گردد:

- کاهش درصد رس مورد استفاده در ساخت آجر
- بررسی تاثیر درصدهای مختلف پسماند پوست سیب‌زمینی و برگ درخت نارنج در خواص فیزیکوشیمیایی آجر
- بررسی تاثیر پسماندهای خشک پوست سیب‌زمینی و برگ درخت نارنج در افزایش عایق بودن آجر در برابر صوت

## ۱-۵ روش انجام تحقیق

مراحل انجام تحقیق به قرار زیر بوده است:

۱. مطالعات کتابخانه‌ای برای کسب اطلاعات کمی و کیفی در مورد تحقیقات مشابه انجام شده قبلی در سطح جهانی و منطقه‌ای

۲. انتخاب پسماند با قابلیت خشک و پودر شدن

۳. تهیه گل آجر

۴. انتخاب مراحل بهینه سازی ساخت آجر با استفاده از مطالعه تحقیقات مشابه

۵. استفاده از درصدهای مختلف پسماند در ساخت آجر، برای رسیدن به شرایط بهینه

۶. انجام آزمایشات مقاومت فشاری، درصد نمک محلول، درصد جذب آب، چگالی ظاهری خشک، چگالی ظاهری اشباع، تخلخل و صوت بر روی آجرهای تولیدی

۷. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات از طریق تهیه جداول و ترسیم نمودارها

۸. بحث و بررسی نهایی

## ۱-۶ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر به صورت زیر سازمان‌بندی گردیده است:

۱- فصل اول: کلیات

در این فصل به طرح و بیان قدمت آجر، محاسن و معایب آن، محدودیت ظرفیت مدفن‌های زباله، استفاده از دورریزهای گیاهی در ساخت آجر و ضرورت انجام تحقیق جهت مرتفع ساختن معظل مذکور و همچنین روند و ساختار کلی تحقیق حاضر اشاره گردیده است.

۲- فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

در این قسمت از پایان‌نامه، پسماندهای متنوع مورد استفاده در آجرها و بررسی تاثیر آن‌ها بر خواص فیزیکوشیمیایی آجر در تحقیقات مشابه انجام شده در این زمینه معرفی و مورد بررسی

قرار گرفته است.

۳- فصل سوم: مواد و روش‌ها

در این فصل مواد و روش‌های مورد استفاده جهت ساخت و انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی بر روی آجر در تحقیق حاضر معرفی شده است.

۴- فصل چهارم: نتایج و بحث

در این قسمت از تحقیق نتایج حاصل از آزمایشات به صورت گراف‌های متعدد و تفسیر علمی آن‌ها ارائه گردیده است. روند نتایج بدست آمده نیز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از تحلیل داده‌های آزمایشگاهی بیان شده است.

۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این بخش جمع‌بندی کلی از نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها در تحقیق حاضر و پیشنهادات جهت انجام آزمایشات تکمیلی به منظور ادامه و تکمیل تحقیق حاضر ارائه گردیده است.

# فصل دوم

# مروری بر مطالعات پیشین

## ۲-۱ مقدمه

افزایش روزافزون فعالیتهای صنعتی و زندگی شهرنشینی، افزایش روزافزون میزان مواد زائد را به دنبال داشته است. در جوامع پیشرفته، فعالیت‌ها به سمت مدیریت پسماند با به حداقل رساندن آن بوسیله‌ی کاهش تولید در منبع، ترویج بازیافت، استفاده مجدد و کاهش آلودگی ناشی از پسماندها پیش می‌رود (COM, 2006).

استفاده از پسماندها با در نظر گرفتن ویژگی‌هایشان و مطابق با استانداردها، به عنوان مواد اولیه برای تولید محصولی دیگر، علاوه بر صرفه‌ی اقتصادی، صرفه‌ی زیست محیطی هم به همراه دارد. در صورت انتخاب آجر به عنوان ماده‌ی سرامیکی که بتوان در آن از مواد زائد استفاده نمود، بدون آنکه در فرآیند پخت آجر اختلالی به وجود آید، بخش عظیمی از دورریزها از چرخه محیط زیست حذف خواهد شد (Alonso-Santurde et al, 2010, Dondi et al, 2002). این در حالی است که می‌توان از ارزش گرمایی زباله قابل احتراق موجود در آجر استفاده نمود و زباله به صورت ماده‌ای خنثی و بدون زیان در آجر باقی بماند. با این کار اثرات سوء زیست محیطی پسماندها کاهش یافته و حتی در مواردی آجر ساخته شده عملکرد بهتری نسبت به آجرهای معمولی دارد.

در این فصل به معرفی اجمالی آجر به عنوان مصالح ساختمانی، پسماندها به عنوان ماده تخلخل‌آور و همچنین معرفی تحقیقات انجام شده در راستای استفاده از پسماند در ساخت آجر پرداخته شده است.

## ۲-۲ آجر

آجر از زمان‌های بسیار دور در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گرفته تا جایی که برای قرن‌ها سرآمد مصالح ساختمانی بوده است. استفاده از آجر از زمانی که در بابل اختراع شد و ساختن خشت و پختن آن معمول گشت، تا به امروز روز به روز در پهنه گیتی گسترش پیدا کرد. ماده

اصلی آجر خاک رس است که در اکثر نقاط زمین یافت می‌شود. جهت تهیه آجر، آن را به شکل خمیر گل درآوردند، در قالب به آن فرم دادند و در مقابل هوا و آفتاب خشک کردند و در کوره پختند. پس از بدست آمدن یک جسم مقاوم، آن را در ساخت منازل و دیگر کارهای ساختمانی مورد بهره‌برداری قرار دادند. ساده‌ترین مصالح ساختمانی که ار دیرباز تا به امروز در دسترس فقیرترین و غنی‌ترین مردم دنیا قرار داشته، همانا خشت و آجر است.

### ۲-۲-۱ انواع آجرها

۱. آجرهای رسی شامل: آجر معمولی، آجر نما و آجر مهندسی؛
۲. آجر نسوز؛
۳. آجر ماسه‌ای؛
۴. آجر بتنی؛
۵. آجرهای مخصوص.

### ۲-۲-۲ مراحل ساخت آجرهای رسی در کارخانه

پس از حمل خاک آجرپزی از معدن به کارخانه آجرپزی، به منظور از دست دادن هرگونه نمک احتمالی، به مدت ۶ ماه دپو شده و طی این مدت هوادهی می‌شود. در صورت بزرگ بودن معدن، قبل از استفاده از خاک آن، درصد مجاز آهک، اکسید کلسیم و سیلیس، اندازه‌گیری می‌گردد. پس از ۶ ماه در سیلو ریخته شده و وارد پروسه‌ی تولید و آماده‌سازی می‌شود. خاک بر روی نوار نقاله حرکت کرده و ضایعات قابل مشاهده با چشم مانند شیشه و پلاستیک، به صورت دستی از آن جدا می‌شود. با وارد شدن خاک به مخلوط‌کن اولیه، کلوخه‌های بزرگ خرد شده و در برخی موارد به منظور سهولت در امر خرد شدن، به صورت دستی به خاک رطوبت اضافه می‌شود. در مرحله‌ی بعدی قطعات فلزی موجود در خاک به‌وسیله فلزیاب جدا می‌گردد. خاک وارد آسیاب شده و با توجه به اینکه در اثر ساییدگی آسیاب، مقداری فلز وارد می‌شود، دوباره خاک از زیر فلزیاب عبور داده می‌شود.

در این قسمت  خاک در همزن حلزونی شکل مخلوط می‌شود. در حین مخلوط شدن، به میزان ۱۴-۱۵٪ رطوبت به خاک افزوده شده و به‌وسیله‌ی نوار نقاله به صورت خطی وارد انبار می-گردد. به مدت ۱۰-۲۰ روز اجازه داده می‌شود خاک در انبار بماند تا شکفته شود.

خاک به‌وسیله‌ی نوار نقاله‌ای که روی آن فلزیاب قرار گرفته است، وارد دستگاه خاصی می‌شود تا ورز داده شود. قبل از آن، سربرش‌های آجر وارد نقاله شده و با خمیر آجر مخلوط می‌گردد. اطراف دستگاه ورز دهی، مشبک بوده و داخل آن ۳ صفحه فلزی وجود دارد. در حین ورز داده شدن ۲-۳٪ رطوبت به خاک افزوده می‌شود. خروجی مواد از شبکه‌های اطراف دستگاه، وارد دستگاه والس (۲ استوانه فلزی خاک را به صورت صفحه‌ای و پولکی ورز می‌دهند) می‌شود.

به منظور خروج هوای گل و افزایش استحکام آجر حاصل، با استفاده از دستگاه، گل هواگیری شده و در نهایت وارد دستگاه پرس و قالب‌های مختلفی که در دهانه‌ی آن قرار دارند، می‌شود.

پس از آن مراحل خشک کردن و پخت آجر آغاز می‌شود. در بخش خشک‌کن پنکه‌ای واقع شده که نقش آن خارج کردن رطوبت و پخش کردن هوای گرم وارد شده از پایین خشک‌کن است. هر واگن آجر که به داخل خشک‌کن حمل می‌شود، حدود ۵۰-۶۰ ساعت در دمای ۲۴-۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰-۶۰٪ اتاق خشک‌کن می‌ماند تا در زمان خارج شدن واگن‌ها از آن، رطوبت آجر به ۲٪ برسد. در این مرحله روند خشک شدن آجرها و میزان گرمای وارده به خشک کن از اهمیت بسزایی در ترک نخوردن آجر دارد.

آخرین قسمت، مرحله‌ی پخت آجر در کوره‌های پخت است که برای این کار در ایران کماکان از کوره هوفمان، علی‌رغم بهره‌وری پایین آن استفاده می‌شود (شکل ۲-۱).

آجرها در کوره چیده شده (شکل ۲-۲) و درگاه‌ها بوسیله‌ی کاه‌گل پوشانده می‌شوند. در قسمت بالای کوره لوله‌هایی تعبیه شده که نقش انتقال شعله به داخل کوره را بر عهده دارند. آجرها بعد از پختن در دمای ۹۵۰-۱۰۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲۴- ۳۶ ساعت، به آرامی حرارت خود را از دست داده و سپس از کوره خارج می‌شوند. دود حاصل از پخت آجر توسط

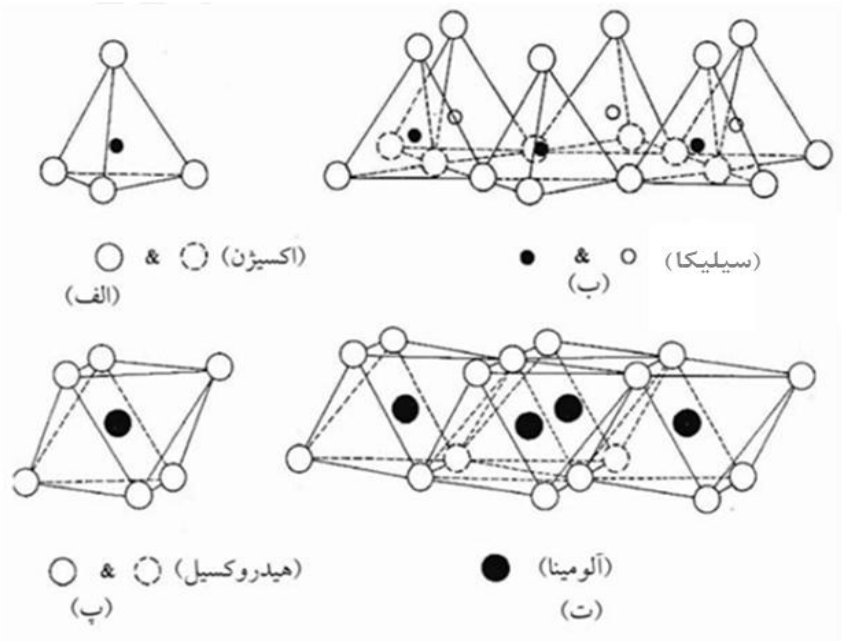
دریچه‌هایی که در پایین کوره قرار گرفته و دارای دستگاه مکش است، خارج می‌شود.

در صورتی که از کوره‌های تونلی برای پخت آجر استفاده شود، مقدار سوخت مورد نیاز کاهش خواهد یافت.

شکل ۲-۱: کوره هوفمان

شکل ۲-۲: آجر چیده شده در کوره هوفمان

اصلی‌ترین مواد خام اولیه در تولید آجر، خاک رس معمولی است. مصالحی که می‌توانند در صنعت تولید آجر و سرامیک استفاده شوند، باید دارای یکسری ویژگی‌های مهندسی همچون پلاستیسیته کم تا متوسط و درصد تورم و انقباض اندک باشند. اگر خاک مورد استفاده غنی ازکائولینیت، ایلیت، کلریت، تالک، ورمیکولیت و کوارتز باشد، در این صورت خاک مورد نظر بخشی از ویژگی‌های ذکر شده در بالا را دارا است. خاکی که برای تولید آجر و سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل ۲۵ تا ۵۰ درصد گراول ریزدانه می‌باشد (Jackson, 1975). بنیان یا واحدهای ساختمانی بیشتر کانی‌های رسی از سیلیس ($Sio_2$) چهاروجهی و آلومین ($Al_2o_3$) هشت وجهی تشکیل شده است (شکل۲-۳). گاه عناصری به عنوان جایگزین بخشی از سیلیسیوم (Si) و آلومینیوم (Al) در این واحدها قرار می‌گیرند که به این امر جانشینی عناصر هم‌شکل گویند. با به هم پیوستن این واحدهای بنیانی، ساختمان‌هایی صفحه‌ای شکل می‌گیرد. از به هم پیوستن این صفحه‌ها با درجات مختلف پیوند، کانی‌های مختلف رسی تشکیل می-شوند (بهنیا، ۱۳۸۸).




شکل ۲-۳: بنیان واحدهای رسی. الف: سیلیکا چهار وجهی ، ب: ورقه سیلیکا، ت: آلومینا هشت وجهی، پ: ورقه هشت وجهی (گیبسیت). (طاحونی، ۱۳۷۶)

رس‌ها به سه گروه اصلی کائولینیت، ایلیت و مونموریونیت تقسیم می‌شوند (شکل ۲-۴).

## کائولینیت

واحد ساختمانی این کانی از یک ورقه سیلیکا و یک ورقه گیبسیت به هم چسبیده تشکیل شده است. از تکرار این واحد با پیوند هیدروژنی در بین آن‌ها، کانی کائولینیت حاصل می‌گردد. یک ذره کائولینیت ممکن است از بیش از یکصد دسته زوج صفحه سیلیس- آلومین تشکیل شده باشد. در مواقعی که OH جایگزین اتم‌های اکسیژن شود، رس آبدار است.

هنگامی که کائولینیت آب بیشتری به خود بگیرد، آب میان صفحات قرار گرفته و کائولینیت متورم می‌شود. این آب، آب زئولیتیک نامیده می‌شود. در انواع دیگر کائولینیت، اتم‌های منیزیم (Mg) یا آهن (Fe) جایگزین اتم‌های آلومینیوم (Al) شده‌اند.

## ایلیت

ساختمان ایلیت‌ها از یک ورقه گیبسیت در وسط تشکیل شده است که در بالا و پایین به ۲ ورقه سیلیکا چسبیده است. پیوند بین این واحدها از نوع پیوند فلزی با اتصال به کمک یون‌های پتاسیم ($K^+$) می‌باشد. در صفحات چهاروجهی حدود یک چهارم یون‌های سیلیسیوم (Si) توسط یون‌های آلومینیوم (Al) جایگزین شده‌اند.

لایه میانی یونی پتاسیم (K) خاصیت خمیری ایلیت را محدود می‌کند. از این رو خاصیت خمیری ایلیت کمتر از کائولینیت است.

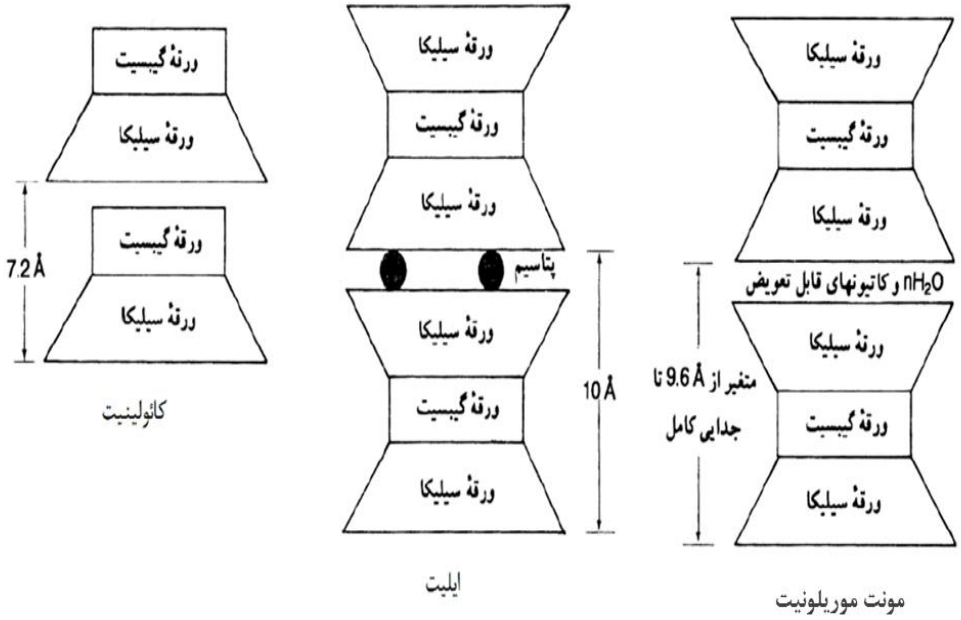
نوعی از ایلیت که در آن منیزیم (Mg) قرار گرفته باشد را گلوکونی می‌نامند و در این حالت اتم‌های لایه میانی گاه پتاسیم (K) و گاه آهن (Fe) می‌باشند.

## مونت‌موریلونیت‌ها

واحد ساختمانی مونت‌موریلونیت‌ها همانند ایلیت از یک ورقه گیبسیت در وسط به همراه دو ورقه سیلیکا در بالا و پایین تشکیل شده است. اما پیوند این واحدها از نوع پیوند ضعیف

واندروالسی بوده و با حضور آب و کاتیون‌ها برقرار می‌گردد. در این کانی در برخی موارد منیزیم و یا آهن جایگزین آلومینیوم در مراکز ورقه‌های ۸ وجهی می‌گردند.

در مقایسه‌ی این ۳ کانی، کانی مونت‌موریلونیت از همه صفحه‌ای‌تر و باریک‌تر است و در نتیجه سطح جانبی (سطح مخصوص) آن نیز از بقیه بیشتر است اما پیوند بین ذرات آن از همه ضعیف‌تر می‌باشد (بهنیا، ۱۳۸۸).




شکل ۲-۴: نمودار ساختمانی مونت موریلونیت، ایلیت و کائولینیت (طاحونی، ۱۳۷۶)

## ۲-۲-۳ لایه‌های آب در اطراف کانی‌های رسی

از آنجا که سطح صفحات رس دارای بار منفی است، می‌تواند ذرات با بار مثبت را به سمت خود جذب کند. در این راستا دو لایه در مجاورت کانی‌های رسی قابل تشخیص است:

- **لایه آب جذبی:** به دلیل بار منفی سطح ذرات رس، مولکول‌های دوقطبی آب، از سمت مثبت-شان به‌وسیله‌ی پیوند هیدروژنی به سطح ذره رسی می‌چسبند (در واقع هیدروژن با بار مثبت در مولکول آب، به بار منفی در سطح ذره رس می‌چسبد). در نتیجه‌ی این جذب، لایه نازکی از

آب به دور ذره رسی تشکیل می‌گردد که دارای پیوندی بسیار قوی با ذره رس می‌باشد و لزجت آب در این ناحیه بسیار بالاست. به این لایه، لایه آب جذبی یا آب جذب سطحی گفته می‌شود.

- **لایه دوگانه یا مضاعف:** سطح منفی رس علاوه بر آب، یون‌های مثبت موجود در محیط (کاتیون‌ها) را نیز به خود جذب می‌کند. غلظت کاتیون‌ها در مجاورت ذره رس زیاد بوده و با فاصله گرفتن از سطح ذره کاهش می‌یابد. در این میان برخی از مولکول‌های آب نیز از سمت منفی خود جذب کاتیون‌ها می‌گردند. همچنین غلظت یون‌های منفی (آنیون‌ها) با فاصله گرفتن از سطح ذرات رسی افزایش می‌یابد. به ضخامتی از آب اطراف کانی رسی که دچار دوگانگی می‌باشد و ترکیبی از یون‌های مثبت و منفی است، لایه دوگانه یا لایه مضاعف گفته می‌شود. در این لایه که قطعا ضخامت آن از لایه آب جذبی بیشتر است، آب به صورت ژله‌ای بوده و باعث بروز خاصیت خمیری در رس‌ها می‌گردد. در خارج از این لایه، آب از قید جاذبه و دافعه سطح کانی رها شده و آب آزاد نامیده می‌شود که عامل روانی رس است. همچنین در ناحیه آب آزاد غلظت یون‌های مثبت و منفی به تعادل رسیده و محیط خنثی خواهد بود (بهنیا، ۱۳۸۸).

## ۲-۳ پسماند و محیط زیست

پسماندهای گیاهی حجم عظیمی از پسماندهای موجود را تشکیل می‌دهند. برای کاهش میزان ورودی این نوع پسماندها به محل دفن، در حال حاضر بسیاری از جوامع پسماندهای کشاورزی و باغی را به صورت جدا جمع‌آوری و پردازش می‌کنند. اصولا افراد به صورت مستقیم آن‌ها را در کنار خیابان یا در مخزنی جدا برای جمع‌آوری، قرار می‌دهند. این روش جمع‌آوری در شهرهای متفاوت با اشکال متفاوت صورت می‌گیرد. برخی جوامع خود را ملزم به قرار دادن ضایعات حاصل از هرس کردن چمن‌ها در کیسه‌های پلاستیکی می‌کنند. کیسه‌های پلاستیکی در پشته‌هایی مشابه، به همراه پسماند حاصل از هرس کردن درختان و بوته‌ها جایگذاری می‌شوند. ضایعات گیاهی به چند روش مجددا استفاده می‌شوند:

۱. تولید کمپوست

۲. تولید مواد پایدار کننده‌ی خاک[۱] برای فضای سبز

۳. استفاده به عنوان سوخت حاصل از زیست‌توده

۴. استفاده به عنوان ماده‌ی پوشش میانی مدفن‌ها

۵. ساخت مصالح ساختمانی (چوبانگلوس، ۱۳۸۸)

### ۲-۳-۱ تولید کمپوست

بهترین ماده برای تولید کمپوست با کیفیت، ضایعات گیاهی می‌باشند. در این میان برگ‌ها راحت‌ترین و ساده‌ترین ماده برای فرآیند به حساب می‌آیند. ضایعات حاصل از هرس کردن چمن‌ها دارای مقدار زیادی نیتروژن می‌باشند و در حین تبدیل به کمپوست، بوی نامطلوبی تولید می‌کنند. بدین دلیل برای کمپوست‌سازی، با سایر پسماندها مخلوط می‌شوند. ساقه ها، خار و خاشاک و مواد چوبی به صورت مجزا مدیریت می‌شوند، زیرا نیازمند تکه تکه کردن یا خرد کردن می‌باشند (چوبانگلوس، ۱۳۸۸)

### ۲-۳-۲ تولید مواد پایدار کننده خاک

برای بخشی از ضایعات باغی، این روش نسبت به کمپوست‌سازی کم هزینه‌تر می‌باشد. خار و خاشاک و پسماندهای چوبی مانند ضایعات حاصل از هرس کردن درختان را می‌توان برای تولید مواد پایدار کننده خاک مصرفی، جهت پروژه‌های فضای سبز مسکونی و تجاری و ایجاد فضای سبز در مدفن‌ها مورد استفاده قرار داد. این مواد می‌توانند مزایای زیادی برای مدفن‌های تعطیل شده‌ای که قرار است تحت کشت قرار گیرند، داشته باشند و باعث افزایش میزان رشد گیاهان شوند. همچنین در مناطق خشک، حضور این مواد موجب به تاخیر افتادن تبخیر شده و آب را برای مدت زمان بیشتری نگه می‌دارند. علاوه بر آن تکثیر علف‌های هرز در مناطق بدون گیاه را کنترل می‌کنند (چوپانگلوس، ۱۳۸۸).

[۱] Mulch

### ۲-۳-۳ سوخت حاصل از زیست‌توده

در این حالت پسماندهای کشاورزی توسط یک خردکن آسیاب شده و از یک سرند دوار عبور داده می‌شوند. تکه چوب‌های بزرگتر از نیم اینچ به عنوان یک سوخت زیست‌توده به فروش می-رسند و پسماندهای علفی سبز و تکه چوب‌های کوچکتر از نیم اینچ کمپوست می‌شوند. به منظور افزایش بازده فرآیند استفاده از ضایعات گیاهی به عنوان سوخت‌های زیستی، نیاز به خشک کردن آن‌هاست (Gañán et al, 2006, Mediavilla et al, 2009, Ruiz et al, 2013).

### ۲-۳-۴ پوشش محل دفن

می‌توان پسماندهای گیاهی را به عنوان لایه پوشش میانی مدفن‌ها بکار برد. معمولا این ضایعات قبل از کاربرد، خرد و کمپوست می‌شوند. گاهی اوقات برای کاهش حجم دفن شده در مدفن‌ها، پسماندها را خرد کرده و مستقیما به عنوان لایه میانی مورد استفاده قرار می‌دهند (چوبانگلوس، ۱۳۸۸)

با وجود اجرای این راهکارها برای استفاده از پسماندهای گیاهی، همچنان بخش عظیمی از آن-ها مدیریت نمی‌شود. ضایعات مواد گیاهی حجم عظیمی از مدفن های زباله را اشغال مینمایند، همچنین پس از مدت کوتاهی سلول مدفن که شامل پسماندهای گیاهی میباشد نشست کرده و در سازۀ مدفن و تاسیسات جمع آوری شیرابه و گاز تولیدی، اختلال بوجود می آورد.

### ۲-۳-۵ ساخت مصالح ساختمانی

در اکثر مناطق بنا بر دلایل مذکور ترجیح بر سوزاندن ضایعات گیاهی داده میشود که خود سبب تولید آلودگی هوا میشود. به عنوان مثال برگ درخت نارنج یکی از پسماندهای گیاهی است که در فصل پاییز، پس از برداشت میوه‌ی درخت نارنج، حدود ۴۰٪ از برگ‌های آن هرس شده و به دلیل کمبود فضای مدفن‌ها در شمال ایران و با توجه به حجم عظیم این پسماند، سوزانده می‌شود. پوست سیب زمینی با مقادیر زیاد عمدتا در کارخانه های چیپس سازی و

آشپزخانه های صنعتی تولید می‌شود. در نتیجه میتوان این معضل را با استفاده از ضایعات گیاهی به عنوان جایگزینی برای خاک رس آجر تا اندازه ای رفع نمود. تا کنون در تحقیقات بسیاری از پسماندهای گیاهی در ساخت آجر استفاده شده است ( Bories et al., 2015, Demir, 2006, Demir et al., 2005, Gañán et al., 2006, Hegazy et al., 2012). در این تحقیق از این ۲ ماده به عنوان نمونه ای از ضایعات گیاهی و ماده تخلخل آور در ساخت آجر ساختمانی سازگار با محیط زیست استفاده شده است.

## ۲-۴ آجر سازگار با محیط زیست

ویژگی های مواد تشکیل دهنده مصالح ساختمانی به دلیل اینکه نقش جداکننده و حفاظت فضای داخل از خارج و حفظ گرمای داخل ساختمان را دارد، و باید دارای خواصی باشند که انرژی داخل ساختمان را حفظ کند و عواقب زیست محیطی نداشته باشد، اهمیت پیدا می‌کند (Theodosiou and Papadopoulos, 2008).

ذخیره انرژی از لحاظ اقتصادی و محیط زیستی یک موضوع مهم در جهان می باشد. مصرف انرژی در ساختمان ۳۳٪ از مصارف انرژی را شامل می شود که نیمی از آن از طریق دیوارها هدر می رود (Wouter, 2004). استاندارد اروپا EN832 مشخص کرده است که درمناطق مختلف وابسته به شرایط آب و هوایی آن ها باید از مصالحی برای دیوار استفاده شود که دارای ضریب انتقال حرارتی $KW/M^2$ ۰/۴ تا ۰/۷ باشند و هر چه این ضریب کمتر باشد بهتر است و به دنبال آن هدررفت گرما کاهش خواهد یافت. از این رو بسیاری از تولیدکنندگان آجر به دنبال تولید آجرهای عایق حرارتی می باشند. در حال حاضر بخش عمده ای از آجرهای معمول دارای انتقال حرارتی $KW/M^2$ ۰/۸ می باشند که سعی بر این است این مقدار با افزودن مواد بوجود آورنده ی منافذ به رس اولیه قبل از مراحل پخت، کاهش یابد. ساخت این محصول به صورت سوراخدار موجب کاهش هدایت حرارتی آن می‌شود (Dondi et al,1997, Ducman and Kopar, 2007).

همه آجرها متخللند که این تخلخل از خشک شدن و پخت متعاقب آن منشا می گیرد. میزان تخلخل در آجرهای مختلف متفاوت است. بدین ترتیب که رطوبت موجود در گل خارج شده و در جای خود فضاهای خالی بجا می‌گذارد. چنانچه افزودنی‌های قابل سوختن به مواد اولیه آجرپزی اضافه شود، با افزایش حجم فضاهای خالی، وزن آجرکم و در نتیجه جرم ساختمان کاسته می‌شود. باکاهش جرم ساختمان مقاومت آن در برابر زلزله افزایش می‌یابد. علاوه بر این، سبک‌سازی آجر خواص مشخصی از جمله کاهش هدایت حرارتی و در نهایت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش خاصیت عایق صوت بودن را به دنبال دارد. مزیت دیگر آجرهای سبک، کاهش وزن جابجایی و بنابراین هزینه‌های کمتر حمل و نقل است (Demir et al, 2005). تاکنون در تهیه آجر از مواد تخلخل‌آور زیادی از جمله: مواد افزودنی معدنی ( Loryuenyong, 2009)، پلی استرها (ویسه و یوسفی، ۱۳۹۱)، گرد و غبار (Dondi et al,1997)، ضایعات زغال سنگ(Sena da Fonseca et al, 2015)، بقایای آلی (Siqueira, 2013, Bories et al, 2015, Barbieri,L et al, 2013, Gengying et al, 2015) ، لجن کاغذسازی(Raut et al, 2013)، پودر سنگ آهک (Bilgin et al, 2012, Sutcu and Akkurt, 2009)، رسوبات رودخانه‌ای ( El Fgaier, 2013, Liang et al, 2015) و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب (Hegazy et al, 2012) استفاده شده است.

## ۲-۴-۱ استفاده از پسماندها در ساخت آجر سازگار با محیط زیست

تا کنون تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از پسماندهای با منشا متفاوت در ساخت آجر انجام پذیرفته است، که در ادامه برخی از آن‌ها آورده شده است.

طی تحقیقی از تفاله‌ی چای جهت تولید آجرهائی سبک وزن استفاده شده است. این پسماند به شکل فیبر، گرد و یا شوره از مرحلهٔ تولید جدا شده و پس از آن به مدت ۲۴ ساعت در آب پراکنده شده اند، آن‌گاه با نسبت‌های مختلف ۰، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی خاک رس به ترکیبات آجر اضافه گردیده است. نمونه های آماده شده (در ابعاد ۴۰* ۷۰* ۱۰۰ mm) تا دمای

حداکثر ۹۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و درشرایط آزمایشگاهی با رطوبت نسبی ۶۰ درصد و به مدت ۲ ساعت حرارت داده شدند که پس از طی این مراحل هیچ گونه شکستگی، ورم‌کردگی و دیگر معایب در سطح نمونهٔ آجرهای تولید شده مشاهده نشد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان جذب آب در نمونه‌های تولید شده، در حدود ۱۸ درصد وزنی ضایعات چای موجود در نمونه‌ها بوده است که این میزان بسته به درصد تخلخل موجود در هر آجر می‌تواند متغیر باشد. با افزایش تفالهٔ چای به ترکیبات آجرهای رسی سبک وزن، میزان جذب آب، میزان احتراق، قدرت کشیدگی، مقاومت فشاری و میزان تخلخل و منافذ افزایش پیدا می‌کند، در حالی که چگالی آجرهای تولید شده کاهش می‌یابد و در نهایت افزایش خصوصیت عایق حرارتی را موجب می‌شود. همچنین، با افزایش میزان آب قدرت شکل‌پذیری آجرهای تولید شده افزایش می‌یابد. با توجه به ویژگی مشتعل بودن تفالهٔ چای پس از حرارت دیدن، هیچ گونه ورم و پف-کردگی در سطح آجرهای سبک وزن تولید شده با این شیوه پدیدار نشده است. با در نظر گرفتن ویژگی ذاتی تفالهٔ چای، خود سهم به‌سزائی در افزایش گرمای ورودی کوره داشته است. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تفالهٔ چای می‌تواند به عنوان افزودنی اصلی در تولید آجرهای رسی سبک وزن دوستدار محیط زیست بکار گرفته شود (Demir, 2006).

در پژوهش صورت گرفته توسط گروهی از محققین از ضایعات شیشه در ساخت آجر استفاده شده است. ابعاد غالب ضایعات شیشهٔ بکار گرفته شده جهت تولید آجرهای سبک وزن بین ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌متر می‌باشد که با ۴ نسبت ترکیبی متفاوت از پودر شیشه (۰، ۱۵، ۳۰ و۴۵ درصد وزنی) ساخته شده‌اند. در نمونه‌های آماده شده از مقداری پوستهٔ برنج به میزان ۵ درصد وزنی جهت افزایش میزان انقباض نمونه‌ها نیز استفاده شده است. در این آزمایش، میزان آب مصرفی در حدود ۳۰ درصد وزنی کل مواد ترکیب شده با هم، جهت تهیهٔ مخلوطی همگن بوده است. هر نمونه پس از ورز دادن و آماده سازی با قالب‌های چوبی، در کورهٔ آجرپزی در دمای حداکثر ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه حرارت داده شده اند. ضایعات شیشه می-

توانند به نسبت‌های مختلف با خاک رس ترکیب شوند تا کیفیت مطلوب در آجر به‌دست آید. میزان بهینه ضایعات شیشه با توجه به ویژگی‌های خاک رس می‌تواند بین ۲ تا ۴ درصد باشد تا ضمن کسب مزایای یاد شده، از اثرات زیان‌آور آن از جمله کاهش طول عمر آجرهای تولید شده با این شیوه به دلیل وجود ترکیبات سیلیسی و قلیائی موجود در ضایعات بکار رفته جلوگیری به عمل آید. ریزتر کردن قطعات شیشه تا حد کوچکتر از ۷۵ میکرومتر این مشکل را حل کرده و مانع از انجام واکنش‌های قلیائی میان ذرات می‌شود و پایداری آجرهای تولیدی را تضمین می‌کند. در آجرهایی که حاوی ۱۵- ۳۰ درصد ضایعات شیشه هستند و در درجه حرارت ۱۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد عمل آورده شده باشند، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. همچنین افزایش ظرفیت جذب آب در آجرهایی که بیش از ۳۰ درصد ضایعات شیشه دارند، می‌توانند به افزایش منافذ باز که توسط خرده شیشه‌های بکار رفته در سطح آجر ایجاد می-شوند، منجر شود. با این حال آجرهائی که بیش از ۳۰ درصد ضایعات شیشه دارند، جذب آب در آن ها کمتر از ۲ تا ۳ درصد است که این میزان بیشتر از آجرهائی است که ۱۵ درصد ضایعات شیشه دارند. بر اساس میزان محتوائی ضایعات شیشه به کار رفته در هر نمونه، چگالی توده آجرهای تهیه شده با این شیوه، تغییر بین ۱/۸- ۲/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب و ۲/۲- ۲/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان داده است. در این تحقیق، نیروی تراکم در نمونه‌های تولید شده به طور میانگین ۲۶ تا ۴۱ درصد و جذب آب به طور نسبی کمتر از ۲ درصد بوده است. دمای بهینه جهت پخت آجرهای تولیدی با این شیوه ۱۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد گزارش شده است، زیرا بر اساس شواهد در دمای ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، آجرها از لحاظ شکل ظاهری نامنظم هستند و لایهٔ نازکی از شیشه‌های ذوب شده سطح آجرهای تولیدی را می‌پوشاند (Loryuenyong et al, 2009).

در پژوهشی دیگر، ضایعات سنگ مرمر جهت تولید آجرهائی سبک‌وزن در نسبت‌های مختلف از ۰- ۸۰ درصد (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰،۸۰ درصد) با ملات آجرهای رسی ترکیب

شده‌اند که نمونه‌های تولید شده به ابعاد (۸* ۸* ۴۱ mm) در سه دمای ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت ۳ ساعت در کورهٔ الکتریکی حرارت داده شده‌اند. بر طبق مشاهدات صورت گرفته، افزایش نسبت ضایعات سنگ مرمر در ترکیبات رسی به همراه مقادیر ناچیزی سنگ آهک سبب انبساط نمونه‌های تولید شده گردیده است. دلیل اصلی این انبساط و افزایش اندازهٔ ذرات در آجرهای تولید شده با این شیوه، وجود منافذ در ساختار این ذرات به علت رها شدن گاز دی‌اکسیدکربن در هنگام آهکی شدن ذرات سنگ مرمر بوده است. Cao موجود در ذرات سنگ مرمر به علت قدرت واکنش‌پذیری بالا و قابلیت انبساط موجبات افزایش اندازهٔ ذرات را فراهم می‌کنند و باعث تسریع در ترکیب شدن با آب و آزاد سازی گرما می‌شوند. بر اساس شواهد به دست آمده توسط گروه محققان، مقدار افزودنی گرد مرمر بر نیروی مکانیکی، فیزیکی و شیمیائی آجر تولیدی با این شیوه اثر مثبت داشته است. همچنین کاربرد ضایعات سنگ مرمر در تولید آجر سبک وزن دوستدار محیط‌زیست، نقش مهمی را در بازیافت گرد سنگ مرمر و سهم عظیمی در اقتصاد این صنعت و کاهش آسیب به محیط زیست ایفا می-کنند. نتایج حاصل از آزمایش فوق، نشان می‌دهد که افزایش میزان گرد سنگ مرمر در آجرهای سبک وزن دوستدار محیط زیست سبب بالا بردن میزان تراکم و نیروی انعطاف‌پذیری آجرهای تولید شده است. مطلوب‌ترین حالت تولید آجر با این شیوه، افزودن تا ۵۰ درصد گرد سنگ مرمر و دمای پخت تا ۹۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد توسط محققان بیان شده است (Bilgin et al, 2012).

در مطالعه‌ای خاکستر سبوس برنج جهت تولید آجرهائی سبک وزن به نسبت های ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد به ترکیبات آجر تولیدی با این شیوه افزوده گردیده است که هر سه ترکیب در دماهای ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد حرارت داده شده‌اند. این پسماند به شکلی زبر با اندازه‌ای بزرگ تولید می‌شود که بهتر است قبل از استفاده در ملات آجر به صورت پودر در آید. شایان ذکر است که در این آزمایش از لجن حاصل از تصفیهٔ آب نیز به

میزان ۵۰ تا ۱۰۰ درصد وزنی خاکستر سبوس برنج استفاده شده است که باید حداقل به مدت ۱۴ روز در مقابل نور مستقیم خورشید قرار داده می‌شدند تا کاملاً خشک گردند. در این آزمایش، سوزاندن لجن حاصل از تصفیهٔ آب در دمای ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد، سوزاندن خاکستر سبوس برنج در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و تبلور نمونه آجرهای تولید شده (در ابعاد ۲*۲*۵ cm) در دمای بالاتر از ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد صورت گرفته است. بر اساس مشاهدات صورت گرفته، جذب آب در آجرهای تولید شده با خاکستر سبوس برنج (بین ۱۷/۴۱- ۷۳/۳۳ درصد) نسبت به آجرهای تولید شده با خاک رس بدون هیچ گونه افزودنی (۹/۹۴ تا ۱۱/۱۸ درصد) در دماهای یکسان بیشتر است. همچنین بر اساس آزمایش فوق، آجر تولید شده با ۷۵ درصد خاکستر سبوس برنج و حرارت داده شده در دمای کمتر از ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، مقاومت فشاری بیشتری در حدود ۲۷/۵۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع نسبت به آجر تولید شده با ۱۰۰ درصد خاک رس را دارا بوده است. وزن مخصوص آجرهای تولید شده به این شیوه بین ۰/۷۸ تا ۱/۴۶ $gr/cm^3$ است که این میزان در قیاس با آجرهای رسی معمولی ( ۱/۸۴$gr/cm^3$ تا ۱/۹۵) کمتر است. نتایج حاصل از آزمایش فوق توسط محققان، نشان از آن دارد که خاکستر سبوس برنج می‌تواند جایگزین مناسبی برای خاک رس آجر در ترکیب با افزودنی‌های دیگری مانند آهک (۱۵- ۴۰ درصد)، لجن حاصل از تصفیهٔ آب و ضایعات قابل بازیافت الوارهای کاغذ باشد. همچنین، افزودن ضایعات کشاورزی از جمله خاکستر سبوس برنج می‌تواند عامل ارتقاء خصوصیات فیزیکی در آجرهای تولید شده با این شیوه بشمار آیند. بطور کلی، خاکستر سبوس برنج در حضور آب تشکیل نوعی ماده ژل مانند را می‌دهد که مقاومت نمونه آجرهای تولیدی بدان وابسته است .(Hegazy et al,2012)

در تحقیقی دیگر جهت تولید آجرهای سبک وزن از ضایعات قابل بازیافت کاغذ (RPMR[۱]) به

[۱] Recycle Paper Mill Residue

میزان ۷۰- ۸۰ درصد و ضایعات خاکستر سبوس برنج (RHA[1]) به میزان ۱۰ -۲۰ درصد و سیمان به میزان ۱۰ درصد استفاده شده است. بر اساس مشاهدات محققان، با افزایش بیش از ۱۰ درصدی ضایعات خاکستر سبوس برنج در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آجرهای تولید شده پیشرفت محسوسی حاصل نشده است، در حالی که با افزایش بیش از ۲۰ درصدی همین ضایعات، افت شدیدی در کیفیت آجرها به وقوع پیوسته است. بر طبق آزمایشات صورت گرفته، آجرهای تولید شده با این شیوه متخلخل بوده و دارای افزایش مقاومت فشاری قابل قبولی بوده‌اند در حالی که قدرت هدایت گرمائی در نمونه‌های تولید شده با این شیوه کاهش پیدا کرده است. همچنین آجرهای تولیدی سبک وزن بوده و کاهش وزنی حدود ۵۰ درصد آجرهای رسی معمولی موجود در بازار را نشان داده‌اند. مقاومت فشاری آجرهای تولید شده با این شیوه ۱۵ مگا پاسکال گزارش شده است که در قیاس با آجرهای معمولی (۳ مگاپاسکال) حدود ۵ برابر بیشتر بوده است. نتایج به دست آمده از آزمایش فوق توسط محققان، نشان می دهد که ترکیب بهینه جهت آجرهای سبک وزن تولید شده با این شیوه شامل ضایعات قابل بازیافت کاغذ (RPMR) حدود ۸۰ درصد، خاکستر سبوس برنج (RHA) حدود ۱۰ درصد و سیمان به میزان ۱۰ درصد می‌باشد (Raut et al, 2013).

طی تحقیقی دیگر در ساخت آجر، از ضایعات کاغذ به عنوان ماده‌ی تخلخل‌آور استفاده شد. پسماند کاغذ با نسبت‌های مختلف تا ۳۰٪ وزنی با مواد خام آجر ترکیب شد. پس از ترکیب، مواد تحت فشار هیدرولیکی قرار گرفته و سپس خشک شدند. دمای منتخب برای پخت آجر ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. طی بررسی رفتارهای حرارتی، چروکیدگی و خشک شدن در اثر حرارت، مقدار آتش‌گیری، چگالی ظاهری، تخلخل ظاهری، جذب آب و مقدار هدایت حرارتی آجر، نتایج نشان داد که استفاده از پسماندهای کاغذی باعث کاهش چگالی آجر تا ۳۳٪ و رسیدن مقدار آن به ۱/۲۸ $\frac{gr}{cm^3}$ شده است. هدایت حرارتی آجر معمولی

[1] Rice Husk Ash

باید کمتر از ۰/۸ $\frac{W}{Mk}$ باشد. در حالی که هدایت حرارتی این نوع آجر ۵۰ درصد کاهش یافته و کمتر از ۰/۴ $\frac{W}{Mk}$ بدست آمد. در صورت تولید این آجر به صورت سوراخدار، هدایت حرارتی آن به میزان بیشتری کاهش خواهد یافت. در حضور پسماند، انقباض کم (حدود ۱٪- ۲٪) و در آجر بدون حضور پسماند، انقباض برابر با ۳٪ است. هر چه مقدار پسماند افزایش یابد، مقدار تخلخل و جذب آب افزایش و مقدار مقاومت فشاری کاهش خواهد یافت. با افزودن درصد مناسبی پسماند به آجر، مقاومت همچنان بالاتر از حد استاندارد باقی مانده است (Sutcu and Akkurt, 2009).

در آزمایشات صورت گرفته جهت تولید آجرهائی سبک وزن با استفاده از ضایعات ته سیگار توسط گروهی از محققین، ضایعات سیگار در ابعاد مختلف جمع‌آوری و در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت ضد عفونی شده و سپس در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شده اند. آزمایشات صورت گرفته در سه نمونه آجر تولید شده با این شیوه، حکایت از آن دارد که تراکم آجرهای حرارت دیده بسته به درصد ته سیگارهای موجود در آن‌ها، ۸ تا۳۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین قدرت جذب آب نمونه‌های تولید شده از طریق افزایش میزان ته سیگارها و در نتیجه کاهش تراکم و افزایش تخلخل ناشی از آن افزایش یافته است. بر طبق مشاهدات دقیق، چگالی نمونه های مورد مطالعه توسط محققان با میزان صفر درصد ضایعات ته سیگار از ۲۱۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری از ۲۵/۶۵ مگاپاسکال به چگالی ۱۴۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری ۵ مگاپاسکال در آجرهای تولید شده با میزان ۱۰ درصد ضایعات ته سیگار نزول یافته است. بیشترین میزان جذب آب در آجرهای سبک وزن حاوی ۱۰ درصد ته سیگار، ۱۸ درصد برآورده شده است که این میزان جذب آب در آجرهای محتوی ۲/۵-۱۰ درصد ته سیگار، حدود ۱/۳- ۵/۷ درصد گزارش شده است. نتایج به دست آمده از آزمایش فوق نشان از آن دارد که افزودن ته سیگار به خاک رس جهت تولید آجرهای رسی به دلیل وجود استات سلولز موجود در آن، می‌تواند در کاهش مدت زمان پخت آجرها

موثر باشد و میزان انرژی مصرفی در فرآیند تولید آجرها را کاهش دهد. برآورد شده است که با افزودن ۵ درصد ضایعات ته سیگار به مواد اولیه آجرهای رسی، بیش از ۶۰ درصد در مصرف انرژی فرآیند پخت صرفه‌جویی می‌شود(Abdul Kadir et al, 2008).

در مطالعه‌ای دیگر به بررسی اثر افزودن پسماندهای گیاهی تجدیدپذیر مختلفی مانند: کاه گندم، تخم آفتابگردان و پودر هسته‌ی زیتون بر خواص آجر پرداخته شد. پسماندها پس از خرد شدن به وسیله‌ی آسیاب، با نسبت‌های مختلف به مواد آجر افزوده شدند. با مقایسه‌ی خصوصیات فیزیکی آجر تولید شده مانند: انقباض خطی، تخلخل، میزان جذب آب، جرم حجمی و عملکرد مکانیکی و حرارتی با آجر معمولی نتایج زیر حاصل گشت. با افزودن پسماندها، افزایش تخلخل، جذب آب و عایق حرارتی و در پی آن کاهش جرم حجمی و مقاومت خمشی بوجود آمد. در مقایسه بین این ۳ پسماند به منظور رسیدن به حالت بهینه بین تولید محصول با کارامد بیشتر و عملکرد حرارتی و مکانیکی بالا، ۴٪ وزنی تخم آفتابگردان با کمترین میزان خرد کردن بهترین انتخاب است که منجر به ۲۳٪ افزایش تخلخل و ۱۷٪ کاهش مقاومت و ۶۱٪ کاهش هدایت حرارتی گردید (Bories et al, 2015).

باربیری[۱] و همکاران در سال ۲۰۱۳ به افزودن ضایعات کشاورزی چوبی مانند: هسته انگور و گیلاس و خاک اره به عنوان ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی منافذ و از خاکستر نیشکر به عنوان ماده‌ی شامل سیلیس به آجر پرداختند. خاک اره و هسته انگور دارای ماده آلی می‌باشند که در حین پخت آجر، باعث تولید انرژی می‌شود. افزودن این پسماندها به میزان ۱۰٪ وزنی به منظور رسیدن به تعادلی بین خواص مثبت ( کاهش وزن و چروکیدگی و افزایش تخلخل) و منفی (افزایش جذب آب و کاهش مقاومت مکانیکی) صورت گرفته است. نتایج بیانگر آن است که اگر دانه‌ی انگور و گیلاس به اندازه‌ی ۵٪ وزنی به آجر اضافه شوند، تاثیر بهتری نسبت به افزودن خاک اره دارند. مقاومت فشاری آجر پخته شده در دمای ۹۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۲۳-۲۱

[۱] Barbieri

مگاپاسکال و کاهش وزن آن حدود ۳-۱۰ درصد بوده و در صورت افزودن خاکستر نیشکر به میزان ۵٪، به دلیل حضور مقدار زیاد سیلیس در آن (۶۱٪ وزنی) که باعث کاهش وزن و انعطاف‌پذیری آجر می‌شود، مقاومت فشاری حدود ۲۷ مگاپاسکال باقی می‌ماند. در نتیجه بهترین درصد مورد استفاده از پسماند که تاثیر منفی روی مقاومت فشاری، جذب آب و انقباض خطی نداشته و در عین حال خاصیت عایق بودن و تخلخل آجر را افزایش دهد، ۵٪ بدست آمده است (Barbieri et al, 2013).

در مطالعه‌ای استفاده مجدد از پسماند بلغور به عنوان سیمان پرتلند تا ۳۰٪ وزنی در ساخت آجر خاکی- سیمانی بررسی گردید. پسماندها از یک کارخانه سلولز واقع در جنوب شرقی برزیل تهیه شد. پس از آماده شدن آجرهای خاکی- سیمانی، اقدام به تعیین ویژگی‌های تکنولوژیکی آن‌ها که شامل: جذب آب، چگالی ظاهری، انقباض حجمی و مقاومت فشاری و تغییر ریزساختار آن به‌وسیله‌ی میکروسکوپ کانفوکال گردید. نتایج بیانگر آن است که ماده اصلی تشکیل دهنده‌ی بلغور، کلسیت ( $caco_3$) بوده و می‌توان از این پسماند کم هزینه تا مقدار ۲۰٪ وزنی استفاده نموده و آن را جایگزین مناسبی برای سیمان پرتلند و پرکننده‌ای بی‌اثر به منظور بهبود چگالی آجرهای خاکی- سیمانی معرفی نمود. با این حال افزودن آن به میزان بیشتر از ۲۰٪ وزنی، به دلیل افزایش جذب آب و کاهش مقاومت آجر، توصیه نمی‌شود. بازیافت این پسماند به وسیله‌ی استفاده آن در آجر، اقتصادی، مفید برای جامعه و سازگار با محیط زیست است (Siqueira, 2013).

# فصل سوم

# مواد و روش‌ها

## ۳-۱ مقدمه

انتخاب پسماند مناسب و فرآوری حساب شده آن با به کارگیری روش صحیح در آزمایشات، امری ضروری برای رسیدن به اهداف تحقیق می‌باشد. این بخش به معرفی مواد مورد استفاده، چگونگی آماده‌سازی آن‌ها، روند کلی آزمایشات انجام شده و محاسبات به کار رفته برای بدست آوردن نتایج حاصل از آزمایش اختصاص یافته است. شایان ذکر است که جهت افزایش اطمینان، کاهش خطای آزمایش و افزایش قابلیت تکرار در آزمایشات، کلیه آزمایشات انجام شده به صورت سه یا پنج‌تایی صورت پذیرفت.

## ۳-۲ مواد

- گل آجر: گل آجر مورد استفاده در این مطالعه از کارخانه‌ی آجرپزی شاهرود سفال تهیه گردید.
- پوست سیب‌زمینی: یکی از مواد پسماند مورد استفاده در این مطالعه پوست سیب زمینی است که از آشپزخانه‌های شهری و مصارف خانگی تهیه گردید، ماده تهیه شده در آزمایشگاه خشک و سپس آسیاب شد.
- برگ درخت نارنج: پسماند گیاهی دیگر مورد استفاده در این مطالعه برگ درخت نارنج است که از شمال ایران (شهر آمل) گردآوری شد. زمان جمع‌آوری برگ‌ها ماه آبان انتخاب شد که برگ‌ها در حال زرد شدن بودند.

## ۳-۳ روش‌های مورد استفاده

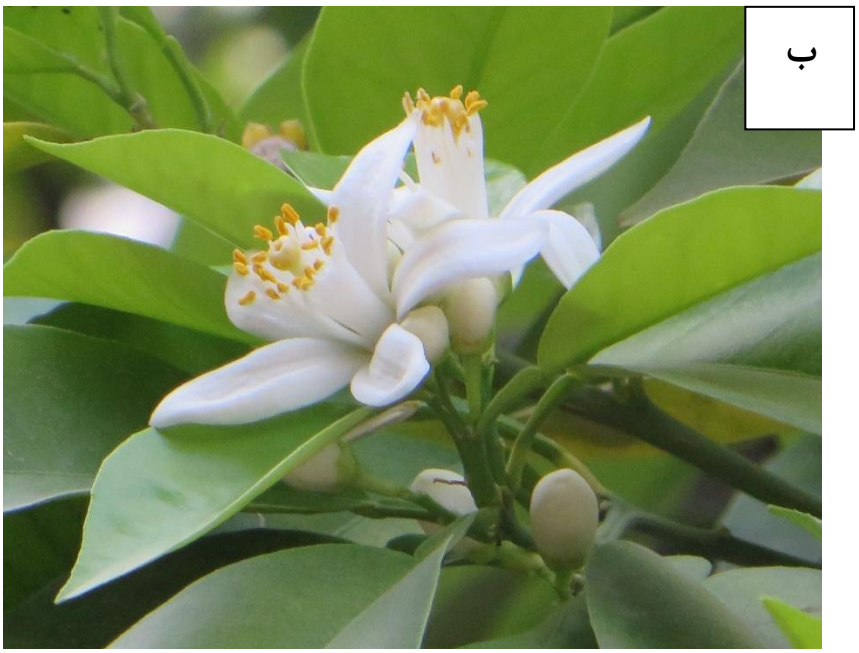
### ۳-۳-۱ مبنای انتخاب پسماند

- ✓ انتخاب پسماندها با رویکرد زیست محیطی بر مبنای استفاده مجدد از پسماندها در فرآیندی دیگر و جلوگیری از دفن آن‌ها در مدفن‌ها صورت گرفت.
- ✓ یکی دیگر از مهم‌ترین شرایط انتخاب این پسماندها، دسترس‌پذیری بالا، تجدیدپذیر بودن و داشتن صرفه‌ی اقتصادی است.
- ✓ با توجه به مطالعات انجام شده در این راستا مشخص گردید که تا کنون از این پسماندها به عنوان ماده مضاف (= اضافه شونده) در ساخت آجر استفاده نشده است.
- ✓ جهت اطمینان از قابلیت پسماندها در تولید تخلخل، آزمایشات با استفاده از پودر زغال انجام شد. به این ترتیب با اطمینان از قابلیت انجام طرح، پسماندهای انتخابی تهیه و آزمایشات انجام شد.

### ۳-۳-۲ آماده‌سازی پسماندها

ابتدا برگ‌ها و پوست سیب‌زمینی‌ها در دمای محیط قرار داده شد تا مقداری رطوبت خود را از دست دهند (شکل‌های ۳-۱و ۳-۲). سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰ یا ۶۵ درجه‌سانتی-گراد در آون (Aria Teb مدل SP88) خشک شد. برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی به وسیله‌ی آسیاب ( WARING مدل WCG75E) پودر و از الک نمره ۵۰ عبور داده شد.

شکل ۳-۱: پوست سیب‌زمینی




شکل ۳-۲: برگ درخت نارنج

## ۳-۳-۳ آماده‌سازی گل آجر

مواد خام آجر به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در آون خشک شد.

سپس کلوخه‌های خاک در همزن و مخلوط کن مکانیکی ریخته و خرد شدند.

شایان ذکر می‌باشد که مخلوط‌کن مکانیکی جهت هم زدن گل آجر که در این مطالعه طراحی و ساخته شد شامل ۲ محور فولادی (شکل ۳-۳) می‌باشد. محورهای فولادی برای انجام فعالیت‌های مختلف با سامانه‌های مختلفی پوشش داده شد. در این تحقیق فقط از مکانیسم حلزونی معکوس استفاده شد. موتور برقی و جعبه دنده آن سرعت و قدرت چرخش را مشخص می‌کردند. به دلیل چرخش معکوس دو استوانه حلزونی ذرات خرد و با هم مخلوط می‌شوند. چون این مکانیسم به صورت پیوسته کار نمی‌کند و حجم آن محدود است، به کمک موتور سه فاز، چرخش معکوس، یکنواخت و مطلوبی برای مواد اولیه حاصل گردید.

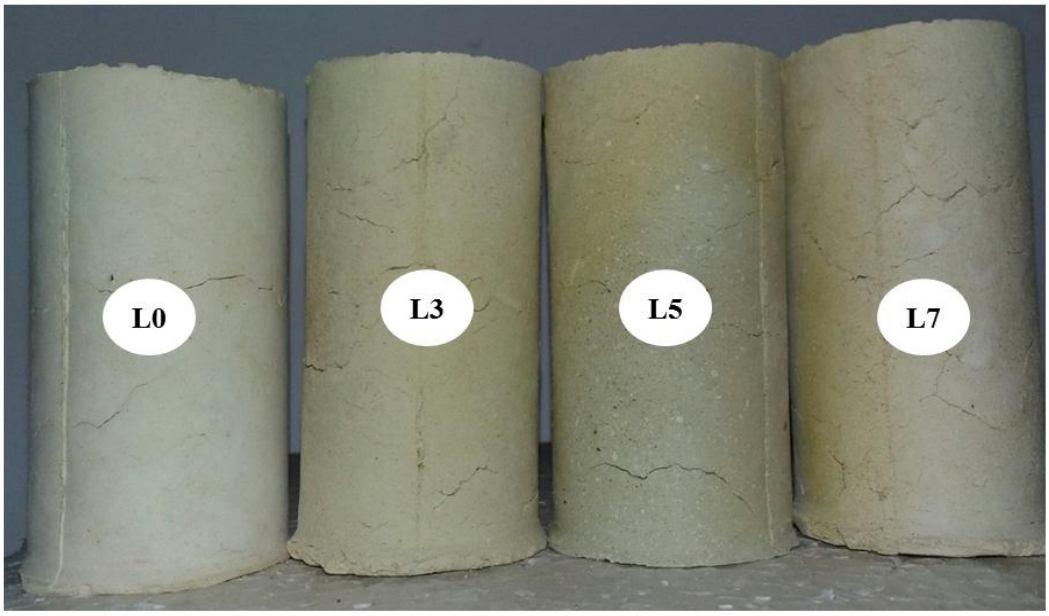
شکل۳-۳: همزن مکانیکی طراحی شده در این تحقیق (الف: تصویر همزن، ب: تصویر پره‌های همزن)

برای رسیدن به حالت‌های مختلف در تولید آجر، پودر برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی به صورت مجزا به نسبت ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی به خاک اضافه و با سامانه مخلوط‌کن به طور یکنواخت در آن توزیع شد. در نهایت به منظور رساندن رطوبت مواد مورد آزمایش به رطوبت مواد کارخانه آجرپزی (۱۹٪) به آن آب اضافه و مقدار رطوبت به وسیله‌ی دستگاه رطوبت سنج (Lutron مدل PMS-714) کنترل گردید. با هدف افزایش مقاومت آجر، به مدت ۱ هفته گل در اتاقی بدون جریان باد در ظرف نایلونی نگهداری گردید. قالب مورد استفاده در این آزمایش استوانه‌ای فولادی به قطر ۴ سانتی‌متر و ارتفاع ۷ سانتی‌متر است (شکل ۳-۴). برای سهولت خارج کردن آجر از قالب، قبل از ریختن مواد آجر، قالب کمی چرب شد. . به منظور خارج کردن هوا از گل موجود در قالب گل آجر به قسمت های ۱۹۴ گرمی تقسیم و طی ۳ مرحله در قالب ریخته شد. در هر مرحله با کوبه فلزی به قطر ۱ سانتی‌متر ۲۰ ضربه به آن وارد گردید. گل متراکم شده در قالب استوانه‌ای تحت فشار هیدرولیکی حدود ۱۵ مگاپاسکال قرار گرفت تا حداکثر تراکم در آن شکل گیرد (شکل ۳-۵).

شکل ۳-۴: قالب آجر ساخته شده در این تحقیق

شکل۳-۵: پرس هیدرولیکی مواد آجر تحت فشار ۱۵ مگاپاسکال

آجر در صورت خشک شدن سریع، ترک برداشته و از مقاومت آن کاسته می‌شود، بنابراین گل متراکم شده آجر طی زمانی طولانی خشک گردید. برای این منظور نمونه‌های آجر به مدت ۲۴ ساعت در اتاقی بدون وزش باد و تابش مستقیم نور خورشید در کارتن قرار داده شد. سپس به مدت ۱۵ ساعت با دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و بلافاصله پس از آن به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی گراد در آون خشک گردید. سپس بلافاصله از آون خارج و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی گراد در کوره (SHIMIFANN مدل F.E169) پخته شد. قبل از باز کردن در کوره، به آن زمان داده شد تا به مرور کاهش دما داشته باشد و آجرها به دمای محیط برسند ( شکل‌های ۳-۶ و ۳-۷).



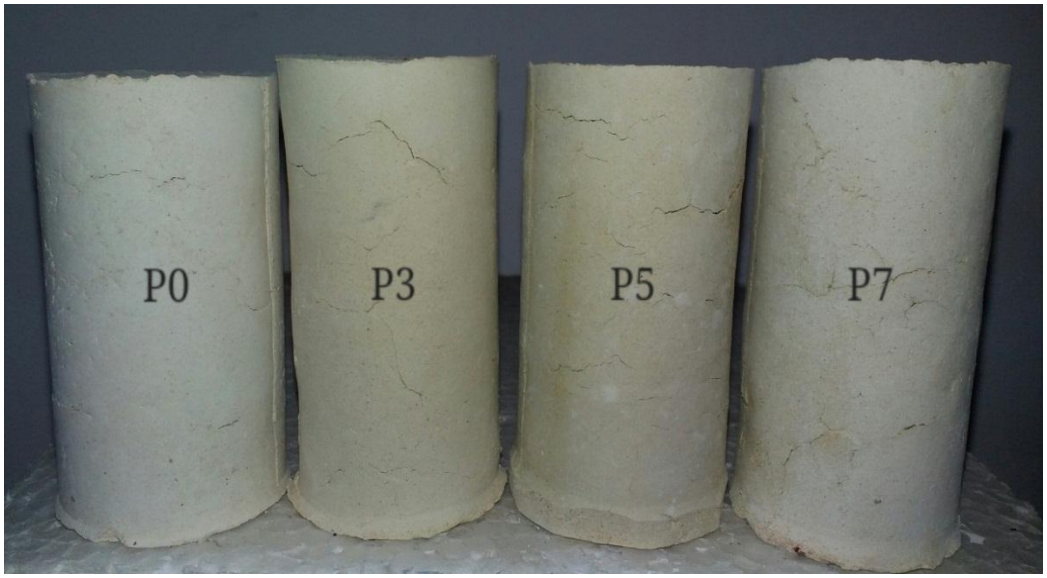

شکل ۳-۶: آجرهای حاوی برگ درخت نارنج ساخته شده در این تحقیق

آجرهای ساخته شده به قرار زیر نامگذاری گردید:

- L0: آجر بدون پودر برگ درخت نارنج
- L3: آجر با ۳٪ پودر برگ درخت نارنج
- L5: آجر با ۵٪ پودر برگ درخت نارنج

- L7 : آجر با ۷٪ پودر برگ درخت نارنج
- P0 : آجر بدون پودر پوست سیب زمینی
- P3: آجر با ۳٪ پودر پوست سیب زمینی
- P5: آجر با ۵٪ پودر پوست سیب زمینی
- P7 : آجر با ۷٪ پودر پوست سیب زمینی

شایان ذکر می‌باشد که در کلیه موارد و گراف‌های ترسیم شده در این تحقیق، از نامگذاری بالا، استفاده گردیده است.




شکل ۳-۷: آجرهای حاوی پوست سیب‌زمینی ساخته شده در این تحقیق

آزمایشات صورت گرفته روی آجرها شامل مقاومت فشاری، جذب آب، چگالی ظاهری خشک، چگالی ظاهری اشباع، تخلخل آجر میزان جذب صوت است.

## ۳-۴ آزمایشهای صورت گرفته بر روی آجر ساخته شده

### ۳-۴-۱ مقاومت فشاری

این آزمایش طبق استاندارد ملی ۷ ایران، توسط دستگاه Toni Technik انجام شد. طبق

استاندارد، سرعت بارگذاری باید از ۵ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در ثانیه انتخاب شود. در صورتی که این اعداد در سطح مقطع آجر (که برابر ۱۲/۵۷ سانتی‌متر مربع است) ضرب شود، اعداد ۶۲/۸۵ و ۱۲۵/۷ کیلوگرم بر ثانیه حاصل می شود. برای سرعت بارگذاری عددی مابین این دو انتخاب شد که برابر با ۹۰ کیلوگرم بر ثانیه است. در نهایت مقاومت فشاری از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید (استاندارد ملی ۷ ایران، آجر رسی)

$$P = \frac{F}{A} \qquad (۱-۳)$$

در این رابطه P مقاومت فشاری ($kg/cm^2$)، F ماکزیمم بار وارده (kg) و A سطح مقطع آجر ($cm^2$) است.

## ۳-۴-۲ درصد جذب آب

آزمایش درصد جذب آب طبق استاندارد ملی ۷ ایران انجام شد. برای این آزمون، آجرها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه در آون قرار داده شدند و پس از سرد شدن، وزن شدند. سپس آجرها در آب مستغرق شدند و اجازه داده شد تا در مدت ۱ ساعت آب به جوش آمده و تا ۵ ساعت آجرها در آب بجوشد. پس از این زمان، منبع حرارتی قطع شده تا نمونه‌ها در زمانی بین ۱۶ تا ۱۹ ساعت به دمای محیط برسند. سطح نمونه ها را خشک کرده و در کمتر از ۲ دقیقه وزن شدند. در نهایت درصد جذب آب از رابطه‌ی زیر بدست آمد.

$$W(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * \qquad (۲-۳)$$

$$100$$

که در آن w% درصد جذب آب آجر، $w_1$ وزن نمونه خشک بر حسب گرم و $w_2$ وزن نمونه پس از آزمون بر حسب گرم است.

### ۳-۴-۳ درصد نمک محلول

در آزمون تعیین نمک‌های محلول در آب، بوسیله‌ی مته بنایی با قطر کمتر از ۷ میلی‌متر، سوراخهایی با فواصل تقریبا مساوی روی بزرگترین سطح آجر ایجاد شد تا نمونه‌ای از پودر آجر به وزن حدود ۲۵ گرم که از الک ۱۵۰ میکرون عبور کند، حاصل شود. برای حذف ذرات آهنی که احتمالا در جریان سوراخ نمودن وارد نمونه می‌شود، از آهنربا استفاده شد. سپس نمونه در حرارت ۱۱۰ درجه سلسیوس خشک شد. ۱۰ گرم از این نمونه را در بشر ریخته و با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر هم دمای محیط به مدت ۱ ساعت با سرعت ۳۰ دور در دقیقه هم زده شد. در ادامه محلول به آرامی از کاغذ صافی (۰/۴۵ میکرو متر) عبور داده شد (شکل ۳-۸).

شکل۳-۸: عبور دادن پودر آجر از کاغذ صافی

محلول در بوته چینی با وزن معلوم، ریخته و در آون خشک شد. در نهایت پودر بدست آمده با دقت gr ۰/۰۱ وزن شد و به کمک رابطه زیر درصد نمک‌های محلول در آب بدست آمد.

$$S=[(w_2 - w_1) / m] * 100 \qquad (۳-۳)$$

در این رابطه $w_1$ وزن بوته خالی بر حسب گرم، $w_2$ وزنه بوته محتوی نمک‌های خشک شده حاصل از تبخیر بر حسب گرم و m وزن اولیه نمونه بر حسب گرم است (استاندارد ملی ۷ ایران، آجر رسی).

## ۳-۴-۴ تخلخل، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع

برای به دست آوردن چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع علاوه بر وزن خشک و وزن اشباع آجر، محاسبه حجم آجر مورد نیاز می‌باشد که برای این کار از ۲ روش استفاده گردید. در روش اول، در استوانه ی مدرج ۱ لیتری به اندازه‌ی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب ریخته و آجر اشباع به نخی وصل شده و به آرامی در آب فرو برده شد. از آنجا که در آجر اشباع جذب آب اتفاق نمی‌افتد، مقدار آب جابجا شده برابر با حجم آجر است. در روش دوم حجم آجر به روش غوطه وری و به کمک نیروسنج بدست آمد. به کمک این اطلاعات چگالی ظاهری خشک و اشباع آجر با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید. در محاسبه‌ی تخلخل، وزن آب جذب شده در حفرات بر حجم آجر تقسیم می‌شود. از آنجایی که چگالی آب برابر با ۱ می‌باشد، وزن آب برابر با حجم آن بوده و تخلخل بدون بعد می‌گردد.

$$(\rho_b)_d = \frac{w_1}{v} = \frac{\text{وزن جامد}}{\text{حجم کل}} \quad (۴-۳)$$

$$(\rho_b)_{sat} = \frac{w_2}{v} = \frac{\text{اشباع وزن}}{\text{حجم کل}} \quad (۵-۳)$$

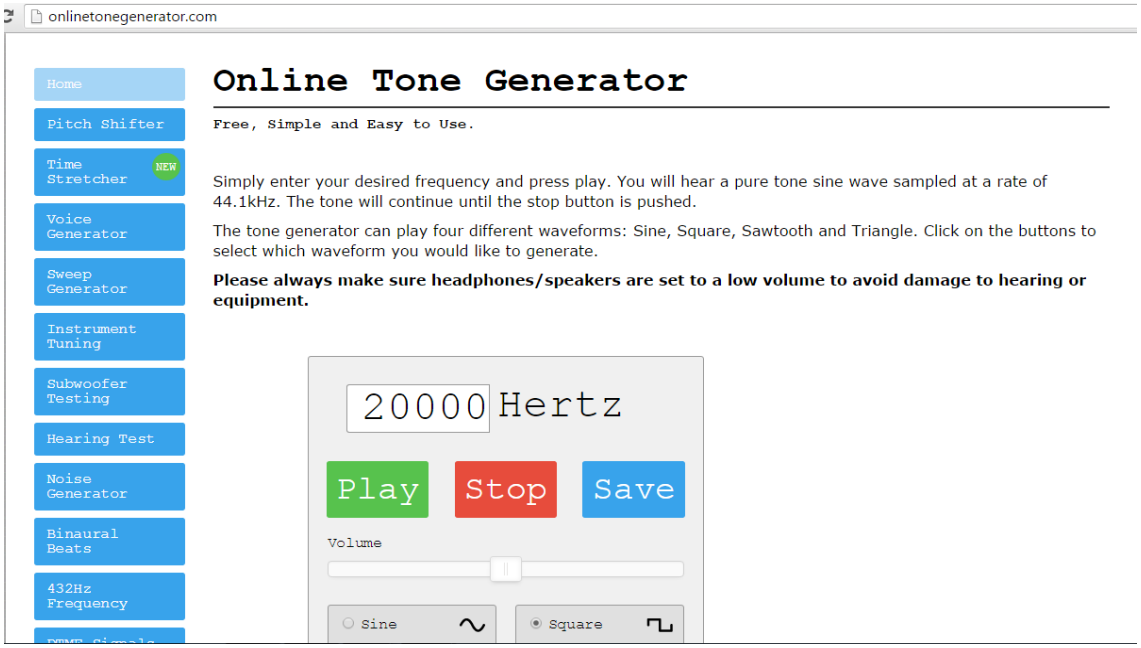
$$e = \frac{\text{حجم منافذ}}{\text{حجم کل}} = \frac{\text{حجم کل } v - \text{حجم جامد } v_s}{\text{حجم کل } v} = \frac{w_2 - w_1}{v} \quad (۶-۳)$$

که در این رابطه‌ها $(\rho_b)_d$ چگالی ظاهری خشک، $(\rho_b)_{sat}$ چگالی ظاهری اشباع، e تخلخل، $W_1$ وزن آجر خشک، $W_2$ وزن آجر اشباع و $v$ حجم آجر است.

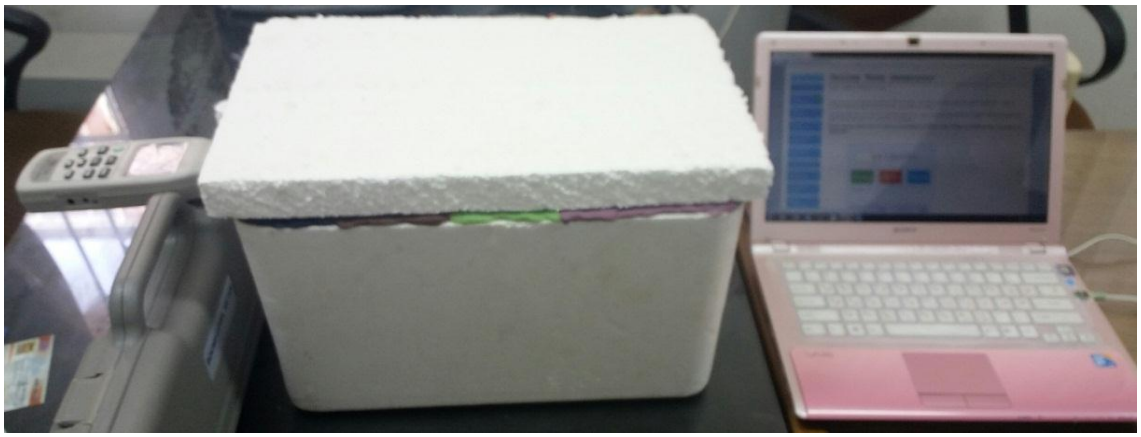
### ۳-۴-۵ عایق صوت

از آنجا که برای تعیین میزان عایق‌سازی صوتی، استاندارد خاصی در کشور حاکم نیست، آزمایش مخصوص این کار طراحی شد.

در این آزمایش از یک جعبه‌ی یونولیتی به عنوان اتاق ایزوله صوتی استفاده گردید. در وسط جعبه دیواری از جنس یونولیت تعبیه شده و حفره‌ای به اندازه‌ی یک آجر در آن ایجاد گردید. آجرها قبل از قرارگیری در دیوار، به اندازه‌ی قطر دیوار برش داده شدند. در یک سمت دیوار منبع صوت و در سمت دیگر آن دستگاه صوت‌سنج (TES مدل 52A) قرار گرفت. جهت کاهش خطا همه‌ی درزها بوسیله‌ی خمیر پوشانده شد. تولید صوت بوسیله‌ی نرم افزار آنلاین online tone generator تولید شده و صوت حاصله توسط بلندگوی قرار گرفته در یک سوی جعبه یونولیتی به عنوان منبع صوتی پخش شد (اشکال ۳-۹ و ۳-۱۰). هدف از طراحی این آزمایش، مقایسه‌ی میزان حذف صوت توسط آجرهای ساخته شده در فرکانس‌های ۰، ۲۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰، ۲۰۰۰۰ بوده است. این فرکانس‌ها در محدوده کامل شنوایی انسانی قرار دارند و بنابراین می‌توان برآورد نمود که برای حذف هر فرکانس مشخص، چه نوع آجری جواب بهتری می‌دهد.




شکل ۳-۹: نرم افزار online tone generator



شکل ۳-۱۰: جعبه‌ی آکوستیک عایق صوت از جهات مختلف

## ۳-۵ نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این تحقیق به منظور بررسی همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار spss[۱] استفاده شد. تحلیل‌های آماری، مدیریت داده‌ها و مستندسازی داده‌ها از ویژگی‌های نرم‌افزار هستند. این نرم‌افزار که اصولا برای کمک به مطالعات اجتماعی طراحی شده است، امروزه به

[۱]Statistical package for social science

صورت گسترده در همه علوم روز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش نرم‌افزار spss ویرایش ۲۰ (۱۳۹۱) استفاده شد.

# فصل چهارم نتایج و بحث

## ۴-۱ مقدمه

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، امکان‌سنجی استفاده از پسماندهای گیاهی در ساخت آجر سازگار محیط زیست، به عنوان ماده‌ی تخلخل‌آور و سپس بررسی اثرات مفید و مضر این مواد بر خصوصیات مکانیکی و شیمیایی آجر می‌باشد. در این بخش به ارائه نتایج بدست آمده از آزمایشات و بحث پیرامون این نتایج پرداخته شده است.

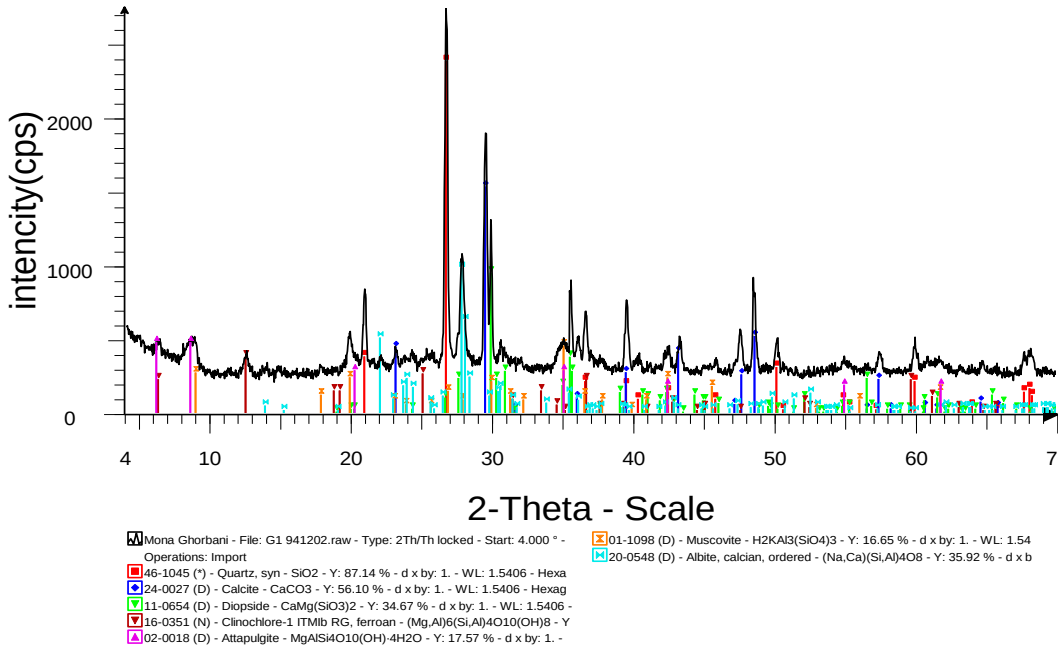
## ۴-۲ خصوصیات خاک مورد استفاده

برای تعیین درصد مواد شیمیایی در ساختار خاک، از آزمایش XRD در آزمایشگاه دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان استفاده شد.

نتایج آنالیز XRD (کانی شناسی) انجام شده بر روی خاک آجر در جدول ۴-۱ و شکل ۴-۱ آورده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، کلسیت، آلبیت و کوارتز به ترتیب بیشترین درصد کانی‌های تشکیل دهنده خاک رس مورد استفاده را تشکیل می‌دهند.

جدول۴- ۱: ترکیبات تشکیل دهنده خاک رس مورد استفاده در این تحقیق

| نام ترکیب | فرمول | مقدار (٪) |
|---|---|---|
| کلسیت | $CaCO_3$ | ۲۹/٤ |
| آلبیت | $(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$ | ۱۸/۹ |
| کوارتز | $Sio_2$ | ۱۳/۴ |
| دی اپسید | $CaMg(SiO_3)_2$ | ۱۳ |
| آتوپولگیت | $MgAlSi_4O_{10}(OH)\cdot 4H2O$ | ۹/۲ |
| مسکوبیت | $H_2KAl_3(SiO_4)_3$ | ۸/۷ |
| کلینوکلر | $(Mg,Al)6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ | ۷/۳ |




شکل ۴-۱: نتایج XRD خاک رس مورد استفاده در این تحقیق

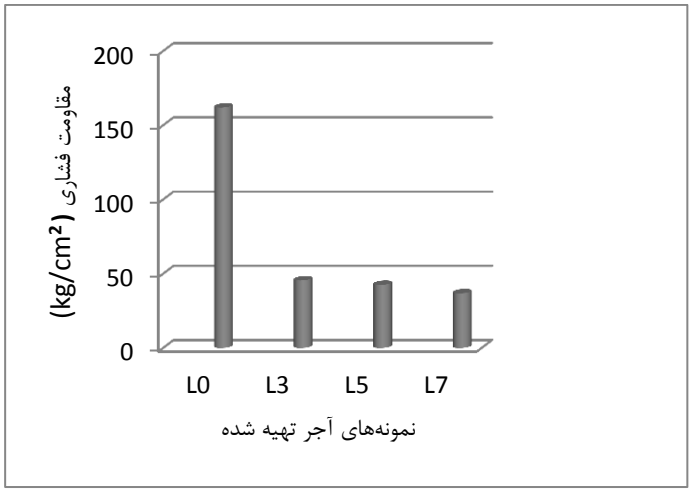
## ۴-۳ تاثیر استفاده از پسماندهای گیاهی برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی بر پارامترهای مکانیکی و فیزیکوشیمیایی آجر

### ۴-۳-۱ مقاومت فشاری

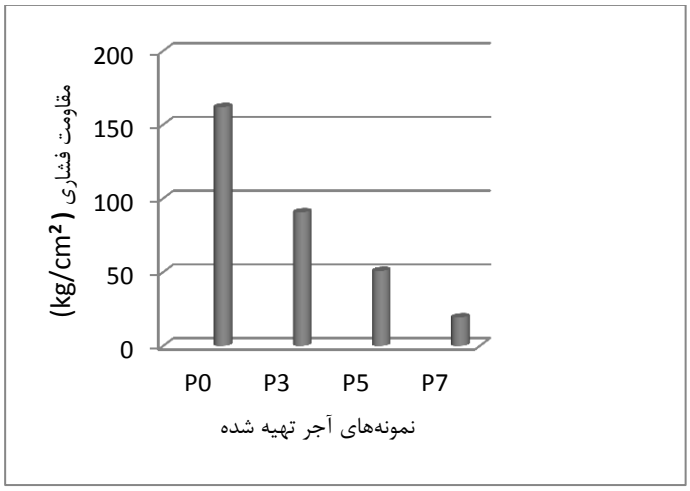
مقاومت استاندارد آجر بر اساس استاندارد ملی ایران، ۸۰ $Kg/cm^2$ است. نتایج بدست آمده نشان داد که مقاومت فشاری آجر معمولی ساخته شده در این پژوهش ۲ برابر استاندارد بوده است. استفاده از ۳٪، ۵٪ و ۷٪ وزنی برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی به صورت مجزا در آجر، به ترتیب، موجب کاهش مقاومت فشاری تا ۷۷٪ و ۸۸٪ شده است (شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳). بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در بخش‌هایی از ساختمان که دیوار آجری باربر نبوده و نقش جداسازی اتاق‌ها از هم را داشته باشد، می‌توان از این نوع آجر استفاده نمود.

به طور کلی استفاده از پسماند گیاهی در ترکیب آجر، باعث کاهش مقاومت فشاری آجر می‌گردد. نتایج نشان می‌دهند که افزودن ۳٪ پسماند گیاهی برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی باعث کاهش ۷۱/۸۸ و۴۴/۰۴ درصد در مقاومت فشاری گردیده است. همچنین افزایش

۲/۵ برابری در درصد وزنی پسماندهای گیاهی از ۳٪ تا ۷٪ باعث کاهش ۰/۸ و ۰/۲ برابری در مقاومت فشاری در آجرهای ترکیب شده با برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی شده است. شایان ذکر می‌باشد که تاثیر دو پسماند گیاهی در کاهش پارامتر مذکور یکسان نبوده و به طور کلی استفاده از پوست سیب‌زمینی تاثیر بیشتری در کاهش مقاومت فشاری آجر نسبت به برگ درخت نارنج داشته است. علت این امر می‌تواند در شکل ذرات پسماند یا ساختار شیمیایی و اثرات آن‌ها در خمیر آجر باشد.



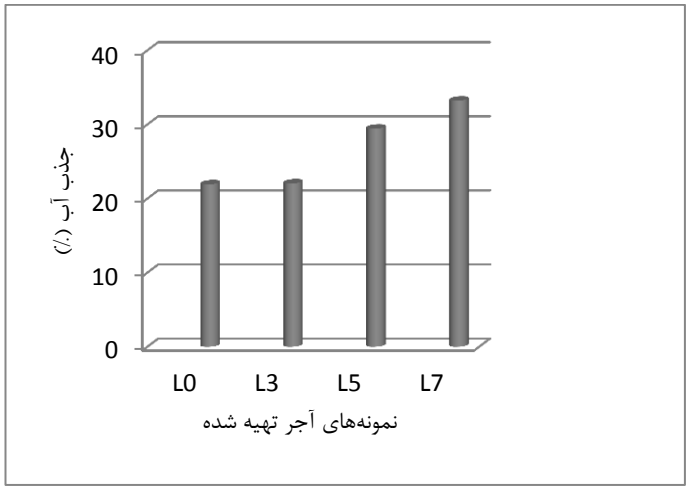

شکل ۴-۲: تغییرات مقاومت فشاری آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج



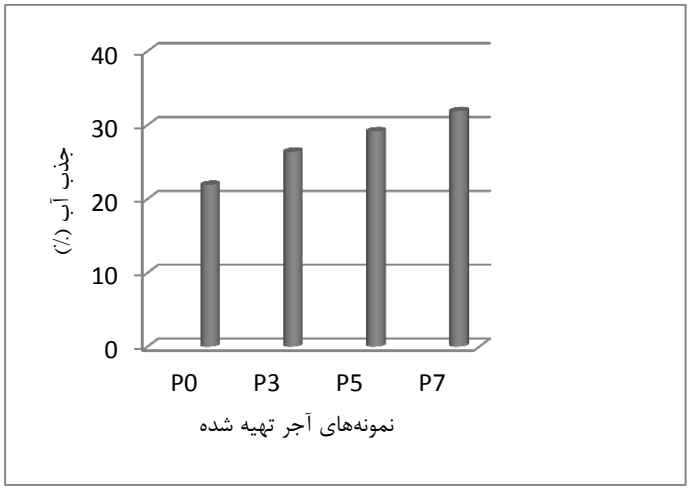

شکل ۴-۳: تغییرات مقاومت فشاری آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی

## ۴-۳-۲ درصد جذب آب آجر

یکی از فاکتورهای دوام آجر مورد استفاده در ساخت و ساز، میزان جذب آب آن می‌باشد. جذب آب یک عمل ناشی از کشش سطحی در درزها و ترک‌های موئینه است که اجازه می‌دهد، آب در داخل جامدات متخلخل حرکت کند (Jawaid, 2010, Ling and Teo, 2011). نتایج بررسی تاثیر پودر برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی در ساخت آجر نشان داد که با افزایش درصد برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی، درصد جذب آب در آجر تا حداکثر ۴۶٪ در هر دو مورد افزایش یافته است (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵). در تحقیقات قبلی انجام شده نیز، استفاده از ضایعات شیشه (Loryuenyong et al, 2009)، تفاله چای (Demir, 2006) و ته سیگار (Abdul kadir et al, 2008) در آجر، درصد جذب آب را به مقدار زیادی افزایش داده است. این امر را چنین می‌توان تفسیر نمود که با افزایش درصد پسماند، فضای خالی در آجر افزایش می‌یابد و در نتیجه به دنبال آن میزان جذب آب افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که درصد جذب آب و تخلخل رابطه مستقیمی دارند. در محدوده مورد آزمایش برای پوست سیب‌زمینی تقریبا خطی است.




شکل ۴-۴: تغییرات جذب آب آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج

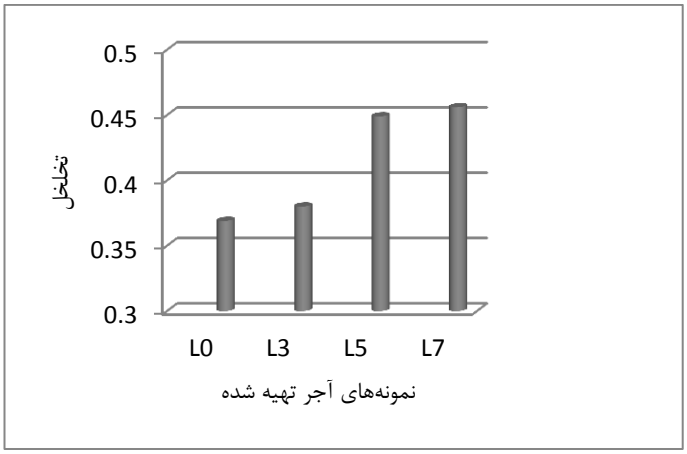



شکل ۴-۵: تغییرات جذب آب آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی

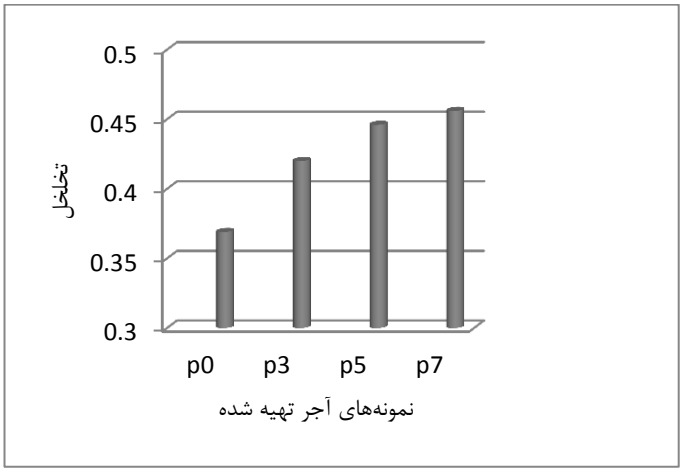
## ۴-۳-۳ تخلخل، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع آجر

طبق نتایج بدست آمده، به دلیل سوختن پسماندها در حین پخت آجر و ایجاد فضای خالی در آن، هر دو آجر دارای ۷٪ پودر برگ درخت نارنج یا پوست سیب‌زمینی، ۲۷٪ افزایش تخلخل نسبت به آجر معمولی داشته‌اند (شکل ۴-۶ و ۴-۷). همچنین چگالی ظاهری اشباع و چگالی ظاهری خشک در آجر دارای برگ، به دلیل سبک‌تر شدن آجر در اثر سوختن پسماندهای گیاهی در طی مرحله پخت آجر، به ترتیب، ۴/۴٪ و ۱۲/۵٪ و درآجر دارای پوست سیب‌زمینی، به ترتیب، ۵/۴٪ و ۱۱/۹٪ کاهش یافت. دلیل تفاوت زیاد در درصد کاهش چگالی ظاهری خشک با چگالی ظاهری اشباع بوسیله‌ی مقایسه‌ی فرمول آن‌ها قابل توجیه است. مخرج هر دو فرمول حجم آجر می‌باشد که با افزایش درصد پسماند، ثابت می‌ماند. در صورت کسر رابطه‌ی محاسبه‌ی چگالی ظاهری خشک، وزن خشک آجر است که این مقدار با افزایش درصد پسماند، بطور قابل ملاحظه‌ای در حال کاهش می‌باشد. در حالی که در صورت کسر رابطه‌ی محاسبه‌ی چگالی ظاهری اشباع، وزن اشباع آجر قرار دارد و همزمان با کاهش وزن بخش جامد آجر، توانایی آجر در جذب آب افزایش می‌یابد که این امر، اختلاف وزن اشباع آجر دارای پسماند با آجر بدون پسماند را کاهش می‌دهد. از این رو مقدار کاهش در چگالی ظاهری بیشتر به چشم

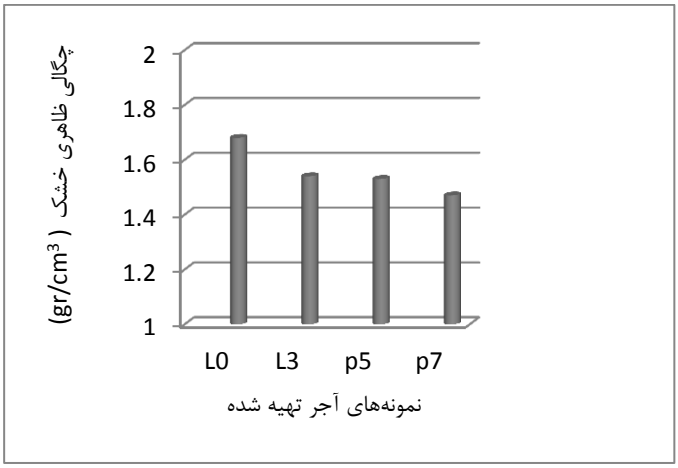
می‌آید (اشکال ۴-۸ تا ۴-۱۱). با افزایش تخلخل و به طور همزمان کاهش چگالی آجر، از میزان بار مرده‌ی ساختمان ساخته شده با این نوع آجر، کاسته شده و ساختمان در زلزله با نیروی کمتری مواجه خواهد شد. که این امر از جمله مزایای آجر تولیدی در این تحقیق محسوب می‌شود.



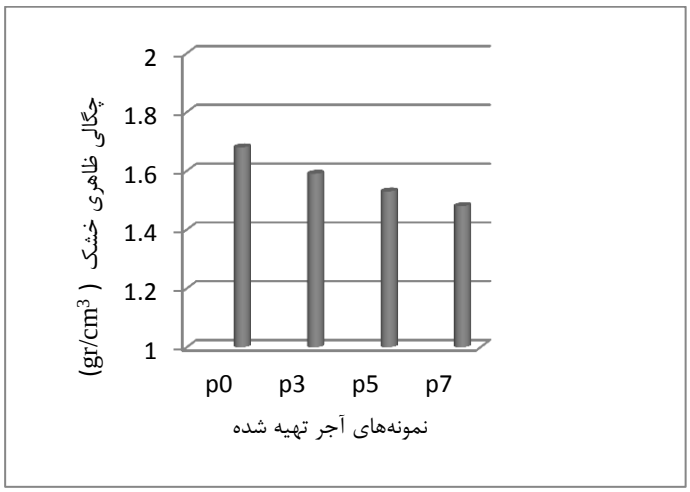

شکل ۴-۶: تغییرات تخلخل آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج



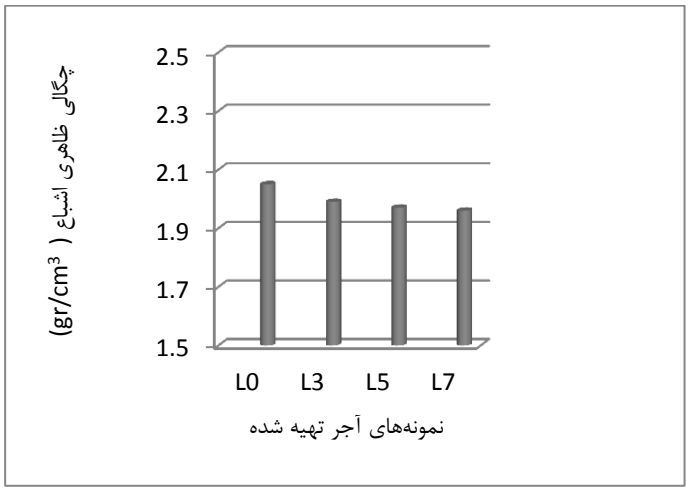

شکل ۴-۷: تغییرات تخلخل آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی



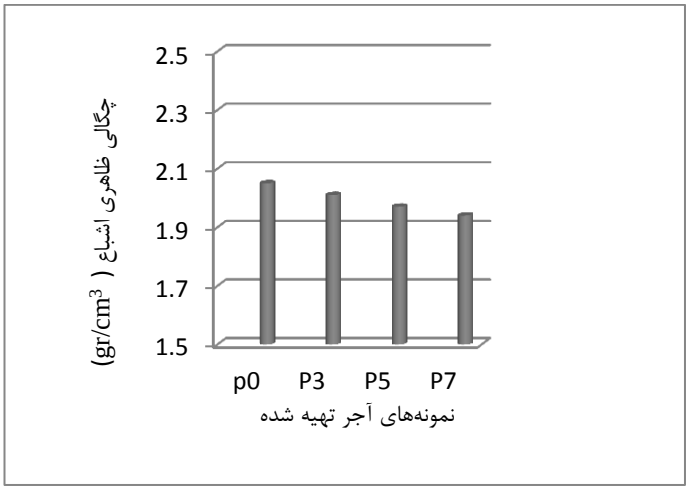

شکل ۴-۸: تغییرات چگالی ظاهری خشک آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج




شکل ۴-۹: تغییرات چگالی ظاهری خشک آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی



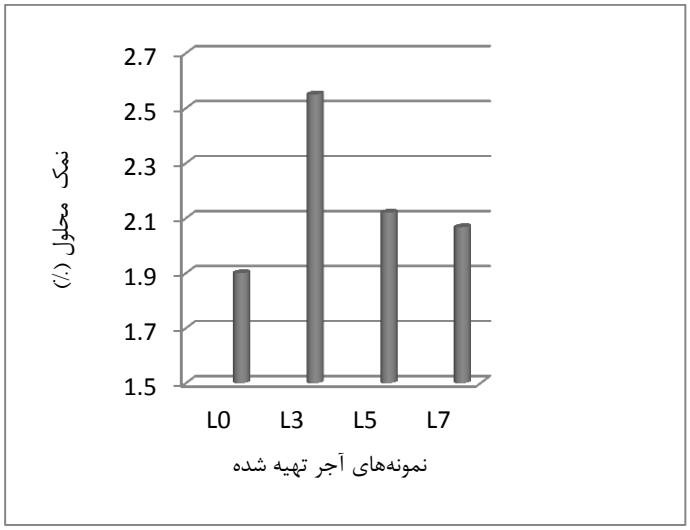

شکل ۴-۱۰: تغییرات چگالی ظاهری اشباع آجر با تغییر درصد برگ درخت نارنج



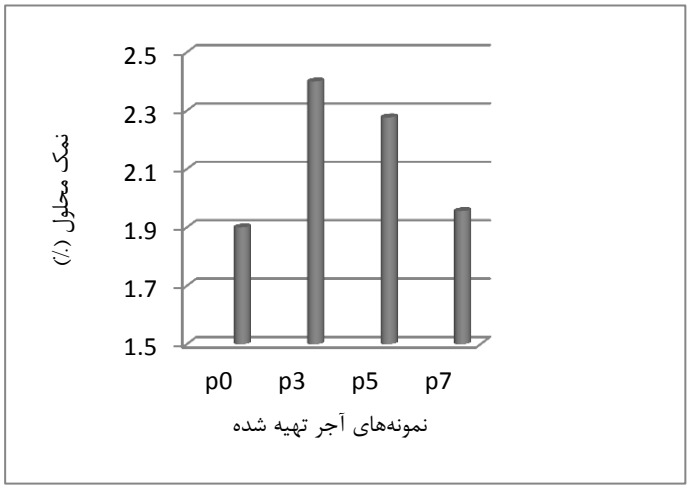

شکل ۴-۱۱: تغییرات چگالی ظاهری اشباع آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی

## ۴-۳-۴ درصد نمک محلول

با استفاده از ۳٪ پوست سیب‌زمینی و برگ درخت نارنج در تهیه آجر، در غلظت نمک محلول آجر به ترتیب تا ۲۶/۳۲ و ۳۴/۲۱ درصد افزایش مشاهده گردید. نتایج نشان می‌دهند که به طور کلی افزودن پسماند گیاهی به ترکیب آجر، باعث افزایش مقدار نمک محلول در آجر می-شود که این امر نشان دهنده بیشتر بودن میزان نمک‌های محلول در خاکستر حاصل از پسماندهای گیاهی نسبت به رس است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که هر چه درصد پسماند موجود درآجر از ۳٪ بیشتر افزایش یابد، درصد نمک محلول آن کاهش می‌یابد. به منظور توجیه این امر نیاز به آزمایشات دقیقی روی واکنش‌های شیمیایی موجود بین مواد آجر و مواد آلی اضافه شده است که خارج از اهداف این پایان نامه محسوب می‌شود (شکل‌های ۴-۱۲ و ۴-۱۳).




شکل ۴-۱۲: تغییرات درصد نمک محلول با تغییر درصد برگ درخت نارنج

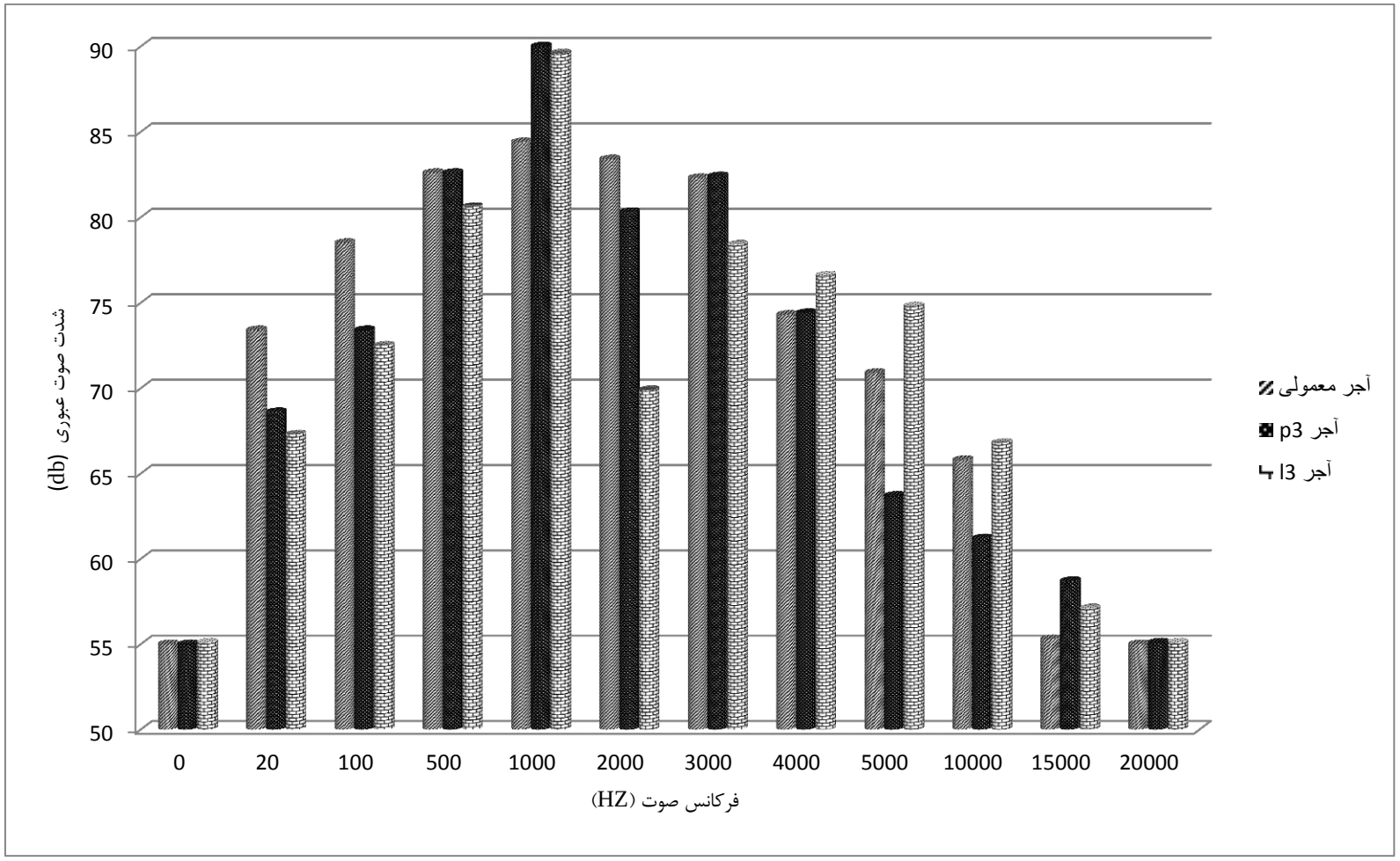



شکل ۴-۱۳: تغییرات درصد نمک محلول آجر با تغییر درصد پوست سیب زمینی

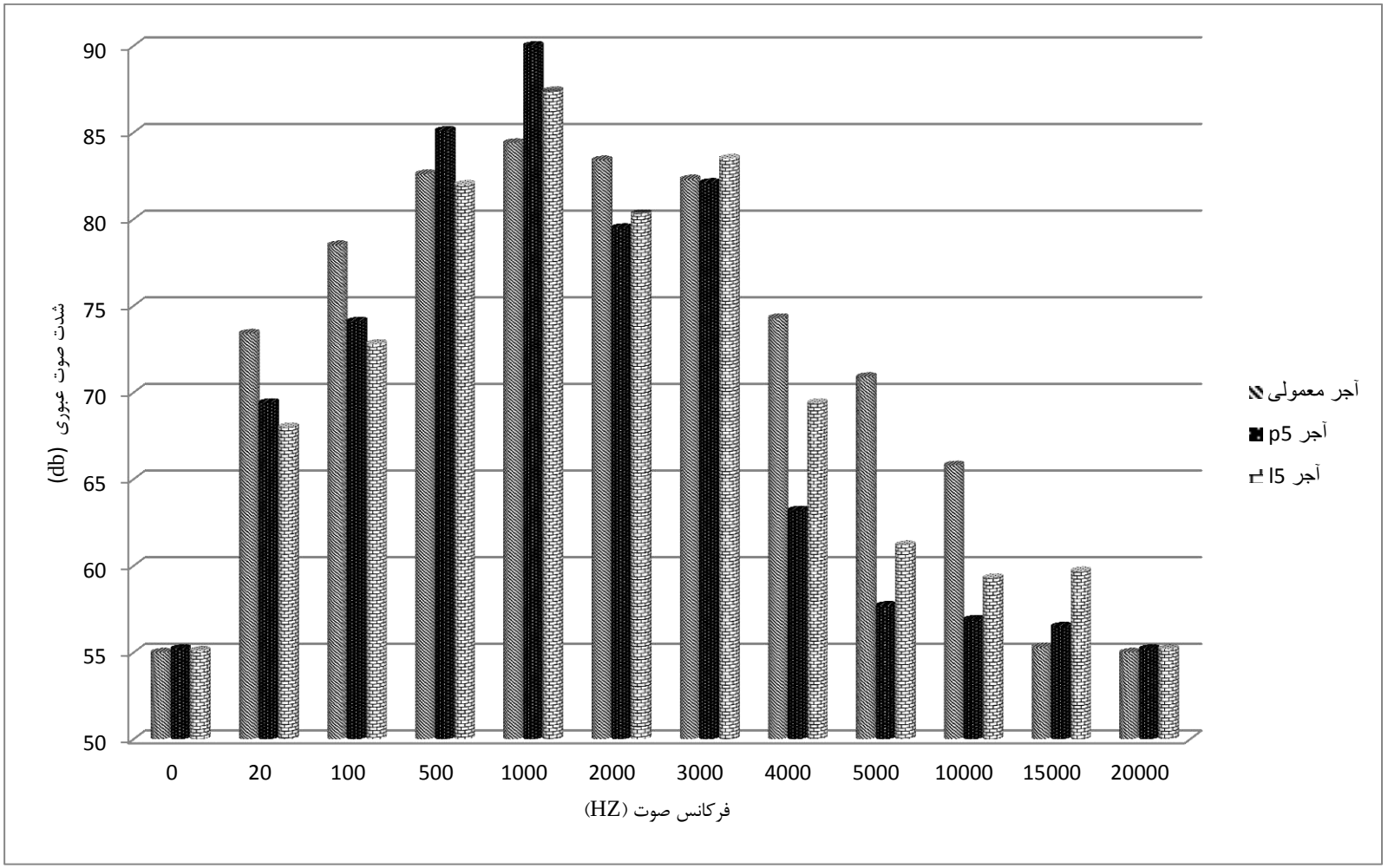
## ۴-۳-۵ عایق صوت

در این بخش، شدت صوت دریافت شده توسط دستگاه صوت سنج در حالات مختلف عبور صوت از دیوار اعم از دیوارهای از جنس یونولیت، آجر معمولی و آجرهای دارای درصدهای مختلف پسماند در فرکانس‌های ۰، ۲۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰، ۲۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی اثر افزودن پسماندهای گیاهی بر میزان عایق صوت بودن آجرها در فرکانس‌های مختلف نشان می‌دهد که با افزایش درصد تخلخل قدرت عایق بودن آجر در برابر صوت، در چند بازه فرکانسی افزایش یافته است.

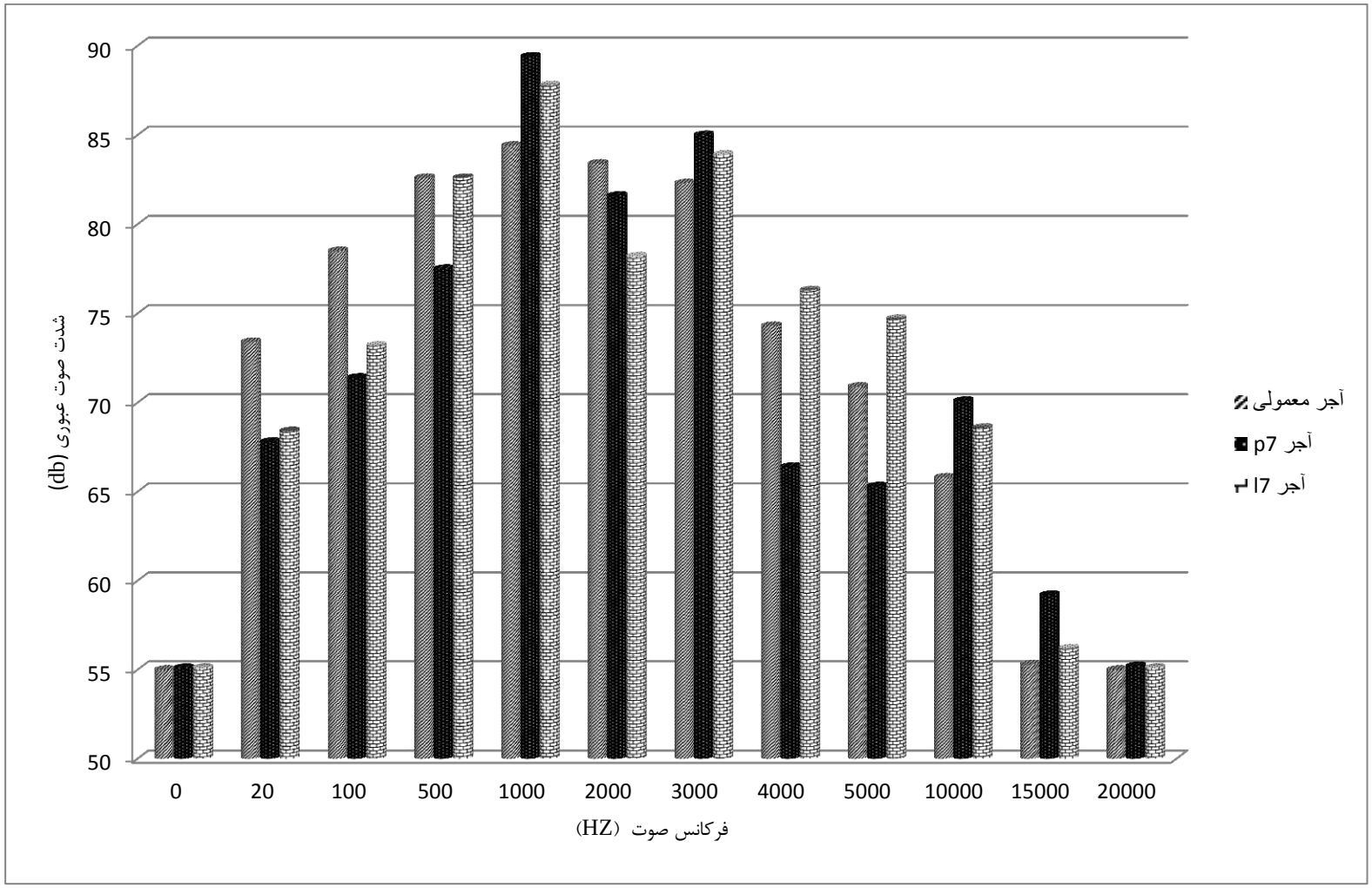
این آجر می‌تواند در اماکنی که بازه‌هایی از صوت مشخص مدنظر بوده و آجر دارای پسماند، عملکرد بهتری نسبت به آجر معمولی از خود نشان دهد، مورد استفاده قرار گیرد. فرکانس صوت ۰ در نمودارها نشان دهنده‌ی صدای زمینه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین قابلیت حذف صوت در آجر حاوی ۳٪ پسماند پودر برگ نارنج و پوست سیب‌زمینی به ترتیب به میزان ۱۶/۱۹و ۱۰/۱۶ درصد در فرکانس‌های ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ هرتز اتفاق افتاده است. همچنین افزودن ۵ و ۷ درصد پودر برگ نارنج باعث کاهش ۱۳/۶۸ و ۶/۸۱ درصد در انتقال صوت در فرکانس‌های ۵۰۰۰ و۲۰ هرتز به ترتیب شده است. این کاهش انتقال صوت در درصدهای ۵ و ۷ درصد در مورد پوست سیب‌زمینی به ۱۸/۶۲ و ۱۰/۶۳ در فرکانس‌های ۵۰۰۰ و ۴۰۰۰ به ترتیب رسیده است (شکل‌های ۴-۱۴، ۴-۱۵، ۴-۱۶، ۴-۱۷، ۴-۱۸).




شکل ۴-۱۴: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی ۳٪ پسماند در فرکانس‌های مختلف

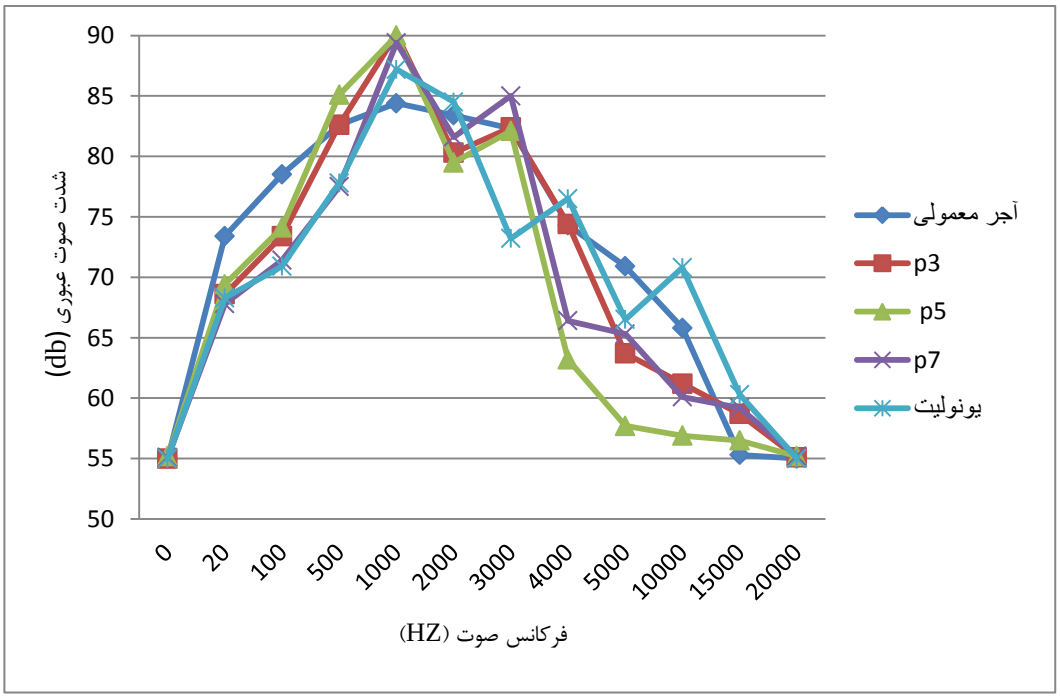



شکل ۴-۱۵: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی ۵٪ پسماند در فرکانس‌های مختلف

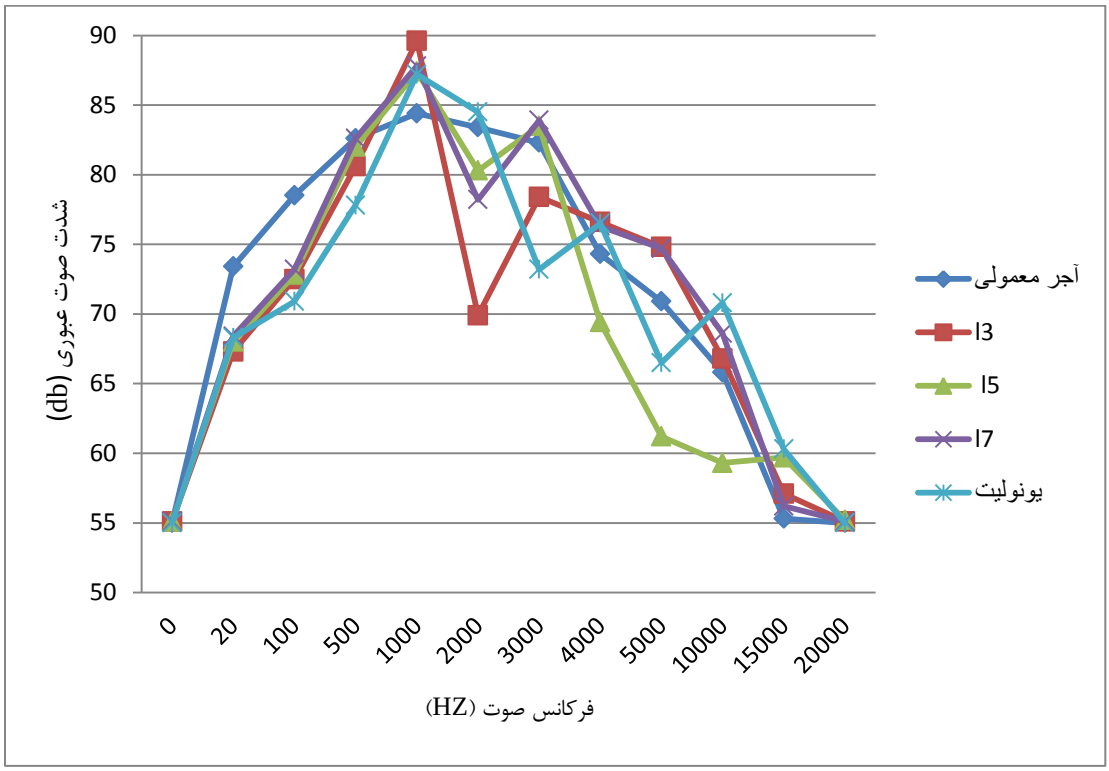



شکل ۴-۱۶: قابلیت حذف صوت توسط آجر محتوی ۷٪ پسماند در فرکانس‌های مختلف

شایان ذکر می‌باشد که نتایج به دست آمده از انتقال صوت با فرکانس‌های متفاوت در آجر معمولی و آجر با درصدهای مختلف از پسماند (شکل ۴-۱۷ و ۴-۱۸) به طور کلی نشان می-دهد که با افزایش فرکانس صوت، حدود ۱۰۰۰HZ میزان شدت عبور صوت از آجرها افزایش می‌یابد ولی پس از آن با بالا رفتن فرکانس، شدت صوت عبوری کاهش می‌یابد. بر طبق نتایج بدست آمده آجر معمولی و آجر حاوی پسماندها به صورت عایق کاملی در انتقال اصوات با فرکانس بالاتر از ۱۵۰۰HZ عمل می‌کنند. بالاترین کارایی در افزایش عایق صوت بودن در آجر با ۳ درصد پودر برگ نارنج در فرکانس ۲۰۰۰ HZ (۱۶/۱۹٪ افزایش نسبت به آجر معمولی) و در آجر با ۵ درصد پوست سیب‌زمینی در فرکانس ۵۰۰۰ HZ (۱۸/۶۲٪ افزایش نسبت به آجر معمولی) اندازه‌گیری گردید.




شکل ۴-۱۷: قابلیت حذف صوت توسط یونولیت و آجر محتوی درصدهای مختلف پوست سیب‌زمینی در فرکانس‌های مختلف

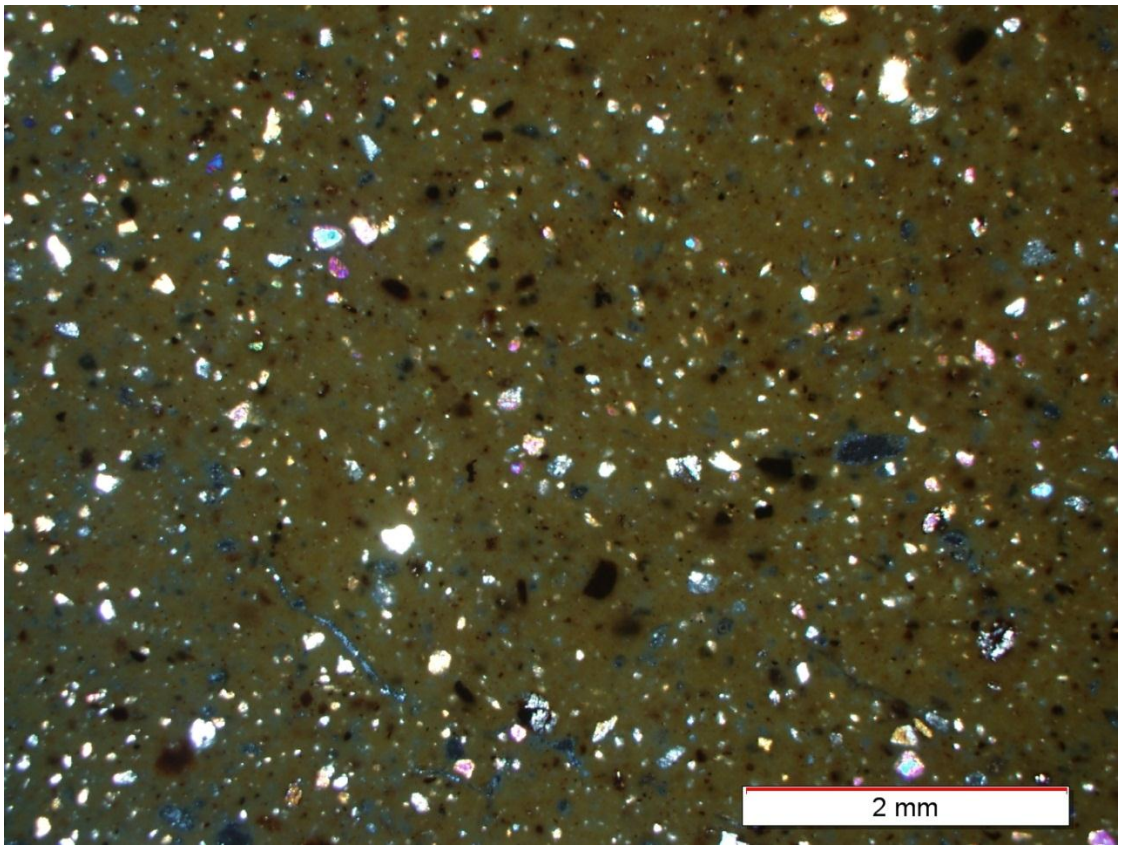



شکل ۴-۱۸: قابلیت حذف صوت توسط یونولیت و آجر محتوی درصدهای مختلف برگ درخت نارنج در فرکانس‌های مختلف

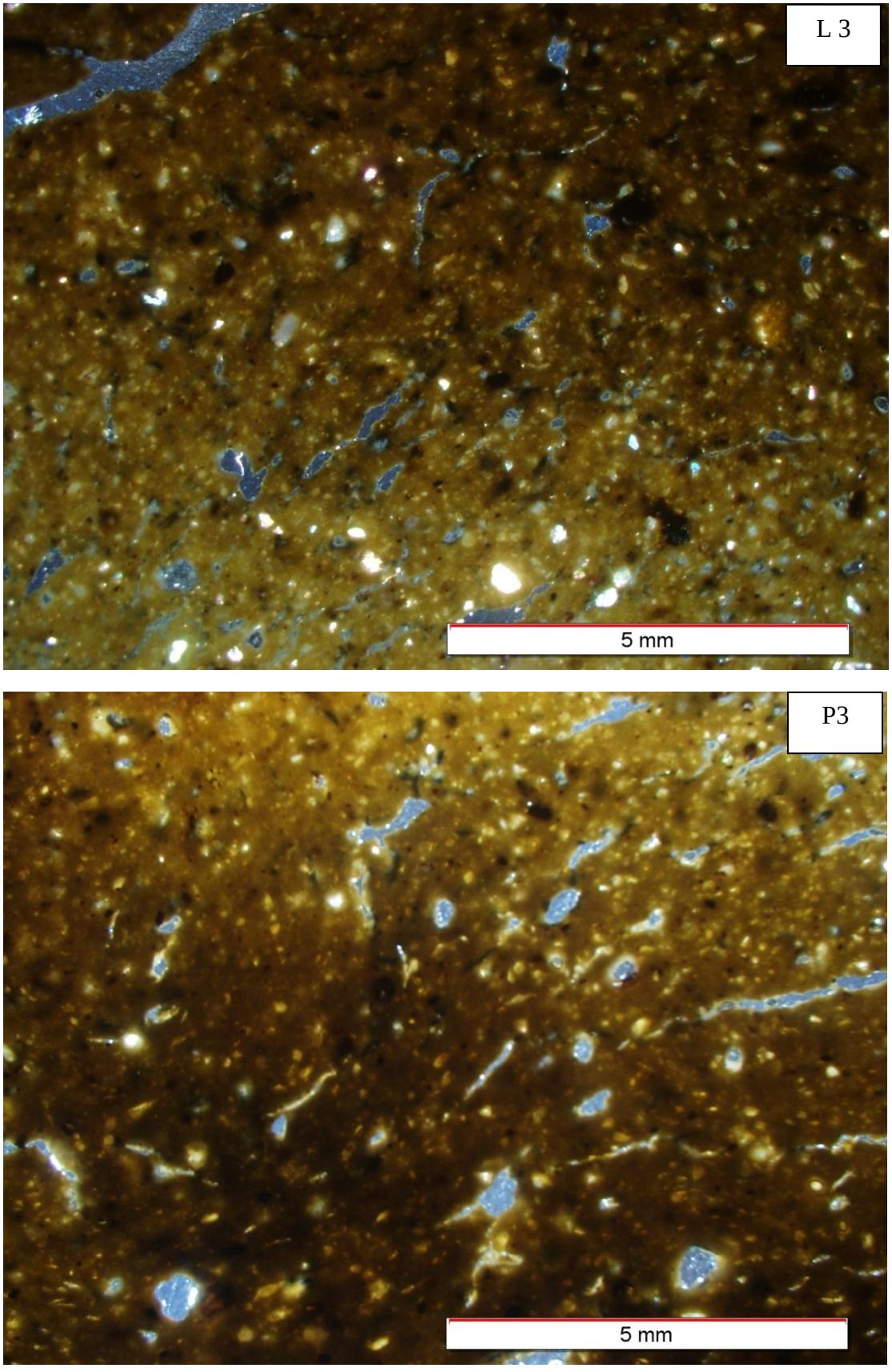
## ۴-۴ بررسی اختلاف منافذ ایجاد شده در آجرهای حاوی پسماندهای گیاهی

بررسی شکل منافذ ایجاد شده در آجرهای با درصدهای مختلف از پسماندهای گیاهی با استفاده از بررسی مقاطع نازک آجرها در زیر میکروسکوپ انجام گرفت. همانطور که در اشکال ۴-۱۹ تا ۴-۲۲ دیده می‌شود، منافذ با افزایش درصد پسماند، افزایش می‌یابد. با مقایسه‌ی شکل منافذ آجرهای دارای درصدهای ۳ و ۵ از دو پسماند گیاهی مشاهده می‌شود، حفرات بوجود آمده از پخت آجر حاوی پوست سیب‌زمینی با نظم بیشتر و ریزتر از حفرات ناشی از

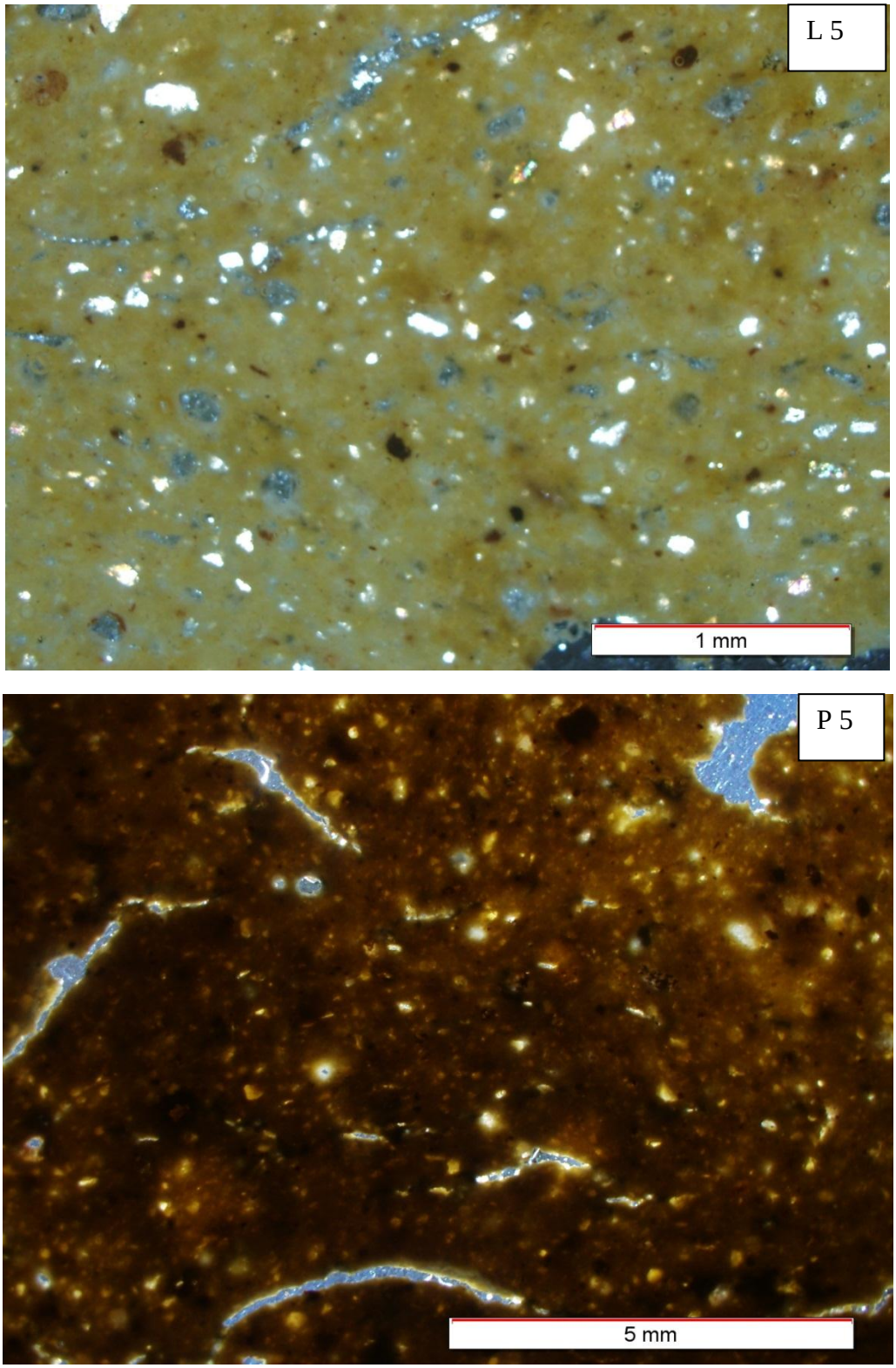
پخت آجر حاوی برگ نارنج می‌باشند. نتایج بدست آمده از اندازه و نظم منافذ توسط تصاویر مقاطع میکروسکوپی (اشکال ۴-۱۹ تا ۴-۲۱) در آجرهای با درصدهای مختلف پسماند (۳٪ و ۵٪)، نتایج حاصل از میزان مقاومت فشاری این آجرها (اشکال ۴-۲ و ۴-۳)، را تایید می‌نماید. بطوریکه نظم بیشتر و اندازه کوچکتر منافذ در آجرهای حاوی ۳٪ و ۵٪ پوست سیب‌زمینی باعث ایجاد مقاومت فشاری بیشتر این آجرها (به ترتیب ۹۰/۶۱۵ و ۵۰/۸۶) نسبت به مقاومت فشاری آجرهای حاوی برگ نارنج (به ترتیب ۴۵/۵۴ و ۴۲/۵۱) گردیده است. شایان ذکر می‌باشد که با توجه به نتایج، افزایش ۷٪ برگ درخت نارنج باعث ایجاد منافذ ریزتر و منظم‌تر (شکل ۴-۲۲) و به دنبال آن باعث ایجاد مقاومت فشاری بیشتر (اشکال ۴-۲ و ۴-۳) نسبت به آجر حاوی پوست سیب‌زمینی شده است.



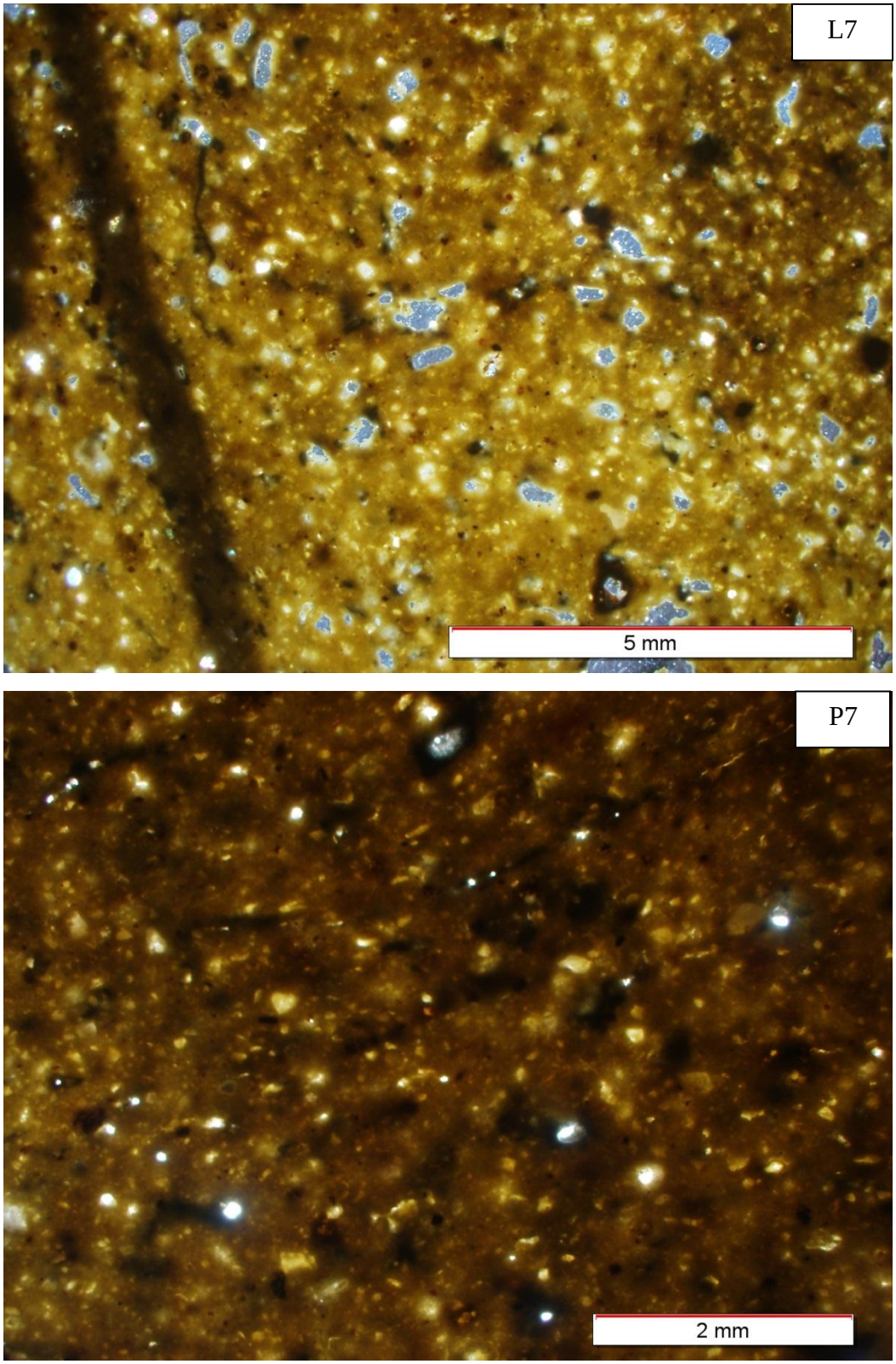

شکل۴-۱۹: تصویر مقطع میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده بدون پسماند




شکل ۴-۲۰: تصویر مقاطع میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده دارای ۳٪ پسماند




شکل ۴-۲۱ : تصویر مقاطع میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده دارای ۵٪ پسماند




شکل ۴-۲۲: تصویر مقاطع میکروسکوپی منافذ آجر ساخته شده دارای ۷٪ پسماند

## ۴-۵ همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آجرهای حاوی پسماندهای گیاهی

همانطور که در جدول ۴-۲ مشاهده می‌شود، میزان جذب آب و تخلخل، با افزایش درصد پسماند، افزایش پیدا می‌کند. چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع و جذب آب همبستگی مثبت نشان می‌دهند و با افزایش چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع، جذب آب کاهش می‌یابد.

مشاهدات کلی بیانگر آن است که همبستگی معکوس بین چگالی و جذب آب آجر وجود دارد. همچنین عدد ۰/۶۸۶- برای همبستگی بین مقاومت فشاری و جذب آب، این نتیجه را روشن می سازد که آجر با جذب آب بیشتر دارای مقاومت فشاری کمتری است. هر چه مقدار چگالی بیشتر باشد، مقاومت فشاری هم بیشتر خواهد شد. با افزایش تخلخل توانایی جذب آب در آجر افزایش یافته است و همبستگی بالای بین تخلخل و درصد جذب آب (۰/۹۹۶) این امررا نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲: همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آجرهای حاوی پسماندهای گیاهی

| Correlations | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | مقاومت فشاری ($kg/cm^2$) | چگالی ظاهری خشک ($gr/cm^3$) | چگالی ظاهری اشباع ($gr/cm^3$) | تخلخل | جذب آب (٪) | نمک محلول (٪) |
| مقاومت فشاری ($kg/cm^2$) | 1 | | | | | |
| چگالی ظاهری خشک ($gr/cm^3$) | .962 | 1 | | | | |
| چگالی ظاهری اشباع ($gr/cm^3$) | .935 | .933 | 1 | | | |
| تخلخل | -.716 | -.841 | -.834 | 1 | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جذب آب (٪) | -.686 | -.811 | -.823 | .996 | 1 | |
| نمک محلول (٪) | -.217 | -.117 | -.048 | -.291 | -.357 | 1 |

# فصل پنجم

# نتیجه‌گیری

# و

# پیشنهادات

## ۵-۱ مقدمه

در این بخش به جمع‌بندی نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر پرداخته شده و تاثیر دو پسماند برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی در تغییر مشخصات فیزیکوشیمیایی آجر با هم مقایسه شده است. در پایان پیشنهاداتی پیرامون ادامه و تکمیل این تحقیق ارائه گردیده است.

## ۵-۲ جمع‌بندی نتایج استفاده از پسماند در آجر

در تحقیق حاضر جهت کاهش پسماندهای گیاهی از مدفن‌ها و استفاده‌ی مجدد از آن‌ها در صنعتی دیگر و در نتیجه بهبود مدیریت پسماند در جهت برداشت گامی موثر در راستای توسعه پایدار، دو پسماند گیاهی به عنوان نمونه انتخاب شده و در تولید آجر ساختمانی سازگار با محیط‌زیست استفاده گردید. نتایج بدست آمده از تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی آجر، مزایا و معایب استفاده از پسماند در تهیه آجر، در آجرهای تهیه شده با درصدهای مختلف پسماند به صورت زیر جمع‌بندی گردیده است.

### ۵-۲-۱ انتخاب پسماند

در این مرحله از آزمایش، پسماند برگ درخت نارنج و پوست سیب‌زمینی انتخاب شده و هر کدام به میزان ۳٪، ۵٪ و ۷٪ وزنی به مواد اولیه آجر افزوده شد. آجر در دمای ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت پخته شد.

### ۵-۲-۲ بهینه سازی میزان پسماند

برای رسیدن به تعادل بین پارامترهای مثبت (افزایش تخلخل، عایق صوت و کاهش چگالی ظاهری خشک و اشباع) و منفی (کاهش مقاومت و افزایش درصد نمک محلول و جذب آب) و با توجه به این که قدرت عایق صوت بودن این نوع از آجر اهمیت ویژه‌ای دارد، درصد بهینه‌ی استفاده از پسماند پوست سیب‌زمینی ۵٪ و برگ درخت نارنج ۳٪ بدست آمد.

### ۵-۲-۳ نتایج کلی آزمایشات و مقایسه بین دو پسماند منتخب

با توجه به حجم عظیم پسماندهای گیاهی تنها بخش اندکی به عنوان تغذیه دام یا تبدیل آن به انرژی (احتراق، سوخت‌های زیستی، متان)، مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخش عظیمی از زیست‌توده‌ها مدیریت نشده و وارد مدفن‌ها می‌گردد. این پسماندها یکی از دورریزهای رایج برای ساخت آجرهای سبک‌وزن و سازگار با محیط زیست، شناخته شده‌اند. در این تحقیق از برگ درخت نارنج (به دلیل تولید انبوه آن در فصل پاییز در شمال کشور) و پوست سیب‌زمینی (به دلیل تولید انبوه آن توسط مردم و کارخانه‌ها)، نداشتن هزینه، دسترس پذیری و تجدیدپذیر بودن، به عنوان پسماند گیاهی در تهیه آجر (با درصدهای مختلف) استفاده شد. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی آجر نشان داد که با افزایش درصد برگ درخت نارنج تا ۷ درصد، مقاومت فشاری، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع آجر به ترتیب تا ۷۷٪، ۱۲/۵٪، ۴/۴٪ کاهش و تخلخل، درصد جذب آب، درصد نمک محلول و عایق صوت به ترتیب تا ۳۲/۴٪، ۵۱/۶٪، ۳۴/۲۱٪ و ۱۳/۶۸٪ افزایش یافته است. این در حالی است که با افزایش درصد پوست سیب‌زمینی تا ۷٪، مقاومت فشاری، چگالی ظاهری خشک و چگالی ظاهری اشباع آجر به ترتیب تا ۸۸٪، ۱۱/۹٪، ۵/۴٪ کاهش و تخلخل، درصد جذب آب، درصد نمک محلول و عایق صوت به ترتیب ۲۷٪، ۴۶٪، ۲۶/۳۲٪ و ۱۸/۶۲ افزایش را نشان می‌دهد.

نتایج کلی بدست آمده در این تحقیق به طور مختصر در جداول ۵-۱ و ۵-۲ ارائه گردیده است. این نوع آجرهای تولیدی می‌تواند در بخش‌هایی از ساختمان که وظیفه‌ی جداسازی اتاق‌ها را دارد، مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از پسماندهای تخلخل‌آور در تولید آجرسبک وزن، در هزینه حمل و میزان برداشت از منابع رس صرفه‌جویی می‌شود. همچنین استفاده از آجر سبک، بار مرده‌ی ساختمان را کاهش داده و به دنبال آن اثر نیروی زلزله بر سازه کاهش می‌یابد. افزایش منافذ و تخلخل آجر، میزان عایق بودن آن در برابر صوت را افزایش می‌دهد. برآورد می‌گردد که با ساخت این آجر به صورت سوراخدار می‌توان به توان عایق بودن آن در برابر حرارت

و صوت، افزود.

در ساخت ساختمان‌ها، در نظر گرفتن الگوی اقتصادی- زیست محیطی امری ضروری است. با توجه به حجم عظیم ضایعات تولید شده در امور مختلف، بازیافت و استفاده‌ی مجدد از آن‌ها در تولید مواد جدید، علاوه بر کاهش وارد شدن این ضایعات به مدفن‌ها باعث کاهش استفاده از منابع تجدیدناپذیر نیز می‌شود.

هر یک از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، می‌تواند ایده‌ای نو برای تولید کنندگان مصالح ساختمانی بوده و به تولید انبوه برسد تا از این راه گامی ارزشمند به سمت برداشت کمتر رس از منابع و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی برداشته شود. این اقدام گامی است موثر در راستای توسعه پایدار تا، کره زمین برای نسل بعد حفظ گردیده و به سمت آینده‌ای پایدار سوق داده شود.

جدول ۵-۱: نتایج کلی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آجرهای ساخته شده در این تحقیق

| نوع آجر / آزمایش‌ها | $L_0$ & $p_0$ | $P_3$ | $P_5$ | $P_7$ | $L_3$ | $L_5$ | $L_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقاومت فشاری ($kg/cm^2$) | ۱۶۰ | ۹۰/۶۱۵ | ۵۰/۸۶ | ۱۹/۳۸ | ۴۵/۵۴ | ۴۲/۵۱ | ۳۶/۸۶ |
| چگالی ظاهری خشک ($gr/cm^3$) | ۱/۶۸ | ۱/۵۷ | ۱/۵۳ | ۱/۴۸ | ۱/۵۴ | ۱/۵۳ | ۱/۴۷ |
| چگالی ظاهری اشباع ($gr/cm^3$) | ۲/۰۵ | ۲ | ۱/۹۵ | ۱/۹۴ | ۱/۹۹ | ۱/۹۷ | ۱/۹۶ |
| تخلخل | ۰/۳۶۹ | ۰/۴۲ | ۰/۴۴۶ | ۰/۴۶۸ | ۰/۳۸ | ۰/۴۴۹ | ۰/۴۹ |
| درصد جذب آب | ۲۱/۹۱ | ۲۶/۴ | ۲۹/۱۷ | ۳۱/۸۹ | ۲۲/۰۴ | ۲۹/۴۳ | ۳۳/۲۱ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد نمک محلول | ۱/۹ | ۲/۴ | ۲/۲۷۷ | ۱/۹۵۶ | ۲/۵۵ | ۲/۱۲ | ۲/۰۶۷ |

جدول ۵-۲: نتایج کلی میزان صوت عبوری از آجرهای ساخته شده در این تحقیق

| نوع آجر / فرکانس تولیدی (HZ) | $L_0$ & $P_0$ | $P_3$ | $P_5$ | $P_7$ | $L_3$ | $L_5$ | $L_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | ۵۵ | ۵۵ | ۵۵/۲ | ۵۵/۱ | ۵۵/۱ | ۵۵/۱ | ۵۵/۱ |
| 20 | ۷۳/۴ | ۶۸/۶ | ۶۹/۴ | ۶۷/۸ | ۶۷/۳ | ۶۸ | ۶۸/۴ |
| 100 | ۷۸/۵ | ۷۳/۴ | ۷۴/۱ | ۷۱/۴ | ۷۲/۵ | ۷۲/۸ | ۷۳/۲ |
| 500 | ۸۲/۶ | ۸۲/۶ | ۸۵/۱ | ۷۷/۵ | ۸۰/۶ | ۸۲ | ۸۲/۶ |
| 1000 | ۸۴/۴ | ۹۰/۱ | ۹۰ | ۸۹/۴ | ۸۹/۶ | ۸۷/۴ | ۸۷/۸ |
| 2000 | ۸۳/۴ | ۸۰/۳ | ۷۹/۵ | ۸۱/۶ | ۹/۶۹ | ۸۰/۳ | ۷۸/۲ |
| 3000 | ۸۲/۳ | ۸۲/۴ | ۸۲/۱ | ۸۵ | ۷۸/۴ | ۸۳/۵ | ۸۳/۹ |
| 4000 | ۷۴/۳ | ۷۴/۴ | ۶۳/۲ | ۶۶/۴ | ۷۶/۶ | ۶۹/۴ | ۷۶/۳ |
| 5000 | ۷۰/۹ | ۶۳/۷ | ۵۷/۷ | ۶۵/۳ | ۷۴/۸ | ۶۱/۲ | ۷۴/۷ |
| 10000 | ۶۵/۸ | ۶۱/۲ | ۵۶/۹ | ۶۰/۱ | ۶۶/۸ | ۵۹/۳ | ۶۸/۶ |
| 15000 | ۵۵/۳ | ۵۸/۷ | ۵۶/۵ | ۵۹/۲ | ۵۷/۱ | ۵۹/۷ | ۵۶/۲ |
| 20000 | ۵۵ | ۵۵/۱ | ۵۵/۲ | ۵۵/۲ | ۵۵/۱ | ۵۵/۲ | ۵۵/۱ |

## ۵-۳ پیشنهادها برای مطالعات آتی

با توجه به کارایی پسماندها در افزایش توان عایق بودن آجر، سبک شدن آجر، مقابله در برابر نیروی زلزله، پیشنهادات زیر جهت انجام مطالعات آتی ارائه می‌گردد:

۱- تولید آجر ساخته شده در این تحقیق به صورت سوراخدار، مستطیلی، با ابعاد واقعی مورد استفاده در ساختمان‌ها و در فضای کارخانه

۲- استفاده از دیگر پسماندهای حجیم در ساخت مصالح ساختمانی مختلف

۳- استفاده از میکرو نانو حباب در آب اولیه‌ای که به آجر افزوده می‌شود به منظور ایجاد تخلخل بیشتر و منافذ ریزتر در راستای افزایش مقاومت آجر

# مراجع


Abdul Kadir A. and Mohajerani A., (2008) "Bricks: Possible Utilization of Cigarette Butts in Light Weight Fired Clay Bricks" **J. of. Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering,** 2, 9, pp 153-157.

Alonso-Santurde R., Coz A., Quijorna N., Viguri J.R. and Andrés A. (2010) "Valorization of foundry sand in clay bricks at industrial scale environmental behavior of clay sand mixtures**" J. of. Ind Ecol**, 14, 2, pp 217–30.

Barbieri L., Andreola F., Lancellotti I., Taurino R. (2013) "Management of agricultural biomass wastes: Preliminary study on characterization and valorization in clay matrix bricks" **J. of. Waste Management, 33**, pp 2307‑2315.

Bilgin N., Yeprem H.A., Arslan S., Bilgin A., Günay E. and Marsoglu M. (2012) "Use of waste marble powder in brick industry" **J. of. Construction and Building Materials,** 29, pp 449–457.

Bories C., Aouba L., Vedrenne E. and Vilarem G. (2015) "Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: Study and characterization" **J. of. Construction and Building Materials**, 91, pp 158‑163.

Brick. http://en.wikipedia.org/wiki/Brick#cite_note-2. Visited 14.04.13

China Economic Trade Committee, (2001) Tenth five-year program of building materials industry. **China Build Mater**, 7, pp 7–10.

COM 406, (2006).Commission of the European on implementation of the community waste legislation.

Demir I. (2006) "An investigation on the production of construction brick with processed waste tea**" J. of. Building and Environment**, 41, pp 1274–1278.

Dondi M., Guarini G., Raimondo M., Ruffini A., (2002) "Orimulsion fly ash in clay bricks part 3: Chemical stability of ash-bearing products**" J. of. Euro Ceram Soc**, 22, 11, pp 1749–1758.

Dondi M., Marsigli M and Fabbri B. (1997) "Recycling of industrial and urban wastes in brick production" **J. of. Tile and Brick International**, 13, 3, pp 218–225.

EN 832:1998—Thermal Performance of Buildings—Calculation of Energy Use for Heating—Residential Buildings, CEN, Brussels, Belgium.

Fgaier F. E., Lafhaj Z., CHapiseau CH., (2013) “Use of clay bricks incorporating treated river sediments in a demonstrative building: Case study” **J. of. Construction and Building Materials,** 48, pp 160- 165.

Gañán J., Al-Kassir Abdulla A., Cuerda Correa E.M. and Macías-García A. (2006) “Energetic exploitation of vine shoot by gasification processes a preliminary study” **J. of. Fuel Processing Technology**, 87, 10, pp 891–897.

Gengying L., Xiaoyang X., Chen E., Fan J. and Guangjing X. (2015) “Properties of cement-based bricks with oyster-shells ash” **J. of. Cleaner Production**, 91, pp 279-287.

Hegazy Badr El-Din E., Fouad Hanan A. and Hassanain Ahmed M. (2012) “Brick Manufacturing From Water Treatment Sludge And Rice Husk Ash” **Australian J. of. Basic and Applied Sciences,** 6, 3, pp 453-461.

Jackson, M. L., (1975) "Soil Chemical Analysis", Adv. Course Dept. Soil Sci., Madison, Wisc, pp 121.

Jawaid S.M.A., (2010) “ Rice husk ash-lime blended building bricks” **Int J Earth Sci Eng**, 3, 2, 302–309.

Liang H.H. and Li J.L. (2015) “The influence of hydration and swelling properties of gypsum on the preparation of lightweight brick using water supply reservoir sediment**” J. of. Construction and Building Materials**, 94, pp 691-700.

Ling I.H., Teo D.C.L., (2011) “Properties of EPS RHA lightweight concrete bricks under different curing conditions” **J. of. Constr Build Mater**, 25, pp 3648–3655.

Lingling X., Wei G., Tao W and Nanru Y. (2005) “Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio” **J. of. Constr. Build Mater,** 19, 3, pp 243–247.

Loryuenyong V., Thanapan P., Kaewsimork K and Siritai Ch. (2009) “Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks” **J. of. Waste Management**, 29, pp 2717–2721.

Mediavilla I., Fernández M.J., Esteban L.S. (2009) “Optimization of pelletisation and combustion in a boiler of 17.5 kWth for vine shoots and industrial cork residue**” J. of. Fuel Processing Technology**, 90, 4, pp 621–628.

P. Wouter. (2004). Energy Performance of Building Assessment of Innovative Technologies, ENPER-TEBUC, Final Report.

Pacheco-Torgal F., Jalali S. (2011) "Eco-efficient construction and building materials" London, UK. Springer.

Raut S., Ralegaonkar R. and Mandavgane S., (2013) "Utilization of recycle paper mill residue and rice husk ash in production of light weight bricks**" J. of. Civil and Mechanical Engineering,** 13, pp 269–275.

Ruiz J.A., Juárez M.C., Morales M.P., Muñoz P., Mendívil M.A. (2013) "Biomass logistics: financial & environmental costs. Case study: 2 MW electrical power plants" **J. of. Biomass Bioenergy**, 56, pp 260–267.

Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D. (2015) "Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks" **J. of. Applied Clay Science**, 104, PP 189-195.

Siqueira F.B., Holanda J.N.F. (2013) "Reuse of grits waste for the production of soil cement bricks" **J. of. Environmental Management,** 131, pp 1-6.

Sutcu M. and Akkurt S. (2009) "The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity" **J. of. Ceramics International**, 35, pp 2625–2631.

Theodosiou T.G. and Papadopoulos A.M. (2008) "The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions" **J. of. Energy and Buildings**, 40, 11, pp 2083–2089.

استاندارد ملی ۷ ایران. تجدید نظر چهارم. آجر رسی- ویژگی ها و روش های آزمون.ICS: 91.100.1.

بهنیا ک. و طباطبایی ا.، (۱۳۸۸)، مکانیک خاک، جلد اول، چاپ سیزدهم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۲-۷.

چوبانوگلوس ج.، تیسن ه. و ویجیل س.، (۱۳۸۸)، مدیریت جامع پسماند، جلد اول، ترجمه جعفرزاده حقیقی فرد ن.، یغماییان ک.، حسینی م. و بهرامی ح.، چاپ دوم، انتشارات خانیران، تهران، ۹۲۹-۹۳۴.

داس ب. ا.، (۱۳۷۶)، اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول، ترجمه طاحونی ش.، ویرایش دوم، موسسه انتشارات پارس آیین، تهران، ۱-۱۰.

ویسه س. و یوسفی ع. ا.، (۱۳۹۱) " تولید آجر و بلوک سفالی با استفاده از افزودنی پلی استیرن منبسط" **فصلنامه علمی- ترویجی**، شماره ۳، دوره ۲، ص ۱۸-۲۴.

## Abstract

By growing the need for reduction of energy consumption to reduce the environmental pollutants as a measure of sustainable development, numerous researches have been conducted in optimal management of solid wastes in various sectors of society. In this regard, this research was to choose and examine some common, high volume waste which occupies a considerable capacity of landfills to produce brick, a widely used building material. The present study aimed at investigating the effect of adding plant residues (orange leaves and potato peels) on the physicochemical properties of brick, such as compressive strength, water absorption, dry bulk density, saturated bulk density, porosity and sound absorption is performed. To achieve the optimal properties of brick, 3, 5 and 7% weight of the brick paste was replaced with the powder of the above wastes. The moisture in the paste was adjusted to 19% while a hydraulic jack was used to exhaust the air from it. The bricks were dried in the oven prior to firing that took place in a laboratory furnace at 1100 ° C for 4 hour. Properties of soil used in bricks were investigated through X-ray diffraction (XRD). The results of the comparison of ordinary (no additives, made with the same procedure) and composite bricks (with the addition of the above wastes) showed that by increasing the percentage of orange leaf to 7%, compressive strength, dry bulk density and saturated bulk density bricks reduced to 77%, 34%, 4/6% respectively while porosity, water absorption, the percentage of soluble salts and sound insulation were increased up to 4/32% 6/51%, 21/34% and 68/13%. Also, with increasing potato peels to 7%, compressive strength, bulk density and bulk density bricks were reduced to 88%, 31%, 7% respectively and porosity, water absorption, the percentage of soluble salts and sound insulation were increased to 27%, 46%, 32/26% and 62/18 with respect to the ordinary bricks. Reducing the dead load of building and its weight, and the volume of waste plant as well as improving the sound insulation in common frequencies, along with the improved waste management are the advantages of brick made in this study. This brick is recommended to be used in parts of building where the compressive strength of the brick is not important, i.e. the bricks are used as room divider and partitions.

**Key words:** Brick, Crop residue, Sound insulation, Waste Management.

**Shahrood University of Technology**

**Faculty of civil engineering**

**MSc Thesis in Enviromental Civil Engineering**

# Using Solid Waste in Production of Environmental Friendly Bricks

By: Mona Ghorbani

Supervisors:

Dr. Behnaz Dahrazma

Dr. Seyed Fazlolah Saghravani

July 2016